

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт з дисципліни  
"Теорія та технологія формування та спікання порошкових та  
композиційних матеріалів"  
для студентів денної та заочної форми навчання  
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» освітньої програми  
"Композиційні та порошкові матеріали, покриття"

2024

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни "Теорія та технологія формування та спікання порошкових та композиційних матеріалів" для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» освітньої програми "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" / Укл.: В.А.Савченко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 39 с.

Укладач: В.А. Савченко, доцент, к.т.н.

Рецензент: В.М. Плєскач, доцент, к.т.н.

Відповідальний  
за випуск: О. В. Петрашова, ст.лаб.

Рекомендовано до видання  
НМК ФБАД, протоко № 1  
від «30» серпня 2024 р.

Затверджено на засіданні  
кафедри КМХТ, протокол  
№ 1 від «06» серпня 2024 р.

## ЗМІСТ

Практична робота №1. Вивчення класифікації та основних особливостей різних груп порошкових матеріалів.....	4
Практична робота №2. Вивчення класифікації та основних особливостей різних груп композиційних матеріалів.....	8
Практична робота № 3. Визначення щільності, пористості та усадки після спікання.....	15
Практична робота № 4 Визначення кількості компонентів та їх співвідношення для отримання композитів.....	18
Практична робота № 5 Виготовлення металевих композитів інфільтрацією.....	24
Практична робота № 6 Виробництво металевих композитів відцентровим литтям.....	34
Список рекомендованої літератури.....	38
Додаток А. Склад та режими затвердіння полімерних зв'язуючих.....	39

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 ВИВЧЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ОСНОВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РІЗНИХ ГРУП ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

### **Мета роботи**

Ознайомитися із класифікацією порошкових матеріалів, розглянути їх склад та основні особливості.

### **Короткі теоретичні відомості**

Розвиток порошкової металургії дозволяє виготовляти велику частину деталей конструкційного призначення з порошкових матеріалів. Призначення порошкових конструкційних матеріалів полягає в заміні тих, що існують, отриманих традиційними методами. Об'єм застосування порошкових конструкційних матеріалів з кожним роком зростає в зв'язку з покращенням їх властивостей за рахунок застосування прогресивних технологічних способів виготовлення (високопродуктивних способів отримання порошків, високоенергетичних методів формування деталей і т. п.). Крім того, використання порошкових матеріалів дає значний економічний ефект за рахунок скорочення витрати металів, зниження капітальних вкладень, зменшення експлуатаційних витрат. Економія металу обумовлена різким зниженням об'єму механічної обробки заготовки, в результаті якої при традиційних методах обробки в стружку переводиться до 70 % її маси.

Основною вимогою, що пред'являється до порошкових матеріалів конструкційного призначення, є забезпечення безвідмовної роботи машин, апаратів, приладів в заданих умовах, протягом всього періоду експлуатації при мінімальних витратах матеріальних і енергетичних ресурсів на виробництво продукції.

Типовими порошковими деталями конструкційного призначення є шестерні, зірочки, кулачки, корпуси, кільця, шайби, кришки, фланці, ковпачки, накидні і спеціальні гайки, корпуси підшипників, статори, диски лопатевих насосів і багато інших деталей, які використовуються в різних галузях машинобудування.

Порошкові конструкційні матеріали класифікують залежно від умов їх експлуатації і ступеня навантаження. За умовами експлуатації порошкові конструкційні матеріали розділяють на дві групи:

– матеріали загального призначення, які замінюють звичайні вуглецеві і леговані сталі;

– матеріали із спеціальними властивостями – підвищеними зносостійкістю, твердістю, жароміцністю, жаростійкістю і корозійною стійкістю, магнітними, електро- і теплофізичними властивостями (рис.1. 1).



Рисунок 1.1. – Класифікація порошкових матеріалів конструкційного призначення

За ступенем навантаження порошкові конструкційні вироби підрозділяють на чотири групи: малонавантажені, помірнонавантажені, середньонавантажені і важко навантажені. Розділення на вказані групи проводиться залежно від межі міцності матеріалу на стиснення і його пористості. Так, межа міцності малонавантажених деталей не перевищує 20 – 25 % межі міцності безпористого матеріалу при пористості 16 – 25 %. Деталі, виготовлені з такого матеріалу, не піддаються розрахунку на міцність, а їх розміри вибираються з конструкційних і технологічних міркувань (кришки приладів, ковпачки, заглушки і т.п.).

Для помірно навантажених деталей, виготовлених з матеріалів пористістю 10...15 %, межа міцності на стиснення складає 50...55 % межі міцності безпористого матеріалу.

Для середньонавантажених і важко навантажених деталей використовують матеріали, межа міцності на стиснення яких складає відповідно 70...75 і більше 90 % межі міцності безпористого матеріалу (шестерні, важелі, кулачки і т. д.). Деталі цієї групи піддаються розрахункам на міцність, жорсткість і довговічність в заданих умовах експлуатації.

Міцність порошкових конструкційних деталей істотно залежить від пористості і стану міжчасткових контактів, що визначаються умовами отримання деталей, а також від виду напруженого стану і умов їх випробування. При однакових складі матеріалу і умовах його отримання основним чинником, що визначає його властивості, є пористість, змінюючи яку можна отримувати порошкові конструкційні матеріали для різних умов експлуатації. Представляється також можливість виготовляти деталі з мінімальною масою і приблизно однаковим ресурсом роботи, що дозволяє знижувати металоємність машин і конструкцій.

Проте пористість конструкційних матеріалів обмежується 25 %, оскільки при великих її значеннях спостерігається інтенсивна корозія і знижується надійність деталей.

## **Обладнання, інструменти, матеріали**

Зразки порошкових матеріалів, інтернет.

### **Порядок виконання роботи**

Дана робота виконується студентами відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки. Студенти роздивляються зразки порошкових матеріалів. Пропонують технологію виготовлення деталі за вказівкою викладача. Порівнюють собівартість виготовлення деталей порошковою металургією та литтям.

### **Зміст звіту**

1. Вивчити принципи класифікації порошкових матеріалів.
2. Ознайомитись зі зразками.
3. Визначитися з технологією виготовлення виробу з порошкового матеріалу, використовуючи технічну літературу.
4. Порівняти собівартість виготовлення виробу різними методами.
5. Оформити результати досліджень і скласти звіт.

### **Питання для самоперевірки**

1. Які матеріали називають порошковими?
2. Які характерні ознаки порошкових матеріалів?
3. В чому переваги технологій порошкової металургії?
4. В чому недоліки порошкової металургії?

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 ВИВЧЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ОСНОВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РІЗНИХ ГРУП КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

### **Мета роботи**

Ознайомитися із класифікацією композиційних матеріалів, розглянути їх склад та основні особливості.

### **Короткі теоретичні відомості**

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

- 1). склад і форма компонентів матеріалу визначені заздалегідь;
- 2). компоненти присутні в кількості, яка забезпечує задані властивості матеріалу;
- 3). матеріал є однорідним в макромасштабі і неоднорідним в мікромасштабі (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 переривчастий, 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.

В залежності від виду армуючого компоненту композити діляться на дві основні групи: дисперсно-зміцнені та волокнисті, які відрізняються структурою та механізмами утворення високої міцності. Дисперсно-зміцнені композити - це матеріал, в матриці якого рівномірно розподілені тонкодисперсні частинки іншої речовини. В таких матеріалах при навантаженні все навантаження сприймає матриця, в якій за допомогою великої кількості нерозчинених в ній



частинок іншої речовини утворюється дислокаційна структура, яка має низьку пластичність, а значить високу міцність та жорсткість.

