

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Металознавства та термічної обробки**

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.В. Зауличний

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 132 Матеріалознавство**

**на тему: «Літі композиційні матеріал на основі алюмінієвих сплавів»**

Виконала : студентка 2 курсу, групи ФТ-71 мн

Фон Прусс Марина Анатоліївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Науковий керівник

зав.кафери, д.ф-м.н., проф.

Зауличний Я.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Консультант

з охорона праці та безпеки

в надзвичайних ситуаціях

зав. каф., д.т.н., проф.

Левченко О.Г.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рецензент

к.т.н., доцент

Мініцький А.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Металознавства та термічної обробки**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація - «Металознавство та комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.В. Зауличний  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 01 » вересня 2017 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Фон Прусс Марини Анатоліївни**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Литі композиційні матеріал на основі алюмінієвих сплавів»,

науковий керівник дисертації Зауличний Ярослав Васильович зав.кафери, д.ф-м.н. проф.

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ р. №

2. Термін подання студентом дисертації 16 травня 2019р.

3. Об'єкт дослідження процес отримання композиційних матеріалів на основі алюмінієвих сплавів

4. Вихідні дані освоєння методики отримання та дослідження литих композиційних матеріалів на основі алюмінієвих сплавів

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 5.1 Опрацювати та проаналізувати літературу за темою дослідження; 5.2 Оптимізувати методику дослідження; 5.3 Провести експерименти; 5.4 Виготовити та дослідити зразки; 5.5

Сформулювати загальні висновки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Презентація (14 слайдів).

7. Орієнтовний перелік публікацій 7.1 Тези: Моделювання структуроутворення при кристалізації сплаву Al-8,2%Si/ О.М. Доній О.М., М.А. Фон Прусс // Міжнародна наукова конференція матеріали для роботи в екстремальних умовах – 6 – Київ, 2016. – С 313.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	зав. каф., д.т.н., проф. Левченко О.Г.		

9. Дата видачі завдання 01 вересня 2017р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Переддипломна науково-дослідна практика		
2	Опрацювання та аналіз літератури за темою дослідження		
3	Оптимізація методик дослідження		
4	Планування та реалізація експериментів		
5	Виготовлення зразків, їх дослідження та аналіз результатів		
6	Виконання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях		
7	Оформлення магістерської дисертації		
8	Оформлення презентації		

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Фон Прусс М.А.  
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Зауличний Я.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 1 книга, 123 стор., 27 рис., 3 табл., 9 формул, 94 джерел.

**Об'єкт дослідження:** дослідження процесу отримання композиційних матеріалів на основі алюмінієвих сплавів.

**Мета роботи:** є визначення можливості управління структурою заевтектичних алюмінієвих сплавів з підвищеним вмістом заліза та нікелю, а також створення ливарних композитів із застосуванням зовнішнього магнітного поля.

**Методи дослідження:** хімічний аналіз, макроскопічний аналіз, мікроскопічний аналіз

**Результати:** В роботі теоретично обґрунтовано та експериментально показано принципову можливість управління структурою за допомогою прикладання зовнішнього магнітного поля.

**КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, ХІМІЧНИЙ СКЛАД, МАГНІТНЕ ПОЛЕ**

## ABSTRACT

Thesis work: 1 book, 123 pages, 27 pictures, 3 tables, 9 formulas, 94 sources.

**Object of research:** investigation of the process of obtaining composite materials on the basis of aluminium alloys.

**Purpose of work:** is to determine the possibility of controlling the structure of zeevtectic aluminum alloys with high content of iron and nickel, as well as the creation of foundry composites with the use of an external magnetic field.

**Methods and analyses:** the chemical analysis, the macroscopic analysis, the microscopic analysis .

**Results:** In the work the theoretical substantiation and experimentally shows the principal possibility of controlling the structure by applying an external magnetic field.

**COMPOSITE MATERIAL, CHEMICAL COMPOSITION, MAGNETIC FIELD**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
Необхідність розробки нових матеріалів.....	12
Проблеми розробки нових матеріалів.....	14
1. ОДЕРЖАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	15
1.1 Загальні відомості про композиційні матеріали.....	15
1.2 Використання композитів в сучасній промисловості.....	16
1.3 Особливості композиційних матеріалів.....	19
1.4 Специфіка з'єднання двох матеріалів.....	21
1.5 Особливості взаємодії армуючих частинок з матеріалом матриці.....	22
1.6 Класифікація композитів.....	24
1.7 Технологічні напрямки розробки ЛКМ.....	27
1.7.1 Твердофазні методи.....	28
1.7.2 Рідкофазні методи.....	30
1.7.2.1 Отримання АМКМ введенням зміцнюючої фази ззовні (ex- situ).....	32
1.7.2.2 Отримання АМКМ формуванням зміцнюючої фази в розплаві (in-situ).....	35
1.8 Композиційні матеріали з металевою матрицею.....	37
1.9 Алюмінієві композиційні матеріали.....	40
1.10 Дисперсно-зміцненні матеріали.....	43
1.11 Роль залізних часточок в алюмінієвих композиційних матеріалах. .....	46
1.12 Переваги та недоліки композиційних матеріалів.....	47
1.13 Структура металевої матриці.....	51
1.14 Вплив магнітних полів на формування оптимальних властивостей	

КМ.....	53
1.15 Вплив перемішування в рідкому середовищі на властивості композита.....	56
1.16 Постановка мети та задач дослідження.....	61
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	62
2.1 Матеріали та обладнання для експериментальних досліджень.....	62
2.2 Обґрунтування вибору вихідних матеріалів.....	63
2.2 Методика проведення плавок та термічної обробки.....	64
2.4 Металографічний аналіз ЛКМ.....	67
2.5 Диференціальний термічний аналіз.....	67
2.6 Визначення електропровідності і електричного опору.....	69
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	73
3.1 Розподіл часточок феромагнітного наповнювача по площині перерізу алюмінієвих сплавів .....	73
3.2 Визначення швидкості перемішування розплаву для оптимального засвоєння частинок при отриманні ЛКМ.....	75
3.3 Аналіз макроструктури ЛКМ .....	76
3.4 Дослідження структурних перетворень в розплавах на основі алюмінієвих сплавах резистометричним та металографічним методами.....	77
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	84
4.1 Мета та завдання розділу. Особливості технологічного процесу.....	84
4.2 Структура управління охороною праці в КПІ імені І. Сікорського.....	84
4.3 Загальна характеристика приміщення та робочого місця .....	85

4.4 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ) при виконанні науково-дослідної роботи.....	86
4.4.1 Аналіз параметрів мікроклімату.....	88
4.4.2 Освітлення.....	90
4.4.3 Вплив шуму та вібрації .....	90
4.4.4 Дослідження інфрачервоного та теплового випромінювання.....	92
4.4.5 Електробезпека.....	93
4.4.6 Шкідливі речовини в повітрі робочої зони.....	94
4.5 Розрахунок місцевої вентиляції.....	95
4.6 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	97
4.6.1 Аналіз пожежної безпеки.....	99
4.6.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	101
5 РОЗРОБЛЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЕКТУ .....	103
5.1 Опис ідеї проекту.....	103
5.2 Бізнес-модель.....	103
5.2.1 Продукт.....	103
5.2.2 Сегмент споживачів.....	104
5.2.3 Канали збуту.....	104
5.2.4 Взаємодія зі споживачами.....	105
5.2.5 Прибуток (монетизація).....	105
5.2.6 Ключові види діяльності.....	105
5.2.7 Ключові ресурси.....	106
5.2.8 Ключові партнери.....	106
5.2.9 Витрати.....	106
5.3 Споживчі властивості товару.....	106
5.4 Дослідження ринку.....	107
5.5 Дослідження конкурентного оточення .....	107
5.6 Маркетингова стратегія просування .....	107

5.7 Елементи фінансового плану .....	108
5.7.1 Опис бізнес – проекту.....	108
5.7.2 Опис товару/ послуги/ технології .....	108
5.7.3 Маркетинг та продаж .....	108
5.7.4 Фінансовий план .....	109
5.7.5 Резюме .....	109
ВИСНОВКИ.....	110
CONCLUSION.....	111
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	112
ДОДАТОК.....	123

## Вступ

Розвиток ринкових відносин в країні вимагає створення нових конкурентоспроможних матеріалів як для внутрішнього, так і для зовнішнього ринку, що особливо важливо. У сучасних умовах розвитку промисловості значно підвищилися вимоги до антифрикційних матеріалів та деталей машин, що працюють у важких умовах експлуатації. Тому розробка і застосування композиційних матеріалів (КМ) або просто композитів, які складаються з матриці й розподілених в ній армуючих елементів і, завдяки цьому, мають якісно новими, часто унікальними властивостями, є одним з основних напрямків розвитку сучасного матеріалознавства та машинобудування. У більшості випадків тільки КМ можуть задовольнити вимогам нової техніки, для якої характерно більш жорсткі умови експлуатації: підвищення навантажень, швидкостей, температур, агресивності середовищ, зменшення ваги і т.д. Традиційні матеріали вже не можуть задовольнити ці запити через те, що ресурс підвищення властивостей багатокomпонентних металевих сплавів за рахунок легування практично вичерпаний.

Значну частку в КМ займають металеві композиційні матеріали (МКМ). Вони за своїми властивостями перевершують звичайні ливарні і деформовані сплави, тому їх застосування в машинобудуванні, авіації, енергетиці, та інших галузях є дуже перспективним [1-4]. Серед таких композитів широке застосування в різних галузях виробництва знайшли дисперсно-армовані МКМ, які відрізняються універсальністю та порівняльною простотою технології виготовлення. На першому місці за обсягом застосування в машинобудуванні знаходяться алюмоматричні композиційні матеріали (АМКМ). Штучне введення в структуру пластичних сплавів алюмінію тугоплавких, високодисперсних та високомодульних частинок карбідів, оксидів, боридів та ін. забезпечує високі механічні

властивості, в тому числі в умовах дії підвищених температур, при збереженні малої питомої ваги та інших властивостей алюмінію.

Однак застосування композиційних матеріалів в даний час обмежений високою вартістю, пов'язаної в основному зі складністю процесу їх отримання [5]. Такі технології отримання композиційних матеріалів, наприклад, як порошкова металургія, в основному багатостадійні, тривалі в часі і енерговитратні методи. Тому останнім час увагу дослідників направлено на створення нових технологій, які дозволять зробити композити більш доступними матеріалами. До таких методів належать ливарні технології отримання композиційних матеріалів. Високі показники ефективності та доступності ливарних технологій дають можливість найбільш простим шляхом отримувати вироби складної конфігурації з мінімальною подальшою обробкою або взагалі без неї. Литі композиційні матеріали (ЛКМ) отримують за допомогою різних методів рідкофазного суміщення, коли окремі елементи композиту поміщаються в розплав рідкого металу (сплаву), який після затвердіння пов'язує композит в єдине ціле. До основних переваг литих композиційних матеріалів відносяться відносна простота їх отримання та можливість створення виливків практично будь-якої геометрії. На разі по даним BBC Reserch світовий ринок композитів збільшується кожен рік на 8% [6].

Застосування в промисловості литих алюмоматричних композиційних дозволить отримати виріб з унікальними експлуатаційними характеристиками при одночасному зниженні їх маси. Тому розробка нових литих алюмоматричних композитів із заданим рівнем властивостей та способів їх отримання відповідає сучасним тенденціям розвитку теорії і практики ливарного виробництва, що визначає актуальність даної роботи.

## Необхідність розробки нових матеріалів

Створення конкурентоспроможних виробів в різних галузях машинобудування пов'язано з розробкою і освоєнням технологій виготовлення деталей з нових конструкційних матеріалів, що володіють більш високими техніко-економічними показниками. В першу чергу це характеристики і вартість використовуваних у виробництві матеріалів. Необхідність появи таких матеріалів диктується поступовим виснаженням в надрах землі покладів елітного сировини і подорожчанням його видобутку. Рішення даної проблеми можливе шляхом використання взаємопов'язаних науково обгрунтованих напрямків - металургійного, технологічного і конструкторського.

Металургійний шлях вирішення пов'язаний з обгрутованим вибором хімічного складу матеріалу. Компоненти композиційного матеріалу (КМ), а такими є всі конструкційні матеріали, повинні бути більш доступними і дешевими. З цих позицій необхідно згадати, що відомий склад поверхні земної кори містить приблизно до 50%  $\text{SiO}_2$ , 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10% Fe, а також менш доступні елементи Cu, Cr, Ni, Ti, W, Mo і т. д. (рис. 1.1). Наведений ряд процентного вмісту елементів не претендує на високу точність, але реально відображає існуючу ситуацію в геологічній і гірничодобувній промисловості. Можливості підвищення експлуатаційних характеристик металевих матеріалів традиційним методом сплаву давно вичерпані (рис. 1.2, рис. 1.3). Собівартість Al поступово знижується в міру вдосконалення технології його отримання. Подібний процес має бути в недалекому майбутньому і для отримання Si.

Алюміній, як конструкційний матеріал, має обмежене застосування в зв'язку з його низькими механічними властивостями ( $\sigma_B = 5-12 \text{ кг / мм}^2$  і  $E \approx 7000 \text{ кг / мм}^2$ ), збільшення яких пропонується за рахунок введення в КМ зміцнюючої фази ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  чи  $\text{SiO}_2$ ) та інших з'єднань з високими фізико-

хімічними показниками.

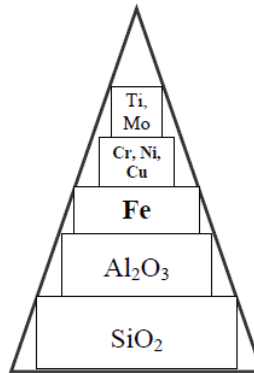


Рисунок 1.1- Вміст корисних копалин у земній корі

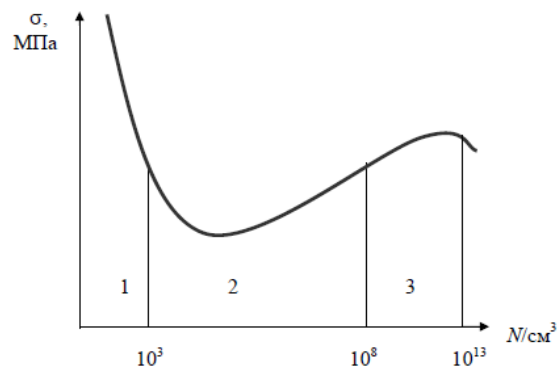


Рисунок 1.2 - Крива Одінга. Міцність матеріалів  $\sigma$  в залежності від кількості в ньому дефектів, N:1 — бездефектні матеріали, 2- технічно чисті матеріали, 3- легovanі сплави

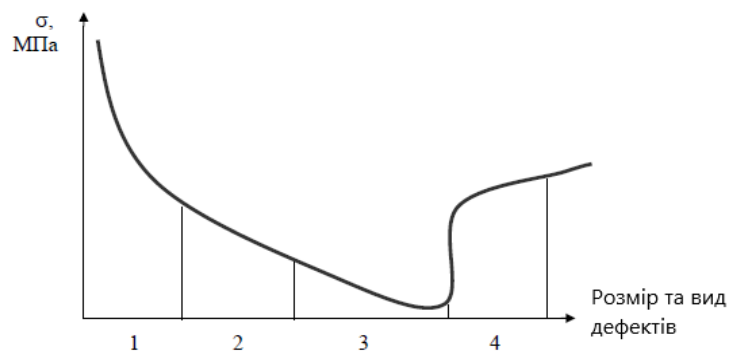


Рисунок 1.3- Міцність матеріалі в залежності від способа зміцнення: 1- бездефектні матеріали, 2- дисперсний-зміцненні, 3- зміцненні частинками, 4- армовані волокнами

## Проблеми розробки нових матеріалів

Ми знаходимося зараз в дещо дивній ситуації. Потреба в нових матеріалах зростає так швидко, що темпи вивчення властивостей нових матеріалів практично не встигають за їх створенням. Це обумовлює необхідність не тільки наявності сучасної технології і знання областей застосування композитів, а й даних про властивості, викладених в такій формі, щоб вони могли бути застосовані при створенні нових матеріалів і виробів з них.

Завданням дослідних організацій в світі, коли технологія змінюється так швидко, є відхід від традицій чистої науки, з одного боку, і інженерії - з іншого. Часто рівня лабораторних досліджень буває досить тільки для опису матеріалів, створення експериментального обладнання та наукових повідомлень. Дослідження ж повинні бути орієнтовані на ефективне застосування створених матеріалів і скорочення до мінімуму часу розробок. Необхідно розвивати дослідження хімічних особливостей композитів і дії на них середовищ, а також впроваджувальні програми.

Досвідченим фахівцям потрібно 15-20 років для того, щоб оволодіти мистецтвом конструювання виробів з таких нових матеріалів, якими є композити, і доцільно використовувати їх в різних галузях виробництва. Ось чому перехід від одних конструкційних матеріалів до інших завжди залежить від числа конструкторів і аналітиків, досить компетентних у застосуванні нових матеріалів. Такий перехід виявиться тим ефективніше, чим повніше будуть використані результати досліджень, що дають об'єктивну оцінку придатності нових матеріалів для вирішення певних інженерних задач.

Отже, основним в процесі перепідготовки конструкторів є забезпечення їх інформаційними матеріалами, які містять необхідні відомості для конструювання виробів з композиційних матеріалів.

# 1 ОДЕРЖАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 1.1 Загальні відомості про композиційні матеріали

Композиційні матеріали (КМ) є гетерофазні системи з двох і більше компонентів (фаз) зі збереженням індивідуальності кожного окремого компонента.

КМ - це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів (фаз) і мають специфічні властивості, що відрізняються від середніх властивостей їх складових компонентів. У КМ є матриця, включення і міжфазна межа.

Матрицею називається компонент, що володіє безперервністю по всьому об'єму КМ.

Включення - це розділений в обсязі компонент, він може бути підсилює або армуючим.

Міжфазна межа - це межа розділу між матрицею і включенням, що має властивості, відмінні від властивостей матриці і включення.

Метою створення КМ є об'єднання схожих або різнорідних компонентів для отримання матеріалу з новими заданими властивостями і характеристиками, відмінними від властивостей і характеристик вихідних компонентів. З появою такого роду матеріалів виникає можливість селективного вибору властивостей композитів, необхідних для потреб кожної конкретної області застосування.

1. Комбінування різних речовин залишається сьогодні одним із способів створення нових матеріалів.

2. Більшість сучасних конструкційних матеріалів є композиції, які дозволяють технічним виробам володіти певним поєднанням експлуатаційних властивостей, наприклад залізобетонні конструкції,

склопластикові балони тиску, автомобільні шини і т. д.

3. У всіх випадках це система різних матеріалів, кожен зі складових якої має своє конкретне призначення стосовно до розгляду розглядати готового виробу.

4. Ні гума, ні корд автомобільної шини не можуть виконувати своєї функції незалежно, вони використовуються спільно і повинні розглядатися як єдина композиція.

