

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Основи формування структури та властивостей порошкових та
композиційних матеріалів»
для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальності
132–«Матеріалознавство»

освітня програма – «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи формування структури та властивостей порошкових та композиційних матеріалів» для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальності 132 – матеріалознавство, освітня програма – «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» / Укл.: Віра САВЧЕНКО, Іван АКІМОВ. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 43 с.

Укладач: Віра САВЧЕНКО, доцент, к.т.н.
Іван АКІМОВ, доцент., к.т.н.

Рецензент: Володимир ПЛЕСКАЧ, доцент, к.т.н.

Експерт: Наталія ШИРОКОБОКОВА, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: Ольга ПЕТРАШОВА, ст. лаборант.

Рекомендовано до видання
НМК ФБАД, протокол № 1
від 30 08 2024 р.

Затверджено на засіданні
кафедри КМХТ, протокол
№ 1 від 06.08.2024 р.

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1. Визначення пористості виробу з порошкового матеріалу.....	4
Лабораторна робота №2. Дослідження властивостей металевих композитів.....	8
Лабораторна робота № 3. Прогнозування властивостей композиційних матеріалів.....	15
Лабораторна робота № 4 Дослідження структури та властивостей природних композитів.....	18
Лабораторна робота № 5 Розробка та дослідження властивостей неметалевих (будівельних) композиційних матеріалів.....	24
Лабораторна робота № 6 Дослідження впливу модифікування на структуру та властивості полімерної матриці.....	31
Лабораторна робота № 7 Дослідження макро- та мікроструктури металевих та неметалевих матеріалів.....	36
Список літератури	43

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 ВИЗНАЧЕННЯ ПОРИСТОСТІ ВИРОБУ З ПОРОШКОВОГО МАТЕРІАЛУ

Короткі теоретичні відомості

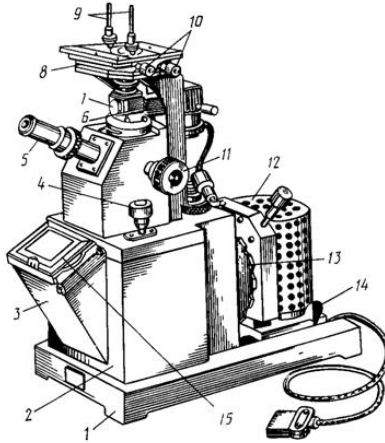
Будова матеріалу, що спостерігається під мікроскопом, називається *мікроструктурою* (*microstructure*), яка є зображенням досить малої ділянки поверхні, складена з відбитих від неї світлових променів.

Загальний вигляд металографічного мікроскопа МИМ-7 показано на рис. 1.1. Він складається з таких основних систем: оптичної, освітлювальної з фотографічною апаратурою і механічної.

Оптична система мікроскопа включає об'єктив і окуляр, від яких залежить збільшення мікроскопа, і ряд допоміжних елементів (призми, дзеркала, лінзи й ін.). Об'єктив, що є складним сполученням лінз, дає дійсне збільшене обернене зображення мікроструктури мікрошліфа. Окуляр складається з декількох лінз і призначений для збільшення зображення, отриманого об'єктивом, і перетворення його з оберненого в пряме. Збільшення мікроскопа визначається добутком збільшення окуляра на збільшення об'єктива.

В освітлювальну систему мікроскопа входять джерело світла, серія лінз, світлофільтрів і діафрагм. Джерелом світла є електрична лампа (17 В), що включається в мережу через понижувальний трансформатор.

Порошкові матеріали – це матеріали, що виготовлені шляхом пресування порошків у виробі необхідної форми і розмірів та подальшого їх спікання. Порошкова металургія є однією з найбільш перспективних технологій металургійного і машинобудівного виробництв. Потреба в металевих порошках, порошкових матеріалах і виробих пояснюється широкими можливостями використання їх при вирішенні багатьох науково-технічних завдань, що дозволяють отримувати виробу із заданими фізико-механічними властивостями.



1 - основа, 2 - корпус, 3 - фотокамера, 4 - мікрометричний гвинт, 5 - візуальний тубус з окуляром, 6 - ручка ілюмінатора, 7 - ілюмінатор, 8 - предметний столик, 9 - клеми, 10 - гвинти переміщення столика, 11 - макрометричний гвинт, 12 - освітлювач, 13 - ручка світлофільтрів, 14 - стопорний пристрій освітлювача, 15 - рамка з матовим склом.

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд мікроскопу МИМ – 7

Пористість відноситься до фізичних властивостей твердих речовин. Це частка обсягу пор в загальному об'ємі пористого матеріалу (від 0 до 1), часто кількісно виражається у відсотках (від 0 до 100). Її визначають за формулою:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_t}\right) \cdot 100\%$$

де ρ_t - дійсна густина матеріалу зразка, ρ_v - густина матеріалу з порами.

Суцільний матеріал має пористість 0% (тобто, без пор), а 100% пористість неможлива, але наближену до неї мають піна, аерогель і т. п. Пористість полягає в тому, що тверді тіла не є суцільним, а вони прорізані безліччю отворів і ходів між окремими шматочками (зернами) речовини (тобто, складаються з частинок, розділених осередками повітря або іншого газу (порами)). Пористість спостерігається практично у всіх зростаючих органічних речовинах

(рослинного походження – в деревині і тваринного походження – в кістках і шкірі) (рис. 1.2).

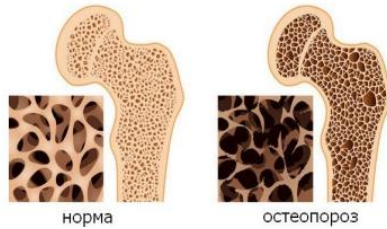


Рисунок 1.2. – Пористість кісток

У деяких матеріалах (виробах) пори створюють при їх виробництві. Для отримання пористих виробів з кераміки або металів і сплавів найчастіше використовують речовини, що вводяться в порошковий матеріал як наповнювачі, які потім випалюють. Пори також створюють вимиванням добавок з монолітної заготовки розчинниками, або за рахунок хімічних реакцій (піноутворювачів) при формуванні виробу.

Для визначення форми і стану поверхні пор часто застосовують метод дослідження мікрофотографій.

Хід роботи

Використовуючи наявні зразки або фотографії пористих матеріалів необхідно провести розрахунок пористості матеріалу.

Фотографії мікроструктур пористого матеріалу дозволяє отримати уявлення про будову порового простору і деякі відомості про шорсткості поверхні пор (рис. 1.3).

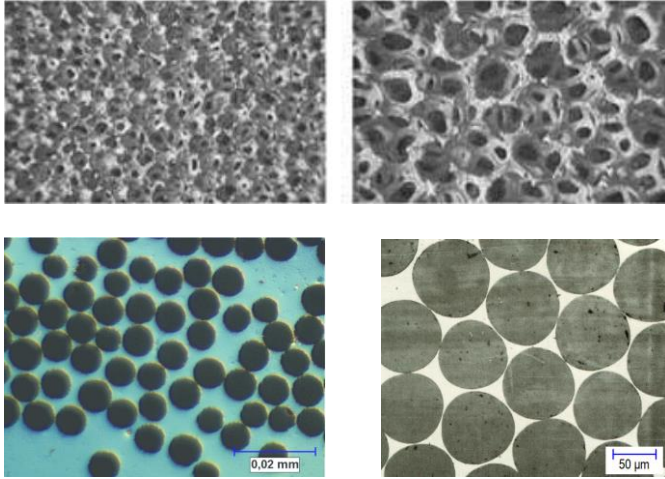


Рисунок 1.3 – Мікроструктури матеріалів

Зміст звіту

- 1 Оформити лабораторну роботу.
- 2 Провести розрахунки пористості за рис.1.3.
- 3 Занести до звіту необхідні малюнки.
- 4 Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке пористий КМ?
2. Де використовуються пористі матеріали?
3. Яка технологія виготовлення пористих матеріалів?
4. Які властивості мають пористі матеріали?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ КОМПОЗИТІВ

Частина 1 ОТРИМАНИХ ТВЕРДОФАЗНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи. Дослідження залежностей структури та властивостей листових композитів від методу їх виготовлення.

Короткі теоретичні відомості

На сьогодні широко використовуються наступні твердофазні методи виготовлення КМ: пресування, прокатування та дифузійне зварювання. В даній лабораторній роботі розглянемо залежність структури та властивостей листових КМ від методу виготовлення.

Технологічний процес отримання листа з КМ складається з двох стадій: виготовлення напівфабрикату і гарячого прокатування напівфабрикату.

Напівфабрикати отримують або шляхом складання (при цьому волокна розташовуються з певним кроком між шарами матричних стрічок), або плазмовим методом, коли полум'яне металеве покриття фіксує волокна, попередньо укладені на шар фольги матричного матеріалу. В останньому випадку напівфабрикат має вигляд одношарових стрічок, які перед гарячим прокатуванням складають в кілька рядів (рис. 2.1).