У волокнистих композитів матриця (частіше всього пластична) армована високоміцними волокнами, дротом, ниткоподібними кристалами. В цих матеріалах все навантаження сприймають волокна, а матриця перерозподіляє навантаження між волокнами.

Головною перевагою композитів є можливість утворювати з них елементи конструкцій з заздалегідь заданими властивостями, які найбільш повно відповідають характеру та умовам роботи. Різновидність волокон і матричних матеріалів, а також схем армування, які використовуються при утворенні композитів, дозволяє спрямовано регулювати міцність, жорсткість, рівень робочих температур та інші властивості шляхом підбору складу, змін співвідношення між компонентами макроструктури композиту.

Для композиційних волокнистих матеріалів існує декілька класифікацій, в основу яких покладено різні ознаки, наприклад, матеріалознавчий (за природою армуючого компоненту та матриці); конструктивний (за типом арматури та її орієнтації в матриці). У вищезгаданих класифікаціях може бути виділено декілька груп композиційних матеріалів. До таких груп слід віднести композити з полімерною матрицею (пластики), композити з керамічною матрицею і матрицею з вуглецю.

В залежності від природи армуючих волокон розрізняють, наприклад, наступні композити з полімерною матрицею:

- вуглепластики;
- боропластики;
- органопластики;
- склопластики і т.д.

Назви полімерних КМ складаються з двох частин: В першій – вказується на матеріал волокна, другою є слово "пластик" або "волокніт". Наприклад, ПКМ, армований скляними волокнами, називають склопластиком або скловолокнітом, металевими – металопластики (металоволокніти) і т.ін.

Для металевих та неорганічних КМ використовують подвійне позначення: на початку пишуть матеріал матриці, потім матеріал волокна. Наприклад, позначення Cu-W відноситься до КМ з мідною матрицею з вольфрамовими волокнами;  $Al_2O_3$ -Mo до КМ на основі  $Al_2O_3$  з арматурою з молібденових волокон.

Існують аналогічні за назвами композити і на інших матрицях. На рис. 2.1. представлена класифікація композитів за конструктивними ознаками.

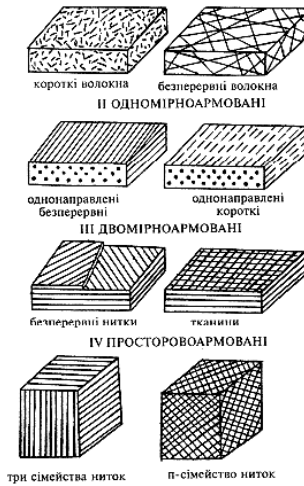


Рисунок 2.1 – Класифікація композитів за конструктивною ознакою.

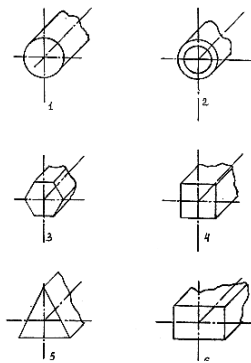
Властивості композитів залежать не лише від властивості волокон та матриці, а і від способу армування. Розрізняють композити, утворені з шарів, армованих паралельними безперервними волокнами; тканинами (текстоліти); з хаотичним армуванням та армуванням в просторі. Частіше для армування матриці з синтетичних смол використовують скляні, вуглецеві, органічні, борні волокна та волокна карбїду кремнію.

В якості армуючих елементів при утворенні композитів на основі металевих матриць використовують тонкі дроти зі сталі, вольфраму, берилію, титану та інших металів. Скляні волокна широко застосовуються при утворенні склопластиків. При порівняно малій густині ( $2,4 \dots 2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) вони мають велику міцність, малу теплопровідність, теплостійкі, стійкі до хімічної та біологічної дії.

Форма перетину (рис. 2.2 ) скловолокна буває різна - коло 1, порожні волокна 2 і профільовані з формою у вигляді шестикутника 3,

квадрату 4, трикутника 5, прямокутника 6. Скляні волокна застосовують в якості армуючих елементів композитів у вигляді жмутів та ниток з елементарних волокон, стрічок, тканин різного плетіння, матів, полотен та інших нетканих матеріалів.

Органічні волокна (на основі ароматичних поліамідів) застосовують для одержання високоміцних і високомодульних композитів з полімерною матрицею (органопластиків). Високомодульні і високоміцні арамідні волокна мають унікальний комплекс властивостей: високі міцність при розтягуванні та модуль пружності, термостабільність, яка дозволяє експлуатувати їх в широкому інтервалі температур, хороші діелектричні властивості, незначну повзучість. Завдяки малій густині арамідні волокна за питомою міцністю перевершують всі відомі на сьогодні армуючі волокна та металеві сплави, поступаючись за питомим модулем пружності вуглецевим та борним волокнам.



1 – коло; 2 – порожністі волокна; 3 – шестикутник; 4 – квадрат;  
5 – трикутник; 6 – прямокутник.

Рисунок 2.2 – Форма перетину скляних волокон.

Вуглецеві волокна мають комплекс цінних, а по ряду показників унікальних механічних і фізико-хімічних властивостей. Вуглецевим волокнам характерна велика теплостійкість, малі коефіцієнти тертя та термічного розширення, велика стійкість до впливу атмосфери і хімічних реагентів, різні електрофізичні властивості (від

напівпровідників до провідників). Вони можуть мати дуже розвинену поверхню ( $1000 \dots 2000 \text{ м}^2/\text{г}$ ). Вуглецеві волокна поділяють на карбонізовані (температура термообробки  $1173 \dots 2273\text{K}$ , вміст вуглецю  $80 \dots 90\%$ ) і графітізовані (температура термообробки до  $3273\text{K}$ , вміст вуглецю вище  $99\%$ ).

Існує два основних типи вихідних матеріалів для отримання вуглецевих волокон: хімічні волокна, віскозні або поліакрилонітрильні волокна (ПАН) і вуглецеві пеки, ГЦ-волокна. Характерна риса вуглецевої структури - закриті пори, які можуть займати до  $33\%$  волокна. Пори мають голкоподібну форму та орієнтовані вздовж волокна. Середня довжина пор досягає  $0,02 \dots 0,03 \text{ мкм}$ , діаметр біля  $0,001 \dots 0,003 \text{ мкм}$  (рис.2.3). Підвищення кількості пор веде до втрати міцності на розтягування.

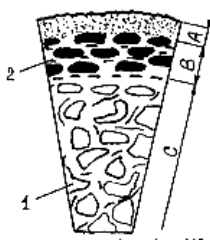


Рисунок 2.3 – Структура вуглецевого волокна: зона, 1 – мікрофібрили, 2 – аморфний вуглець.

Борні волокна – композити на основі борних волокон мають високий модуль пружності та високу міцність на стискання і розтяг, вони являють собою суцільні моноволокна, неоднорідні за структурою та анізотропні за властивостями, діаметром  $5 \dots 200 \text{ мкм}$ . Традиційним методом їх отримання є хімічне осадження при температурі до  $1400\text{K}$  із суміші газів на вольфрамову підкладку у вигляді ниток. Волокна бору, покриті тонким шаром карбиду кремнію, називають "борсиком". Волокна виробляють як у вигляді напівфабрикату, так і на бабінах. Вони знаходять широке застосування з матрицями на основі полімерів та алюмінію. Композиційні матеріали з волокон бору та матриці з алюмінію мають багато переваг: вони працюють при температурі до  $640\text{K}$  та переробляються на звичайному технологічному обладнанні.