5. Спільна робота різнорідних матеріалів в композиті дає ефект, рівносильний створення нового матеріалу, властивості якого кількісно і якісно відрізняються від властивостей кожного з його складових.

Для КМ характерні такі ознаки:

1. Склад і форма компонентів визначені заздалегідь.
2. Компоненти присутні в певній кількості, що забезпечують задані властивості матеріалу.
3. КМ є однорідним в макромасштабі і неоднорідним в мікромасштабі.
4. Компоненти розрізняються за властивостями.
5. Між компонентами існує явна межа розділу.

## **1.2 Використання композитів в сучасній промисловості**

В даний час вивчення композитів переважно сфокусовано на підборі оптимального складу матеріалу для конкретного практичного застосування [7].

КМ - це матеріали з новими властивостями. З появою такого роду матеріалів виникає можливість селективного вибору властивостей композитів, необхідних для потреб кожної конкретної області застосування.

КМ опинилися зручними і економічними, сьогодні використовуються всюди - від виробництва іграшок та тенісних ракеток до застосування в космічних апаратах, утеплювача, мікросхемах і т. д.

Застосування композитних матеріалів в промисловості дуже актуально в наші дні [8]. Машинобудування, військова техніка, суднобудування і авіація, ось малий список галузей, де використовують цей продукт.

Висока корозійна стійкість, здатність до сприйняття ударних навантажень, відмінну якість поверхні, гарний зовнішній вигляд зумовили широке застосування композиційних матеріалів практично у всіх галузях промисловості, в тому числі і в суднобудуванні. Можна зробити висновок, що композит - це матеріал майбутнього.

Діапазон застосування композиційних матеріалів (композитів) надзвичайно широкий: від деталей побутової техніки до конструкцій сучасних авіалайнерів і космічних кораблів. Вони знаходять все більше застосування в атомній енергетиці, машинобудуванні та суднобудуванні.

Чільне місце займають ці матеріали в виробництві виробів для автомобільного і міського транспорту. З них виготовляють корпусу легкових автомобілів, автобусів, деталі внутрішнього інтер'єру, кабіни вантажівок, баки для пального, цистерни для перевезення рідких і сипучих вантажів, корпусу і деталі внутрішнього інтер'єру трамваїв і автобусів.

Широке застосування знайшли композиційні матеріали в авіаційній, а також в ракетно-космічній техніці, де використовуються такі їх властивості, як висока питома міцність і стійкість до впливу високих температур, стійкість до вібраційних навантажень, мала питома вага. З цих матеріалів виготовляються корпусні деталі і деталі внутрішнього інтер'єру [9].

Дуже широко композиційні матеріали застосовуються в галузі суднобудування. Унікальні властивості композиційних матеріалів дозволяють виготовляти високоміцні, легкі корпуси катерів, яхт, шлюпок. З композиційних матеріалів також виготовляються рятувальні шлюпки для

танкерів, що перевозять нафтопродукти. Такі шлюпки здатні винести екіпаж судна із зони, де в разі аварії загорілась нафта. Цією можливістю дозволили досягти унікальні властивості застосовуваних матеріалів, їх висока теплоізоляція і вогнестійкість.

У галузі залізничного транспорту композиційні матеріали поступово займають перше місце завдяки своїм чудовим властивостям. З кожним роком все більше компаній переходять на виготовлення з композиційних матеріалів не тільки окремих деталей, але і кузовів в цілому.

Справжній переворот зробили композиційні матеріали в галузі сільського господарства. Антикорозійні властивості цих матеріалів дозволяють застосовувати їх там, де не витримують інші матеріали. Це елементи тваринницьких ферм, ємності для зберігання мінеральних добрив, відходів, сільськогосподарських заготовок. Композиційні матеріали використовуються для виготовлення кузовів сільськогосподарської техніки. Це дозволяє значно заощадити кошти не тільки при виробництві, а й у процесі експлуатації, так як в міжсезоння трактора, збиральні машини не вимагають витрат на обслуговування кузовних деталей, а термін служби цих деталей набагато більше.

Однією з все більш розширюється областей застосування композиційних матеріалів є будівництво мостів. Розглядається будівництво - міст довжиною 40 метрів, протягнутий поперек однієї з найбільш завантажених залізниць в Данії. Виготовлений перший композитний міст, спеціально розроблений, для створення залізничних переходів. Ключовою умовою створення моста, для однієї з найбільш завантажених залізниць Данії, було те, що він повинен був бути встановлений в найкоротші терміни. У той же час споруда мала відповідати певним практичним та також естетичним критеріям. Міст був змонтований за 16 годин. Робота була виконана вночі. Міст складався з трьох компонентів, які були встановлені на опори з болтами - до річч, єдині елементи моста, що вимагають з'єднань.

Виходячи з вище сказаного, композиційні матеріали будуть все більше й більше використовуватися як матеріали в наземному будівництві. У наявності численні переваги: мости з композиційних матеріалів, які вимагають тільки косметичного обслуговування протягом більш ніж 50 наступних років. Подібний міст, побудований зі сталі важив би 28 тонн і потребував заміни деяких частин кожні 25 років. Те ж саме стосується і до залізобетонному мосту, який важив би 90 тонн. Одне з головних переваг конструкцій з композиційних матеріалів, що мають невелику масу, полягає в тому, що вони вимагають менших, менш дорогих опор. Крім того, вони не схильні до корозії. Міст розроблений зі стандартних профілів і може проводитися за нижчою вартістю, ніж аналогічний сталевий або бетонний міст.

### **1.3 ОСОБЛИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Композиційні матеріали являють собою металеві та неметалеві матриці (основи) із заданим розподілом в них зміцнювачів (волокон, дисперсних частинок і ін.) [10]. При цьому ефективно використовуються індивідуальні властивості складових композиції. За характером структури КМ підрозділяються на:

- 1) волокнисті, зміцнені волокнами і ниткоподібними кристалами;
- 2) дисперсно-зміцнені, отримані шляхом введення в металеву матрицю дисперсних частинок-зміцнювачів;
- 3) шаруваті, створені шляхом пресування або прокатки різнорідних матеріалів;
- 4) евтектичних сплави після спрямованої кристалізації евтектичних структур.

Комбінуючи об'ємний зміст компонентів, можна в залежності від призначення отримувати матеріали з необхідними значеннями міцності, а

також створювати композиції з необхідними магнітними, діелектричними, радіопоглинаючими і іншими спеціальними властивостями.

Композиційні матеріали мають унікальні властивості. Особливість композиційних матеріалів полягає в тому, що їх властивості визначаються вхідними в них компонентами, але відрізняються від властивостей компонентів, взятих окремо.

Композиційні матеріали складаються з матриці (основи) і наповнювача. Матриця пов'язує композицію і в більшій мірі визначає технологічні режими отримання матеріалу і його експлуатаційні характеристики: робочу температуру, щільність, питому міцність, межа втоми.

Матрицею називають компонент, який зв'язує різномірні матеріали, дозволяє виготовити виріб необхідної форми, сприймає і перерозподіляє навантаження на наповнювач від зовнішніх навантажень, що прикладаються до несущого зміцнювального компоненту. Характеристики міцності матеріалу матриці є визначальними при зсувних навантаженнях, при навантаженні композиту в напрямках, відмінних від орієнтації волокон, а також при циклічному навантаженні. Тому матеріал матриці повинен бути пластичним і мати високу міцність контактної взаємодії (адгезійну міцність) з поверхнею наповнювача. Матеріал матриці визначає також рівень робочих температур системи, працездатність у вологому середовищі, опромінювання і при інших впливах зовнішнього середовища. Від матриці залежать і теплофізичні, електричні та інші властивості композиту. Композиційні матеріали розробляються з металевою або неметалевою матрицею. В якості металевої матриці використовують алюміній, магній, мідь, залізо, нікель, вольфрам, кобальт, титан і різні сплави. Неметалеві матриці можуть бути такі як: полімерні (епоксидні, фенолформальдегідні, поліамідні та ін.), вуглецеві та керамічні матеріали, глини, цемент.

Наповнювачі рівномірно розподіляються в матриці та надають

визначальний вплив на властивості композиту. Вони, як правило, мають високі значення міцності, твердості і модуля пружності - і за цими властивостями перевершувати матрицю. Тому наповнювачі є армуючим або зміцнюючим елементом. Механічні властивості композиту визначаються співвідношенням властивостей армуючих елементів та матриці, а також міцністю зв'язку між ними. В якості наповнювача, як правило, використовують більш міцну речовину: метали компактні, порошкові та лускаті, тканини з різних матеріалів, картон, папір, деревне борошно, волокна азбесту, пачоси бавовни і льону, солома, волокна рослин, графіт, тальк, технічний вуглець, силікати, кварц, скло, полімери, ниткоподібні кристали і вуса. Наповнювач може бути порошковим, волокнистих, пластинчастих.

Залежно від характеру взаємодії з матеріалом матриці наповнювачі поділяють на інертні й активні (зміцнювачі). Механізм взаємодії матриці з наповнювачем визначається хімічною природою цих матеріалів і станом поверхні наповнювача. Найбільший ефект посилення досягається при виникненні між наповнювачем і матеріалом матриці хімічних зв'язків або значного адгезійного взаємодії. Наповнювачі, здатні до такої взаємодії з матрицею, називаються активними. Інертними називаються наповнювачі, які не здатні до цього взаємодії. Останні застосовують для полегшення переробки або зниження вартості виробів.

#### **1.4 Специфіка з'єднання двох матеріалів**

Якщо взяти дві речовини з близькими властивостями і утворити з них композиційний матеріал, то властивість КМ буде середнє (рис. 1.4). Залежно від складу властивість КМ може проходити через максимум, мінімум або змінюватися адитивно (пропорційно). Така властивість називається середнім. Якщо властивості компонентів значно відрізняються, то зміна властивості може бути іншим і складнішим [11-12].

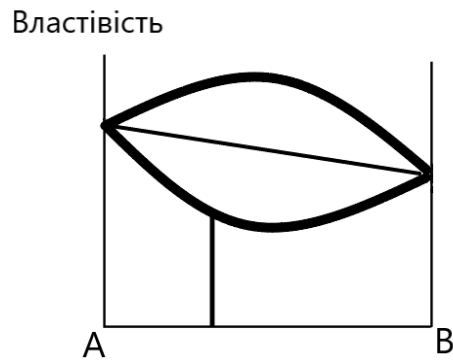


Рисунок 1.4 - Схема зміни властивості КМ в залежності від властивостей компонентів і їх кількості

Зміна властивостей КМ залежить від їх структури (дисперсні, волокнисті, 1, 2 або 3-мірне розташування включень). Це наочно можна уявити по електропровідності КМ, що складається з діелектрика і металу. Для дисперсного КМ електропровідність буде визначатися електропровідністю матриці. Електропровідність волокнистого КМ буде залежати від електропровідності включення і схеми його розташування.

### 1.5 Особливості взаємодії армуючих частинок з матеріалу матриці

Застосування металоматричних композиційних матеріалів (МКМ), які армовані дисперсними частинками, дозволяє не просто замінити дефіцитні дорогі кольорові метали, але і виробляти вироби, що володіють унікальним комплексом властивостей і характеристик. Шляхом підбору складу, зміни

співвідношення компонентів і методів виготовлення МКМ здійснюється направлене регулювання міцності, жорсткості, зносостійкості, робочих діапазонів трибонагрівання і температур, а також інших механічних і експлуатаційних характеристик [13]. До переваг тугоплавких сполук відносяться високі значення модуля пружності, низька щільність. Пасивність до взаємодії з матеріалами матриць, велика поширеність в природі і невисока вартість.

Ключовим питанням при отриманні КМ являється взаємодія металевих розплавів і наповнювача. Введені в розплав частки здійснюють комплексний вплив на матричний сплав. Взаємодія частинок з розплавом може привести до утворення перехідних зон або ж появи на міжфазних межах вторинних з'єднань, що може як підвищувати, так й знижувати властивості матеріалу. Утворення небажаних крихких з'єднань на межах (наприклад, карбиду алюмінія) не тільки знижує властивості КМ, але й може привести до руйнування матеріалу при їх вмісті більше 10% об. [14].

Стан міжфазної границі, що забезпечують необхідну передачу навантажень від одного структурного елемента композиту до іншого, багато в чому визначає фізико-механічні та функціональні властивості готового виробу. Тому проблема управління міжфазною взаємодією в гетерофазних розплавах при одержанні КМ має визначальне значення. При рідкофазному методі (див. підрозділ 1.7.2) об'єднанні елементів ЛКМ реалізуються наступні стадії взаємодії фаз: змочування поверхні армуючих елементів в процесі просочення частинок без утворення хімічних зв'язків на межах розділу фаз; дифузійна і / або хімічна взаємодії, що супроводжується утворенням твердих розчинів і інтерметалідних з'єднань на міжфазній межі матриця-наповнювач; кристалізація розплаву матриці; структурні та фазові перетворення в процесі нагрівання та охолодження, що визначають остаточні властивості КМ.

Питанням взаємодії різнорідних наповнювачів з розплавом алюмінію присвячені роботи, які були засновані на експериментальних й теоретичних

методах досліджень [2-4]. Серед них існують також суперечливі дані щодо впливу деяких з них в цій системі [5, 6]. Це пов'язано з тим, що реальні процеси об'єднання структурних складових литих композиційних матеріалів на базі алюмінієвих сплавів відбуваються в нерівноважних умовах, тому при експериментальному дослідженні міжфазної взаємодії в МКМ необхідно додатково враховувати кінетичні чинники, а також вплив оксидної плівки, характерною для цих сплавів. Тому, дослідження взаємодії наслідком в цій системі слід проводити при максимально наближених до реальних умов отримання ЛКМ.

Можна також зауважити на розмір армуючих фаз або розмір осередку армування композиційних матеріалів. Вони поділяють наступним чином [2,15]:

- субмікрокомпозити (розмір комірки армування, діаметр волокон або частинок  $< 1$  мкм), наприклад, дисперснозміцнені сплави або волокнисті композиційні матеріали з дуже тонкими волокнами;
- мікрокомпозити (розмір комірки армування, діаметр волокон, частинок або товщина шарів  $> 1$  мкм), наприклад матеріали, армовані частинками, волокнами вуглецю, карбїду кремнію, бору і т д., односпрямованих евтектичних сплавів;
- макрокомпозити (діаметр або товщина армуючих компонентів - 100 й більше мкм), наприклад деталі з мідних або алюмінієвих сплавів, армовані вольфрамової або сталевим дротом або фольгою. Макрокомпозити найчастіше застосовують для підвищення зносостійкості деталей тертя в технологічному оснащенні.

## **1.6 КЛАСИФІКАЦІЯ КОМПОЗИТІВ**

Композиційні матеріали можна класифікувати наступним чином [16,8]:

1. За складом матриць і наповнювачів.

На практиці широко використовуються поліматричні композити з комбінованими матрицями, що складаються з почергових шарів (двох або більше) різного хімічного складу (рис. 1.5 а) та поліармовані композити з декількома типами наповнювачів, які доповнюють властивості один одного (рис. 1.5 б).

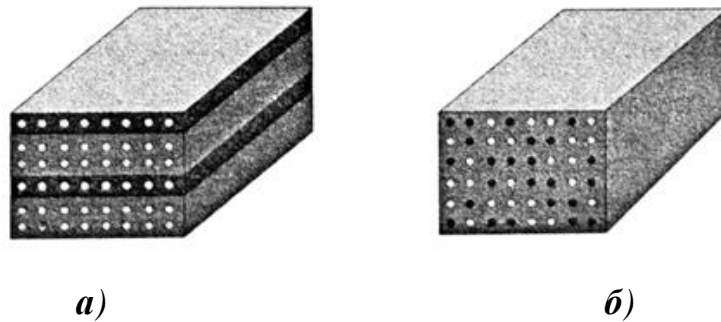


Рисунок 1.5 - Структурні схеми композитів: а - поліматричного; б — поліармованого

## 2. За формою наповнювачів.

Властивості композиційного матеріалу істотно залежать від форми наповнювача. Наповнювачі поділяють на три основні групи:

- нульмірні (зернисті) (рис. 1.6 а), за допомогою яких отримують дисперснозміцнені композити;
- одномірні (рис. 1.6 б), які використовують для створення волокнистих композитів; - двовимірні (рис. 1.6 в, г, д), використовувані при отриманні шаруватих композитів;
- з тривимірним (об'ємним) армуванням.

## 3. За схемою армування.

Композиційні матеріали можуть армуватися:

- нульмірними (зернистими) наповнювачами (армування, графітом, слюдою, гравієм, азбестом і ін.);
- нуль- й одномірними наповнювачами одночасно (хаотичне армування, наприклад, залізобетону);

- одномірними наповнювачами (одномірне армування, наприклад, безперервними або переривчастими борними, скляними або вуглецевими волокнами стрічок, пластин, листів);
- двомірними наповнювачами (армування волокнами, які утворюють почергові перпендикулярні шари; використання тканинних шарів; використання суцільних шарів з паперу, картону, шпону);
- просторові наповнювачами (армування односпрямованими безперервними волокнами, які утворюють просторово розділені перпендикулярні шари).

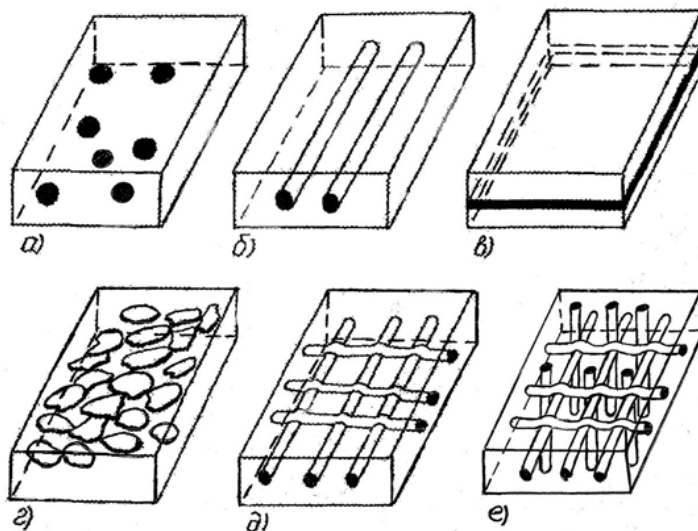


Рисунок 1.6- Класифікація наповнювачів за формою: а — нульмірні (зернисті); б - одномірні; в, г, д - двовимірні; е — тривимірні

#### 4. За структурою системи «матриця - наповнювач».

Застосовуються різні поєднання матриць і наповнювача:

- неметалічна матриця - неметалічний наповнювач (бетон, що складається з цементного розчину і суміші піску і щебеню; глина, змішана з соломою; пластмаса, зміцнена ниткоподібними кристалами з  $Al_2O_3$ ,  $BeO$ ,  $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $Si_2N_4$ , вуглецю, волокнами конопель або абаки, нитками льону, папером, тканинами та ін.);

- неметалічна матриця - металевий наповнювач (залізобетон;

пластики, армовані волокна або лусочки з металів і ін.);

- металева матриця - неметалічний наповнювач (антифрикційні і фририкційні матеріали на основі бронз або заліза з добавками певних речовин (графіт, дісульфіт молібдену, сірка); композити з керамічним наповнювачами (карбіди, оксиди, нітриди, бориди);

- металева матриця - металевий наповнювач (дво- і багат шарові плаковані листи; метали, армовані волокнами або тонкодисперсних тугоплавкими частками, що не розчиняються в основному металі (алюміній, титан, магній, нікель або сплави на їх основі).