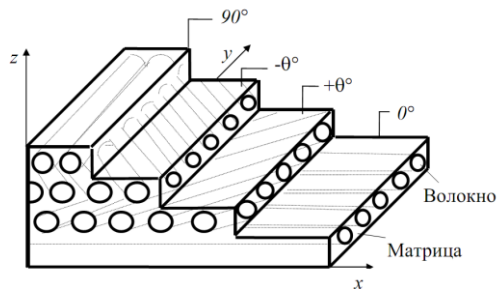


Рисунок 2.1 – Схема збирання волокнистого композиту з укладанням шарів

При розробці композиційних матеріалів користуються розрахунком міцності композиції, що відповідають правилу адитивності, при цьому міцність композиту повинна бути більшою за міцність матриці:

$$\sigma_K = V_B \sigma_B^* + V_M \sigma_M^* \geq \sigma_M^B, \quad (2.1)$$

де σ_B^* - середня міцність волокон в композиції;

σ_M^* - середня границя плинності матриці;

σ_M^B – границя міцності матриці;

V_B – об'єм волокон;

V_M – об'єм матриці.

Розглянемо умови справедливості рівняння адитивності. Для цього визначається максимальний та мінімальний вміст волокон у композиті, який залежить від технологічних умов виготовлення. Максимальна щільність упаковки циліндричних волокон складає приблизно 90%, а квадратних – майже 100%, але при цьому відбувається різке зниження міцності композиту, так як мікротріщина може легко перетворитися в магістральну тріщину. При дуже низькому вмісті волокон виникають дуже високі напруження на волокнах, які призводять до їх дроблення, що призводить до зниження міцності композиту. Тому при розробці композиту необхідно розраховувати мінімальний V_{\min} та критичний $V_{\text{кр}}$ об'єм волокон.

$$V_{\min} = \frac{\sigma_M^B - \sigma_M^*}{\sigma_B^* + (\sigma_M^B - \sigma_M^*)} \quad (2.2)$$

$$V_{\text{кр}} = \frac{\sigma_M^B - \sigma_M^*}{\sigma_B^* - \sigma_M^*} \quad (2.3)$$

З цієї формули видно, що чим більше різниця у властивостях волокон та матриці, тим менший критичний об'єм волокон, який може змінюватися від 1 до 50%.

Хід роботи

1. Виготовити зразки шаруватих композиційних матеріалів з металевих та неметалевих матеріалів за вказівкою викладача.
2. Провести випробування на розтягування зразків.
3. Використовуючи діаграму розтягування та розміри зразків визначте механічні властивості КМ.
- 4.

Зміст звіту

- 1 Оформити лабораторну роботу згідно з вимогами викладача.
- 4 Порівняти властивості КМ.
- 5 Занести до звіту необхідні малюнки.
- 4 Зробити висновки.

Контрольні запитання

- 1 Що таке шаруватий КМ?
2. Які ви знаєте методи виготовлення шаруватих КМ.
3. Як технологія виготовлення впливає на властивості.
4. Як вихідні матеріали впливають на властивості КМ.
5. З яких матеріалів виготовляються шаруваті КМ.

Частина 2 ОТРИМАННЯ ГРАДІЄНТНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ

Мета роботи - ознайомлення з технологією отримання градієнтних композиційних матеріалів та дослідження закономірностей формування їх структури в залежності від технологічних режимів відцентрового лиття.

Загальні відомості

При виготовленні виробів із ізотропних об'ємно-армованих композиційних матеріалів виникає ряд проблем, пов'язаних з тим, що з підвищенням концентрації частинок істотно погіршуються

технологічні та механічні властивості: різанням і тиском, пластичні властивості матеріалу.

В останні роки отримав розвиток новий клас композиційних матеріалів - функціонально-армовані, або градієнтні композиційні матеріали (ГКР). При використанні ГКР такі спеціальні властивості, як висока твердість, зносостійкість, підвищена ударна в'язкість, зменшена схильність до утворення тріщин, низький коефіцієнт термічного розширення, можуть бути отримані в заданих локальних зонах виробу.

Створення ГКР може здійснюватися методами порошкової металургії, шляхом просочення матриці з градієнтною пористістю рідким металом, шляхом термічної та термохімічної обробки поверхні, шляхом нанесення плівок і покриттів.

Одним з унікальних способів створення литих заготовок з градієнтної структурою, у яких за рахунок регульованого осадження частинок в рідкій металевій суспензії можуть бути організовані поверхневі зони з підвищеною концентрацією армуючих частинок, є відцентрове лиття. Використання методів відцентрового лиття для отримання анізотропних шаруватих і градієнтних композиційних матеріалів - вирішення багатьох проблем лиття композицій і отримання виливків із заданою структурою та властивостями.

Крім того, застосування ГКР замість об'ємно-армованих композиційних матеріалів дозволяє істотно зменшити собівартість продукції (в окремих випадках до 30%), оскільки виключаються витрати на виробництво ізотропних виробів, що володіють властивостями, необхідними тільки в поверхневих робочих шарах.

Товщина, відносне розташування та щільність градієнтного шару визначаються температурою розплаву, його в'язкістю, швидкістю охолодження, питомою вагою частинок і матричного сплаву, розміром і формою армуючих частинок і поверхневий натяг на кордоні «матриця - частка». Відомо, що для отримання щільних виливків відцентровим способом необхідно забезпечити строго спрямовану кристалізацію розплаву за рахунок посиленого відводу тепла стінками форми і мінімально низької температури заливки.

Однак при низькій температурі металу і форми і, відповідно, підвищеної в'язкості розплаву сегрегація частинок для формування градієнтних шарів може бути утруднена. Швидкість спливання (осадження) частинок в рідині прямо залежить від різниці щільності

сплаву і частки, і чим більше ця різниця, тим швидше буде відбуватися розшарування суспензії в полі дії відцентрових сил. Тверді дисперсні частинки, що мають щільність P_p більшу, ніж у матричного сплаву, переміщуються до стінки виливниці (рис. 2.2), менш щільні ($\Delta\rho < 0$) - до осі обертання, на вільну поверхню виливки. Тому слід очікувати, що регульоване переміщення частинок дисперсної фази в рідкому металі суспензії під дією відцентрових сил і створення в композиційному матеріалі зон підвищеної концентрації армуючих компонентів з різними теплофізичними характеристиками сприятимуть формуванню в цих зонах нових мікроструктур і, відповідно, нових властивостей.

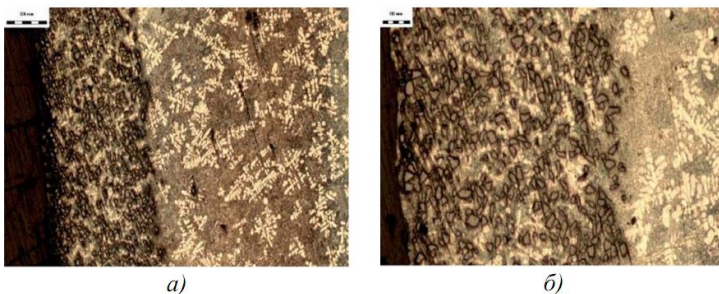


Рисунок 2.2 – Структура градієнтних композиційних матеріалів АК12 + 5 % SiC при збільшенні $\times 50$ (а) та $\times 100$ (б)

Одним з найважливіших технологічних факторів при відцентровому литті, що впливає на сегрегаційні процеси, є гравітаційний коефіцієнт K , що показує, у скільки разів стають важчими всі компоненти сплаву в полі дії відцентрових сил.

Для отримання щільної виливки з силумінів, що кристалізуються в певному інтервалі температур, мінімально необхідний гравітаційний коефіцієнт на вільній поверхні повинен бути в межах 80...120, а для сплавів евтектичного складу – 30...50. Математичний опис переміщення і розподілу армуючих частинок під дією відцентрової сили при отриманні ГКР представлено наступними показниками. **Об'ємну частку частинок** в композитному шарі VS визначають за такою формулою:

$$V_S = V_L \left(1 + \frac{v_S}{R} \right) e^{-\frac{v_S t}{r}}, \quad (2.4)$$

де V_L – об'ємна частка частинок у вихідному композиційному розплаві;

v_s – радіальна швидкість руху частинки в розплаві, м/с;

R – швидкість кристалізації, м/с;

r – радіальна координата, м;

t – час кристалізації, с, $t = (r_m - r) / R$;

r_m – внутрішній радіус відцентрової виливниці, м.

Радіальна швидкість руху частинок в розплаві може бути розрахована за законом Стокса при допущенні, що частинки мають сферичну форму і рух розплаву ламінарне:

$$v_s = \frac{d^2 \Delta \rho}{18 \eta} \omega^2 r, \quad (2.5)$$

де d – діаметр часточки, м;

$\Delta \rho$ – різниця щільності твердої та рідкої фаз, кг/м³;

η – динамічна в'язкість розплаву, Па·с;

ω – кутова швидкість, с⁻¹.