Волокна карбіду кремнію, як правило, застосовуються в металокомпозитах, які експлуатуються при високих температурах. Карбідокремнієві волокна на вуглецевій основі мають дрібнозернисту будову (розмір зерен 0,5...1,0мкм), вуглецевий сердечник слабо зв'язаний з шаром карбіду кремнію (в зв'язку з відсутністю зони дифузійної взаємодії). Металеві волокна або дроти є найбільш економічним і ефективним армуючим матеріалом. Для конструкційних композитів, які експлуатуються при низьких та помірних температурах, використовують сталеві і берилієві дротяні волокна; для композитів, які використовують при помірних та високих температурах – вольфраміві та молібденові.

### **Обладнання, інструменти, матеріали**

Зразки композиційних матеріалів: волокниста структура; матричний матеріал; полімерні композиційні матеріали; вироби із композиційних матеріалів. Зломи та шліфи композитів: волокнистих; дисперсно-зміцнених, скляні трубки, газовий пальник, металевий пінцет. Мікроскоп.

### **Порядок виконання роботи**

Дана робота виконується студентами відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки. Студенти роздивляються стенди та зразки композиційних матеріалів. Вивчають ескізи досліджуваних зразків та описують їх будову, визначають компоненти, з яких виготовлені дані матеріали.

За допомогою газового пальника розігріти скляну трубку до червоного стану та за допомогою пінцету спробувати провести витягування скляного волокна. При цьому рухи повинні бути плавними та повільними. Після отримання волокон різної довжини виміряти їх товщину та за допомогою мікроскопу дослідити їх геометрію та макроструктуру. Результати практичної роботи оформити у вигляді звіту.

### **Зміст звіту**

1. Вивчити принципи класифікації композиційних матеріалів.
2. Ознайомитись зі стендами.
3. Зарисувати та описати структури зразків, визначити матеріал та метод одержання композиту.
4. Замалювати макроструктуру отриманого скляного волокна.
5. Оформити результати досліджень і скласти звіт.

### **Питання для самоперевірки**

1. Які матеріали називають композиційними?
2. Які характерні ознаки композиційних матеріалів?
3. Що таке матриця і армуючий компонент?
4. Як класифікують композиційні матеріали?
5. Від чого залежить назва КМ?
6. Які властивості мають КМ з вуглецевою матрицею?
7. Які властивості мають КМ з металевою матрицею?
8. Яку форму перетину мають скляні волокна?
9. Які властивості борних волокон?

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №3** **ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ, ПОРИСТОСТІ ТА УСАДКИ** **ПІСЛЯ СПІКАННЯ**

### *Мета роботи*

Дослідити вплив гранулометричного складу порошків, тиску пресування, температури спікання і часу ізотермічної витримки на щільність, пористість, коефіцієнт усадки, твердість, мікроструктуру спечених брикетів.

### *Короткі теоретичні відомості*

Спікання однокомпонентних металевих систем, що відбувається повністю в твердій фазі, є одним з найбільш простих і поширених процесів в практиці порошкової металургії. При нагріванні брикетів видаляються адсорбовані гази, волога, мастильні та сполучні речовини і інші леткі домішки, відновлюються окисні плівки, якщо спікання виробляється в відновлювальній атмосфері. Це призводить до утворення контактів між дотичними частинками.

При подальшому підвищенні температури атоми набувають досить високу рухливість і переміщуються так, що вільна енергія системи знижується, тобто з виступів в поглиблення, западини. В обсязі брикету це призводить до згладжування поверхні частинок, зростання металевих контактів, сфероїдизації пор. Однак, поверхнева дифузія, сприяючи збільшенню і зміцненню контактів між частинами, сфероїдизації пор, не забезпечує усадку тіла, що спікається. Заростання пористості при спіканні може відбуватися шляхом об'ємної дифузії в результаті наявності градієнта вакансій. Основним механізмом усадки при спіканні є повзучість. Вона може здійснюватися шляхом руху дислокацій і переміщенням вакансій. Ступінь реалізації кожного з цих процесів залежить від природи речовини, температури, напруг.

Швидкість усадки на різних стадіях спікання різна. Характерною особливістю кінетики усадки є висока її швидкість в початкові моменти і поступове уповільнення під час ізотермічної витримки. Іншою важливою особливістю процесу усадки є те, що

після ізотермічної витримки, коли усадка практично припинилася, при подальшому підвищенні температури знову спостерігається збільшення швидкості усадки.

Зазвичай температура спікання знаходиться в межах  $T_{сп}=(0,7...0,8) T_{пл}$ .

Режим спікання визначається температурою і часом витримки. Чим вище температура, тим коротше може бути витримка. Як правило, температура, і час витримки вибираються в кожному конкретному випадку в залежності від необхідних властивостей готових виробів.

Великий вплив на властивості готових виробів надає атмосфера спікання. Часто в якості газового середовища застосовується очищений водень або дешевші відновлювальні гази (дисоційований аміак, конвертований природний газ, генераторний газ і ін.), А також інертні гази. Хороші результати забезпечує спікання у вакуумі. Іноді (наприклад, для благородних металів) спікання можна виробляти без захисної атмосфери. У ряді випадків можна проводити спікання в контейнерах з деревним вугіллям, графітом, відпрацьованим карбюратором. У цьому випадку утворюється в контейнері окис вуглецю, який забезпечує захист пресовок від окислення.

### **Обладнання, інструменти, матеріали**

Віброустановка для розсівання порошків, набір сит, прес, прес-форма, вакуумна піч, прилад для визначення твердості, оптичний мікроскоп, ваги, мікрометр, залізний порошок.

### **Порядок виконання роботи**

1. Під керівництвом викладача вивчити будову та принцип роботи вакуумної печі.
2. Провести розсіювання залізного порошку за фракціям менше 50 мкм (дрібний), від 160 мкм до 200 мкм (великий), понад 200 мкм (суміш).
3. Приготувати по одному навішуванні порошків дрібної і крупної фракції і 8 навісок суміші.



4. Спресувати зразки при тисках згідно з табл. 3.1. Зразки зважити, обміряти мікрометром, пронумерувати, дані внести в таблицю 2.1.

5. Спикати пронумеровані зразки згідно з даними в табл. 3.1.

6. Спечені зразки обміряти, зважити, підрахувати їх щільність і усадку.

7. Виміряти твердість зразків, виготовити мікрошліфи, на яких за допомогою мікроскопа дослідити розміри, форму, розподіл пористості.

8. Вимірювання проводити по 3 рази, усереднені дані внести в таблицю.

Таблиця 3.1. – Результати експерименту

№ зразка	Гран. склад	$P_{пр}$ , МПа	$t_{сп}$ , °C	$\tau$ , ч	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$(\Delta h/h_{пр}) \times 100\%$	НВ (HRB)
1	суміш	100	1200	1			
2	суміш	200	1200	1			
3	суміш	300	1200	1			
4	суміш	500	1200	1			
5	дрібний	300	1200	1			
6	крупний	300	1200	1			
7	суміш	300	1050	1			
8	суміш	300	1350	1			
9	суміш	300	1200	0,5			
10	суміш	300	1200	2			

### Зміст звіту

1. Всі результати досліджень заносяться до таблиці та оформляються у вигляді графіків і фотографій.

2. У звіті представити блок-схему вакуумної печі.