5. За геометричним параметрам армуючої фази КМ поділяють на 4 групи :

- Армовані дисперсними частками;
- Армовані дискретними (ниткоподібними) кристалами або віскерами, введеними в міжволокнистий простір;
- Армовані безперервними волокнами;
- Армовані моноволокном або ниткою.

### **1.7 Технологічні напрямки розробки ЛКМ**

Зарубіжні дослідники [17] повідомляють, що при виробництві АМКМ всіх чотирьох груп (див. підрозділ 1.6) можливе використання, так званої, спреї-технології, що має два різновиди:

- в розбризкуючий матричний розплав подаються частки армуючої фази (КМ 1 й 2 груп);

- на пучок безперервних волокон або моноволокно, які намотані на спеціальну оправку, здійснюється набризкування матричного розплаву(КМ 3 й 4 груп).

Метод замішування з подальшим суспензійним литтям застосовується, в основному, при отриманні композитів 1-ої групи. Дана технологія характеризується найбільшою економічністю і простотою виконання. Іншим

різновидом методу замішування є поєднання частинок армуючої фази з матрицею, що знаходиться в твердо-рідкому стані. Вважається, що методом замішування можна отримувати АМКМ, армовані до 30% за обсягом частинками розміром від 5 до 100 мкм.

Замішування не може бути використано для введення в алюмінієвий розплав частинок субмікронних розмірів. Методами просочення отримують, в основному, АМКМ 1-3 груп. При цьому просочення може бути гравітаційним або примусовим. Даним методом можна отримувати АМКМ, армовані від 10 до 70% за обсягом. Однак при цьому необхідно попередньо виготовити каркас з матеріалу армуючого наповнювача.

У нашій країні прийнята дещо інша класифікація і всі способи отримання АМКМ поділяють на твердо- і рідкофазний, в залежності від стану матричного матеріалу-основи.

### **1.7.1 Твердофазні методи**

До твердофазних методів виготовлення КМ відносяться дифузійне зварювання, прокатка й пресування, а також високошвидкісні методи з'єднання компонентів композиції (зварювання вибухом і магнітно-імпульсним способом).

При цих процесах використовується матричний матеріал в порошкоподібному стані або у вигляді листів [18].

У першому випадку здійснюється спільне пресування в прес-формі порошку матриці і розподілених в ньому металевих або керамічних волокон, найчастіше дискретних, а також ниткоподібних кристалів. Великим недоліком методу є труднощі орієнтації волокон. Підвищений вміст ниткоподібних кристалів і волокон в матриці може бути досягнуто за допомогою орієнтування і осадження волокон на металевій підкладці, збірки шарів таких підкладок в попередню заготовку, дифузійної зварювання цієї

заготовки до отримання фольги з композиційного матеріалу і подальшого нагрівання виготовленої композиції до температури на 28-55 °С з вище точки плавлення матриці з додатком незначного тиску.

Метод гарячого динамічного пресування полягає в нагріванні пакета в атмосфері з обмеженою окислюваністю, перенесення його на стіл ударного механізму і обтисненні пакета до потрібного розміру за один хід інструменту.

Наприклад, порошок алюмінію, титану, нікелю або молібдену змішують з волокнами сапфіра, карбїду кремнію, бору або вольфраму, підігрівають в вакуумованому контейнері й ущільнюють ударної штампуванням в прес-формі [19].

Таким чином, були отримані вироби складної форми типу сот, крильчатки компресора, лопаток турбін. Також відомий спосіб отримання полікристалічного КМ, який складається з двох етапів: 1) отримання дрібнокристалічного порошку, що включає не менше 25% нанорозмірних фракцій кубічного нітриду бору з розміром частинок менше 100 нм; 2) введення в дрібнокристалічний порошок нітриду бору металевого подрібненого порошку алюмінію з наступним пресуванням отриманої суміші при тиску 0,5-5,5 ГПа при температурі 1300-1600 °С [20].

Дифузійне зварювання волокон, попередньо покритих матричних матеріалом, дозволяє отримати хорошу орієнтацію лише при використанні високопластичних матриць. Зварювання вибухом широко застосовується для з'єднання різнорідних шаруватих металевих матеріалів, в тому числі металів, різницю температур плавлення яких досягає 1000 °С. Метод економічний і забезпечує надійне зчеплення, що з'єднуються. Зварюванням вибухом отримані волокнисті композиції на основі алюмінієвих сплавів і міді. Основний недолік методу полягає в тому, що він не дозволяє отримувати композиції з високоміцними високомодульними крихкими волокнами.

Короткочасний вплив ударних навантажень з меншими швидкостями деформування, ніж при вибуху, також дозволяє отримувати різні металеві

волокнисті композиції з задовільною зв'язком між компонентами.

Твердофазні методи використовуються і для отримання дисперснозміцнених КМ шляхом введення дрібнодисперсних частинок карбідів, оксидів, боридів, нітридів та інших тугоплавких сполук. Суміші порошків одержують хімічним або механічним змішуванням, розкладанням суміші солей, внутрішнім або поверхневим окисленням, хімічним осадженням або водневим відновленням з розчинів. Після формування і спікання проводять гарячу пластичну деформацію з метою отримання щільного, безпористого напівфабрикату (стрічок, профілів, смуг і т.д.) [21].

Найбільш поширеними сполуками, застосовуваними в якості зміцнюючих фази дисперснозміцнених КМ на основі алюмінію і його сплавів, є оксиди. У нашій країні випускають сплави типу САП (Спечений Алюмінієвий порошок), що відрізняються концентрацією оксиду  $Al_2O_3$  (від 6 до 22%). Зарубіжними аналогами є сплави SAP-930, SAP-895, SAP-865. Поряд з матеріалами типу САП розроблені дисперснозміцнені КМ, зміцнюючою фазою в яких служить карбід алюмінію  $Al_4C_3$ , а також змішання оксидів з іншими зміцнюючими фазами (наприклад,  $TiC-Al_2O_3-Al$ ,  $Fe_3Al-TiC$ ) [22, 23]. Такі сплави демонструють підвищення міцності (в тому числі і тривалої), повзучості, але при цьому значно втрачають показники пластичності.

Застосування КМ, виготовлених твердофазними методами, в даний час обмежений високою вартістю, пов'язаної в основному зі складністю процесу їх отримання. Такі технології отримання КМ, як, наприклад, порошкова металургія - багатостадійні, тривалі за часом і енерговитратні методи. Тому останнім часом увагу дослідників направлено на створення нових технологій, які дозволять зробити композити більш доступними матеріалами.

### 1.7.2 Рідкофазні методи

На сьогоднішній день рідкофазні методи визнані більш ефективними в порівнянні з твердофазними, так як призводять до утворення сильного міжфазного зв'язку, необхідного для високих механічних властивостей КМ, і дозволяють використовувати обладнання та основні переваги технологій ливарного виробництва [24, 25].

До традиційних рідкофазних методів виготовлення композиційних матеріалів відносяться методи просочення, замішування і методи *in-situ*.

Метод рідкого просочення є найбільш зручним для отримання готових виробів з композицій, так як виготовлення їх з заготовок механічними способами пов'язане з певними труднощами. Границя між шарами матричного матеріалу, як це має місце в композиціях, отриманих твердофазними методами, в даному випадку відсутній. Суть вакуумного просочення полягає в тому, що армована фаза укладається в форму необхідної конфігурації, ущільнюється до певного процентного вмісту в обсязі форми і піддається просоченню в печі з інертною атмосферою або в вакуумі. Просочення відбувається під дією капілярних сил і тиску стовпа розплавленої матриці, вміщеній зверху армованого компонента. У системах з хорошою змочуваністю досить капілярного тиску, щоб, сталася просочення волокон.

Інші рідкофазні методи отримання КМ (механічне замішування та методи *in-situ*), які застосовуються, в основному для виробництва саме дисперснозміцнені КМ, за способом поєднання армуючої фази з матрицею поділяють на три основних види:

- *ex-situ*, або екзогенне армування;
- *in-situ*, або ендогенне армування;
- комбіновані способи, що поєднують в собі переваги перших двох способів.

Розгорнута класифікація перерахованих вище методів і технологічних прийомів дана в роботі [26].

Ці способи набули найбільшого поширення і, найголовніше, більше за інших підходять для виготовлення дрібноструктурних КМ, тому їх слід

розглянути більш детально.

### **1.7.3 Отримання АМКМ введенням зміцнюючої фази ззовні (ex-situ)**

Найвідоміший метод, що отримав найбільшого поширення в даний час – це метод механічного замішування, заснований на введенні тугоплавких дисперсних частинок в рідкометалічну матрицю ззовні (ex-situ) з паралельним інтенсивним перемішуванням за допомогою спеціальних пристроїв. В цьому випадку властивості литих композиційних матеріалів, армованих керамічними частками, визначаються не тільки формою частинок, об'ємною часткою, природою й їх взаємодією з матрицею, а й такими технологічними факторами, як співвідношення обсягів рідкої та твердої фаз в процесі замішування, режими замісу, вид підготовки частинок перед введенням в розплав і ін.

Одним з основних умов отримання КМ, як показав практичний досвід, є забезпечення змочування матричних матеріалом вводиться армуючої фази. Для поліпшення змочуваності підвищують температуру частинок і розплаву, проводять попередню обробку частинок, легують поверхнево-активними добавками матрицю.

Однією з головних проблем в технології ex-situ є спосіб введення шихти в розплав, який повинен забезпечувати: зниження пористості в найбільш можливому ступені; отримання гарного засвоєння зміцнюючих часток; отримання рівномірного розподілу часток в матриці; отримання гарного ступеня зчеплення між частками й матрицею.

Щодо поліпшення введення шихти в розплав існує безліч пропозицій.

Наприклад, відомо, що вплив ультразвукової кавітації на гетерогенну систему «розплав - частинки» покращує рівномірність розподілу часток і змочування частинок. Однак застосування цього методу пов'язане з рішенням досить складних технологічних завдань, таких як висока витрата енергії або підбір матеріалу для випромінювача ультразвуку [27]. Також пропонується легувати алюмінієві сплави тугоплавкими металами при одночасному впливі електромагнітних імпульсів. Створюються умови для управління процесами формування високодисперсною мікроструктури [28]. Існує ще метод вдування частинок газовим плазмовим або нейтральним потоками. З введенням частинок відбувається одночасне перемішування розплаву, що сприяє більш рівномірний розподіл часток по об'ємі матриці. Вдування в плазмовому потоці газу сприяє підвищенню температури частинок, веде до поверхневого оплавлення і, тим самим, підсилює хімічну взаємодію частинок і металу [29].

Технологія *ex-situ* знайшла широке застосування за кордоном. Наприклад, методика MC-HPDC, розроблена в Brunel Centre for Advanced Solidification Technology (Великобританія) [28], вона складається з декількох основних етапів: в атмосфері аргону відбувається процес змішування; після затвердіння, в залежності від хімічного складу алюмінієвої матриці, відбувається повторний розігрів до заданої температури плавлення; повторюється короткочасне перемішування і подається в спеціальний пристрій, що складається з гвинтових шнеків. Твердо - рідка композиція, проходячи через обертові шнеки, відчуває великі зсувні деформації, які надають подрібнююче вплив на що формуються фази і їх рівномірний розподіл. Після проходження через шнеки композиційний матеріал потрапляє в холодну камеру пресування для лиття під тиском. В результаті в структурі литого матеріалу формуються частинки графіту, рівномірно розподілені в алюмінієвій матриці. У зарубіжній роботі [30] також представлені результати досліджень отримання циліндричних втулок з АМКМ на базі сплаву A357

(система Al-Si-Mg) відцентровим способом лиття. Як армуючі частинки використовували  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{SiC}$ , отримані ex-situ і суміщені попередньо з розплавом за методом механічного змішування.

Крім цього відомий новітній зарубіжний патент [31], в якому пропонується змішувати порошки алюмінію, титану та карбонату кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ), нагрівати цю суміш до температур освіти карбіду титану 800-1000 °С, а потім помістити отриманий спік в піч в розплав алюмінію й витримувати в інертній атмосфері (аргон, азот, гелій і т.д.) при температурах 1200-1350 °С протягом 4-7 год. з метою завершення реакції утворення карбіду титану. Повідомляється, що таким чином автори отримують композиційний матеріал з об'ємною часткою  $\text{TiC}$  до 30%. Група інших іноземних авторів пропонує отримувати композиційні матеріали Al-0,7%  $\text{TiC}$  і Al-1%  $\text{TiC}$  шляхом механічного змішування готових субмікронних і ультрадисперсних частинок розміром 400-700 нм [32]. Відмінною особливістю роботи є додавання в розплав солі  $\text{K}_2\text{TiF}_6$  як флюсу. Автори відзначають дислокації зміцнюючої фази переважно близько до меж зерен матричного сплаву, а також побічне формування фази  $\text{Al}_3\text{Ti}$ , але при цьому спостерігається підвищення зносостійкості отриманого матеріалу. Новітні дослідження представлені в роботі іранських вчених [33], були спрямовані на порівняння механічних характеристик зразків сплавів Al-10%  $\text{TiC}$ , Al-10%  $\text{V}_4\text{C}$  і Al-5%  $\text{V}_4\text{C}$ -5%  $\text{TiC}$ , отриманих шляхом введення готових керамічних фаз  $\text{TiC}$  і  $\text{V}_4\text{C}$  (з розміром частинок 10-30 мкм) при інтенсивному перемішуванні розплаву протягом 10-20 хв. і з додаванням флюсу  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  (кріоліт). Показано, що при порівняно за значеннями твердості (44, 51 і 55 HV відповідно), міцності (66, 75, 72 МПа), найбільшим відносним подовженням володіє сплав Al-10%  $\text{TiC}$  (27, 19, 24%). У нашій країні також існують приклади отримання композитів методом механічного змішування. Наприклад, в роботах [34-38] отримані сплави складів АК12 + 5%  $\text{SiC}$  + 2,5% С АК9 + 4%  $\text{SiC}$ , А99 + 10%  $\text{Ti}$  + 5%  $\text{SiC}$ , АК9 + 5%  $\text{SiC}$  + 1,25% С та ін.,

теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена можливість застосування литих композиційних матеріалів системи Al сплави - частинки наповнювача в вузлах тертя механізмів і машин в парі зі сталлю в умовах тертя ковзання без мастила, тобто дослідження спрямовані на вивчення триботехнічних властивості одержуваних АМКМ.

Таким чином, очевидно, що механічне замішування армуючих частинок в розплав широко поширене завдяки своїй відносній простоті та економічності. Однак реалізація цього способу часто пов'язана з низкою труднощів технологічного характеру, пов'язаних, наприклад, з поганою змочуваністю, або вміст частинок в розплаві не забезпечує достатнього рівня адгезійного зв'язку між матрицею й армуючою фазою. Крім того, в процесі активного механічного перемішування відбувається сильне газонасичення та окислення матричного розплаву, що призводить до підвищеної пористості композиційних виливків.

Незважаючи на те, що різними авторами регулярно публікуються теоретичні та експериментальні дані про поведінку частинок в розплаві (агломерації, розчиненні, рівномірності розподілу) в процесі їх введення, перемішування, витримки, при заливці композиту і формуванні виливки, питання про вплив кількості, фазового складу і умов введення в розплав частинок залишаються відкритими і знаходяться в стадії відкритої дискусії [39].

#### **1.7.4 Отримання АМКМ формуванням зміцнюючої фази в розплаві (in-situ)**

Рідкофазне з'єднання компонентів композиційних матеріалів за рахунок проведення хімічної реакції синтезу зміцнюючих часток безпосередньо в розплаві за кордоном отримало назву in-situ. Дана технологія

забезпечує більш щільний контакт і добрий зв'язок (адгезію) між фазами композиційного сплаву, так як дані фази формуються безпосередньо в розплаві і тому вони не забруднені оксидами, адсорбованими газами і вологою, не контактують з атмосферою і мають свіжі чисті поверхні [40, 41, 42].

Існують нестандартні методи отримання КМ в одну стадію, як, наприклад, спосіб отримання композиту Al-TiC при кавітаційному впливі на розплав Al-Ti [43]. При цьому використовується установка, яка працює за типом акустичного резонатора і дозволяє за допомогою пружних низькочастотних коливань (подається через випромінювач звуку в розплав за секунди) створювати в рідкому середовищі режим розвиненої кавітації. В атмосфері аргону проводиться кавітаційний вплив на розплав (тигель і випромінювач графітові) протягом 4 ... 5 хв. на кожному ступені перегріву. При аналізі отриманих зразків, було показано наявність зміцнюючих фаз, які рівномірно розподілилися в матриці і склалися з компонентів різної природи (TiC<sub>1-x</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>4</sub>O<sub>4</sub>C, Al<sub>3</sub>Ti і ін.). Однак така велика кількість одержуваних фаз не є бажаним явищем, з огляду на те, що не гарантує стабільності механічних властивостей кінцевого композиційного матеріалу.

Можна відзначити ще один спосіб отримання композиту Al-TiC. Синтез карбіду титану відбувається безпосередньо в розплаві, вводяться вуглецевмісні гази, зазвичай суміш аргону і CH<sub>4</sub> [42, 43]. Процес проводиться при 1200-1300°C від 20 хв до 2 год в залежності від необхідної частки TiC, складу вихідної матриці і кількості розплаву. Отриманий матеріал має високі властивості, однак виникає ряд практичних труднощів, пов'язаних з технічним обладнанням і складністю управління об'ємною часткою частинок карбіду титану в сплаві. Для джерела вуглецю також можна використовувати частки SiC або Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, порошки яких вводять в розплав Al-Ti, шляхом замішування при температурі 1150-1300 °C. У дослідженнях також використовують суміші порошків Ti і Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, які вводять безпосередньо в

розплав Al при 1200 °C [44].

Більш прогнозованою виявилась технологія, в ході якої синтез армуючих фаз протікає в рідкій металевій матриці, коли дисперсні частки армуючої фази синтезують в ньому при 700-800 °C за рахунок екзотермічних хімічних реакцій між попередньо введеними компонентами, що запускаються загальним або локальним розігрівом розплаву до 1100 - 1300 °C. Дана технологія отримала назву САМ- процесу - синтез армуючих матеріалів [45].