При виконанні розрахунків рекомендовано приймати щільність часточок SiC $\rho_P = 3210$ кг/м³, щільність матричного розплаву $\rho_L = 2360$ кг/м³ (при 750 °С), швидкість кристалізації $R = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с. **Динамічна в'язкість** сплаву АК12 при різних температурах може бути розрахована за імперичною залежністю:

$$\eta = 0,2356 \exp\left(\frac{9316,4853}{RT}\right) \cdot \text{мПа} \cdot \text{с}. \quad (2.6)$$

У лабораторній роботі для отримання ГКР використовується дослідно-експериментальна установка відцентрового лиття, що дозволяє виробляти заливку з вертикальною віссю обертання. Метал у виливницю заливається через жолоб, закріплений на кришці, при горизонтальній осі обертання. Існує можливість плавного регулювання швидкості обертання.

Змінюючи природу армуючих частинок, їх концентрацію і гранулометричний склад, температурне поле, швидкість обертання виливниці, можна управляти характером розподілу часток, що

дозволяє одержувати виливки з ГКР із заданою структурою та властивостями.

Порядок виконання роботи

1. Розрахувати теоретичне значення об'ємної частки армуючих частинок в композитному шарі.
2. Приготувати розплав вихідного композиційного матеріалу.
3. Залити композиційний матеріал у відцентрову виливницю при наступних режимах: температура розплаву - 750 °С, швидкостях обертання виливниці - 1000, 1250 та 1500 об / хв.
4. Виготовити шліфи.
5. Вивчити структуру отриманих зразків за допомогою оптичного мікроскопа і виміряти товщину градієнтного шару.
6. Зробити висновки про вплив швидкості обертання виливниці на формування структури ГКР.

Зміст звіту

1. Оформити лабораторну роботу згідно з вимогами викладача.
2. Коротко описати технологію отримання ГКР методом відцентрового лиття.
3. Дослідити мікроструктури з атласу.
4. Навести структури зразків і їх опис.
5. Зробити висновки про вплив методу виготовлення та частоти обертання на структуру та властивості ГКМ.

Контрольні питання

1. Які негативні наслідки підвищення концентрації армуючих частинок в композиційних матеріалах?
2. Що таке градієнтний композиційний матеріал?
3. Від яких факторів залежить товщина градієнтного шару?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: навчитися прогнозувати властивості композиційних матеріалів з короткими та довгими волокнами.

Короткі теоретичні відомості

Властивості композиційних матеріалів залежать від їх складу та форми і направлення волокон. Для матеріалознавців важливим є навчитися прогнозувати властивості композиційних матеріалів, в залежності від прикладених навантажень на деталь та умов експлуатації.

Завдання

Кожен студент повинен виконати:

1. Виконати для заданої деталі розрахунки міцності, щільності та питомої міцності без урахування матеріалу деталі.
2. Виконати проектування композиційного матеріалу для заданої деталі (табл.3.1), відповідно до списку в журналі.
3. Розрахунки зробити для КМ з короткими та довгими волокнами.

Умови: На циліндричну деталь літального апарату (рис. 3.1) діє сила, що розтягує $P = _ \text{Н}$. Деталь має довжину $L = _ \text{мм}$, площу поперечного перерізу $S = _ \text{мм}^2$, маса деталі $M = _ \text{г}$, робоча температура деталі $t = _ \text{°C}$.

Таблиця 3.1. – Варіанти завдань

№ завдання	L, мм	S, мм ² .	M, г	P, Н	t (роб), °C
1	950	100	500	60000	20
2	850	90	400	50000	20
3	800	100	450	60000	20
4	800	90	400	55000	20
5	850	80	350	50000	20
6	950	100	500	60000	400
7	900	90	400	55000	400
8	850	95	350	50000	400

9	900	85	300	65000	400
10	950	100	450	60000	400
11	850	90	400	55000	400
12	900	80	350	50000	400

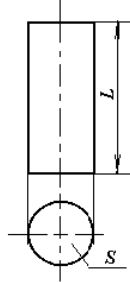


Рисунок 3.1. – Деталь

Зміст звіту

1. Оформити лабораторну роботу згідно з вимогами викладача.
2. Провести розрахунки згідно зі своїм варіантом
5. Зробити висновки.

Приклад виконання завдання:

На циліндричну деталь літального апарату діє сила, що розтягує $P=55000\text{Н}$. Деталь має довжину $L = 900\text{ мм}$; площа поперечного перерізу $S = 95\text{ мм}^2$; маса деталі $M = 450\text{г}$; робоча температура деталі $t=900\text{ }^\circ\text{C}$.

Розрахунок

1. Розраховуємо межу міцності при розтягуванні:

$$[\sigma^P] = \frac{P}{S} = \frac{55000}{0,000095} = 578,9\text{МПа}$$

2. Визначаємо верхнє та нижнє значення густини деталі (щільність КМ допускається менше на 10%):

$$G^{\max} = \frac{M}{V} = \frac{0,45}{0,855 \cdot 10^{-4}} = 5263 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$G^{\min} = G^{\max} - \frac{10}{100} G^{\max} = 5263 - 0,1 \cdot 5263 = 4737 \frac{\text{кЗ}}{\text{м}^3}$$

3. Розраховуємо верхнє та нижнє значення питомої міцності:

$$\sigma_{y\partial}^{\max} = \frac{[\sigma^P]}{G^{\min}} = \frac{5,79 \cdot 10^8}{4737} = 0,122 \cdot 10^6 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кЗ}}$$

$$\sigma_{y\partial}^{\min} = \frac{[\sigma^P]}{G^{\max}} = \frac{5,79 \cdot 10^8}{5263} = 0,11 \cdot 10^6 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кЗ}}$$

Розрахунки КМ для цієї деталі: Обираємо матеріал матриці – ВВМ.
Матеріал волокна – Al_2O_3 .

4. Розрахунок критичної довжини волокон:

$$T_{ep} = \sigma_{Bm} \cdot \cos 45^\circ = 350 \cdot 10^6 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 247,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$L_{kpf} = D_f \cdot \frac{\sigma_{Bf}}{2 \cdot T_{ep}} = 28 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3400 \cdot 10^6}{2 \cdot 247,5 \cdot 10^6} = 192,3 \text{ мкм}$$

5. Розрахунок об'ємної концентрації волокон:

$$V_{f \min} = \frac{[\sigma^P] - \sigma_{Bm}}{T_{ep} \cdot \frac{L_{kpf}}{D_f} - \sigma_{Bm}} = \frac{5,789 \cdot 10^8 - 3,5 \cdot 10^8}{2,47 \cdot 10^8 \cdot \frac{192,3 \cdot 10^{-8}}{28 \cdot 10^{-7}} - 3,5 \cdot 10^8} = \frac{2,289}{13,46} = 0,17 = 17\%$$

6. Розрахунок щільності КМ:

$$G^{KM} = G_m \cdot (1 - V_f) + G_f \cdot V_f = 1930 \cdot (1 - 0,17) + 3960 \cdot 0,17 = 2275 \frac{\text{кЗ}}{\text{м}^3}$$

7. Розрахунок питомої міцності КМ:

$$\sigma_{y\partial}^{KM} = \frac{\sigma_B^{KM}}{G^{KM}} = \frac{578,9 \cdot 10^6}{2275} = 0,254 \frac{\text{Па}}{\text{кЗ}}$$

8. Перевіряємо виконання необхідної умови для КМ:

$$\sigma_{y\partial}^{KM} = 0,254 \frac{\text{Па}}{\text{кЗ}} > \sigma_{y\partial}^{\min} = 0,110 \frac{\text{Па}}{\text{кЗ}}$$

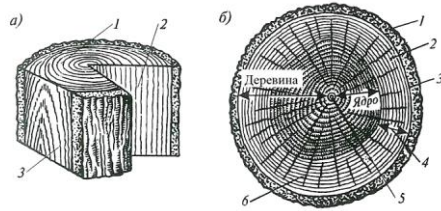
Висновок: Умова виконується, отже КМ спроектовано правильно.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ КОМПОЗИТІВ

Мета роботи: Дослідити макро- та мікроструктуру деревини та визначити її властивості.

Короткі теоретичні відомості

Деревина – анізотропний волокнистий матеріал - найдревніший природний композит. До складу деревини входить низка складних органічних сполук. Повний хімічний аналіз показує, що вона містить близько 50% вуглецю, 6% водню і 44% кисню. Стінка клітини має сітчасту структуру із взаємопов'язаних ланцюгових молекул целюлози, наповнену іншими вуглеводнями (геміцелюлозами), а також лігніном і різними екстрактивними речовинами. Цементуючою міжклітинною речовиною є в основному пек тати кальцію і магнію, а в клітинних порожнинах, особливо в деревині листяних порід, накопичуються смоли, камеді, жири, таніни, пігменти і мінеральні речовини. До складу деревини входить 45...60% целюлози, 15...35% лігніну і 15...25% геміцелюлози. Кількість чужорідних, екстрактивних речовин значною мірою залежить від породи і є неоднаковим в заболоні і ядрі деревини. Вміст мінеральних речовин (зольність) деревини зазвичай значно менший за 1%. Стовбур – основа частини дерева, з якого одержують 60...90% деревини. На поперечному розрізі стовбура розрізняють такі основні частини: кору, луб, камбій, власне деревину (що складається із заболоні й ядра) і стрижень. Макроструктуру стовбура розглядають у трьох напрямках: поперечному (перпендикулярній осі стовбура), радіальному (що проходить через вісь стовбура) і тангенціальному (що йде в площині осі стовбура, на деякій відстані від неї) (рис. 1.1).