3. За результатами дослідження зробити висновки про вплив гранулометричного складу, тиску пресування, режимів спікання на фізико-механічні характеристики спечених зразків (за зразками № 1-4 робляться висновки про вплив тиску пресування, зразків № 3, 5, 6 - про вплив гранулометричного складу, № 3, 7, 8 - про вплив температури спікання і № 3, 9, 10 - про вплив часу ізотермічної витримки на властивості після спікання).

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №4**

### **ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ЇХ СПІВВІДНОШЕННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИТІВ**

#### *Мета роботи*

На основі заданих компонентів виготовити композиційний матеріал із заданою структурою та співвідношенням компонентів.

#### *Короткі теоретичні відомості*

Термін «композиційні матеріали» з'явився в той час, коли треба було знайти найбільш ємну назву нового класу матеріалів, що складаються з армуючого компонента і зв'язуючого. Сучасні композиційні матеріали не тільки мають широкий спектр фізико-механічних властивостей, але і здатні до спрямованої їх зміни, наприклад підвищення в'язкості руйнування, регулювання жорсткості, міцності і т. д.

Особливість волокнистої композиційної структури полягає в рівномірному розподілі високоміцних, високомодульних волокон в пластичної матриці. Матеріали з волокнистими наповнювачами підрозділяються на пластики з короткими волокнами, в тому числі штапельними, рубаними нитками або джгутами і з безперервними елементарними волокнами, джгутами, пасмами, нитками, стрічками. У шаруватих матеріалів матриця армована послідовними шарами, що чергуються з наповнювачем.

Наповнювачі впливають на найрізноманітніші властивості композиційних матеріалів і визначають можливі способи переробки цих матеріалів у виробі. Характер і ступінь впливу наповнювача на властивості полімерних композиційних матеріалів залежать від природи, структури, вмісту наповнювача полімерних композиційних матеріалів, форми, розміру, взаємного розташування частинок або волокон, їх просторової орієнтації, міцності зчеплення з основою.

Вміст компонентів характеризується об'ємною або масовою часткою. При теоретичних розрахунках зазвичай використовують об'ємну частку, а при технологічних розрахунках або в експерименті - масову частку. Характерним розміром волокон наповнювача є

діаметр, для елемента шаруватої структури – товщина шару; характерним розміром зв'язуючого є товщина прошарку.

Як відомо, просторова орієнтація для ізометричних часток не має значення, а для анізотричних – має важливе значення, так як від орієнтації залежать властивості отриманого композиційного матеріалу. Наповнювачі полімерів дозволяють практично необмежено направлено регулювати технологічні і експлуатаційні властивості матеріалів. Властивості наповнених полімерних матеріалів конструкційного призначення, способи їх отримання та переробки у виробі в значній мірі визначаються природою полімерної матриці і наповнювача, їх об'ємним співвідношенням, характером взаємного розподілу і взаємодією на межі поділу.

При виготовленні виробів з композиційних матеріалів попередньо визначаються технологічні властивості полімерних сполучних: в'язкість, час гелеутворення. Визначення часу гелеутворення є одним з важливих параметрів - воно характеризує тривалість зберігання просоченого матеріалу (препреги) і температури переробки матеріалу в виробі. Загальна тривалість процесу отримання композиційного матеріалу від моменту отримання замісу зв'язуючого не повинна перевищувати потроєного часу гелеутворення при кімнатній температурі.

Один з основних компонентів армованих пластиків - зв'язуюче - являє собою полімер з різними добавками, ним просочується армуючий волокнистий наповнювач. Після затвердіння полімер склеює між собою волокна або шари наповнювача, забезпечуючи їх спільну роботу в композиті. Для отримання армованих пластиків широко застосовуються зв'язуючі на основі поліефірних, епоксидних і модифікованих фенолоформальдегідних смол. В якості наповнювачів застосовуються орієнтовані матеріали: стрічки, тканини, нитки, ровінги.

Процес виготовлення пластин композиційного матеріалу складається з послідовних операцій:

- Визначення типу зв'язуючого і наповнювача;
- Розрахунок співвідношення компонентів композиційного матеріалу;
- Виготовлення зв'язуючого - змішування компонентів в заданих пропорціях;

- Розрізання наповнювача на заготовки відповідно до розмірів форми;
- Нанесення зв'язуючого на шари наповнювача і послідовне з'єднання просочених шарів;
- Укладання набраного пакета між плитами преса і затвердіння відповідно до заданих режимів.

### **Обладнання, інструменти, матеріали**

Компоненти для приготування зв'язуючого (епоксидна смола, клей ПВА), наповнювач з тканини, ножиці, ваги, жорсткі пластини для укладання шарів, муфельна піч.

### **Порядок виконання роботи**

1. Спочатку визначають необхідний об'єм  $V_{км}$  (м<sup>3</sup>) пластини композиційного матеріалу.

$$V_{км} = l \cdot b \cdot h \quad (4.1)$$

де  $l$  – довжина,

$b$  – ширина,

$h$  – товщина пластини композиційного матеріалу.

Товщину вибирають в залежності від стандарту на випробування композиційного матеріалу ( $h = 2 \dots 8$  мм).

Знаючи об'єм матеріалу, визначають його масу  $m_{км}$ , кг

$$m_{км} = \rho_{км} \cdot V_{км} \quad (4.2)$$

де  $\rho_{км}$  – щільність композиційного матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

Щільність матеріалу  $\rho_{км}$  (кг/м<sup>3</sup>) визначають із середнього значення, знаючи співвідношення компонентів (літературні дані).

$$\rho_{\text{КМ}} = \rho_a \cdot P_a + \rho_c \cdot P_c, \quad (4.3)$$

де  $\rho_a$  – щільність арматури, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_c$  – щільність зв'язуючого, кг/м<sup>3</sup> (визначається за правилом суміші);

$P_a$ ,  $P_c$  – об'ємний вміст арматури і зв'язуючого в композиційному матеріалі відповідно, частки одиниць.

Ступінь наповнення для технологічного процесу задається в масових частках, а для розрахунків - в об'ємних частках. Зв'язок між масовим  $C$  і об'ємним  $P$  вмістом компонентів виражається співвідношеннями:

$$C_a = \frac{P_a \cdot \rho_a}{P_a \cdot \rho_a + P_c \cdot \rho_c}, \quad C_c = 1 - C_a \quad (4.4)$$

$$P_a = \frac{C_a \cdot \rho_c}{C_a \cdot \rho_c + C_c \cdot \rho_a} \quad (4.5)$$

Припускають, що пористість відсутня, тобто дорівнює нулю.

Масу компонентів ( $g$ ) для виготовлення пластини композиційного матеріалу визначають з їх масового співвідношення:

$$m_a = m_{\text{КМ}} \cdot C_a, \quad m_c = m_{\text{КМ}} \cdot C_c \quad (4.6)$$

де  $m_a$ ,  $m_c$  – маса наповнювача і зв'язуючого відповідно, кг;

$C_a$ ,  $C_c$  – масовий вміст наповнювача і зв'язуючого відповідно; частки од.

Далі визначають число шарів тканого наповнювача  $N_a$  для виготовлення композиційного матеріалу:

$$N_a = \frac{m_a}{m_{1c}}, \quad (4.7)$$

де  $m_a$  – маса арматури, г;

$m_{1c} = \gamma_a \cdot l \cdot b$  – маса одного шару арматури, г, визначається розрахунковим шляхом або зважуванням;  
 $\gamma_a$  – поверхнева щільність шару армуючого матеріалу, г/м<sup>2</sup>.