Слід зазначити, що САМ-процес заснований на явищі, відкритому в 1967 році російськими вченими академіком А.Г. Мержанова і професорами І.П. Боровинська і В.М. Шкіря, який отримав назву саморозповсюджувальний високотемпературний синтез (СВС).

СВС - це процес переміщення хвилі хімічної реакції по суміші реагентів з утворенням твердих кінцевих продуктів, що проводиться з метою синтезу речовин матеріалів. СВС являє собою режим протікання сильної екзотермічної реакції (реакції горіння), в якому тепловиділення локалізовано в шарі і передається від шару до шару шляхом теплопередачі. Тому в подальшому технологія, в ході якої реакція між частинками реакційноактивних порошків протікає або в режимі пошарового горіння або в режимі одночасного згоряння всього обсягу суміші порошків за рахунок тепла, що виділяється рідким матричних розплавом, отримала назву СВС в розплаві (або in-situ за кордоном).

## **1.8 Композиційні матеріали з металевою матрицею**

Одним з напрямків розвитку сучасного науково-технологічного прогресу є напрямок створення матеріалів з наперед заданими властивостями. Нові конструкційні матеріали повинні забезпечувати зростаючі вимоги до них: по міцності, зниження маси і металоємності, підвищеного ресурсу надійності, тривалості експлуатації в екстремальних

умовах температурно-силового впливу. Всьому цьому широкому спектру підвищених вимог задовольняють композиційні матеріали (КМ), що отримали умовне математичне вираз:  $1 + 1 > 2$ . Дане математичне вираз можна прокоментувати, як з'єднання позитивних властивостей вихідних компонентів з отриманням в результаті їх об'єднання - матеріалу з синергетическим ефектом, що перевищує сумарний ефект. Це обставина забезпечило постійно зростаючий до композиційним матеріалами інтерес у всіх провідних індустріально розвинених країнах [7].

Як відомо, композит - це об'ємне монолітне штучне поєднання різнорідних за формою і властивостями двох і більше матеріалів (компонентів), з чіткою межею поділу, що використовує переваги кожного з компонентів і проявляє нові властивості, обумовлені граничними процесами.

Метою створення КМ є об'єднання схожих або різнорідних компонентів для отримання матеріалу з новими заданими властивостями і характеристиками. З появою такого роду матеріалів виникає можливість селективного вибору властивостей композитів, необхідних для потреб кожної конкретної області застосування [10].

Композиційні матеріали з металевою матрицею (металокомпозити) - матеріали, що складаються з металевої (Al, Mg, Ni та їх сплави) матриці, зміцненої високоміцними волокнами (волокнисті матеріали), або тугоплавкими тонкодисперсними частинками, які не розчиняються в металі матриці (дисперсно-зміцнені матеріали).

Ці матеріали відрізняються від звичайних сплавів великими значеннями тимчасового опору і межі витривалості (на 50 - 100%), модуля пружності, коефіцієнта жорсткості і зниженою схильністю до тріщин і високу жароміцних. Металеві матриці мають високою реакційною здатністю в рідкофазному стані і високим опором деформації в твердофазном.

Як було вказано вище, композити з металевою матрицею найбільш близькі до необхідних вимог сучасної техніки, тому їх дослідження актуальні,

найбільш користуються попитом теоретичні та прикладні роботи в області розробок композитів з металевими матрицями.

Композиційні матеріали складаються з металевої матриці (частіше Al, Mg, Ni та їх сплави), зміцненої високоміцними волокнами (волокнисті матеріали) або дрібнодисперсних тугоплавкими частками, що не розчиняються в основному металі (дисперснозміцнені матеріали). Металева матриця пов'язує волокна (дисперсні частинки) в єдине ціле.

Волокнисті композити з металевою матрицею мають дві основні переваги у порівнянні з більш поширеними композитами з полімерної матрицею: вони можуть використовуватися при значно більш високих температурах, а також вони більш ефективні в відносно малогабаритних сильно навантажених елементах конструкцій. Останній факт визначається можливістю істотно скоротити масу стикувальних елементів конструкцій завдяки високій міцності металевої матриці в порівнянні, наприклад, з полімерною, і технологічністю обробки композитів з такою матрицею (можливість використання різьбових з'єднань і т. д.).

Волокна в КММ несуть основне навантаження, при цьому довжина передачі навантаження в такого типу композитах багато менше відповідної довжини в композитах з полімерної матрицею в силу великих можливих дотичних напружень в матриці (за умови досить міцного зв'язку на межі розділу волокна і матриці). Ця обставина позначається позитивним чином на міцнісні характеристики композиту в силу масштабної залежності міцності волокна. Можливі також ситуації, в яких взаємодія волокна і матриці істотно підвищує ефективну міцність волокна, в результаті реальна міцність композиту виявляється вище величини, отриманої при використанні результатів випробувань окремих волокон. Такого типу ефекти роблять волокнисті КММ перспективними матеріалами. Важливою особливістю КММ з пластичною металевою матрицею є можливість конструювання структур з крихкими волокнами, тріщиностійкість яких перевершує

тріщиностійкість неармованої матриці.

На відміну від волокнистих композитів, в дисперснозміцнених матеріалах матриця є основною складовою, що несе навантаження, а дисперсні частинки гальмують руху дислокацій, підвищуючи межу плинності та міцність матеріалу. Висока міцність досягається при розмірі частинок 10-500 нм при середній відстані між ними 100 - 500 нм і рівномірному їхньому розподілі в матриці. Дисперснозміцнені композити можуть бути отримані на основі більшості застосовуваних в техніці металів і сплавів.

### 1.9 Алюмінієві композитні матеріали

Для виробництва матриці МКМ в даний час випробувані практично всі застосовувані в промисловості метали і сплави на їх основі. Алюміній і сплави на його основі набули найбільшого поширення (Рис. 1.7) [46].

Алюмінієвий композитний матеріал (АКМ) - це такий композиційний матеріал, який має основу (матрицю) алюмінієвого сплаву.

Основна мета армування матриці складається в підвищенні фізико-механічних властивостей одержуваного композиційного матеріалу шляхом реалізації в ньому високої міцності матеріала.

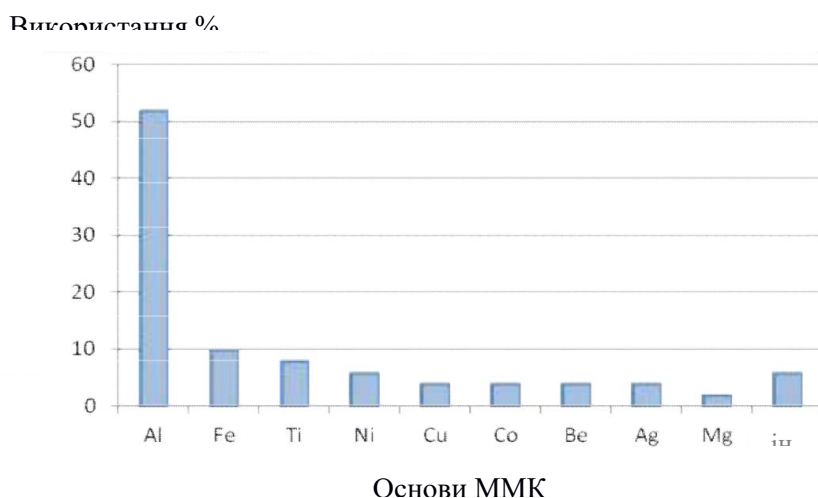


Рисунок 1.7 - Використання матричних матеріалів при отриманні

металоматричних композитів

Композитна структура матеріалу надає йому легкість і високу міцність у поєднанні з пружністю і стійкістю до зламу. Хімічна та лакофарбова обробка поверхні забезпечує матеріалу чудову стійкість до корозії і температурних коливань. Завдяки поєднанню цих унікальних властивостей, алюмінієвий композитний матеріал є одним з найбільш затребуваних в будівництві.

Алюмінієвий композит має ряд істотних переваг, які забезпечують йому зростаючу з кожним роком вимогливість як розповсюдженого матеріалу:

- Мінімальна вага в поєднанні з високою жорсткістю. АКМ відрізняються низькою вагою, що обумовлено застосуванням алюмінієвих сплавів та полегшеного наповнювача у поєднанні з високою жорсткістю;

- Скорочення підсумкових витрат. За своєю природою алюміній - простий, дешевий матеріал, запаси його в земній корі фактично ніяк не обмежені. Алюміній утворює сплави майже з усіма металами;

- Площинність матеріалу. Алюмінієвий композитний матеріал здатний протистояти скручування. Причина цього полягає в нанесенні верхнього шару методом прокатки. Площинність забезпечується застосуванням прокатки замість звичайної пресування, яка дає високу рівномірність нанесення шару;

- Стійкість лакофарбового покриття до впливу навколишнього середовища. Завдяки надзвичайно високій стійкості матеріалу до лакофарбового покриття, він протягом тривалого часу не втрачає інтенсивність забарвлення під впливом сонячного кольору і агресивних компонентів атмосфери;

- Загальна зносостійкість. АКМ мають просту структуру, утворену алюмінієвими сплавами і наповнювачем. Сполучення цих матеріалів

забезпечує матеріалам гарну жорсткість у поєднанні з еластичністю, що робить АКМ стійким до навантажень і деформацій, що створюються навколишнім середовищем;

- Корозійна стійкість. Стійкість матеріалу до корозії визначається застосуванням в структурі композита алюмінієвого сплаву, захищеного багат шаровим лакофарбовим покриттям. У разі пошкодження покриття поверхню композит захищає оксидна плівка;

- Звукоізоляційні властивості. Композиційна структура АКМ забезпечує гарну звукоізоляцію, поглинаючи звукові хвилі і вібрації;

- Оброблюваність матеріалу. АКМ легко піддаються таким видам механічної обробки як різання, фрезерування, свердління, вальцювання, зварювання, склеювання, без шкоди покриттю і порушення структурі матеріалу. При навантаженнях, що виникають в процесі експлуатації композитів, не відбувається розтріскування алюмінієвих листів і лакофарбового покриття та його розшарування. При виробництві на заводі деталі захищаються від механічних пошкоджень спеціальною плівкою, що видаляється після завершення монтажних робіт;

- Надання форми. АКМ легко приймають практично будь-яку задану форму. Придатність матеріалу до спаювання дозволяє домагатися складної геометрії виробів, що неможливо ні з одним іншим облицювальним матеріалом, крім алюмінію, перед яким АКМ значно виграє за вагою;

- Естетичність конструкції. Застосування алюмінієвого композитного матеріалу дозволяє створювати деталі різних розмірів і форм, що робить даний матеріал незамінним при вирішенні складних архітектурних завдань;

- Тривалий термін служби. АКМ протягом тривалого часу стійкі до впливу зовнішнього середовища, таким як сонячне світло, атмосферні опади, вітрові навантаження, коливання температури, завдяки застосуванню стійкого покриття і досягнутому в матеріалі поєднанню твердості і еластичності. Причому матеріал не втрачає своїх фізико-механічних властивостей протягом

надзвичайно тривалого часу;

– Мінімальний догляд у процесі експлуатації. Наявність високоякісного покриття сприяє самоочищенню деталей від зовнішніх забруднень. Так само деталі легко миються неагресивних очисниками.

Значний інтерес до алюмоматричних композиційних матеріалів (АМКМ) обумовлений їх високою питомою міцністю, малою щільністю, деформованою здатністю, гарними технологічними властивостями, низьким коефіцієнтом термічного розширення, високу несучу здатність і зносостійкість в широкому температурно-силовому інтервалі експлуатації [47].

### **1.10 Дисперсно-зміцнені матеріали**

Дисперсно-зміцненими матеріалами називають композиційні матеріали, в матрицю яких на одній з технологічних операцій штучно вводять дисперсні рівномірно розподілені на заданій відстані частинки, що не взаємодіють активно з матрицею і не розчиняються в ній помітно, аж до температур плавлення фаз. Зміцнювальні частинки відрізняються твердістю і інертністю по відношенню до основного металу. Такі системи структурно стійкі до повернення і рекристалізації навіть при температурах, близьких до температур плавлення. Матриця в цих сплавах виступає основним елементом, що несе навантаження, зміцнювальна фаза лише створює дислокаційну структуру. Одна й та ж зміцнювальна фаза в залежності від розмірів її включень може викликати різний ступінь гальмування дислокації, так як розміри визначають характер взаємодії фази з матрицею і дислокаціями.

Введення в матрицю дисперсних міцних частинок підвищує жорсткість, жароміцність і розмірну стабільність КМ, покращує триботехнічні характеристики. Зазначений комплекс властивостей дисперсно-зміцнених КМ на основі алюмінієвих сплавів забезпечує їм конкурентні

переваги, що визначає успіх їх застосування в автомобілебудуванні, суднобудуванні і аерокосмічній техніці.

Проте, механічні і триботехнічні властивості дисперсно-зміцнених КМ залежать від ряду факторів: механічних властивостей матеріалів матриці та армуючих частинок, об'ємного співвідношення компонентів, фракційного складу і розподілу дисперсної фази, міцності і характеру зв'язку між матрицею і наповнювачем, структури КМ і характеру наступної обробки - термічної або термомеханічної.

Згідно класичним уявленням про механізм зміцнення, збільшення вмісту армуючої фази призводить до збільшення міцності, однак пластичність при цьому помітно знижується. У загальному випадку міцність при розтягуванні і пластичність дисперсно-зміцнених КМ нижче, ніж у матричних сплавів, що обумовлено переважним зародженням тріщин на поверхнях розділу або в ділянках скупчення наповнювачів [7].

Для створення узагальненої теорії зміцнення металів і сплавів некогерентними дисперсними частками необхідно розглядати в сукупності численні фактори, що впливають на рухливість дислокацій. До них відносяться морфологія часток і тип їх зв'язку з матрицею, наявність домішкових атомів, будова кордонів, відмінності в механізмах подолання дислокаціями перешкод і ін. Єдиної теоретичної моделі дисперсного зміцнення не існує, що пов'язано зі складністю обліку всіх факторів, що впливають на характер взаємодії частинок з рухомими дислокаціями [8].

Прямий ефект низькотемпературного зміцнення від частинок в дисперсно-зміцнених КМ не настільки великий, як непрямий ефект зміцнення внаслідок стабілізації частинками блокової структури, що формується при деформації. При оцінці впливу структурних факторів на високотемпературні властивості дисперсно-зміцнених КМ слід враховувати не тільки форму і розміри зерен, але і характер стабільної структури, що формується при деформаційно-термічної обробки під впливом тонких

зміцнюючих часток.

Розподілу зміцнюючих часток за обсягом сплаву може відбуватися за двома схемами, зазначеним на рисунку 1.8.

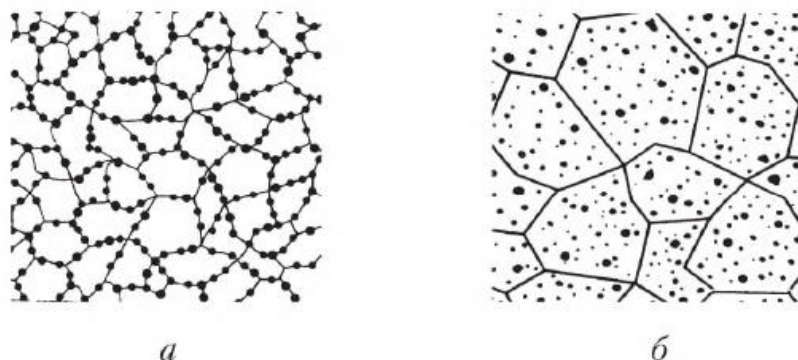


Рисунок 1.8 Типи дисперсно-зміцнених структур: а) дисперсна, б) агрегатна

Дисперсна структура - частинки рівномірно розподілені по всьому об'єму матриці і перебувають як в самих зерен, так і по їх границях. Така схема є найбільш кращою з точки зору механічних властивостей, але і найбільш важкодоступною. Рівномірний розподіл часток в матриці дає найменшу довжину пробігу дислокації. Збільшення об'ємного вмісту наночастинок з 1 до 7% об. зменшує середню довжину пробігу дислокації на 50%, подальше збільшення вмісту зміцнюючих часток неефективно тому не відбувається значного зменшення довжини пробігу дислокації;

Агрегатна структура – частинки зміцнюючої фази розташовуються переважно по межах зерен. При цьому вплив частинок зводиться до закріплення субграніц, стабілізації дрібної субзеренної структури при кімнатній і помірною температурах, стабілізації нерівноосних зерен при високих температурах і, як наслідок – затруднення протікання процесу повзучості.

Можно зауважити, що в агрегатній структурі частки зміцнювальної

фази оточені кількома зернами матриці, мають різну кристалографічну орієнтацію, в дисперсній же структурі частка зміцнюючої фази повністю оточена однаково орієнтованої матрицею. Переважання тієї чи іншої структури визначається способом отримання композиційних матеріалів.

Технологія отримання дисперсно-зміцнених матеріалів полягає у виборі зміцнювальної фази і методу її введення, визначенні об'ємного змісту, а також в розробці раціональних режимів деформації і термічної обробки. Вибираючи зміцнювальну фазу, слід виходити з її термодинамічних властивостей, дифузійної рухливості в матриці і інших параметрів, які враховують умови експлуатації даної композиції. Об'ємний вміст зміцнювальної фази визначається технологічними можливостями рівномірного розподілу, що входять до складу композиційного матеріалу компонентів.

Отже, введення в матрицю дисперсних міцних частинок підвищує жорсткість, жароміцність і розмірну стабільність КМ, покращує триботехнічні характеристики. Зазначений комплекс властивостей дисперсно-зміцнених КМ на основі алюмінієвих сплавів забезпечує їм конкурентні переваги, що визначає успіх їх застосування в автомобілебудуванні, суднобудуванні і аерокосмічній техніці.

### **1.11 Роль залізних часточок в алюмінієвих композиційних матеріалах**

Алюмінієві сплави мають привабливі властивості, такі як низька щільність, висока міцність до вагового співвідношення, чудова корозійна стійкість і відносно низька вартість [48, 49, 50], що робить їх оптимальним конструктивним матеріалом для деяких спеціальних застосувань, таких як магнітне холодильне та кухонне начиння для індукційного нагріву. Основним перешкодою, що обмежує їх застосування, є їх слабкі магнітні властивості

[51]. Це обмеження можна видалити, якщо магнітний шар заляпаний на їх поверхні, або частинки з відповідними магнітними властивостями вкладені в алюмінієву матрицю для утворення матричних композитів поверхневих металів (SMCs) [52, 53, 54]. У цих ситуаціях в алюмінієві сплави введено нове та цікаве фізичне властивість, "намагніченість", на додаток до їх відмінних фізико-механічних властивостей. З цією метою дуже важливим є вибір як придатних наповнювачів, так і матричних матеріалів. З точки зору здоров'я чистий алюміній буде матричним матеріалом [55, 56]. З іншого боку, порошки заліза (Fe) та магнетиту ( $Fe_3O_4$ ) є сильними кандидатами, які використовуються для наповнення завдяки їх хорошим магнітним властивостям [57, 58, 59].