а) основні розрізи стовбура; 1 – поперечний (торцевий); 2 – радіальний; 3 – тангенціальний; б) будова стовбура дерева на поперечному розрізі; 1 – кора; 2 – камбій; 3 – луб; 4 – заболонь; 5 – серцевина; 6 – серцевинні промені.

Рисунок 4.1 – Розрізи стовбура дерева

Мікроструктура – це будова деревини, видима при значному збільшенні. Виділювані камбіальним шаром клітини заповнені протоплазмою. Оболонка клітини складається із клітковини – целюлози, а протоплазма – з азотистих сполук. Клітини відрізняються розміром, формою і біологічним призначенням. За формою клітини, з яких складається основна маса деревини, в основному округлі, циліндричні, багатогранні й витягнуті в довжину. За призначенням у стовбурі дерева клітини можуть бути:

– ті що запасують – паренхімні, у яких зосереджені запаси живильних речовин. Вони розташовані в стовбурі дерева, головним чином у стрижневих променях, і передають живильні речовини іншим клітинам у горизонтальному напрямку;

– провідні й опорні клітини, які проводять ґрунтову вологу й надають деревині необхідну стійкість.

Хвойні породи мають свою особливість – смоляні ходи. На поперечному розрізі вони мають вигляд світлих точок у пізній частині річного шару, а на радіальному й тангенціальному розрізах – вид темних рисок. У деяких листяних породах (дуб, ясен) є великі й дрібні судини. Великі розташовуються в ранній частині річного шару, а дрібні зібрані в групи або розподілені рівномірно по всій площі пізньої деревини. Такі породи називаються судинними.

Властивості деревини як функціональні, так й естетичні, визначаються структурою і складом породи. Властивості деревини однієї і тієї ж породи розрізняються залежно від віку дерева, місця і

умов росту, вологості деревини, розташування волокон та інших факторів.

Для деревини основними й найважливішими є такі властивості:

- механіко-технологічні: міцність, твердість, деформівність, питома в'язкість, експлуатаційні характеристики, технологічні характеристики, зносостійкість, здатність утримувати кріплення, гнучкість;

- фізичні: зовнішній вигляд (текстура, блиск, колір), густина, вологість (усушка, жолоблення, водопоглинення, гігроскопічність, щільність), теплові (теплопровідність, теплоємність), звукові (акустичний опір, звукопровідність), електричні (діелектричні властивості, електропровідність, електрична міцність);

- хімічні властивості.

Міцність деревини характеризують границею міцності на стискання, згинання та розтягування. Вона чисельно дорівнює напруженню в матеріалі, яке відповідає навантаженню, що призвело до руйнування зразка і вимірюється в мегапаскалях (МПа). Границю міцності під час стиску визначають на спеціальних пресах до руйнування та обчислюють за формулою:

$$\sigma_{\text{ст}} = F / S, \text{ МПа} \quad (4.1)$$

де F – руйнівне навантаження, Н;

S - площа стискання зразка, м^2 .

Істинна густина (ρ) – властивість матеріалу, що кількісно характеризує відношення його маси до об'єму ($\text{г}/\text{см}^3$, $\text{кг}/\text{м}^3$):

$$\rho = m/v, \quad (4.2)$$

де m – маса матеріалу, г (кг);

V – об'єм матеріалу без пор, см^3 (м^3).

Відношення густини матеріалу до густини речовини, що характеризує ступінь заповнення об'єму матеріалу речовиною,

називають відносною густиною. У пористих і сипких матеріалів відносна густина < 1 , у твердих – дорівнює 1, виміряється також у відсотках.

Для неоднорідних за складом, якими є більшість композиційних матеріалів, визначають середню густину ρ_0 , під якою розуміють масу одиниці об'єму матеріалу в природному стані (з порами і дефектами):

$$\rho_0 = m/V(\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3), \quad (4.3)$$

Середня густина деревини залежить тільки від густини породи, її вимірюють в абсолютно сухому стані. За густиною деревину поділяють на легку ($\rho_0 < 550 \text{ кг/м}^3$), середньої густини ($550 < \rho_0 < 750 \text{ кг/м}^3$) і важку ($\rho_0 > 750 \text{ кг/м}^3$). Від густини деревини залежать її фізико-механічні властивості.

Показники істинної густини речовини й середньої густини побічно характеризують експлуатаційно-технічні параметри матеріалів. Від них залежать міцність і теплопровідність.

Пористість – властивість матеріалу, що характеризує ступінь заповнення його об'єму порами. Величина пористості визначається в безрозмірних одиницях як відношення об'єму пор у матеріалі $V_{\text{пор}}$ до всього об'єму матеріалу V_0 , або у відсотках:

$$П = V_{\text{пор}} / V_0. \quad (4.4)$$

Під час експериментально-розрахункового методу визначення пористості використовують значення істинної й середньої пористості:

$$П = (\rho - \rho_0 / \rho) 100 \%. \quad (4.5)$$

Від структури пор значною мірою залежать акустичні й теплотехнічні властивості матеріалів, їхня проникність для рідини й газів, а також приводить до зміни фізико-механічних властивостей (щільності, теплопровідності, електропровідності, модуля пружності).

Вологість визначається вмістом у матеріалі вологи, віднесеної до маси матеріалу в сухому стані або за допомогою вологоміру.

Водопоглинення – властивість матеріалу, що характеризує його здатність всмоктувати й утримувати в собі воду. Воно залежить від

пористості, здатності до набрякання (збільшення об'єму внаслідок всмоктування води) і гідрофільності. Показник водопоглинення характеризується кількістю води, поглиненою сухим матеріалом, повністю зануреним у воду. Розрізняють водопоглинення за масою та об'ємом, що розраховують за формулами:

$$W_m = \frac{m_{\text{вол.}} - m_{\text{сух.}}}{m_{\text{сух.}}}, \%, \quad (4.6)$$

де $m_{\text{сух.}}$ – маса сухого матеріалу, г;
 $m_{\text{вол.}}$ – маса матеріалу насиченого водою, г.

$$W_o = \frac{m_{\text{вол.}} - m_{\text{сух.}}}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (4.7)$$

де $m_{\text{сух.}}$ – маса сухого матеріалу, г;
 $m_{\text{вол.}}$ – маса матеріалу насиченого водою, г;
 V – об'єм сухого матеріалу, см^3 .

Обладнання, інструменти, матеріали

Зразки деревини, цемент, гідравлічний прес, електрична піч, ваги, вакуумний пристрій, вода, льняне оливо, пробірки, мікромметр, штангенциркуль, вологомір.

Хід роботи

1 Дослідити макро- та мікроструктуру деревини та занести малюнки до звіту.

2 З куса деревини вирізати 16 зразків розміром 10x10 мм.

3 Провести маркування номерів зразків, направлення волокон та визначити їх об'єм, масу та їх густину.

4 Чотири зразки помістити для просушування в муфельну піч при температурі 120⁰С на 30 хв., після цього знову визначити їх масу та об'єм, густину і вологість. Визначити міцність сухих зразків на стиск вздовж та впоперек волокон.

5 Чотири зразки помістити у воду та підключити вакуумний насос для прискорення насичення водою. Протікання процесу можна

спостерігати за виділенням бульбашок повітря, яке заміщується у порах водою. Після припинення процесу знову визначити їх масу та об'єм, густину і вологість. Визначити міцність зразків на стиск вздовж та впоперек волокон.

6 Шість зразків попередньо насичені льняним оливом та висушені. В ході експерименту заміряються об'єм і маса зразків у сухому, насиченому та висушеному стані. Один зразок шліфується для визначення макро- та мікроструктури. Визначити густину і вологість. Визначити міцність 4-х зразків на стиск вздовж та впоперек волокон.

7 Визначити міцність 2-х зразків на стиск вздовж та впоперек волокон з деревини без оброблення.

8 Порівняти злами зразків після випробувань за пунктами 4-7.

Зміст звіту

1 Оформити лабораторну роботу згідно з вимогами викладача.

2 Провести розрахунки густини, вологості, вологопоглинання та міцності деревини.

3 Порівняти розрахункові та дослідні показники властивостей.

4 Занести до звіту малюнки макро- та мікроструктури деревини.

5 Зробити висновки про вплив вологості деревини на його властивості.

Контрольні запитання

1 Що таке істинна та середня густина?

2 Дайте визначення вологості та вогдопоглинання.

3 З яких компонентів складається деревина, якщо досліджувати її як композиційний матеріал?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕМЕТАЛЕВИХ (БУДІВЕЛЬНИХ) КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: Набути практичних навичок з розроблення рецептури неметалевих композиційних матеріалів та методики визначення їх властивостей.