Отримане значення  $N_a$  округлюють до цілого (найближчого більшого).

Перераховують масу зв'язуючого для підтримки заданого ступеня наповнення. Після розрахунку враховують технологічні відходи, наприклад залишки зв'язуючого на інструменті, для чого кількість зв'язуючого збільшують приблизно на 20%.

Аналогічно проводять розрахунок компонентів для всіх видів композиційних матеріалів. За результатами розрахунків заповнюють технологічну карту отримання композиційного матеріалу табл. 4.1.

**Виготовлення пластини композиційного матеріалу.** З компонентів виготовляють плиту композиційного матеріалу з розмірами 250 × 250 мм методом пошарового викладання.

Розрізаний наповнювач пошарово просочують отриманим зв'язуючим, ретельно прокочують роликком для видалення повітряних бульбашок і укладають на пластину, змащену антиадгезивом або покриту шаром промасленого паперу.

Зв'язуюче рівномірно розподіляють по поверхні наповнювача, не допускаючи його віджимання. Після набору необхідного пакету з просочених шарів зверху укладають жорстку пластину і, при необхідності, вантаж. Затвердіння проводять за режимами, які відповідають для обраного типу зв'язуючого (додаток Б).

Таблиця 4.1. – Технологічна карта на виготовлення композиційного матеріалу

Матеріал	Виріб, зразок, заготовка			Об'єм, см <sup>3</sup>	Кількість, маса, г
	Розміри, мм				
	довжина	ширина	товщина		

Компоненти	Норматив	Стан, розміри	Вміст, мас. %	Кількість, г
Наповнювач				
Зв'язуюче				

### Зміст звіту

1. Розрахувати за заданими параметрами необхідну кількість компонентів для композиційних матеріалів.
2. Згідно з розрахунками виготовити композиційний матеріал.
3. Візуально визначити якість композиту.

### Контрольні питання

1. Яким чином розраховують маси компонентів у композиційному матеріалі?
2. З яких послідовних операцій складається процес виготовлення композиційного матеріалу методом пошарової укладки?
3. Яким основним параметром структури характеризуються армовані пластики?
4. Які особливості методів визначення співвідношення компонентів в композиційному матеріалі.
5. Якими параметрами характеризується структура термореактивних композиційних матеріалів і як вони визначаються?

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №5**

### **ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОМПОЗИТІВ ІНФІЛЬТРАЦІЄЮ**

#### *Мета роботи*

Вивчення теоретичних основ і технологічних прийомів отримання волокнистих композиційних матеріалів (КМ) методом інфільтрації. Оцінка вплив технологічних параметрів просочення на властивості міцності волокнистих композиційних матеріалів.

#### *Короткі теоретичні відомості*

Метод інфільтрації (просочення) широко застосовується для виготовлення різних КМ. Підвищений інтерес до цього методу більшою мірою пов'язаний з тим, що він дозволяє виготовляти композиції, отримання яких іншими методами або неможливо, або нерационально. Основні його переваги перед твердофазними методами полягають у можливості отримання виробів складної форми, підвищення продуктивності процесу, меншому силовому впливі на тендітні компоненти, можливості використання джгутових і тканих армуючих матеріалів, реалізації безперервних технологічних процесів. Просочені матеріали широко застосовують для виготовлення електричних контактів, підшипників ковзання, конструктивних елементів з підвищеними демпфуючими властивостями, як високоміцних; термостійких, жароміцних, окалиностійкість матеріалів і ін. Їх застосування в техніці з кожним роком розширюється, з'являються нові системи з невідомими раніше властивостями.

При інфільтрації розплавлений метал заповнює проміжки між волокнами або пори твердого тіла. За рахунок взаємодії розплавленого металу з волокнами (пучками волокон) або твердим пористим тілом відбувається формування композиційного матеріалу. Міцність композиційного матеріалу істотно вище міцності вихідних волокон (пористого твердого тіла) і матриці (матеріалу розплаву). Технологічні прийоми, що використовують при отриманні КМ методом просочування, відрізняються, головним чином, способами створення тиску на рідкий метал, яке повинно забезпечити заповнення простору



між волокнами або пор у твердому тілі. Просочення здійснюють різними способами:

- нагріванням форми, що містить волокна і матеріал матриці у вигляді фольги, порошку або покриття на волокнах до або вище температури плавлення матеріалу матриці з наступним обпресуванням форми;
- зануренням в розплав або заливкою розплаву в форму в вакуумі, в захисному середовищі або на повітрі;
- вакуумним всмоктуванням розплаву;
- подачею розплаву в форму під тиском;
- відцентровим литтям і т.д.

Для всіх варіантів просочення загальним є наявність ливарної форми з зафіксованими в ній волокнами. Найбільш широко в промисловості застосовуються два варіанти просочення: 1) просочення у вакуумі і 2) просочення під тиском. Просочення, що здійснюється під впливом перепаду тисків, які перевищують атмосферний, наприклад, за допомогою стиснутих газів або механічним шляхом, називається просоченням під тиском.

Просочення передбачає заповнення пористості заготовки рідким металом чи сплавом, який добре змочує матеріал пористого тіла. Метод просочення для отримання матеріалів і виробів із порошків має ряд переваг перед іншими методами порошкової металургії, зокрема, спіканням: короточасність процесу; отримання матеріалів, які практично не мають пористості; поєднання матеріалів, сплави яких не можна отримати плавленням або спіканням; застосування легкої складової у вигляді литого металу або пресованої стружки; знижена потужність пресового обладнання (так як заготовки для просочення мають пористість не нижче 15...25%, для їх отримання не потрібен великий тиск). Спікання в присутності рідкої фази також дозволяє отримувати практично без пористі композиції, проте у більшості випадків для цього потрібні більш високі температури і більш тривалі витримки, а іноді і додаткові операції пресування і спікання.

Поряд з цим застосування методу просочення в порошковій металургії пов'язано з рядом обмежень, основними з яких є наступні:

- температури плавлення складових повинні суттєво відрізнятися;

- взаємна розчинність компонентів повинна бути мінімальною; взаємодія фаз не повинно призводити до зниження експлуатаційних характеристик матеріалу;

- легкоплавка складова повинна змочувати тугоплавку; у процесі просочення не повинні утворюватися нові фази, які внаслідок збільшення об'єму або підвищення в'язкості могли б перешкоджати переміщенню матеріалу, що просочує в порах;

- щоб уникнути розчинення каркасу матеріалу сплав, що просочує повинен бути рівноважним по відношенню до матеріалу матриці при температурі просочення;

- атмосфера, в якій ведеться просочення, повинна бути сумісна з обома складовими і забезпечувати максимальну ступінь просочення.

Температура, при якій проводиться просочення, на 50...100°C повинна перевищувати температуру плавлення металу. Швидкість просочення становить кілька десятих міліметра в секунду. Товщина шару просоченого залежить від властивостей розплаву і часу його контакту з твердим каркасом.

У практиці порошкової металургії отримують різноманітні вироби з W-Cu, W-Ag, Fe-Cu, Fe-Pb, Fe-Mg та інших композицій. В системі W-Cu взаємодія між вольфрамом і міддю практично відсутня як в твердому, так і в рідкому стані. Подібні матеріали не можуть бути отримані плавленням, тому вони називаються псевдо сплавами. Метод виготовлення таких матеріалів полягає в тому, що брикет, спресований з вольфрамового порошку, просочується розплавленою міддю, яка заповнює пори, забезпечуючи отримання щільного виробу. Псевдо сплави поєднують високі електро- і теплопровідність міді та міцність вольфраму. Вони широко застосовуються для виготовлення електричних контактів.