### **1.12 Переваги та недоліки композиційних матеріалів**

У сучасному світі машинобудування та приладобудування не можуть обійтися без застосування композиційних матеріалів, що володіють надтвердих, надміцністю, стійкістю при високих умовах при порівняльному аналізі матеріалів (сталлю, чавуном, латунню, алюмінієм і т.п.).

Композиційні матеріали мають перевагу гнучкій конструкції, яка може бути адаптована до вимог конкретної проекту. На рис. 1.9 показані переваги композиційних матеріалів в порівнянні зі сталлю і алюмінієм.

У порівнянні з монолітними металами, MMC мають:

- вищий коефіцієнт міцності і щільності
- вищий коефіцієнт жорсткості до щільності
- кращі властивості підвищеної температури
- нижчі коефіцієнти термічного розширення
- краща зносостійкість

Деякі з недоліків MMC в порівнянні з монолітними металами та полімерними матрицями композити:

- вища вартість деяких матеріальних систем,
- відносно незрілі технології,
- комплексні методи виготовлення армованих волокнами систем (крім лиття),
- обмежений досвід роботи.

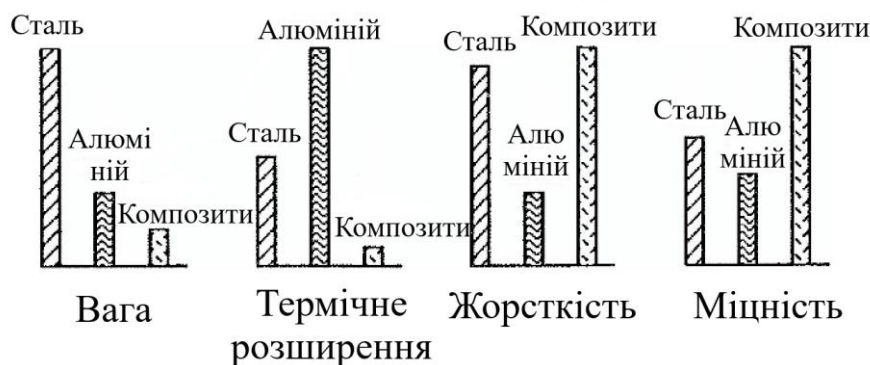


Рисунок 1.9 - Порівняння композиційних матеріалів зі сталлю і алюмінієм

Головна перевага КМ в тому, що матеріал і конструкція створюється одночасно. Варто відразу обумовити, що КМ створюються під виконання даних завдань, відповідно не можуть вмщати в себе всі можливі переваги, але, проектуючи новий композит, інженер вільний задати йому характеристики, що значно перевершують характеристики традиційних матеріалів при виконанні даної мети в даному механізмі, але поступаються їм в будь-яких інших аспектах. Це означає, що КМ не може бути краще традиційного матеріалу у всьому, тобто для кожного виробу інженер проводить всі необхідні розрахунки і тільки потім вибирає оптимум між матеріалами для виробництва.

Нижче зазначені деякі переваги композитів:

- Легка вага - Композити легкі за вагою, у порівнянні з більшістю металів. Їх легкість важлива для літаків, де менша вага означає кращу

ефективність палива (більше миль до галону).

- Сила, пов'язана з вагою - Сила до ваги співвідношення - це сила матеріалу щодо того, скільки воно важить. Деякі матеріали дуже сильні і важкі, такі як сталь. Композитні матеріали можуть бути як сильними, так і легкими. Ця властивість полягає в тому, що композити використовуються для виготовлення літаків, які потребують дуже високоміцного матеріалу з найнижчою вагою.
- Корозійносійкість. Композити протистоять пошкодженням від погоди та суворих хімікатів, які можуть з'їсти з інших матеріалів. На свіжому повітрі вони витримують сильну погоду та широкі температурні зміни.
- Гнучкість. Композити можуть бути легко сформовані у складних формах, ніж більшість інших матеріалів. Це дає дизайнерам свободу створювати практично будь-яку форму або форму.
- Консолідація частини. Один композитний матеріал може замінити цілу збірку металевих деталей. Зменшення кількості деталей у машині або конструкції заощаджує час та скорочує технічне обслуговування, необхідне протягом всього терміну роботи.
- Габаритні стійкості. Композити зберігають свою форму та розмір, коли вони гарячі або прохолодні, вологі або сухі. Вони використовуються, наприклад, у повітряних крилах, так що форма і розмір крила не змінюються, коли площина піднімається або втрачає висоту.
- Довговічність. Структури з композитів мають тривалий термін служби і потребують невеликого обслуговування. Ми не знаємо, як довго тривають композити, тому що ми не дійшли до кінця життя багатьох оригінальних композитів. Багато композитів були в експлуатації протягом півстоліття.

Але є й деякі недоліки такі, як:

- Деламінування. Оскільки композити часто виготовляються з різних шаруватих шарів у структуру ламінату, вони можуть "розщеплювати"

між шарами, де вони слабкіші.

- Висока вартість. Це порівняно новий матеріал, і як такий є дорогий.
- Комплексне виготовлення. Процес виготовлення зазвичай є трудомістким та складним, що додатково підвищує вартість.
  - Огляд пошкоджень. Очищення та утворення тріщин у композитах переважно внутрішні, і тому необхідні складні методи перевірки для виявлення.
  - З'єднання з композиту до металу. Метали розширюють і стикаються більше з варіаціями температури в порівнянні з композитами. Це може спричинити незбалансованість столярних виробів і може призвести до невдач.
  - Запобігаючи незначним недолікам, композитні матеріали є майже ідеальним матеріалом для літаків та відповідають більшості структурних вимог. Завдяки подальшому дослідженню прогресу у створенні композитного контролю за матеріальними збитками, існуючі проблеми можна також контролювати.

Стосовно алюмінієвих композитів хотілося окремо зазначити їх пріоритети й проблеми. Використовуючи композити, щоб виготовити 50% планера літака Боїнг 787, аерокосмічний лідер побив 20% ваги з літака порівняно зі звичайними алюмінієвими конструкціями.

Перевагами цих композитів є те, що вони:

1. Композити зменшили загальну вагу конструктивного елемента на 20-50%.
2. Це дуже жорсткий, довговічний і міцний матеріал, хоча він дуже легкий у вазі.
3. Стійкий до атмосферних умов.
4. Композити мають менші витрати на збірку, тому що для цього потрібні дуже мало кріплень, болтів тощо.
5. Композити відмінні при роботі з напругою. У надзвичайно

напружених додатках, таких як фюзеляж літаків, це допомагає зменшити втому і підтримку. Алюміній чутливий до навантажень на натяг.

6. Композити можуть створювати одноразові конструкції. Виготовлення продукту незалежно від того, чи це крила літака або вітрова колода, зменшує технічне обслуговування.

7. Композити дозволяють точне розподіл ваги. У такому застосуванні, як бейсбольна біти, це дозволяє забезпечити збалансоване завантаження, що сприяє легкому, швидкому обертанню або кінцевому навантаженню, що допомагає силовим гравцям отримати більше відстані. Алюмінієві сплави кажанів має менш точний розподіл ваги.

8. Композити міцні, але гнучкі - наприклад, лижні стовпи Composites, як правило, забезпечують більшу гнучкість та довговічність, ніж звичайні алюмінієві: вони можуть суттєво згинатися, не затискаючи.

9. Композити поглинають коливання. Через те, що вони не еластичні, композити розсіюють енергію вібрацій, роблячи їх придатними для застосування від монтажних пристосувань до спортивних взуттєвих взуття. Алюміній не поглинає коливання, а також композити.

Недоліками є:

1. Композити мають високі періодичні витрати.
2. Композити - це вищі неперіодичні витрати.
3. Композити мають вищі матеріальні витрати.
4. Композити мають дуже дорогий ремонт і технічне обслуговування.
5. Композити необхідні для ізоляції, щоб запобігти гальванічній корозії прилеглої частини алюмінію.

### **1.13 Структура металевої матриці**

Питання про оптимальну структуру металевої матриці зносостійких

композиційних матеріалів є складним й дискусійним. У роботах І.М. Богачева, Н.А. Грінберга, В.С. Попова, Я.Е. Гольдштейна, Л.Т. Філіпової показано, що аустеніто - мартенситна структура, а особливо аустеніто - мартенситна структура при наявності в ній карбідних фаз, є більш зносостійкою, ніж мартенситна структура.

Сприятливий вплив аустеніту в карбідомістких мартенситних сплавах пов'язано з міцнішим зв'язком карбідних фаз з аустенітом, ніж з мартенситом (більшим ступенем когерентності), а також меншими внутрішніми напруженнями й дефектами кристалічної будови.

Сприятливий вплив аустеніту в мартенситних сплавах, що містять карбіди пов'язано з більш міцним зв'язком карбідних фаз з аустенітом, ніж з мартенситом (більшим ступенем когерентності), а також меншими внутрішніми напруженнями і дефектами кристалічної будови.

Однак позитивний вплив аустеніту на зносостійкість сплаву реалізується тільки в тому випадку, коли аустеніт нестабільний і в процесі зношування під впливом локальних температур і пластичних деформацій, що виникають в мікросферах робочих поверхонь, перетворюється в мартенсит.

У цих умовах відбуваються фазові перетворення (по типу аустеніт → мартенсит або аустеніт → мартенсит + дисперсні карбіди), в процесі яких поглинається частина енергії руйнування.

У дослідженнях Я.Е. Гольдштейна і Л.Т. Філіпової показано, що при чисто абразивному зношуванні максимальну зносостійкість мають залізовуглецевих сплави з мартенситної або мартенсито - карбідної структурою, а при зношуванні в умовах підвищених питомих тисків або ударних впливів, тобто при складному напруженому стані поверхневих шарів, що супроводжується локальної деформацією, максимальну абразивну зносостійкість мають аустеніто - мартенсито-карбідні структури [13].

Оптимальний тип структури матриці зносостійких композиційних матеріалів в значній мірі визначається умовами зношування. При низьких

питомих тисках, коли характер зносу наближається до ерозії, доцільна мартенситна матриця, а при високих питомих тисках, більших кутах атаки і наявності ударів перевагу слід віддавати аустеніто - мартенситної структурі (при вмісті аустеніту не більше 20-25%).

#### **1.14 Вплив магнітних полів на формування оптимальних властивостей КМ**

Створення нових композиційних матеріалів належить до пріоритетних задач фізики конденсованого стану і не тільки базується на підборі складових, а й пов'язане з більш ефективним напрямом — використанням фізичних методів модифікації їх структури в магнітних полях. Останнім часом значна увага вчених приділяється розробленню методів модифікації наповнених полімерних матеріалів зовнішніми фізичними полями, а саме: ультразвуковим, електроіскровим, магнітним, електричним та іншими. Це відкриває принципово нові можливості для створення композитних матеріалів із покращеними характеристиками. Як правило, використання традиційних методів модифікації полімерів наповнювачами різної природи з метою покращення їх властивостей, особливо електропровідності, теплопровідності, магнітних властивостей, передбачає введення в полімерну матрицю значних концентрацій наповнювача, що супроводжується погіршенням механічних властивостей і збільшенням маси композиту. Використання магнітного поля дає можливість отримувати полімерні матеріали з покращеними фізико-хімічними та механічними властивостями при незначному вмісті наповнювача за рахунок орієнтації полімерних ланцюгів і частинок наповнювача.

В даний час вивчення впливу магнітного поля на процес кристалізації і фізичні властивості матеріалу виливків має практичну цінність. Магнітні поля використовуються для перемішування, модифікування розплаву в тиглі

або формі, для розігріву металу. У сплавах алюмінія, які містять такі елементи як: залізо, марганець, нікель, хром, мідь та інші, в зв'язку зі зменшенням розчинених легуючих добавок при переході системи з рідкого стану в твердий виділяються інтерметалідні фази, що мають магнітну проникність та питому електропровідність. Це дає можливість здійснювати цілеспрямований вплив магнітних полів на характеристики окремих фаз (дисперсність, форму, розподіл структурних складових і т. п.) [60 - 65]. При застосуванні поля магнітні моменти частинок наповнювача впорядковуються за рахунок взаємодії з полем, що змінює їхню взаємодію між собою і може призвести до оборотнього зміщення частинок усередині пружною матриць (Рис. 1.10). Таке впорядкування позначає вплив на магнітні, електричні та механічні властивості КМ в цілому. Таким чином, змінювати властивості матеріалу можна дистанційно.

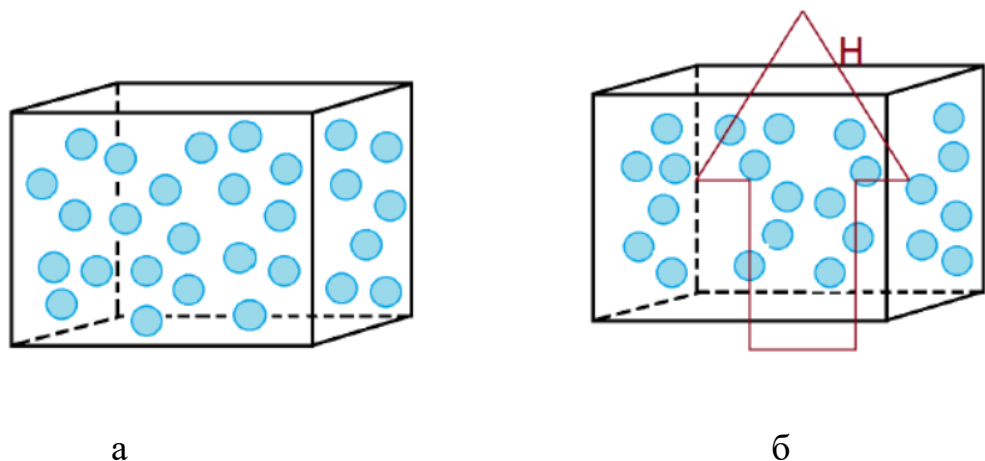


Рис. 1.10 - Схематичне зображення частинок наповнювача в композиті в відсутності магнітного поля (а) і з магнітним полем (б)

Дослідження в області КМ переважно сфокусовані на підборі параметрів складових (розмір і матеріал частинок, властивості матриці-носія), необхідних для отримання певних властивостей матеріалу в цілому.

Найбільш часто ключові вимоги до часток наповнювача є магнітними властивостями- більша чутливість, мала залишкова намагніченість, більша

намагніченість насичення. Частинки з більшою чутливістю забезпечують відгук композита навіть при впливу слабких магнітних полях. Мала залишкова намагніченість дозволяє уникнути злипання частинок через взаємодію. Найбільш часто для виготовлення наповнювача для використовують залістий порошок, який характеризується великою намагнічюваністю, що дозволяє отримати більшу реакцію матрицю КМ на зміну зовнішнього поля. Для отримання властивостей, які оптимальні для тих або інших умов (частоти та амплітуди деформації, зокрема) використовуються різні розміри частинок наповнювача і різні масові концентрації частинок в композиті. Можливо також і використання суміші частиць різного роду в якості наповнювача. У цьому випадку вплив зовнішнього поля на частинки різних видів буде відрізнятися, що викликає відмінність властивостей композитів з різними співвідношеннями між концентраціями частинок кожного типу.

При цьому вимоги до матриці і властивостей наповнювача для ефективного впливу магнітного поля на структуру та властивості полімерних композитів були сформульовані в праці [66]:

- матриця повинна мати низьку в'язкість;
- матриця має бути здатною до затвердіння;
- наповнювач повинен мати феромагнітні властивості.

Вплив постійних магнітних полів на властивості КМ пояснюється орієнтацією фрагментів макромолекул із високими значеннями анізотропії магнітної сприйнятливості [6] — величини, яка характеризує здатність речовини намагнічуватись у зовнішньому магнітному полі.

У наш час дослідженням впливу магнітного поля на структуру і властивості полімерних матеріалів займаються групи дослідників в Україні, Росії, Японії, США [67].

Із літературних джерел [68] відомо, що для композитів з дисперсними

ферромагнітними наповнювачами, сформованих під дією магнітного поля, спостерігаються сильніші ефекти, ніж у сформованих композитів з діамагнітним типом наповнювача. В праці [69] досліджувались композити на основі поліетилену високої густини, наповнені ферромагнітними наповнювачами, які були піддані дії магнітному полю ( $H = 1,9 \cdot 10^5$  А/м) протягом 0,5 год. Було показано, що обробка композитних матеріалів у прикладеному магнітному полі приводить до збільшення діелектричної проникності композитів, що, на думку авторів, пов'язано з поляризацією магнітної частинки, в результаті чого відбувається зміна структури та властивостей композитів. На характер розподілу ферромагнітних наповнювачів впливають переважно напрямок і напруженість магнітного поля.

Магнітний вплив є ефективним способом зміни структури і властивостей різних матеріалів. У загальному випадку магнітні частинки, в результаті взаємодії зі прикладеним магнітним полем і один з одним, здійснюють обертальний і поступальний рух. При цьому необхідно враховувати, що чим більш частотним є магнітне поле, тим менша глибина його проникнення в матеріал. Часточки з анізотропією магнітної чутливості орієнтуються під дією магнітного поля. Крім того, було показано [70,71], що макромолекули орієнтуються в магнітному полі в процесі кристалізації з розплавів. Тем не менш, опис анізотропних структур в кристалічних і рідких композитах, що піддаються магнітній орієнтації, ускладнено їх непостійним розміром, формою і структурою. Автор [71] розглядає магнітну орієнтацію як процес очищення анізотропних структур (доменів мезофаз), що здійснюють при фазовому переході. Цей підхід називається моделлю переважної орієнтації.

## 1.15 Вплив перемішування в рідкому середовищі на властивості композита

Перемішування полягає в подрібненні елементів рідких, твердих або сипучих середовищ і їх рівномірному перерозподілу в просторі. Тому змішувальні апарати можуть розглядатися одночасно як подрібнювачі і переносники речовини в просторі. Вибір методу перемішування і апаратури обумовлюється в першу чергу агрегатним станом перемішуються матеріалів. Незалежно від того, що змішується з рідиною-газ, рідина або тверде тіло, розрізняють два види перемішування в рідкому середовищі: механічне й пневматичне.

### Механічне перемішування.

Механічне перемішування здійснюється за допомогою мішалок. Мішалка складається з однієї або декількох пар лопатей різної форми, які закріплені на валу, що наводиться в обертання безпосередньо від електродвигуна або за допомогою зубчастої, черв'ячної або фрикційної передачі.

Бувають з плоскими лопатями зі смугової або кутової сталі, встановленими перпендикулярно або похило до напрямку їх руху. Лопаті укріплені на валу накладками на болтах і на шпонках. Вертикальний вал мішалки внизу спирається на під'ятник і забезпечений зубчастою передачею, що приводиться в рух двигуном.

Горизонтальні лопаті мішалок створюють горизонтальні струми рідини.