Короткі теоретичні відомості

Арболіт (від фр. Arbre «дерево») - легкий бетон на основі цементного в'язучого, органічних заповнювачів (до 80...90% обсягу) і хімічних добавок, також відомий як деревобетон (рис. 5.1). Офіційно вважається, що арболіт винайшли голландці в 30-і роки минулого століття. Арболіт прийшов до нас в країну в 1960-і роки. Матеріал і технологія була розроблена в Голландії і завоювала широку популярність в Європі, Канаді та США завдяки своїй екологічній чистоті, простоті і економічності будівництва за рахунок високих тепло- і звукоізолюючих властивостей, хорошою паропроникності та малої щільності готової стінової конструкції.



Рисунок 5.1 – Зовнішній вид та компоненти арболіту.

В якості органічного заповнювач застосовується подрібнена деревина (тріска), батаття льону або конопель (костробетон), дроблена рисова солома або подрібнені стебла бавовнику. Для мінералізації наповнювача використовують сульфат алюмінію (харчова добавка E520), хлорид кальцію (харчова добавка E509), нітрат кальцію, рідке

скло або інші речовини, що блокують негативну дію органічних речовин на затвердіння цементу.

Арболіт має підвищену міцність на вигин, дуже добре поглинає звукові хвилі. Арболіт не підтримує горіння, зручний для обробки. Конструкційні види володіють високим показником міцності на вигин, можуть відновлювати свою форму після тимчасового перевищення граничних навантажень.

До недоліків арболіту можна віднести знижену вологостійкість. Зовнішня поверхня конструкцій з арболіту, що стикаються з атмосферною вологою, повинна мати захисний обробний шар. Вологість повітря в приміщеннях зі стінами з арболіту бажано підтримувати не вище 75%.

Обладнання, інструменти, матеріали

Цемент, деревинна стружка, хлорид кальцію, рідке скло, вода, форми для виготовлення зразків, штангенциркуль, пробірки, ваги, гідравлічний прес.

Порядок виконання роботи

5.1 Проектування складу арболіту

Арболіт – різновид легких бетонів, виготовлений з суміші мінерального в'язучого (портландцементу), органічних целюлозних заповнювачів (відходи деревообробки, тощо) хімічних добавки і води. При підборі складу арболіту основними вимогами є одержання заданих властивостей (класу за міцністю та середньої густини) при мінімально можливих витратах цементу. Середня густина арболіту залежить від марки арболіту, виду заповнювача і береться за табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики арболіту

Вид арболіту	Клас за міцністю	Марка за міцністю	Середня густина, кг/м ³	
			подрібнена деревина	коstriця, льон
Теплоізоляційний	B0,35	M5	400–500	400–500
	B1	M15	500	500
Конструкційний	B1,5	M50	500–600	550–650
	B3,5		700–850	–

При проектуванні складу встановлюють, або задають характеристики вихідних матеріалів для виготовлення арболіту:

- активність цементу $R_{ц}$, кг/см²;
- середня густина цементу $\rho_{оц}$, кг/м³;
- істинна густина цементу $\rho_{ц}$, кг/м³;
- вид заповнювача;
- насипна густина заповнювача $\rho_{нз}$, кг/м³;
- вид добавку.

Потім за табл. 5.2 призначають витрати матеріалів для заданого класу арболіту за міцністю. Отримані дані занести до табл. 5.3.

Таблиця 5.2 – Орієнтовні витрати компонентів, кг на 1 м³ арболіту

Вид компоненту	Марка арболіту					
	5	10	15	25	35	50
Цемент, кг	240/290	250/310	280/330	330/380	360/390	390/420
Подрібнена деревина (суха), кг	140/180	160/280	180/200	220/240	240/250	250/280
Хлористий кальцій, кг	6	6-7	7	8	8	9
Вода, л	260/310	380/330	300/360	380/430	400/460	420/480

Примітки:

1. У числівнику – витрати компонентів для деревини хвойних порід, у знаменнику – для змішаних порід.
2. Замість хлористого кальцію можливо використовувати інші добавки.

Таблиця 5.3 – Витрати компонентів арболіту на 1 м³

Вид компоненту	Витрати на 1 м ³	Витрати на лабораторний заміс	Фактичні витрати на 1 м ³
Портландцемент, кг			
Подрібнена деревина, кг			
Хлористий кальцій, кг			
Вода, л			

За одержаними даними розрахунків приготувати пробний заміс з арболітобетонної суміші, потім провести уточнення густини в ущільненому стані. Розраховувати фактичні витрати матеріалів на 1 м³ ущільненої суміші.

Сума витрат всіх матеріалів для дослідного замісу складає:

$$\Sigma P = Ц + З + В + ХД . \quad (5.1)$$

Для приготування арболіту ΣP (кг) витрачено цементу Π_1 (кг). Для приготування 1 м^3 арболіту треба витратити цементу:

$$\Pi / \Sigma P = \Pi \cdot \rho_{\text{арб.}}; \quad (5.2)$$

$$\Pi = \frac{\rho_{\text{арб.}} \cdot \Pi_1}{\Sigma P}, \text{ кг.} \quad (5.3)$$

Аналогічно розраховують витрати органічного заповнювача, води й хімічної добавки на 1 м^3 бетонної суміші:

$$З = \frac{\rho_{\text{арб.}} \cdot З_1}{\Sigma P}, \text{ кг;} \quad (5.4)$$

$$В = \frac{\rho_{\text{арб.}} \cdot В_1}{\Sigma P}, \text{ кг;} \quad (5.5)$$

$$ХД = \frac{\rho_{\text{арб.}} \cdot ХД_1}{\Sigma P}, \text{ кг.} \quad (5.6)$$

Фактичні витрати компонентів на 1 м^3 бетону треба занести до графі фактичних витрат компонентів арболітобетону. При виконанні роботи треба встановити якість арболіту, враховуючі вимоги, перелічені в табл. 5.4.

Середню густину арболіту визначають за формулою:

$$\rho_0 = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (5.7)$$

де m – маса зразка з арболіту, г;

V – об'єм зразка з арболіту, см^3 .

Міцність арболіту при стисканні визначають за формулою:

$$R_{\text{ст}} = P/S, \text{ кг/см}^2 \text{ (МПа)}, \quad (5.8)$$

де P – руйнуюче навантаження, кг;

S – площа зразка, см^2 .

Коефіцієнт конструктивної якості визначають за формулою:

$$K.K.Y. = R_{ст}/d, \quad (5.9)$$

де $R_{ст}$ – межа міцності при стиску, $\text{кг}/\text{см}^2$ (МПа);

d – відносна густина, яку визначають як відношення фактичної густини до густини води при 4°C .

5.2. Оцінка функціональних властивостей композиційних матеріалів.

Розрахувати ефективну теплопровідність композиту відповідно від виду, товщини композиційного матеріалу та властивостей теплоносія. Варіанти вихідних даних для розрахунків наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для розрахунку ефективної теплопровідності

№ варіанта	Теплопровідність волокна (λ), Вт/м $^\circ\text{C}$	Теплопровідність газу (λ_0), Вт/м $^\circ\text{C}$	Істинна густина (ρ), $\text{кг}/\text{м}^3$	Товщина виробу (d), мм	Маса 1м^2 (m), кг
1	0,19	0,028	1410	1,75	$699 \cdot 10^{-3}$
2	0,25	0,021	1395	3,01	$705 \cdot 10^{-3}$
3	0,18	0,025	1440	2,06	$701 \cdot 10^{-3}$
4	0,24	0,027	1295	2,53	$700 \cdot 10^{-3}$
5	0,20	0,028	1355	1,85	$681 \cdot 10^{-3}$
6	0,23	0,024	1437	3,42	$724 \cdot 10^{-3}$
7	0,21	0,022	1445	1,79	$701 \cdot 10^{-3}$
8	0,17	0,020	1285	1,53	$675 \cdot 10^{-3}$
9	0,26	0,030	1510	3,43	$733 \cdot 10^{-3}$
10	0,28	0,029	1300	2,78	$702 \cdot 10^{-3}$

Послідовність проведення розрахунків.

1. Визначаємо середню густина композиційного матеріалу:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{1 \cdot S}; \quad (5.10)$$

2. Знаходимо пористість композиційного матеріалу:

$$\Pi = \frac{1 - \rho_0}{\rho}; \quad (5.11)$$

3. Для композиційних матеріалів з впорядкованою структурою співвідношення коефіцієнтів теплопровідності армуючого волокна і газу, який заповнює порожнечу між волокнами визначаємо за формулою (5.12):

$$v = \lambda_0 / \lambda, \quad (5.12)$$

де λ_0 – теплопровідність газу, Вт/м·°С;

λ – теплопровідність волокна, Вт/м·°С.