Взаємодія в системі Fe-Cu характеризується утворенням необмежених розчинів у розплавленому стані. Максимальна розчинність міді в твердому залізі становить (мас.%): 8,5 при 1100°C; 1,4...3 при 850°C; 0,9 при 800°C; 0,3 при 700°C; заліза в міді: 2,5 при 1000°C; 1,5 при 900°C; 0,9 при 800°C; 0,5 при 700°C. При кімнатній температурі взаємна розчинність компонентів у системі Fe-Cu незначна.

При просоченні пористого заліза чистою міддю в результаті активного дифузійного взаємодії заліза з міддю відбувається ерозія залізного каркасу, що супроводжується розтравленням і розпушенням

контактів між частинами. Для усунення цього явища проводять просочення заліза гранично насиченим сплавом Cu-Fe. У цьому випадку ерозія каркасу не спостерігається, оскільки насичений мідний сплав не здатний розчиняти залізо. Однак при цьому зберігається можливість розчинення міді в залізі, що може призвести до утворення дифузійної пористості внаслідок різних парціальних коефіцієнтів дифузії міді в залізі та заліза в міді. Повністю ліквідувати такий недолік дозволяє використання пористого каркаса і просочуючого сплаву з взаємно насичених сплавів. Наприклад, якщо просочення проводиться при 1100°C, в якості тугоплавкої фази застосовують сплав Fe-3Cu, а в якості легких - сплав Cu-4Fe. Однак, якщо просочення проводити при інших температурах, ці сплави вже виявляться не взаємно насиченими. При більш високій температурі можлива ерозія каркасу, при більш низькій на поверхні пор буде виділятися залізо. Таким чином, під взаємному насиченні в системах Fe-Cu для кожного складу існує вузький температурний інтервал просочення, при якому відсутня небезпека ерозії каркаса. Зазвичай насичення заліза міддю проводять при 1100... 1200°C.

Особливий інтерес становлять матеріали, отримані просоченням пористих порошкових сталей і сплавів на основі заліза легкоплавкими мідними сплавами. Вони відрізняються поєднанням достатньої конструкційної міцності, високих демпфуючих (гасять ударні механічні коливання), триботехнічних властивостей (коефіцієнт тертя, зносостійкість), електро- і теплопровідності та застосовуються в якості антифрикційних і фрикційних матеріалів в залежності від їх складу для виготовлення деталей вузлів тертя машин і механізмів, а також формотворного інструменту для пресування пластмас, скла та ін. В якості прикладу на рис. 5.1 представлена мікроструктура порошкової вуглецевої сталі, просоченої мідним сплавом (Cu-5Fe), яка складається з перліту і ділянок мідного сплаву, який заповнив пори.

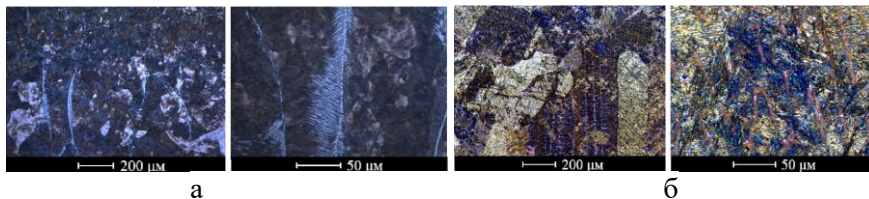


Рисунок 5.1. – Мікроструктура сталі У8 (а) та Сталь 45 (б), просочених 5% міді без термічного оброблення.

У даній лабораторній роботі КМ отримуються двома способами: просоченням у вакуумі та під тиском. При вакуумному просоченні (вакуумному всмоктуванні) заповнення простору між волокнами розплавом матричного матеріалу відбувається за рахунок різниці між атмосферним тиском і тиском, який створюється в армованому каркасі при цьому відбувається просочування матеріалу.

### Обладнання, інструменти, матеріали

Універсальна випробувальна машина, сталева прес-форма, технічні ваги, штангенциркуль, піч для спікання в захисному середовищі, графітова підставка, суміші порошків на основі заліза і міді, набір шліфів просочених матеріалів, алюмінієва трубка, мідні та алюмінієві дроти різного діаметру, епоксидна смола, фарбник.

### Порядок виконання роботи

#### Перший етап роботи

1. Спресувати із суміші Fe + 1% графіту зразки діаметром 10... 15 мм і висотою 10 мм при тиску 600 МПа до щільності (S) 75 (4 зразки), 80 (2 зразки) і 85% (2 зразки).

2. Розрахунок навівки зразків провести за формулою:

$$P = V \cdot \gamma_k \cdot g \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (5.1)$$

де V - об'єм зразка, см<sup>3</sup>;

$\gamma_k$  - щільність компактної композиції, г/см<sup>3</sup>,

$$\gamma_k = \frac{1000}{\frac{a_1}{\gamma_1} + \frac{a_2}{\gamma_2}} \quad (5.2)$$

де  $a_1$  та  $a_2$  – вміст окремих компонентів у суміші, мас.%;

$\gamma_1$  та  $\gamma_2$  – щільність компактних складових суміші, г/см<sup>3</sup>;

$\vartheta$  – відносна щільність;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує втрати порошку при пресуванні (1,005...1,01);

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує втрати ваги при спіканні в результаті вигорання домішок і відновлення оксидів (1,01...1,03).

3. Визначити розміри зразків, їх масу, розрахувати щільність. Пористість зразків розрахувати за формулою:

$$P = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_k} \quad (5.3).$$

Результати вимірювань занести в табл. 5.1.

4. Розрахувати кількість мідного сплаву Cu-5Fe, необхідного для просочення виходячи з пористості каркасу (75, 80, 85%).

Таблиця 5.1 – Результати досліджень зразків після пресування

№	Матеріал	Тиск пресування, P, МПа	Розміри брикету		Маса брикету m, г	Об'єм брикету V, см <sup>3</sup>	Щільність		Пористість P, %
			висота H, см	діаметр D, см			$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$\vartheta$ , %	

Розрахунок провести за умови заповнення пористості на 100% (2 брикети на кожне значення пористості) за формулою:

$$P_n = V \cdot P \cdot \gamma_k \quad (5.4)$$

де V – об'єм зразка з залізного сплаву, см<sup>3</sup>;

P – пористість зразка;

$\gamma_k$  – щільність компактної композиції Cu-5Fe (див. п. 1), г/см<sup>3</sup>.

5. Спресувати із суміші мідного сплаву Cu + 5%Fe 6 зразків в прес-формі того ж діаметру 10... 15 мм при тиску 400 МПа.

6. Встановити зразки із суміші Fe + 1% графіту на прямокутну графітову підставку і на них покласти зразки із суміші Cu+ 5% Fe. Два зразки спікаються без мідного сплаву.

7. Провести спікання в захисному середовищі при температурі 1130°C протягом 30 хв. Човник із зразками охолодити в захисному середовищі.

8. Визначити розміри спечених зразків, їх масу і твердість за Брінеллем (кулька - 2,5 мм, навантаження - 2500 Н). Розрахувати об'ємну усадку отриманого композиційного матеріалу. Результати вимірювань і розрахунків занести в табл. 5.2.

9. Побудувати графік залежності об'ємної усадки і твердості від вихідної щільності каркаса із залізного сплаву.