Для поліпшення перемішування рідини частіше застосовують мішалки з горизонтальними і вертикальними лопатями або так звані рамні мішалки, у яких нижня горизонтальна лопать має радіус кривизни, відповідний радіусу кривизни днища апарату.

У тих випадках, коли при перемішуванні необхідно видаляти осад або рідину зі стінок апарату, для інтенсифікації процесу теплообміну

застосовують якірні мішалки, зовнішній контур яких відповідає контурах днища і корпусу апарату.

Для створення інтенсивної циркуляції перемішуємо рідини широко застосовують пропелерні мішалки. Лопаті пропелерної мішалки є елемент геометричного гвинта, а поверхня елемента є частиною гвинтової поверхні. Пропелер насаджений на маточину і укріплений на валу, причому зазвичай він має три лопаті; число пропелерів на валу мішалки може бути різним, залежно від умов перемішування і висоти шару перемішуємо рідини. Внаслідок невеликих розмірів пропелера ці мішалки встановлюють зазвичай в апаратах порівняно невеликого обсягу. В апаратах великої місткості для збільшення інтенсивності перемішування пропелерні мішалки встановлюють похило до осі апарату (під кутом 10 -15 ° до вертикалі).

Вибір мішалки тієї чи іншої конфігурації в значно мірою визначається в'язкістю перемішуємо середовища.

Рекомендації до вибору найбільш поширених мішалок для різних діапазонів динамічних в'язкостей середовищ представлені на рисунку 1.11.

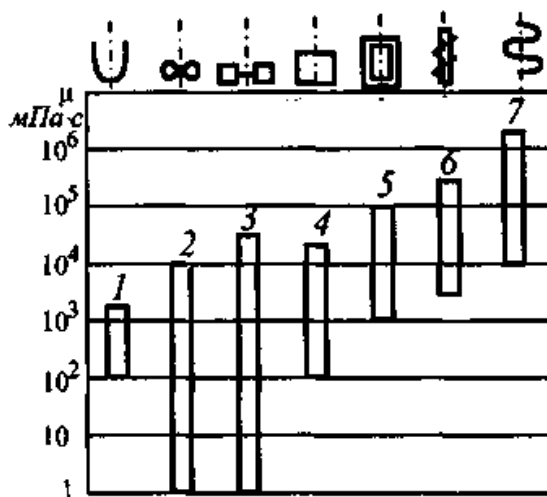


Рисунок 1.11- Типи мішалок механічного способу: 1 – якірна, 2 – пропелерна, 3 - турбінна з плоскими лопатками, 4 – лопатева, 5 – рамна, 6 – шнекова, 7 - стрічкова

Також хотілося б окремо відзначити пропелерні мішалки. Для створення інтенсивної циркуляції за рахнок переміщення рідини широке застосовують саме цей тип. Лопаті пропелерної мішалки є елемент геометричного гвинта, а поверхня елемента є частиною гвинтової поверхні.

Пропелер насаджений на маточину і укріплений на валу, причому зазвичай він має три лопаті; число пропелерів на валу мішалки може бути різним, залежно від умов перемішування і висоти шару перемішуємо рідини. Пропелери типу гребного гвинта створюють інтенсивне перемішування внаслідок нерівності швидкостей струменів рідини і багаторазового зміни напрямку їх руху при ударах об дно апарат і вільну поверхню рідини.

Для того щоб поліпшити циркуляцію рідини, пропелер часто встановлюється в дифузори, що представляє собою склянку зазвичай у формі циліндра.

Дифузори застосовують головним чином в апаратах, забезпечених трубами, змійовиками, і в апаратах з великим числовим значенням відношення висоти до діаметру.

Для поліпшення перемішування маси рідини по всій висоті застосовують пропелерні мішалки з декількома пропелерами і дифузором у вигляді змійовика з витками, щільно прилягають один до одного.

Такий пристрій дифузора дозволяє легко регулювати температурний режим перемішування. Внаслідок невеликих розмірів пропелера ці мішалки встановлюють зазвичай в апаратах порівняно невеликого обсягу.

В апаратах великої місткості для збільшення інтенсивності перемішування пропелерні мішалки встановлюють похило до осі апарату (під кутом  $10 - 15^\circ$  до вертикалі).

Пневматичне перемішування (Рис.1.12). Перемішування рідин часто проводять шляхом пропускання через них дрібних бульбашок газу (повітря) або пара. Таке перемішування називають барботированием, а відповідні

пристосування барботерами.

Спосіб такого перемішування газу або пари є вельми простим і застосовується в тих випадках, коли одним з перемішуються речовин є газ або повітря, або коли одночасно з перемішуванням ведуть нагрів «гострим» паром.

Найпростіше пристосування для барботування складається з відкритої труби, опущеної до дна резервуара з рідиною.

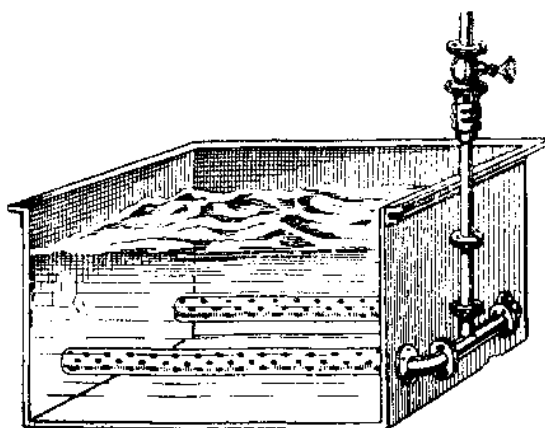


Рисунок 1.12- Апарат для пневматичного перемішування

Переваги методу- простота схеми, висока інтенсивність перемішування.

Недоліки - бризгонос і супутні йому втрати цінної рідини; втрати можливі і в результаті її випаровування в газові бульбашки, якщо рідина має досить високу летючість.

Не можна також ігнорувати можливу корозію трубопроводів і апаратури унесеною рідиною, якщо вона хімічно агресивна, а газ використовується в подальшому технологічному процесі.

Нарешті, необхідно враховувати екологічні аспекти, якщо газ не використовується і викидається з ємності в атмосферу. У всіх цих випадках може знадобитися установка спеціальних пристроїв для уловлювання парів - процес стає помітно дорожче.

Подорожчання пневматичного перемішування відбувається, коли рідина не допускає зіткнення з киснем повітря; доводиться замінювати

дешевий повітря на дорожчий газ, хімічно інертний по відношенню до переміли рідини.

Тому враховуючи вище сказане більш економічніше використовувати механічне перемішування

### **1.16 Постановка мети та задач дослідження**

Таким чином, на основі аналізу літературних даних, можна зробити наступні висновки, що композиційні матеріали з дисперсним наповнювачем, на основі алюмінію та його сплавів, це матеріали, які мають унікальне поєднання службових характеристик. Але широке впровадження КМ стримується проблемами, які пов'язані з технологіями їх виготовлення. Тому актуальним є розробка технології отримання ЛКМ, у яких розподілом часток можна було б цілеспрямовано керувати без втрати якості контакту на межі «матриця-наповнювач». Метою даної роботи є визначення можливості управління структурою алюмінієвих сплавів з підвищеним вмістом заліза та нікелю, а також створення ливарних композитів із застосуванням зовнішнього магнітного поля

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Теоретично обґрунтувати можливість впливу магнітних полів на утворення структури алюмінієвих сплавів
2. Розробити методику дослідження впливу зовнішнього магнітного поля на розташування дисперсних частинок в алюмінієвих сплавах.
3. Визначити наявність впливу магнітних полів на розташування магнітночувливих фаз в матриці сплаву

## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Матеріали та обладнання для експериментальних досліджень

Опанування методики отримання ливарних композиційних матеріалів на основі алюмінію та управління розподілом армуючих феромагнітних частинок наповнювача з допомогою зовнішнього магнітного поля проведено в лабораторних умовах кафедри металознавства та термічної обробки ІФФ КПІ імені Ігоря Сікорського.

У якості моделі металевої матриці ЛКМ був обраний сплав АК5М2. Хімічний склад даного матеріалу наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад вихідних матеріалів

Сплав	ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ, %							
	Si	Fe	Ni	Cu	Zn	Mg	Zn	Al
AK5M2	4- 5	До 1,3	До 0,5	1,5- 3,5	0,005	0,2-0,8	До 0,5	Основа 86,6 -94,1

Далі у сплав добавляли Si, Ni та залізні часточки. В таблиці 2.2 наведено хімічний склад зразків (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. – Хімічний склад зразків

№ зразка	Хімічний склад, мас.доля %									
	Al	Si	Fe	Ni	Mg	Cu	Zn	Pb	Ti	Mn
1	59.77±	37.02±	0.55±	0.13±	0.48±	1.45±	0.33±	-	-	-

	0.08	0.08	0.006	0.002	0.067	0.006	0.002			
2	64.56± 0.10	26.52± 0.09	0.74± 0.009	2.46± 0.013	0.77± 0.092	4.15± 0.015	0.56± 0.005	-	-	-
3	67.45± 0.12	22.35± 0.12	7.64± 0.031	2.46± 0.013	-	1.65± 0.00	0.31± 0.003	0.06± 0.002	-	-
4	80.79± 0.09	15.16± 0.06	0.85± 0.008	0.15± 0.003	0.61± 0.075	1.78± 0.008	0.44± 0.003	-	0.07± 0.010	0.10± 0.004

Алюмінієві сплави мають привабливі властивості, такі як низька щільність, висока міцність до вагового співвідношення, чудова корозійна стійкість і відносно низька вартість [1,2,3], що робить їх оптимальним конструктивним матеріалом для деяких спеціальних застосувань, таких як магнітне холодильне та кухонне начиння для індукційного нагріву. Основним перешкодою, що обмежує їх застосування, є їх слабкі магнітні властивості [4]. Це обмеження можна видалити, якщо магнітний шар заляпаний на їх поверхні, або частинки з відповідними магнітними властивостями вкладені в алюмінієву матрицю для утворення матричних композитів поверхневих металів [5,6,7]. У цих ситуаціях в алюмінієві сплави введено нове та цікаве фізичне властивість, "намагніченість", на додаток до їх відмінних фізико-механічних властивостей. З цією метою дуже важливим є вибір як придатних наповнювачів, так і матричних матеріалів. З точки зору здоров'я чистий алюміній буде матричним матеріалом [8,9]. З іншого боку, порошки заліза (Fe) та магнетиту (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) є сильними кандидатами, які використовуються для наповнення завдяки їх хорошим магнітним властивостям [10, 11, 12].

АК5М2 (ГОСТ 1583-93) - це популярний алюмінієвий сплав, який відрізняється своєю дешевизною, міцністю і відносної пластичністю. Ливарний сплав АК5М2, за змістом міді, заліза, цинку. Сплав алюмінієвий АК5М2 відрізняється невисокою вартістю, відносної пластичністю і хорошою міцністю, що робить його таким

Дисперсний феромагнітний наповнювач являв собою сталеві часточки, що були вироблені з низьковуглецевого дроту (ГОСТ 3282 – 74), з розмірами до 1 мм у діаметрі та висотою до 3 мм, які були попередньо механічно

очищені та знежирені у розчиннику.

## **2.2 Обґрунтування вибору вихідних матеріалів**

Як відомо з фізики, чистий алюміній та сплави на його основі, відносяться до парамагнітних речовин, тобто, для них виконується умова, що магнітна проникність ( $\mu$ ) менше одиниці. Це справедливо, як за нормальних умов, а тим паче при підвищених температурах. Для алюмінію  $\mu=20 \cdot 10^{-6}$ . Також парамагнетики намагнічуються вздовж магнітного поля, та що саме головне – магнітнопрозорі [11]. З іншого боку, речовини що здатні намагнічуються у магнітному полі, тобто створювати власне магнітне поле, називають магнетиками, до яких відносяться феромагнетики. Для них характерно те, що їхнє власне магнітне поле значно перевищує прикладене зовнішнє поле у  $10^2 - 10^3$  рази. Значення магнітної проникності  $\mu$  для заліза та сплавів на його основі сягає від  $2 \cdot 10^2$  (тверда сталь) до  $1,5 \cdot 10^4$  (алмазна сталь або хромвольфрамова сталь) [9]. Отже, сталеві часточки були обрані тому, що по-перше, це самий доступний феромагнетик серед інших матеріалів-феромагнетиків (Co, Ni, Fe<sub>3</sub>Al, Ni<sub>3</sub>Mn та ін.), а по-друге, можуть зберігати свої магнітні властивості при температурах, коли алюмінієва матриця знаходиться у розплавленому та перегрітому стані (700 – 720 °C), тому що точка Кюрі для  $\alpha$ -заліза становить 770 °C.

## **2.3 Методика проведення експериментальних плавок**

Дослідні плавки проводили в в індукційній печі ТВЧ, з використанням графітового тигля. У печі в графітовому тиглі розплавлявся і перегрівався алюмінієвий вихідний матеріал до температур на 10% вище від температури плавлення (у межах 700 – 720 °C). Потім механічно замішували частки за

допомогою титанового імпеллера. Після того, як склад набув однорідної консистенції, його витягають з печі та піддають зовнішньому магнітному впливу із допомогою постійного магніта. На рисунку 2.1 наведена схема дії постійного магнітного поля.

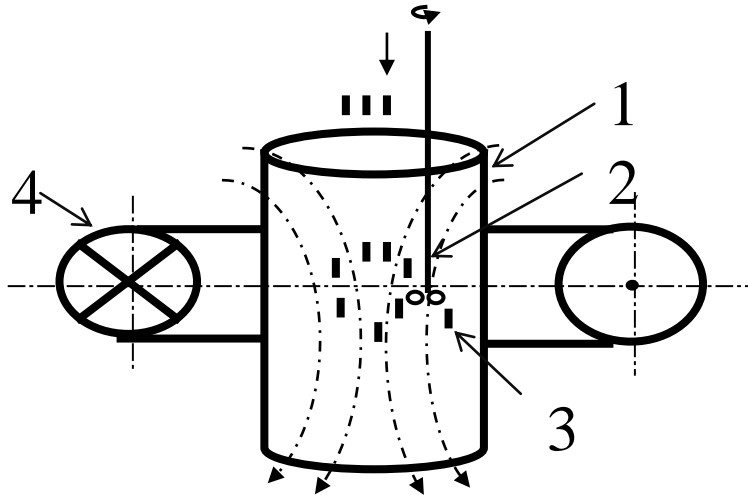


Рисунок 2.1 - Схема управління розподілом армуючих частинок у ЛКМ за допомогою зовнішнього постійного магнітного поля:

1- графітовий тигель, 2- мішалка, 3- магніточутливий наповнювач, 4- джерело магнітного та електромагнітного поля.

На рисунку 2.2 надана схема впливу зовнішніх магнітних полів на кокіль з вихідним алюмінієвим матеріалом та феромагнітними частками в ньому.



Рисунок 2.2 - Схема впливу постійного магнітного поля на кокіль з вихідним матеріалом та феромагнітними частками.

В роботі використовували автоматизований комплекс збору експериментальних даних (рис.2.3). Даний комплекс функціонує таким чином. Після виконання операцій із рідким металом, термопара (3), яка знаходиться у зразку (2), передає через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) значення температури цього зразка у ПЕОМ. Коли температура досягла необхідного рівня, з комп'ютера подається електричний сигнал на багатоканальний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), який подає напругу до електромагніта (1). Коли температура зразка металу приймає значення нижче температури солідусу ЦАП знімає напругу з електромагніта.

Далі зразки піддавали металографічному аналізу, загальному хімічному аналізу та диференційному термічному аналізу.

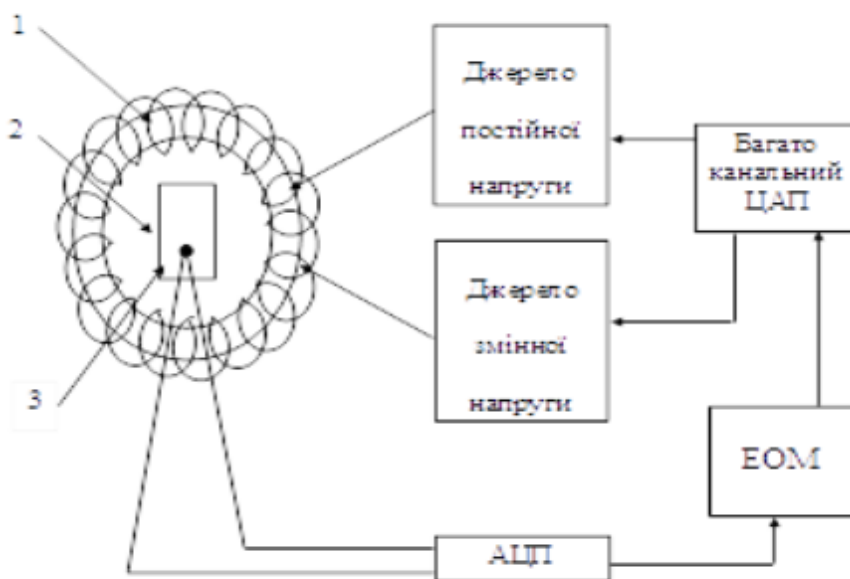


Рисунок 2.3 — Схема комп'ютерної багатоканальної системи збору та аналізу даних та управління роботи електромагніта:

1- електромагніт; 2-зразок рідкого металу; 3- термопара типу ХА.

## 2.4 Металографічний аналіз ЛКМ

Для визначення характеру структури досліджуваних сплавів хімічного та фазового складу, технологічних параметрів обробки використовували металографічний аналіз.

З цією метою в лабораторних умовах на кафедрі МТО в КПІ імені Ігоря Сікорського були підготовлені шліфи та проведено металографічний аналіз. Підготовка шліфів складалась з наступних операцій:

- механічна обробка зразка;
- послідовне полірування шліфа наждачним папером, починаючи з паперу з грубими абразивними часточками (№320) і закінчуючи папером з мінімальними часточками (папір № 2000,4000);
- полірування шліфа виконували на станках з горизонтально

розташованими кругами, обтягнутими сукном та бархатом (швидкість обертання складає 500-800 об/хв.), при цьому сукно час від часу змочується емульсією з діаметром абразивних часток 3 та 1 мкм відповідно.

Підготовлений шліф промивався в спирті, висушувався в потоці сухого повітря.

Для дослідження макроструктури ЛКМ використовували наступний травник: 10 мл. HF, 15 мл. HCl, 90 мл. H<sub>2</sub>O.

## **2.5 Диференціальний термічний аналіз**

Термографією (або термічним аналізом) називають методи виявлення і дослідження фазових та структурних перетворень за їх тепловими ефектами. В основі термічного аналізу лежить реєстрація зміни швидкості нагрівання (або охолодження) речовини внаслідок поглинання (або виділення) тепла під час протікання в ній того або іншого перетворення.