4. Визначаємо величину ефективної теплопровідності композиційного матеріалу за формулою:

$$\lambda_{\text{эф.}} = \lambda \{(1-\Pi)^2 + v \cdot \Pi^2 + [4 v \cdot \Pi \cdot (1-\Pi)] / (1 + v)\}; \quad (5.13)$$

4. Визначення міцності арболіту. Міцність залежить від якості заповнювачів, умов полімеризації композиційного матеріалу і співвідношення питомих об'ємів цементного каменю та заповнювачів. Відповідно до даних табл. 5.5 за своїм варіантом знайти міцність арболіту.

Таблиця 5.5 – Вихідні дані для завдання 4

№ п/п	Активність цементу, кг/см ²	Питомий об'єм цементного каменю V _ц , м ³	Матеріал заповнювача	Міцність заповнювача R, МПа	Питомий об'єм заповнювача V _з , м ³	Коефіцієнт зчеплення β
1	410	0,15	Діорит	150-300	0,77	0,57;0,67
2	415	0,17	Андезит	140-250	0,75	0,59;0,69
3	420	0,18	Базальт	110-500	0,74	0,54; 0,64
4	425	0,19	Граніт	120-250	0,73	0,51;0,61
5	430	0,2	Діорит	160-290	0,72	0,52;0,62
6	435	0,21	Андезит	145-240	0,71	0,53;0,63
7	440	0,22	Базальт	115-490	0,7	0,56;0,66
8.	445	0,23	Граніт	125-240	0,69	0,58;0,68
9	395	0,24	Діорит	135-235	0,68	0,6;0,7
10	380	0,11	Андезит	154-290	0,81	0,51;0,61

Міцність бетону, насиченого полімером, при стиску визначають за формулою:

$$R_{\text{бп}} = R_{\text{ц}} \cdot V_{\text{ц}} + A \cdot R_{\text{з}} \cdot \beta \cdot V_{\text{з}}, \quad (5.14)$$

де $R_{6п}$ - міцність бетону, насиченого полімером, кг/см^2 ;

$R_{ц}$ - активність цементу, кг/см^2 ;

A - емпіричний коефіцієнт ($A = 0,35$);

$V_{ц}$ - питомий об'єм цементного каменя, м^3 ;

$R_з$ - міцність заповнювача, МПа ;

$V_з$ - питомий об'єм заповнювача, м^3 ;

β - коефіцієнт, який враховує міцність зчеплення цементного каменя із заповнювачем.

Зміст звіту

- 1 Оформити лабораторну роботу згідно з вимогами викладача.
- 2 Провести розрахунки арболіту.
- 3 Зробити висновки про вплив складу арболіту на його властивості.

Контрольні питання

- 1 З чого складається арболіт?
- 2 Що враховується при підборі складу арболітових сумішей?
- 3 Які властивості арболіту вам відомі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКУВАННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ

Мета роботи: Навчитися проводити розрахунки кількості модифікатора для підвищення властивостей полімерної матриці. Дослідити вплив модифікування на мікроструктуру та властивості полімерної матриці.

Короткі теоретичні відомості

Композиційні матеріали (КМ) - гетерофазні системи, одержані з двох або більше компонентів із збереженням індивідуальності кожного окремого компоненту. Згідно [1], [2] для композиційних матеріалів характерні наступні ознаки:

- склад і форма компонентів матеріалу визначені заздалегідь;
- компоненти присутні в кількості, яка забезпечує задані властивості матеріалу;
- матеріал є однорідним в макро- масштабі і неоднорідним в мікро- масштабі (компоненти відрізняються своїми властивостями, між ними існує межа розділення).

В більшості випадків компоненти композиції розрізняються за геометричною ознакою. Один з компонентів, який є безперервним по всьому об'єму, називають матрицею, компонент преривчатий, розділений в об'ємі, називають армуючою фазою. Матричними матеріалами можуть бути метали і їх сплави, органічні та неорганічні полімери, кераміка та інші речовини. Армуючими елементами частіше всього є тонкодисперсні порошкоподібні частинки або волокнисті матеріали різної природи. Досить широке використання знайшли полімерні композиційні матеріали. Композиційні матеріали на епоксидній основі широко використовують в машинобудуванні та інших галузях промисловості для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування.

Склопластики – один з перших конструкційних матеріалів на полімерній основі. Вони найбільш повно вивчені, їх давно використовують в судобудівництві, на транспорті, в будівництві, нафтохімічній, гірновидобувній та інших галузях промисловості. Склопластики з усіх КМ є найдешевшими. Тому їх застосування

виправдано в серійному і масовому виробництві. Висока корозійна стійкість, здатність до сприйняття ударних навантажень, відмінна якість поверхні і гарний зовнішній вигляд обумовили застосування склопластиків в спортивному виробництві і виробництві корпусів човнів, катерів, річкових та морських суден. Будівельні панелі, повітропроводи, реакційні апарати та різні ємкості, хімічно стійкі і міцні труби, корпуси насосів і вентиляторів – це далеко не повний список виробів із склопластиків, які використовуються в будівництві і хімічній промисловості. Видне місце займають ці матеріали в виробництві виробів для автомобільного та залізничного транспорту. З них виготовляють корпуси легкових автомобілей, кабіни грузовиків, баки для пального, цистерни для перевезення рідких та сипучих вантажів.

Гетинакс - електроізоляційний прошарковий матеріал, що має паперову основу, просочену фенольною або епоксидною смолою. Переважно використовуваний як основа для заготовок друкованих плат. Матеріал має низьку механічну міцність, порівняно низьку вартість та легко оброблюється. Широко використовується для дешевого виготовлення плат в низьковольтній побутовій апаратурі, бо в розігрітому стані допускає штампування (відразу виходить плата будь-якої форми разом зі всіма отворами). Через низьку вогнетривкість в наш час гетинакс не використовують у відповідальних електронних пристроях. Замість нього застосовують склотекстоліт, який перевершує гетинакс у вогнетривкості, міцності, зчепленні з фольгою і ряді інших параметрів, важливих для електроніки.

Текстоліт виготовляється з бавовняної тканини, просоченої фенолформальдегідною або крезолформальдегідною смолою, спресованої при підвищених температурах і тиску. Із текстоліту виробляють листки, стержні, трубки, але найбільш широко його застосовують для виготовлення шестерень, вкладишів, підшипників, шківів, прокладок, кілець. За своїми механічними показниками текстоліт перевищує гетинакс.

Органопластики. Низька густина, висока міцність, жорсткість, вологостійкість, хімічна стійкість і електричні та теплофізичні властивості органопластиків визначили їх застосування в якості матеріалів електро- і радіотехнічного, теплоізоляційного і теплозахисного, ерозійно- і корозійностійкого, фрикційного

призначення в виробках різних галузей промисловості. Найбільш повно міцність органічних волокон реалізується при розтягу, тому вигідним виявилось застосування односпрямованого органопластика для виготовлення методом намотки різноманітних посудин, які працюють при високих внутрішніх тисках, ємностей для рідких кисню і водню. Органопластики широко використовуються в якості теплоізоляції контейнерів для зберігання та транспортування зріджених природних газів, автомобілів – рефрижераторів та інш. Висока стійкість органопластиків до дії агресивних середовищ дозволяє широко використовувати їх для виготовлення хімічної апаратури. В сполученні з деревом вони широко використовуються у виробництві спортивних виробів: хокейних клюшок, тенісних ракеток, лиж та інш. Завдяки високим діелектричним характеристикам органопластики, які мають високі показники тривалої міцності і працездатності при підвищених температурах, застосовують в якості обмотувальних стрічок роторів електродвигунів.

Вуглепластики. Для вуглепластиків характерно сполучення ряду властивостей: високі значення жорсткості і міцності, відносно невелика густина, хімічна інертність, тепло- і електропровідність та інш. Важливим фактором, який визначає перспективність виробництва вуглепластику, є доступність та налагоджене виробництво вихідної сировини. Особливо важливе значення ці матеріали можуть набути при їх використанні для антикорозійного захисту обладнання хімічних виробництв.

Вуглепластики застосовуються для посилення металу в комбінованих конструкціях циліндричних баків, ємностей, які працюють під тиском; деталей, які знаходяться в полі дії відцентрованих сил або підлягають вібраціям. Застосування високомодульних вуглепластиків в обшивках та інших деталях конструкційного призначення гвинтокрилих забезпечує зниження маси до 30% і підвищує довговічність виробів. Вуглепластики знайшли застосування в якості обшивки трьохшарових панелей з сотовим, гофрованим або трубчатим заповнювачем в різних конструкціях.

Трьохшарові конструкції елементів поверхонь керування літаком (кермо, закрилки, гальмівні щитки, створки люків і т.д.) забезпечують зниження маси на 12...40%, а впровадження вуглепластиків для панелей підлоги та перегородок літаків зменшує вібрації та рівень

шуму на 20...30%. Біологічна сумісність вулецевого волокна з тканинами живого організму дозволяє використовувати вуглепластики для протезування та в медичних приладах. В останні роки вони використовуються для виготовлення різних спортивних товарів: рам велосипедів, тенісних ракеток, вудилищ, байдарок, яхт та інш. Висока хімічна стійкість вуглепластиків дозволяє застосовувати їх в хімічному машинобудуванні для виготовлення трубопроводів, цистерн, насосів, посудин, ущільнювачів та інших елементів конструкцій, які працюють в агресивних середовищах, а їх електропровідність використовується при створенні різних нагрівачів пристроїв.