10. Вивчити і замалювати мікроструктури композиційних матеріалів, отриманих просоченням залізного сплаву з різною вихідною щільністю зразків.

Таблиця 5.2 – Результати досліджень зразків після спікання

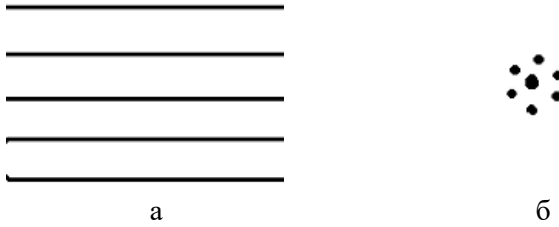
№	Матеріал	Тиск пресування, P, МПа	Час спікання, ч	Розміри брикету		Маса брикету m, г	Об'єм брикету $V_2, \text{cm}^3$	Усадка AFV, %	Твердість за Брінеллем, НВ
				Висота H, см	Діаметр D, см				

### Другий етап роботи

1. Отримати від викладача вид армуючого компонента (тобто матеріал дроту) і сам дріт.

2. Отримати від викладача значення об'ємної частки волокна  $V_f$  (у волокнистих композиційних матеріалах величина змінюється від 0 до 70%).

3. Розрахувати довжину дроту (армуючого компонента) при заданій об'ємній частці волокна. Методика розрахунку. З дроту готується армуючий каркас, який представляє собою багато паралельних дротинок (рис. 5.2.).



а – поздовжній вид, б – поперечний вид;

Рисунок 5.2 – Схема виготовлення армуючого каркасу.

Довжина однієї нитки відповідає довжині майбутнього зразка композиційного матеріалу (в даній лабораторній роботі вона дорівнює 50 мм). Армуючий каркас поміщується всередині металевої трубки близько її кінця в залежності від виду армування.

Попередньо визначається об'єм майбутнього зразка композиційного матеріалу ( $V_{зр}$ ), який дорівнює внутрішньому об'єму кінця трубки, в який поміщується армуючий компонент:

$$V_{зр} = 2\pi r \cdot l \text{ (мм)} \quad (5.5)$$

де  $r$  – внутрішній радіус трубки;

$l$  – довжина зразка (50 мм), трубки, армуючого дроту.

Далі визначається необхідний об'єм, який займає армуючий компонент ( $V_{арм}$ ) всередині готового зразка композиційного матеріалу.

Величина  $V_{арм}$  (в  $\text{мм}^3$ ) знаходиться зі співвідношення:

$$V_{зр} - 100\%$$

$$x (V_{арм}) - Vf, \%$$

Об'єм однієї нитки (дроту) по довжині зразка:

$$V_{нитки} = \pi r^2 \cdot l, \text{ мм}^3 \quad (5.6)$$

де  $r$  – радіус дроту (діаметр виміряти штангенциркулем);

$l$  - довжина дроту (50 мм).

Число дротинок в армованому каркасі:  $n_{\text{нитки}} = V_{\text{арм}} / V_{\text{нитки}}$

Необхідна довжина дроту складає  $l_{\text{пров}} = V_{\text{нитки}} \cdot 50$

4. Виготовити армуючий каркас (див. рис. 5.2, а) шляхом укладання дроту на довжині 50 мм в залежності від вибраної схеми армування (див. рис. 4.2 б). Число ниток довжиною 50 мм має відповідати розрахунковому. Необхідно, щоб окремі нитки дроту не торкалися одна одної інакше смола (матричний компонент) не заповнить проміжок між ними при просочуванні (див. рис. 5.2 б).

5. Визначити об'єми армуючих каркасів з різними діаметрами осьових і з різною довжиною радіальних пучків. Обсяги армуючих структур можна визначити двома методами: 1) загальною довжиною усіх волокон каркасу і їх діаметром; 2) зважуванням каркасу з точністю до четвертого знаку і щільності матеріалу.

6. Вставити армуючий каркас в трубку.

7. На трубку надіти шланг від системи. Далі всю роботу проводити за участю і під контролем викладача.

8. Приготувати суміш епоксидної смоли з фарбою від тонера.

9. За допомогою шприца утворити різницю тисків (розрідження), для просочення трубки з дротом смолою. Не знімаючи систему – нижній кінець трубки зафіксувати у пластиліні і дати смолі полімеризуватися. За рахунок контакту смоли з дротами армуючого компоненту відбувається їх взаємодія і формування композиційного матеріалу.

10. Після полімеризації відрізати від трубки кусок висотою 6 мм.

11. Вивчити візуально (або під мікроскопом) поперечний переріз отриманого зразка композиційного матеріалу і його вид занести у звіт.

12. Далі на пресі визначають межу міцності  $\sigma_v$  отриманого зразка композиційного матеріалу. Отримане значення заноситься у звіт.

13. Вивчити залежність значення міцності композиційного матеріалу від об'ємної частки волокон  $V$  рис. 5.3.



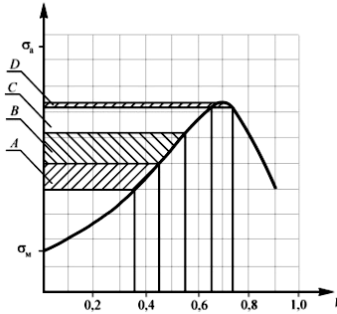


Рисунок 5.3. – Залежність міцності композиту від об'єму армуючих волокон.

### Зміст звіту

1. Записати всі необхідні розрахунки та заповнити таблиці.
2. Замалювати отримані структури композитів.
3. Провести статистичну обробку отриманих результатів.
4. Результати вимірювань і розрахунків оформити у вигляді таблиць або графіків.
5. Зробити висновки про вплив щільності КМ на структуру та властивості.

### Контрольні питання до лабораторної роботи

1. Які переваги просочення КМ перед іншими методами?
2. Назвіть способи просочення КМ.
3. Назвіть недоліки просочення КМ.
4. Розкажіть сутність процесу змочування.
5. Які параметри визначають процес просочення КМ?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №6 ВИРОБНИЦТВО МЕТАЛЕВИХ КОМПОЗИТИВ ВІДЦЕНТРОВИМ ЛИТТЯМ

### Мета роботи

Отримати практичні навички приготування ливарних композиційних матеріалів на базі відомих промислових сплавів; освоїти технологію лиття ливарних композиційних матеріалів.

### Короткі теоретичні відомості

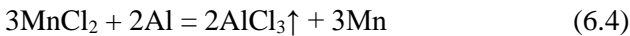
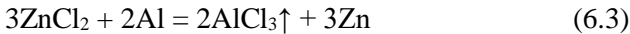
Приготування сплаву АК12. Сплав належить до групи сплавів «алюміній - кремній», має хороші ливарні властивості, що дозволяє отримувати з нього складні за конфігурацією тонкостінні виливки усіма видами лиття. Особливість сплавів цієї групи - підвищена схильність до виділення водню, розчиненого в розплаві, в процесі кристалізації, що призводить до утворення газової пористості у виливках. Залежно від складу газової фази печі алюміній може вступати у взаємодію з киснем,  $\text{CO}_2$  і парами води за реакціями:



Оксидна плівка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що утворюється на поверхні металу, захищає його в подальшому від впливу газової фази. Однак захисні властивості оксидної плівки можуть змінюватися під впливом різних матеріалів, що застосовуються під час плавки. Калій, натрій та інші лужноземельні метали, а також цинк, гексахлоретан ( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ ), фториди бору і кремнію розпушують плівку, роблячи її проникною для газів. Навпаки, бор, фтор і газоподібні фториди зменшують газопроникність плівки. В результаті взаємодії алюмінію з парами води відбувається не тільки його окислення, але і утворення водню, який легко розчиняється в розплаві і може досягати змісту до  $3 \text{ см}^3$  на  $100 \text{ г}$  металу.