При диференціальному термічному аналізі записують температуру зразка і різницю температур між зразком і еталоном, який не має фазових перетворень. До початку перетворення зразок і еталон рівномірно нагріваються і при правильно вибраному еталоні різниця температур між ними  $\Delta t = t_0 - t_s$  близька до нуля (рис. 2.4).

Рисунок 2.4 – Диференціальна термограма ізотермічного перетворення, яке відбувається при охолодженні з виділенням теплоти

Під час перетворення швидкість нагрівання або охолодження зразка змінюється (наприклад, в разі ізотермічного процесу температура зразка залишається постійною), а еталон продовжує нагріватися або охолоджуватися, як на рис. 2.5. Тому різниця температур зразка і еталону зростає і досягає максимуму до моменту кінця перетворення. Надалі  $\Delta t$  швидко зменшується до значення, близького до нуля. Таким чином, на диференціальній кривій з'являється екстремум, який відповідає кінцю перетворення. Знак різниці температур  $t_o - t_s$  може змінюватися в ході перетворення, але висота екстремуму диференціальної кривої залишається незмінною. Відбувається лише зсув диференціальної кривої відносно нуля термоЕ.Р.С.

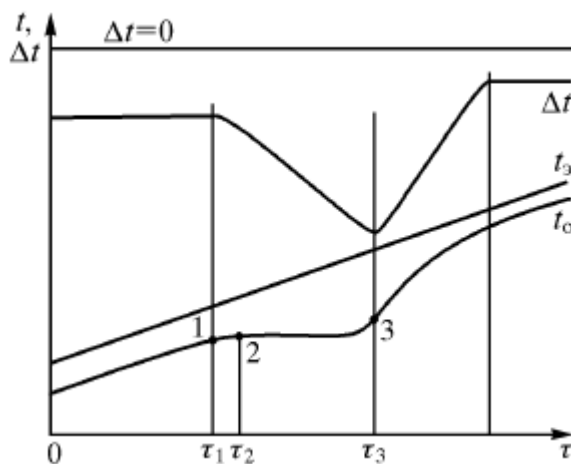


Рисунок 2.5 – Диференціальна термограма ізотермічного перетворення при нагріванні, яке супроводжується збільшенням коефіцієнта теплопередачі

До цього часу вважалося, що теплові властивості зразка не змінюються в результаті перетворення. В реальних умовах відбувається та або інша зміна теплових властивостей зразка, це відображається на термограмі. Якщо,

наприклад, коефіцієнт теплопередачі зростає унаслідок перетворення, то термограма має вигляд, який показано на рис. 2.5.

## 2.6 Визначення електропровідності і електричного опору

Електричний опір зразків визначали методом вольтметра - амперметра з чотирьох зондовою схемою підключення (рис. 2.6). Для цих цілей розроблена і сконструйована вимірювальна система, що дозволяє проводити виміри в ручному, автоматичному і напівавтоматичному режимах. Алгоритм роботи вимірювальної системи припускав синхронне (по всіх вимірювальних каналах) проведення вимірів з дискретністю за часом, що дорівнює тривалості циклу аналого-цифрового перетворення (при обраної тактовій частоті вона становить 0,4 с). Вимірюються величини термоЕ.Д.С. трьох термопар (розташованих на початку, посередині та в кінці активної частини досліджуваного зразка) і температура їх холодних кінців, величина вимірювального струму, а також падіння напруги на активній частині зразка. Запис результатів проводиться безперервно, або покадрово по команді. У кожен з кадрів записуються результати останнього вимірювання перед включенням вимірювального струму, результати десяти послідовних (через 0,4 с) вимірювань з включеним вимірювальним струмом і результати вимірювань, виконані безпосередньо після відключення вимірювального струму. Приймалося, що протягом кадру температура зразка не змінюється (для кожного з десяти послідовних повторюваних вимірювань проводиться і запис термоЕ.Д.С. Термопари, розташовані в центрі зразка; практика показала, що температура зразка протягом кадру змінюється не більше ніж на 0, 1 0С). Такий формат запису дозволяє враховувати не тільки паразитні термоЕ.Д.С., Що виникають в місцях контакту зразка і провідників підключення вимірювачів, а й зміна температури зразка в процесі вимірювання, внаслідок розігріву протікає через нього вимірювальним

струмом.

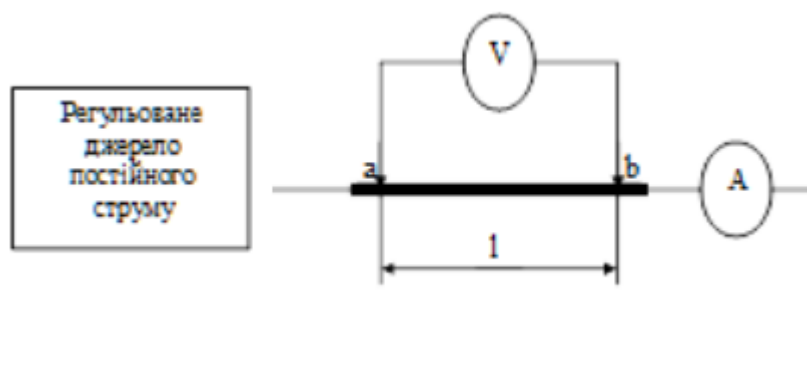


Рисунок 2.6 - Схема визначення опору

Значення опору зразка для  $i$ -того виміру  $j$ -того кадру розраховувалося за законом Ома для однорідної ділянки кола:

$$R_{i,j} = U_{i,j}^{\text{ист}} / I_{i,j}, \quad (2.1)$$

де  $R_{i,j}$  - опір провідника, визначене за результатами  $i$ -того виміру  $j$ -того кадру, Ом;

$U_{i,j}^{\text{ист}}$  - справжнє значення падіння напруги на активному ділянці провідника для  $i$ -того виміру  $j$ -того кадру, В;

$I_{i,j}$  - величина вимірювального струму в ланцюзі для  $i$ -того виміру  $j$ -того кадру, А.

Істинне значення падіння напруги на активній ділянці провідника розраховувалося з урахуванням величин паразитного термоЕ.Д.С., Що виникає в місцях контакту зразка і провідників підключення цифрового мілівольтметра. Передбачалося, що в перебігу серії послідовних вимірювань величина паразитної термоЕ.Д.С. змінюється лінійно з часом. Вимірювання в кадрі повторюються через рівні проміжки часу (0,4 с). Тому в якості істинного значення падіння напруги на активній ділянці провідника для  $i$ -того виміру приймалася величина, розрахована за формулою:

$$U_{i,j}^{\text{ист}} = U_{i,j} - ((p_j)^H + i \cdot \delta_j), \quad (2.2)$$

де  $U_i, j$  - значення напруги на активній ділянці зразка, що фіксується цифровим милливольтметром в  $i$ -тому вимірі  $j$ -того кадру;

$(P_j)_{н}$  - початкова величина паразитної термоЕ.Д.С. в  $j$ -тому кадрі (різниця потенціалів на кінцях активної частини зразка, виміряна в  $j$ -тому кадрі безпосередньо перед включенням струму);

$i$  - номер періодичного вимірювання в кадрі (в прийнятому алгоритмі роботи вимірювальної системи число повторюваних вимірювань  $n = 10$ , тому  $i = 0, 1, 2, \dots 8, 9$ );

$\delta_j$ - зміна величини паразитної термоЕ.Д.С., що відбулося за час одного виміру;

$(P_j)_{до}$  - кінцева величина паразитної термоЕ.Д.С. (Різниця потенціалів на кінцях активної частини зразка, виміряна в  $j$ -тому кадрі безпосередньо після вимкнення струму);

Електропровідність зразка розраховувалася як величина, зворотна значенням опору:

$$\sigma_{i,j} = 1/R_{i,j} \quad (2.3)$$

Температури визначалися за допомогою хромель-алюмелеві термопар ТХА (ГОСТ 8044 - 94). Три термопари закріплювалися на корпусі вимірювального осередку таким чином, щоб їх спаї знаходилися на початку, середині і наприкінці активної частини досліджуваного зразка. Температура холодних кінців термопар не термостатуються, а для кожного з вимірів визначалася за допомогою датчика і перетворювача температури холодних кінців (з роздільною здатністю  $0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) і записувалася в банк даних результатів вимірів по кожному з кадрів. Вимірювання та запис величин термоЕ.Д.С. термопар і температури їх холодних кінців проводилися за першим (температурному) каналу вимірювальної системи.

У процесі первинної обробки результатів вимірювань, за значенням термоЕ.Д.С., Відповідно до номінальної статичної характеристикою термопари, (ГОСТ 8044 - 94) розраховувалася величина різниці температур

між спаяєм і холодними кінцями. Справжні значення температур гарячих спаїв термопар визначалися шляхом додавання значення температури холодних кінців до розрахункового значення зазначеної різниці температур.

За час вимірювань в межах одного кадру температура зразка вважалася постійною, а її величина розраховувалася, як середнє арифметичне шести значень температур: трьох температур (на початку, середині і в кінці активної частини зразка), визначених безпосередньо перед включенням вимірювального струму, і трьох температур (на початку, середині і в кінці активної частини зразка), визначених безпосередньо після виключення вимірювального струму. Власне розрахунок значень температур здійснювався підпрограмою первинної обробки результатів вимірювань, написаної в середовищі пакету прикладних програм Mathcad 2001.

### **3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА**

#### **3.1 Розподіл часточок феромагнітного наповнювача в алюмінієвих сплавах**

Композиційні метали (КМ) бувають на основі як чорних, так і кольорових металів і сплавів. Наповнювач - широкий спектр матеріалів, як метали, так і не метали. Як правило, у КМ із дисперсійним наповнювачем, останнім часом використовуються не метали (оксиди, карбіди, силіциди й ін.) що обумовлено їх (технологічними властивостями в КМ при експлуатації виробів), але також широко використовуються й застосовуються метали, які у свою чергу більше доступні й у порівнянні з не металевими дешеві.

Джерелами магнітного поля були обрані: 1 - постійний магніт ; 2- електромагніт тороподібної форми.

Методика отримання КМ наступна (рис.3.1). У печі опору в графітовому тиглі (1) (з розмірами: внутрішній діаметр – 20мм, висота – 100мм) розплавлявся й перегрівався Al-сплав до температури 720 – 750 °С. Потім вводили підготовлений магніточутливий наповнювач (3), що замішувався у сплав. Після цього тигель виймався з печі і з боку його зовнішніх стінок піддавався зональному магнітному впливу (4) на Me-наповнювач.

Отриманий злиток був розпиляний і були виготовлені шліфи з його центральної частини. Після цього досліджували макроструктуру зрізу, зокрема характер розподілу часточок наповнювача.

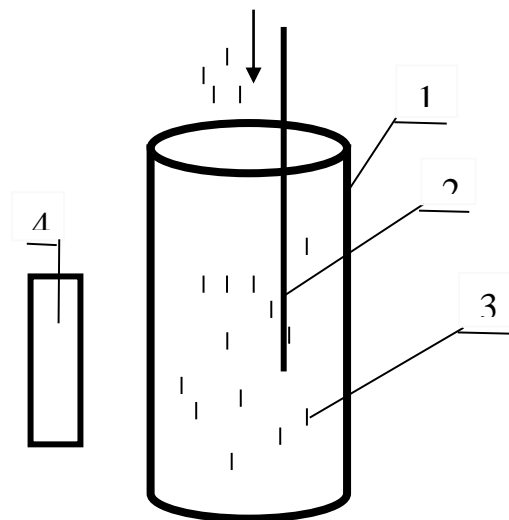


Рисунок 3.1 – Схема отримання литого Al-композиту:

1- графітовий тигель, 2- мішалка, 3- наповнювач, 4- джерело магнітного поля

Зокрема, було виявлено, що у випадках коли був використаний постійний магніт, наповнювач скупчувався біля поверхні зливка з того боку де був розташований магніт (рис.3.2.а). До того ж, коли проводили магнітну обробку при температурі сплаву близько 730-740 °С було помічено частина наповнювача не в матриці, а на зовнішній поверхні, тобто контактували з тиглем. Це можна прийняти як брак.

Коли ж використовувався електромагніт – часточки рівномірно розподілялись переважно у центральній області зливка (рис.3.2.б). Це можна пояснити тим, що у даного типу електромагніта лінії максимальної напруженості концентруються на перетині лінії симетрії, тобто у центрі магніту.

Також слід зазначити, що при використанні будь якого типу магнітного поля 90% часточок розташовані строго паралельно осі зливка. Це пов'язано з тим, що наповнювач, який являє собою малого розміру сталеві циліндри, під дією магнітного поля орієнтуються по лініям намагнічування.

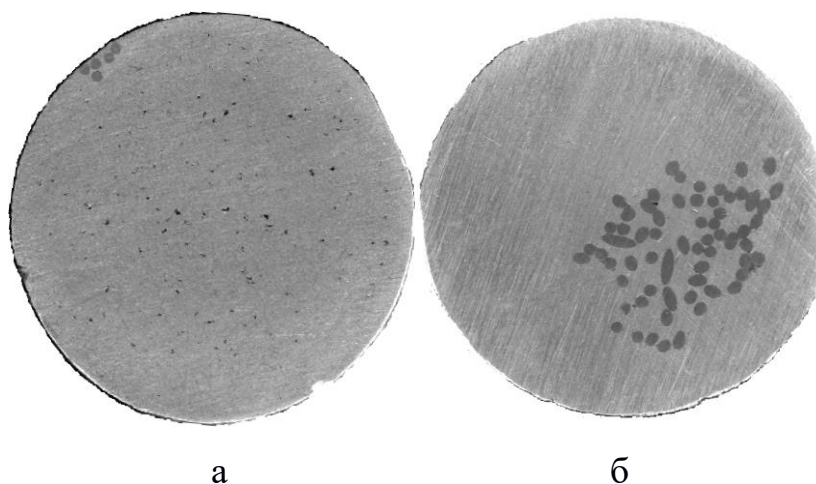


Рисунок 3.2 – Розподіл часточок ферромагнітного наповнювача по площині перерізу алюмінієвих сплавів:

- а) Зразок №1 - Х 2,5 при боковому впливі постійного магнітного поля;
- б) Зразок №2 - Х 2,5 при впливі постійного магнітного поля навколо зразка.

Як бачимо, на перший погляд, між феромагнітними часточками та матричними металами існує лише механічний зв'язок. В подальшому будуть проведені більш детальні дослідження межі між наповнювачем та основою.

### 3.2 Визначення швидкості перемішування розплаву для оптимального засвоєння частинок при отриманні ЛКМ

Для визначення швидкості перемішування часток були взяті зразки алюмінієвого сплаву вагою 85г. та залізні часточки, що були вироблені з низьковуглецевого дроту вагою 1г. Метал розплавляли та нагріли до температури 800 °С після чого, згідно методики описаній в пункті 2.3, добавляли залізні часточки вагою 1г. та інтенсивно перемішували з різною швидкістю. На основі експериментальних даних було збудовано графік залежності засвоєння частинок від швидкості перемішування (рис. 3.3).

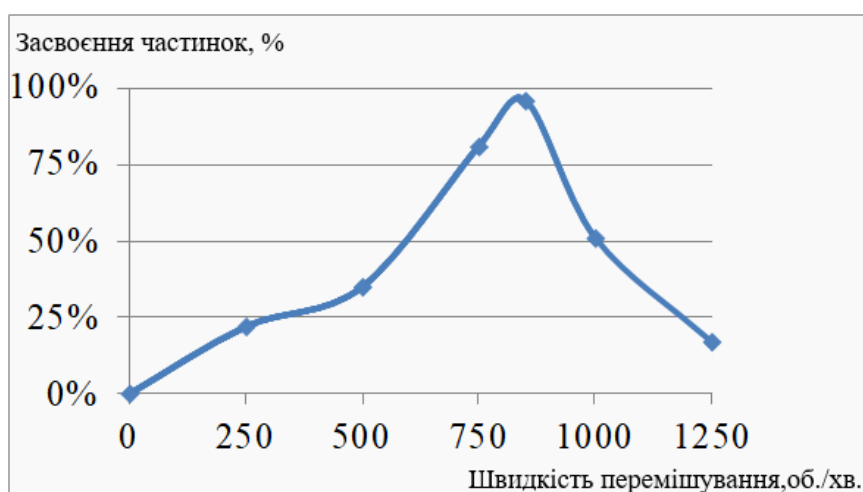


Рисунок 3.3 – вплив швидкості перемішування розплаву на засвоєння феромагнітних частинок при  $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$

При малих швидкостях 250 та 500 об./хв. засвоєння часток сягало 23 та 32%. Зі збільшенням швидкості засвоєння значно збільшувалось і при 850 об./хв. досягло 97%. З подальшим зростанням швидкості засвоєння



### 3.4 Дослідження структурних перетворень в розплавах на основі алюмінієвих сплавах резистометричним та металографічним методами

Дослідження проводилися в інтервалі температур від 650 °С до 1150 °С, як в процесі нагрівання, так і в процесі охолодження розплаву. Опір визначалися з рівномірним кроком по температурі, рівним 15 °С. Після досягнення заданої температури, запис результатів вимірювань проводилася після стабілізації опору в процесі ізотермічної витримки осередки з розплавом. Час стабілізації в кожному конкретному випадку не перевищувало 25 хвилин.

Немонотонний характер політерми питомої електричного опору при нагріванні (рис. 3.4) свідчить про зміну будови розплаву з підвищенням температури. Початкова ділянка політерми (до температури 740 - 760 °С, рис. 3.4) виділяється лінійним характером залежності опору від температури. Прямо пропорційний характер температурної залежності опору може свідчити про відсутність змін будови розплаву при підвищенні температури. Аж до 740 - 760 °С опір збільшується в результаті збільшення ступеня розсіювання носіїв заряду (електронів) тільки через збільшення амплітуди коливань атомів щодо положень рівноваги.

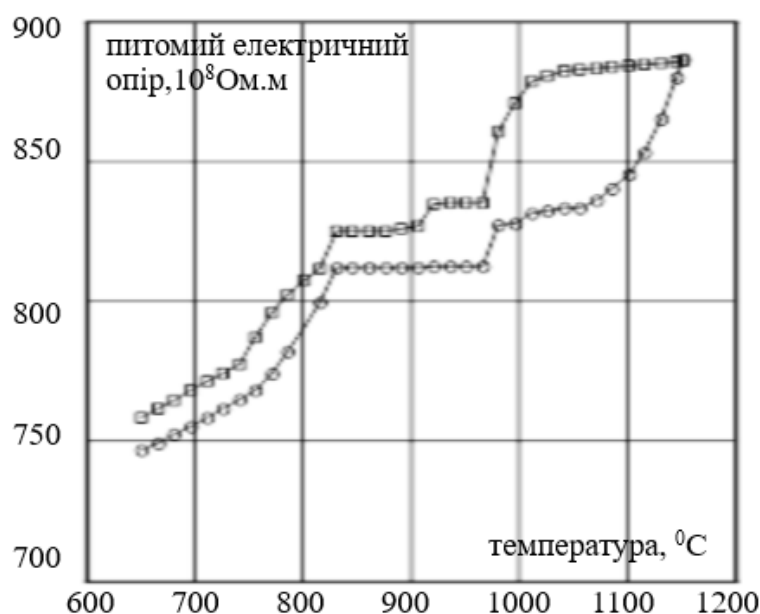


Рисунок 3.4 - Політерма питомого електричного опору розплаву:

○ - при нагріванні

□□ - при охолодженні

Нелінійний характер температурної залежності електричного опору на ділянці від 760 °С до 815 °С - 830 °С (рис. 4.4) свідчить про зміни, що відбуваються в будові розплаву. Якщо виходити з припущення, що розплав утворений, принаймні, двома видами угруповань, які відрізняються за складом і будовою, прискорене зростання опору з температурою можна пояснити зростанням ступеня розсіювання вільних носіїв заряду не тільки в результаті збільшення амплітуди коливань атомів, але і внаслідок істотного збільшення кількості розчиненого елемента в угрупованнях.