Останнім часом досить широко використовуються ПКМ на основі епоксидної полімерної матриці у різних галузях промисловості. Введення навіть невеликої кількості модифікатору призводить до зміни фізико-механічних властивостей полімерної матриці, а отже і властивостей композитів в цілому.

Хід роботи

1. Розрахувати необхідну кількість епоксидної смоли для виготовлення 3 х зразків (форма і розміри зразків для випробування взяти з рис. 6.1).

2. Виготовити зразки з не модифікованої епоксидної смоли без наповнювача для подальшого порівняння властивостей модифікованих і не модифікованих зразків ПКМ.

3. Провести модифікування епоксидної матриці декількома модифікаторами за вказівкою викладача, або за власним вибором студентів у кількості не менше 2 х варіантів. Виготовити зразки з модифікованої епоксидної смоли без наповнювача для подальшого порівняння властивостей модифікованих і не модифікованих зразків ПКМ.

4. Після склування полімерної матриці підготувати зразки до випробування на міцність. Прибрати облой, нерівності та напливи, оглянути зразки перед випробуванням: ті з них, які мають раковини, тріщини, сколювання відбраковуються. На робочій частині зразків не повинно бути слідів механічної обробки та інших дефектів; зразки повинні бути без кривизни.

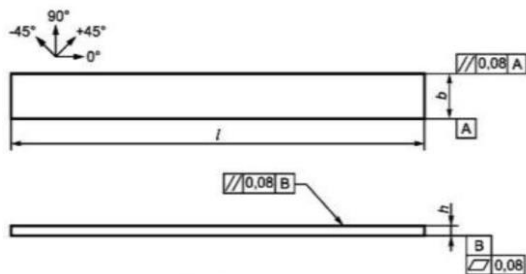


Рисунок 6.1 – Зразок з композитного матеріалу для випробування на розтягування, без накладок шириною 10 мм, довжиною 150...250 мм та товщиною 2...5 мм.

Для випробувань на розтяг використовують пласкі зразки (див. рис. 6.1). Перед випробуванням вимірюють поперечний переріз зразків довжину, товщину робочої частини і початкову ширину в міліметрах. Точність вимірювань плоских зразків - до 0,01мм. При використанні зразків без накладок їх кріплять в захопленнях через наждачний папір.

5. Провести випробування на розтяг та розрахувати властивості ПКМ. 6. Розрахувати властивості модифікованої полімерної матриці за формулою адитивності суміші та порівняти розрахункові властивості з експериментальними.

Зміст звіту

1. Описати методи виготовлення виробів з ПКМ.
2. Зарисувати схеми зразків з ПКМ для випробування на міцність.
3. Проаналізувати отримані результати та зробити висновки про вплив модифікування полімерної матриці на її властивості.

Питання для самоперевірки

1. Якими методами одержують вироби з полімерних композитів?
2. Галузі застосування склопластиків.
3. Галузі застосування органопластиків.
4. Галузі застосування вуглепластиків.
5. Галузі застосування боропластиків.
6. Якими речовинами модифікують епоксидну полімерну матрицю.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ МАКРО- ТА МІКРОСТРУКТУРИ МЕТАЛЕВИХ ТА НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи. Вивчення методики приготування зразків спечених та полімерних матеріалів для мікроскопічного аналізу. Приготування мікрошліфів механічними методами, опис мікроструктури композиційного матеріалу, визначення пористості спечених композиційних матеріалів.

Короткі теоретичні відомості

Експлуатаційні характеристики композиційних матеріалів, які одержуються методом спікання, визначаються їх мікроструктурою. Дослідження мікроструктури здійснюється методами мікроскопічного аналізу за допомогою оптичного або електронного мікроскопа. За результатами мікроскопічного аналізу можна визначити кількість, форму, розміри окремих фаз, їх взаємне розташування; наявні в зразку включення і мікрodefekти; форму, розміри зерен і пор. Мікроскопічний аналіз складається з наступних етапів: приготування мікрошліфів, травлення шліфів, власне дослідження мікроструктури.

Вивчення структури композиційних матеріалів передбачає оцінку структурних особливостей, таких як мікротріщини, неоднорідності складу, розподіл шарів армуючої речовини, пор за розмірами та ін. Однак такі аналізи можуть вважатися надійними лише при умові не якісного, а достовірного кількісного опису стану мікроструктури, кількісної оцінки наявності та характеру defekтів, а так само рівня деградації структури. Застосування сучасних методів комп'ютерної обробки зображення дозволяє кількісно описати структуру композиційного матеріалу.

Мікрошліфом називають невеликий зразок досліджуваного матеріалу, що має особливо приготовлену поверхню для мікроскопічного аналізу.

Підготовка шліфів композиційних матеріалів. Механічна обробка є найбільш поширеним методом підготовки матеріалографічних зразків до мікроструктурних досліджень. Для поетапного видалення матеріалу з поверхні зразка використовуються

абразивні частинки різного розміру. Механічна підготовка поділяється на дві операції: шліфування та полірування.

Шліфування. Перший крок механічного видалення матеріалу з поверхні зразка називається шліфуванням. Шліфування прибирає пошкодження або деформації з поверхні зразка і призводить до появи лише обмеженої кількості нових. Завдання шліфування - вирівняти поверхню з мінімумом ушкоджень, які можуть бути видалені в процесі полірування за гранично короткий термін. Шліфування підрозділяється на дві стадії: - вирівнювання поверхні - тонке шліфування. Першим кроком шліфування зазвичай є вирівнювання поверхні. Вирівнювання поверхні забезпечує досягнення однакового стану поверхні всіх зразків, незалежно від їх первісного стану і попередньої обробки. Крім того, коли кілька зразків готуються одночасно в одному утримувачі, необхідно, щоб оброблювана поверхня всіх зразків була на одному рівні. На цьому кроці використовуються грубі абразивні частинки. Залежно від типу оброблюваного матеріалу використовуються різні типи шліфувальних дисків (типи абразивних частинок) з твердістю HV 150...2000.

Результатом тонкого шліфування поверхні зразка є отримання поверхні з тим мінімумом деформацій, які можуть бути видалені в процесі подальшого полірування. Диски для тонкого шліфування використовуються разом з алмазної суспензією, що наноситься на їх поверхню через рівні інтервали часу. В результаті чого досягається постійний рівень видалення матеріалу з поверхні зразка. Вибір абразивної суспензії залежить від твердості оброблюваного матеріалу. Тонке шліфування складається з одного кроку. На якому, зазвичай, використовується абразив (алмази) розміром від 15 до 6 мкм. Використання алмазів як абразиву на дисках для тонкого шліфування забезпечує однакове видалення матеріалу по всій поверхні зразків (для твердих і для м'яких фаз), забезпечуючи їх ідеальну площинність і мінімальний час обробки на наступному етапі - поліруванні.

Полірування. Як і шліфування, полірування повинно прибрати пошкодження від попереднього кроку підготовки. Це досягається використанням декількох кроків обробки шкуркою з різним розміром абразивних частинок. Полірування може бути розділене на дві стадії: діамантове полірування і оксидне полірування. Алмази використовуються як абразив для швидкого видалення матеріалу і отримання найкращої площинності. Інших абразивів, що дозволяють

досягати аналогічних результатів не існує. Алмази мають дуже високу твердість, що дозволяє застосовувати їх для будь-яких матеріалів і фаз. Для досягнення найкращих результатів для деяких матеріалів, особливо м'яких і в'язких потрібно остаточне полірування. У цьому випадку використовується оксидне полірування. Колоїдний двоокис кремнію з розміром абразивних зерен 0,25 мкм і рН 9,8 дає чудові результати. Комбінація хімічної активності і легкого абразивного ефекту призводить до отримання поверхні абсолютно без подряпин і деформацій. Суспензія ОР-А, що містить оксид алюмінію, використовується для кінцевого полірування матеріалів на основі кераміки.

Тривалість полірування залежить від того, наскільки швидко полірована поверхня набуває необхідну відбивну здатність, що встановлюється за допомогою мікроскопа. Перераховані операції розбиваються кожна на кілька стадій і здійснюються вручну або механічно на плоских дисках за допомогою абразивних порошків різної крупності і твердості. З переходом від кожної попередньої стадії обробки шліфа до наступної, крупність застосовуваних абразивних порошків повинна спадати, причому, якщо розміри найбільш великих абразивних порошків виражаються в десятках частках міліметра, частки найбільш тонких порошків вимірюються кількома мікронами.

Абразивні порошки використовуються спільно з якою-небудь рідиною, в даному випадку з водою. Остання, перешкоджає розпорошенню абразиву і сприяє коагуляції знятих абразивом частинок вуглецевих матеріалів. Всі стадії шліфування призводять до поступового стирання поверхневого шару зразка, причому кожна наступна стадія повинна зменшити шорсткість, отриману при попередній стадії обробки. Кінцевою метою шліфування є підготовка до полірування, тобто отримання максимально тонкої шорсткості шліфа. В результаті ж полірування шорсткість повністю зникає, і шліф набуває дзеркального блиску. На правильно і добре відполірованому шліфі навіть найтоншим мікроскопічним спостереженням не вдається встановити шорсткості.