У процесі кристалізації розчинність водню зменшується в 10 разів, що призводить до утворення газових раковин і пористості. Джерелами утворення парів води можуть бути волога шматків шихти і гігроскопічних флюсів, не просушених футерування та інструмент, застосовуваний при плавці, а також деякі види лігатур. Тому однією з найважливіших операцій технологічного процесу плавки цих сплавів є ретельне рафінування.

Для очищення алюмінієвих сплавів від неметалевих включень і розчиненого водню застосовують відстоювання, продування інертними і активними газами, обробку хлористим солями і флюсами, вакуумування, фільтрування через сітчасті і зернисті фільтри, електрофлюсове рафінування. Наприклад, рафінування солями:



Бульбашки хлористого алюмінію, виходячи на поверхню ванни, забирають з собою гази і тверді неметалеві включення. Крім того, сплави цієї групи містять велику кількість евтектики  $\alpha + \text{Si}$ , в якій кремній при литті з невеликими швидкостями охолодження (в піщані, оболонкові, гіпсові форми) кристалізується в грубій голчастою формі. При цьому знижуються механічні властивості сплавів, особливо пластичність. Тому сплави рекомендується застосовувати в модифікованому стані. Для цієї мети користуються солями натрію або стронцієм. Операції рафінування та модифікування можна поєднати, застосовуючи для обробки сплавів універсальні флюси, наприклад:  $\text{NaCl}$  - 50%,  $\text{KCl}$  - 10%,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  - 10%,  $\text{NaF}$  - 10%. Слід враховувати, що солі  $\text{NaCl}$  і  $\text{KCl}$  мають підвищену гігроскопічність і можуть містити вологу до 3%, тому солі рекомендується ретельно просушувати при температурі 150...200° С протягом 10 годин. Зберігати готовий флюс слід в сушильних шафах.

**Приготування сплаву АК12.** Розплавити навішення силуміну і довести розплав до температури 750° С. Провести рафінування рідкого металу в кількості 0,1...0,2% від ваги сплаву. Після витримки 1...5 хвилин провести обробку сплаву універсальним флюсом при

температурі 720 ... 750° С. Після витримки під флюсом протягом 10...15 хвилин виконати «рубку» і зняти флюс скребком. Сплав залити в підготовлений кокіль. Знімати показання термомпари, встановленої в стрижень. При температурі близько 420° С в стрижні, за вказівкою викладача, «підірвати» стрижень, повернувши рукоятку кокілю. Зняти виливок. Виготовити кілька виливків (рис. 6.1). Провести маркування виливків: номер плавки та порядковий номер.

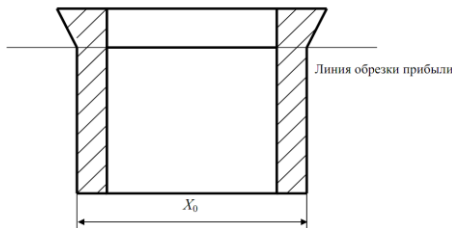


Рисунок 6.1. – Охолоджена виливок:  $X_0$  - зовнішній діаметр виливка

### **Обладнання, інструменти, матеріали**

Як шихтових матеріалів при плавці застосовують чушковий силумін марок СІЛ0, СІЛ1, СІЛ2, лігатуру Al-Si, алюміній технічної чистоти або відходи ливарного виробництва алюмінієвих сплавів. Для приготування сплаву можна використовувати печі опору з графітовим тиглем. Відцентрова машина, кокіль, порошки різних металів.

### **Порядок виконання роботи**

Для приготування ЛКМ на базі промислового сплаву АК12 з введенням зміцнюючої фази в вигляді порошоків металу або оксидів, карбідів (за завданням викладача) слід вивчити технологію приготування сплавів АК12. Приготувати сплав АК12 як зазначено вище. Вилити в тиглі, попередньо підігріті до температури 450...500°С. Додати порошок розміром включення 0,1...0,3 мм (Fe, Ni, SiC або інше за вибором викладача) у кількості 2, 5 та 10 мас.% і ретельно перемішати розплав. Частину сплаву залити в підготовлені

кокілі. Після кристалізації вийняти виливки. Провести маркування виливків: номер плавки та порядковий номер. Іншу частину сплаву залити у відцентрову машину. Вийняти виливок. Провести маркування виливка: номер плавки та порядковий номер.

### **Зміст звіту**

1. Розрахувати необхідну кількість армуючого порошку за масою або за об'ємом.

2. Виготовити виливки литтям у кокіль та відцентровим литтям з різною кількістю армуючої речовини (за вказівкою викладача), визначити шорсткість та коефіцієнт використання матеріалу. Визначити твердість виливків.

3. Виготовити мікрошліфи з виливків та дослідити їх структуру.

4. Зробити висновки про вплив методу виготовлення композиту на його структуру та властивості.

### **Контрольні питання**

1. Сутність рафінування сплавів, деякі види рафінування.
2. Способи і мета модифікування алюмінієвих сплавів.
3. Для чого проводиться фарбування кокілю?
4. Привести формулу хімічної реакції при рафінуванні.
5. Причини утворення пористості і методи боротьби з нею.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ 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. Нові матеріали та композити: навчальний посібник / Ю.А. Буренніков, І.О. Сивак, С.І. Сухоруков – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 158с.
3. Копань В. Композиційні матеріали: навч. посіб. ВНЗ / В. Копань; К.: Пульсари, 2004. – 193 с. 8.
4. Солнцев Ю.П. Спеціальні конструкційні матеріали: Підручник / Ю.П. Солнцев, С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. – Запоріжжя: Валпіс-Поліграф, 2010. – 536 с.
5. ДСТУ ISO 1888:2009 Скловолокно. Елементарні волокна чи нитки. Метод визначення середнього діаметра (ISO 1888:2006, IDT). – К. – 2012 р.
6. ДСТУ 2656-94 Скловолокно та вироби з нього. Терміни та визначення.
7. ДСТУ 2241—93 Матеріали композитні. Склопластики. Терміни та визначення;  
  
ДСТУ 2242—93 Склопластики конструкційні. Типи, технологія, властивості. Терміни та визначення;

## ДОДАТОК А

## Склад та режими затвердіння полімерних зв'язуючих

№ п/п	Смола (мас.ч.)	Прискорювач (мас. ч.)	Пластифікатор (мас. ч.)	Стверджувач (мас. ч.)	Час склування
1	ЭД-20 100		ПН-1 20	ПЭПА 10-20	24 год
2	КЕ 100	ДБФ 20	–	ПЭПА 10	1 год
3	ЭД-20 (КЕ) 100	–	ПН-1 20	ТЭАТ 10	1,5–2 год при 100□С
4	КЕ 100	–	ПН-1 20	МА 20	5 год
5	ПН-1 100	НК 8–10	Гіпериз 3–5	–	1 год при 60□С
6	ПН-1 100	НК 0,4–0,5	ПМЭЖ 1	–	2–2,5 год при 20□С
7	ПН-1 100	НК-1 1–8	ПМЭЖ 3	–	2–2,5 год при 20□С
8	ФФС 100	–	–	МА 3	Ступінчасте: по 1 год при 50–95□С; 90–110□С; 105–98□С