Вимоги до полірованих та шліфованих зразків з композиційних матеріалів:

- Поверхня, що шліфується повинна бути абсолютно плоскою, без «завалів» до країв шліфа.

- Ступінь полірування повинна бути однаковою як в центральній частині шліфа, так і на його краях.

- Порожнини викришування повинні бути відсутніми.

- Поверхня що шліфується не повинна мати подряпин, і структура його не повинна бути замазана, що заважає спостереженню.

На наведеній нижче фотографії, представлена мікрофотографія зразка матеріалу з різним типом виявленої структури (рис. 7.1).

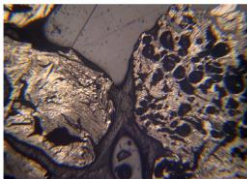
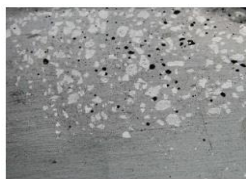


Рисунок 7.1 – Мікрофотографія матеріалу с різним типом структур.

Останнім часом отримання з різних вуглецевих матеріалів і електродів полірованих шліфів, на яких за допомогою мікроскопа можна було б визначити структуру, якісний склад матеріалів, крупність їх зерен і пор, а також визначити кількісне співвідношення різних складових, вже не представляє великих труднощів. На шлифі композиційного матеріалу необхідно розрізнити наповнювач, матрицю та пори.

На наведеній нижче фотографії проілюстрована різниця в оптичній структурі складових композиційного матеріалу (рис. 7.2 а). Світлі поля - включення, фон - матриця, темні плями - пори в матеріалі.



а



б

Рисунок 7.2 - Фотографія зразка композиційного матеріалу після полірування (а) та аналіз пористості зразків спеченого матеріалу (б) при невеликому збільшенні (розмір поля зору знімка 1x1 см).

При аналізі пористості зразка, збільшення залежить від розмірів досліджуваних пор (рис. 7.2 б). При проведенні будь-яких вимірювань по зображенню необхідно, щоб виміряні величини були представлені в фізичних одиницях виміру, а не в логічних одиницях (пікселах). Програма дозволяє вибрати схему калібрування, за допомогою якої можна призначити для зображення співвідношення між фізичними і логічними одиницями. Перш ніж схеми калібрування можна буде призначити, їх необхідно поставити. Задати нову схему калібрування можна двома способами: калібрувати по зображенню об'єкта-заходи, розміри якого відомі, або перерахувати з каліброваного схеми по відомій різниці збільшень. Окуляр зі шкалою дозволяє вимірювати довжини відрізків - відстані між двома точками. Зображення із зазначеними відрізками і значеннями відстаней може бути надруковано і скопійовано в буфер обміну. Також за цими даними можна зробити статистичну обробку.

Обладнання, інструменти, матеріали

Оптичний мікроскоп МІМ 7; зразки композиційних матеріалів; шліфувальні та полірувальні матеріали; фотоапарат; комп'ютер.

Порядок виконання роботи

Форма зразків для мікроскопічного дослідження може бути різною. У тому випадку, якщо досліджуваний матеріал отримують спеціально для дослідницьких цілей, зразки формують у вигляді циліндрів діаметром 6...10 мм і висотою 3...5 мм. Із композиційних матеріалів з полімерною основою та жорстких волокон зразки вирізають впоперек волокон. При приготуванні зразків з готових виробів їх вирізують у формі паралелепіпедів висотою 15...20 мм з площею шліфа 1...3 см². Різання здійснюють будь-яким з відомих способів. Найчастіше для цієї мети використовують верстати з ріжучими дисками, карбідними або металевими, покритими діамантовою крихтою.

Приготування мікрошліфів здійснюють механічним способом. Спочатку виробляють шліфування, а потім полірування поверхні. Зразки обробляють шліфувальними шкурками різних номерів з

поступовим зменшенням крупності частинок абразиву. Шліфують вручну або на спеціальних шліфувальних верстатах. При шліфуванні вручну шліфувальну шкурку поміщають на скло для створення рівної й твердої прокладки і зразок переміщують по цій шкірці. Шліфування потрібно проводити тільки в одному напрямку; при переході на шкурку іншого номера обробку проводять в напрямку, перпендикулярному до рисок, які залишилися після шліфування на попередній шкірці, поки ці ризики не будуть знищені, тобто шліф потрібно повертати на 90° .

У процесі шліфування зразок охолоджують водою. Після шліфування зразок ретельно промивають водою і просушують фільтрувальним папером. Для видалення дрібних рисок зразок по завершенню шліфування полірують на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий матеріалом (фетр, оксамит, тонке сукно). Матеріал періодично поливають водою з абразивним речовиною (оксид алюмінію, заліза, хрому і т.п.). Можна полірування проводити з використанням паст, наприклад, алмазних. До складу пасти, крім алмазного абразиву, входять хімічно активні речовини, а також зв'язуючі речовини.

При механічному способі полірування полірують, переміщаючи зразок від центру кола до периферії, після декількох проходів повертають зразок навколо осі на 90° . При поліруванні зразка вручну рух здійснюють у формі "вісімки", також періодично повертаючи зразок. Полірування вважається закінченим, коли поверхня зразка набуває дзеркального блиску і на ній навіть під мікроскопом не помітні ризики або подряпини. Після полірування зразок промивають послідовно водою і спиртом і просушують фільтрувальним папером.

Визначають якість композиційного матеріалу описуючи розташування наповнювача, відхилення шарів від заданої орієнтації і товщиною прошарку зв'язуючого. Вивчають, описують і замальовують структуру отриманого матеріалу за такими параметрами: наявність не просочених ділянок; наявність областей з надлишком зв'язуючого; наявність бульбашок і раковин; викривлення волокон наповнювача; відхилення від прямолінійності волокон; товщина прошарків зв'язуючого.

Для не просочених ділянок, областей з надлишком зв'язуючого, бульбашок і раковин визначають їх сумарну площу і відношення до загальної площі поверхні матеріалу. Матеріал вважається якісним,

якщо дефекти становлять не більше 5% від загальної площі поверхні матеріалу. При визначенні товщини прошарків проводять дослідження торцевих поверхонь під мікроскопом. Товщина прошарків і розподіл наповнювача повинні бути рівномірними, без викривлень.

Зміст звіту

1. Приготувати мікрошліфи зразків композиційних матеріалів, виданих викладачем.
3. Вивчити мікроструктуру зразків за допомогою мікроскопа.
4. Виміряти розміри пор матеріалу.
5. Розрахувати середню пористість спеченого композиційного матеріалу.
6. Навести результати спостережень у вигляді фотографій або малюнків.
7. Привести результати вимірювання мікропористості і розрахунки середньої пористості матеріалу.

Контрольні питання до лабораторної роботи

1. Які основні етапи мікроскопічного аналізу?
2. Яка методика приготування мікрошліфів.
3. У чому сутність і особливості виготовлення шліфів з композитів?
4. Які вимоги пред'являються до полірованих шліфів для мікроструктурного аналізу?
5. Як проводиться калібрування розмірів при мікрофотозйомки?

Список літератури

1. Композитні та порошкові матеріали: навч. посіб. / П.П.Савчук, В.П. Кашицький, М.Д. Мельничук, О.Л. Садова; за заг. ред. П.П. Савчука. – Луцьк: ФОП Теліцин О.В. - 2017. – 368 с.
2. Копань В. Композиційні матеріали: навч. посіб. ВНЗ /В.Копань; К.: Пульсари, 2004. – 193 с. 8.
3. Нові матеріали та композити: навчальний посібник / Ю.А.Буренніков, І.О. Сивак, С.І. Сухоруков – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 158с.
4. Солнцев Ю.П. Спеціальні конструкційні матеріали: Підручник / Ю.П. Солнцев, С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. Під наук. редакцією І.П. Волчка. – Запоріжжя: Валліс-Поліграф, 2010. – 536 с.
5. Волчок І.П., Плєскач В.М., Шестаков І.А. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії: Навч. посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, Дике Поле, 2006. – 360 с.
6. Robert F.Mehl. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys. – USA.- 1972 – 351p.
7. *Huppmann W. J., Dalal K. Metallographie Atlas of Powder Metallurgy.* Verlag Schmid GmbH, Freiburg i. Br. – 1986
8. Schumann H. Metallographie. - Leipzig: Dt. Verl. Für Grundstoffind., 1990. – 764 p
9. ATLAS OF CAST METAL-MATRIX COMPOSITE STRUCTURES / Jerzy Sobczak, Natalia Sobczak, Rajiv Asthana, Andrzej Wojciechowski, Krystyna Pietrzak, Dariusz Rudnik. – Poland- 2007. – 148p.