Особливістю політерм опору, отриманої при нагріванні розплаву на основі алюмінієвого сплаву, є наявність в області температур 830 - 965 °С практично горизонтальної ділянки, на якому опір не змінюється зі зростанням температури. Відомо, що при переході через точку плавлення не всі атоми кремнію іонізуються до металевого стану. Можна припустити, що в розплаві досліджуваного складу повний розрив ковалентних зв'язків відбувається в зазначеній галузі температур. Руйнування ковалентних зв'язків і колективізація валентних електронів супроводжується збільшенням кількості вільних носіїв заряду. Тому при температурах 830 - 965 °С збільшення ступеня розсіювання носіїв заряду (внаслідок підвищення температури) компенсується збільшенням їх числа, в результаті - при

підвищенні температури опір розплаву не збільшується.

Значна (більше 130 °С) температурна протяжність горизонтальної ділянки політерм опору розплаву (рис. 3.4) може свідчити про те, що в інтервалі температур 830 - 970 °С відбувається остаточне руйнування ковалентних зв'язків між атомами кремнію. А при температурі близько 1000 °С завершується повна іонізація атомів компонентів. Слід очікувати, що при температурах понад 1000 °С, розплав складається з угруповань, утворених іонами з зовнішніми ортогональними шістьками електронів. Тому угруповання мають однакові будову (що характеризуються координаційним числом 8) і розрізняються тільки за складом. Про це також побічно свідчить прискорене збільшення опору розплаву з ростом температури на ділянці політерм від температури близько 1000 °С до 1150 °С. У зазначеному діапазоні температур прискорене зростання електричного опору пояснюється збільшенням ступеня розсіювання носіїв заряду не тільки внаслідок збільшення амплітуди коливань атомів, але і внаслідок збільшення вмісту розчинених елементів в угрупованнях. Таким чином, розплав поступово переходить до гомогенного будовою зі статистичним розподілом атомів. Слід зазначити, що на підставі результатів, отриманих в даній роботі, однозначний висновок щодо завершення гомогенізації розплаву при температурі 1150 °С зробити неможливо: в зв'язку з відсутністю високотемпературних нагрівальних пристроїв і високотермостійких матеріалів для виготовлення виміральної комірки, дослідження політермах опору при температурах, що перевищують 1150 °С не проводилися.

У процесі охолодження розплаву відбуваються зворотні процеси. Однак швидкість перебудови будови розплаву істотно менше швидкості прямих процесів, що проявляється в помітному гістерезис політерм опору при охолодженні в порівнянні з політерм, отриманої при нагріванні. Особливо чітко проявляється запізнювання переходу від гомогенного до

мікронеоднорідного стану (на ділянці політерми від 1150 °С до близько 970 °С зменшення опору уповільнене: крива опукла вгору (рис. 3.4)). До початку зменшення ступеня іонізації атомів компонентів, в структурі розплаву залишається деяка частка гомогенної складової. Тому його опір зберігає значно більшу величину, в порівнянні з опором на момент завершення іонізації (рис. 3.4). Щодо непротяжної по температурі горизонтальної ділянки політерми опору при охолодженні (965 - 920 °С), а також істотно більша величина питомої електричного опору при температурі 965 °С (в порівнянні з опором розплаву при нагріванні) може свідчити про те, що при охолодженні процес повернення до вихідних ступенями іонізації атомів компонентів завершується в повному обсязі. В результаті - при температурі початку кристалізації опір розплаву перевищує опір в кінці плавлення.

Результати спільного аналізу політермах опору, отриманих як при нагріванні, так і при охолодженні, дають підстави вважати, що при температурі початку кристалізації будова розплаву на основі алюмінію являє собою гомогенну середу, в якій розподілені угруповання двох типів, що розрізняються за складом і будовою: складаються переважно з атомів алюмінію і переважно містять кремній.

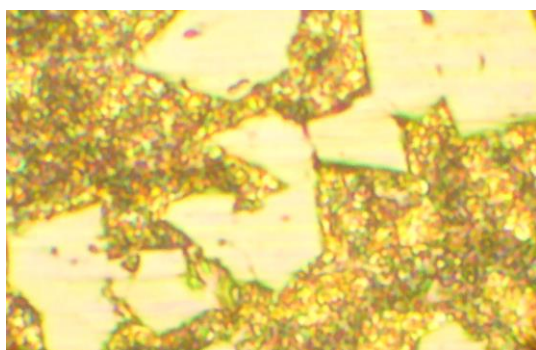
З метою перевірки висновків щодо змін, що відбуваються при нагріванні і охолодженні розплаву, проведені додаткові дослідження твердих зразків методами резистометрії і металографії. Для отримання зразків розплав попередньо нагрівали й ізотермічно витримували протягом 30 хвилин (для забезпечення повноти перетворень) при одній з температур, що лежать всередині характерних ділянок політермах опору (рис. 3.4). Температури ізотермічної витримки становили 720°С , 880°С , 960 °С і 1050 °С. У всіх випадках після витримки тигель з розплавом витягувався з нагрівального пристрою і витримувався на повітрі, поки розплав не вщухає до 720 °С (для запобігання окислення і насичення газами з атмосфери, в

тигель подавався струмінь аргону). Після досягнення температури 720 °С проводився відбір проб для резистометричних досліджень, а також заливка зразків для подальшого аналізу методами металографії. Проби для дослідження опору відбиралися шляхом всмоктування розплаву в кварцові трубки з внутрішнім діаметром 3 мм (у всіх випадках температура відбору проб становила 720 °С).

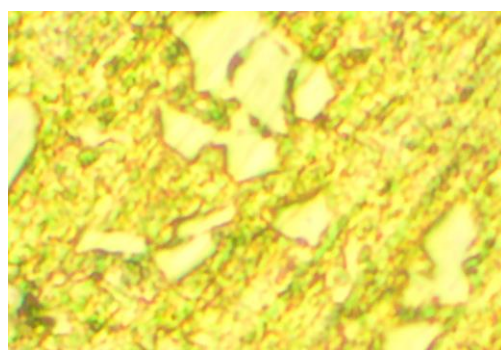
Результати резистометричних досліджень твердих зразків показали, що зміна їх будови при зміні температури не відбувається. Тому був проведений експеримент, де сплави перегрівали й перед заливанням розплаву в керамічну форму поміщали їх під вплив магнітного поля.

Таким чином, результати резистометричних випробувань показали про зміну будови зразків при зміні температури, а також було виявлено, що в твердий стан значною мірою переносяться зміни, що відбулися в розплаві при його перегрів. У цьому сенсі можна говорити про спадковість структури, коли структура металу в твердому стані залежить від будови розплаву. Найчіткіше зміни мікроструктури після перегріву розплаву визначаються зі зміни розмірів виділень первинного кремнію. Внаслідок досить малій швидкості охолодження, структура зразків більш груба (рис. 3.5 ). Однак при збільшенні температури перегріву (і, відповідно - ізотермічної витримки) розміри виділень первинного кремнію зменшуються. Після ізотермічної витримки при 880 і 960 °С в зразках, отриманих заливкою в керамічну форму, розміри включень кремнієвої фази ще відрізняються від включень первинного кремнію в зразках, отриманих загартуванням з рідкого стану. Однак ці відмінності практично зникають після ізотермічної витримки розплаву при температурі 1050 °С. Цей факт ще раз підтверджує висновок про те, що при нагріванні розплаву до температур, що перевищують 980 °С, його будова поступового наближається до однорідного, зі статистичним розподілом атомів, зроблений при аналізі політермах опору розплаву. При охолодженні

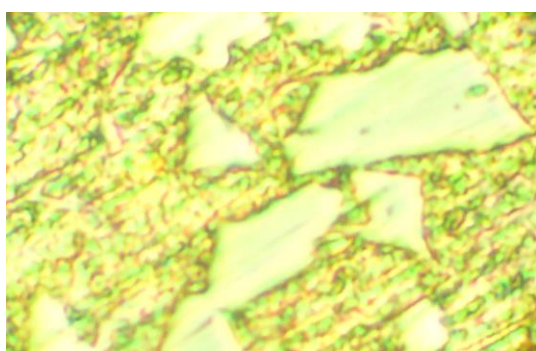
розплав повертається до мікрогетерогеного стану. Але результати резистометричних і металографічних досліджень твердих зразків показують, що цей процес протікає дуже повільно, також не виключено, що повне повернення до первісного будовою розплаву при як завгодно тривалих витримках неможливо в принципі.



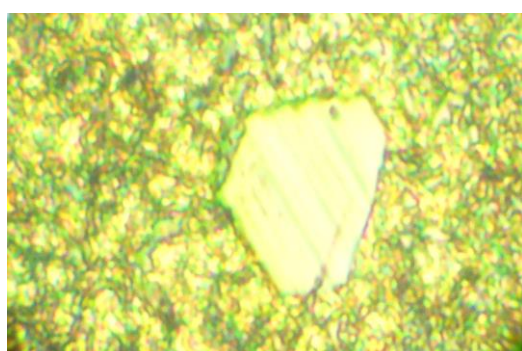
720°C



880°C



960°C



1050°C

Рисунок 3.5 - Мікроструктури зразків, отриманих загартуванням при

різних швидкостях охолодження, х500

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Мета та завдання розділу. Особливості технологічного процесу**

Під час виконання магістерської дисертації є потенційна небезпека отримання таких травмувань як: механічні (удари, порізи), теплові (опіки), хімічні, електричні і потребує неухильного дотримання вимог безпеки при роботі з електричною піччю, електричним обладнанням та мережею перемінного струму, забезпечення оптимального мікроклімату, доброго освітлення робочих місць, дотримання правил пожежної безпеки та забезпечення приміщення вогнегасником й пожежною сигналізацією.

У зв'язку з цим безпосередньою метою даного розділу є аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, при яких виникає небезпека ураження організму в процесі створення та дослідження литих алюмоматричних композиційних матеріалів з армуючими частками і розробка заходів, спрямованих на забезпечення здорових умов праці та безпеки в

надзвичайних ситуаціях. Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно вирішити завдання, яке полягає в тому, щоб звести до мінімуму ймовірність поразки працюючого під дією небезпечного виробничого фактора або захворювання під дією шкідливого виробничого фактора з одночасним забезпеченням комфортних умов при максимальній продуктивності праці.

#### **4.2 Структура управління охороною праці в КПІ імені І. Сікорського**

В КПІ імені І. Сікорського згідно до ст. 15 Закону України “Про охорону праці” створено відділ охорони праці університету [72]. Головною метою діяльності відділу охорони праці КПІ ім. Ігоря Сікорського є впровадження європейських норм, стандартів і цінностей в питаннях охорони праці, реалізація конструкційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Роботодавцем в нашому університеті є ректор Згуровський М. З., а керівником відділу охорони праці університету безпосередньо є Луцик Е.Г.

Відповідальних за охорону праці на факультетах і інститутах призначає роботодавець. На інженерно-фізичному факультеті відповідальним за охорону праці є Лобода П. І., який призначає керівників по охороні праці на кафедрах. А ті призначають відповідальних за ОП в підзвітних їм лабораторіях та аудиторіях. На кафедрі “МТО” відповідальний за ОП є Заулічний Я.В. В лабораторіях відповідальних за ОП є Горелкін Д.М.

#### **4.3 Загальна характеристика приміщення та робочого місця**

Виконання даної роботи проводилося в 710 лабораторії (9 корпус)

інженерно-фізичного факультету КПІ імені Ігоря Сікорського. Схематичне зображення лабораторії, а також розташування всіх елементів, представлено на рис. 5.1

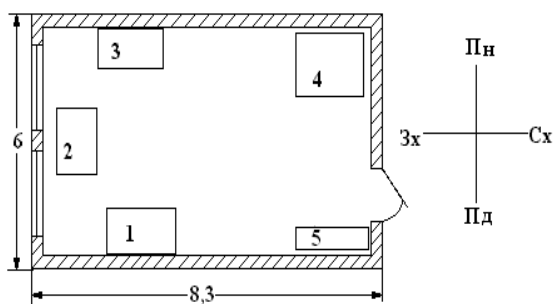


Рисунок 5.1 - Схематичне зображення лабораторії 710 (9 корпус) ІФФ, КПІ імені Ігоря Сікорського:

1 – робоче місце з мікротвердоміром та ПЕОМ; 2 – робоче місце керівника НДР; 3 – робоче місце з мікроскопом ММР-2Р; 4 – піч для термічної обробки та система вентиляції (витяжна парасолька); 5 – шафа.

Було проведено вимірювання розмірів приміщення лабораторії та вікон, які наведені. Розміри лабораторії – ширина (6 м), довжина (8,3 м), висота (3,2 м), а розміри вікон – ширина (1,1 м), висота (1,8 м)

Проведемо розрахунки площі та об'єму. Площа лабораторії складає:  $S=a \times b=6 \times 8,3=49,8 \text{ м}^2$  Об'єм лабораторії складає:  $V=a \times b \times c = 6 \times 8,3 \times 3,2=159 \text{ м}^3$ . Таким чином, на одного працюючого припадає  $16,6 \text{ м}^2$  площі і  $53 \text{ м}^3$  об'єму, що задовольняє вимогам ДСТУ 3273-95 [73] (Згідно зі ДСТУ 3273-95 норма площі на одну особу становить  $4,5 \text{ м}^2$ , а норма об'єму приміщення на одну особу –  $15 \text{ м}^3$ ) [74].

Розрахуємо площу та об'єм на одну особу для даної аудиторії, за умовою, що кількість працюючих становить три особи:  $S_p=49,8/3=16,6 \text{ м}^2$ ;  $V_p=159/3=53 \text{ м}^3$ .

Тобто, лабораторія 710 (корпус 9), згідно зі ДСТУ 3273-95, відповідає нормам. В приміщенні відсутні умови, які можуть створювати підвищену або особливо підвищену небезпеку, тому воно відноситься до класу звичайних приміщень. Джерелом живлення є трифазна мережа напруги 380/220 В з

глухо заземленою нейтралю, з частотою 50 Гц (згідно НПАОП 0.00-1.28-2010 [75]). За пожеже вибухонебезпекою приміщення лабораторії відноситься до класу В.

Дослідження проводилося на наступному обладнанні: лабораторна електрична піч опору потужністю 4 кВт, шліфувальні та полірувальні круги, мікроскоп ММР-2Р, установка “Мікрон-гамма 03-02”, устаткування “Термоекспрес”, ПЕОМ.

#### **4.4 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ) при виконанні науково-дослідної роботи**

У цьому підрозділі науково-дослідної роботи наводиться аналіз умов праці у лабораторії з виробництва чорних та кольорових металів, під час розроблення і виготовлення алюмоматричних композиційних матеріалів.

До основних шкідливих і небезпечних факторів, що впливають на працівників лабораторії в умовах трудової діяльності можна віднести відповідно за ГОСТ 12.0.003-74 [76]:

1) незадовільні параметри мікроклімату робочої зони у виробничих приміщеннях (параметри мікроклімату повинні відповідати нормам, зазначеним у ГОСТ 12.1.005-88 [77] і ДСН 3.3.6.042-99 [78]);

2) недостатню освітленість робочої зони (умови освітленості виробничих приміщень повинні відповідати нормам, зазначеним у ДБН В.2.5-28-2006 [79]);

3) підвищений рівень шуму на робочому місці (припустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях) повинен відповідати санітарним нормам допустимих рівнів шуму на робочих місцях ДСН 3.3.6.037-99 [80];

4) вплив інфрачервоного та теплового випромінювання;

5) безпеку ураження електричним струмом;

б) вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин різного характеру впливу в концентраціях, що перевищують гранично допустимі (гранично-допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинна відповідати нормам, зазначеним у ГОСТ 12.1.005-88 [77] і ГОСТ 12.1.007-76[81] );

8) пожежна безпека.

Необхідною умовою запобігання травмам повинна стати розробка спеціальних заходів на основі глибокого аналізу стану охорони праці, що характеризується наявністю на випробувальних стендах небезпечних факторів, умов, при яких вони можуть діяти на людей, а також можливими небезпечними діями них самих в конкретних умовах. Це дозволить об'єктивно оцінити можливі негативні наслідки, вжити невідкладних заходів щодо їх запобігання.

Далі проведемо аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, що діють в лабораторії на працівника. Виконаємо якісний та кількісний аналіз цих чинників. Також, розробимо заходи з охорони праці, для цих шкідливих виробничих чинників, які забезпечують покращення умов праці в лабораторії.

#### **4.4.1 Аналіз параметрів мікроклімату**

Вагоме значення для нормальної працездатності людини має чисте повітря необхідного хімічного складу і оптимальної температури, вологості та швидкості руху, тому виконання науково-дослідницької роботи супроводжувалося дослідженням мікроклімату в приміщенні лабораторії. При дослідженні мікроклімату знаходять такі складові: температура, рухливість повітря робочої зони та зіставлення результатів з встановленими нормами.

Згідно з [78] в залежності від пори року розрізняють холодний та

теплий періоди. Також розрізняють категорії робіт за важкістю: Легка Іа, Легка Іб, Середньої важкості Іа, Середньої важкості Іб, Важка ІІІ. При виконанні дослідів, роботи за важкістю відносяться до категорії Іб (легкі фізичні роботи, що виконуються сидячи, стоячи або зв'язані з ходьбою і не потребують важких систематичних фізичних навантажень). Результати дослідження і нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 710 наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Величини параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 710

Період року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Вимір.	Допуст.	Вимір.	Допуст.	Вимір.	Допуст.
Холодний	15	21...24	79	<75	0,34	<0,2
Теплий	28	21...28	51	55	0,24	0,1...0,3

У приміщенні науково-дослідницької лабораторії в холодний період року діє водяне опалення. Результати дослідження мікроклімату показали, що за встановленими нормами згідно ДСНЗ.3.6.042-99 [78], мікроклімат не повністю відповідає допустимим нормам і є несприятливим.

Показники температури повітря в робочій зоні по висоті та горизонталі на протязі робочої зміни не повинні виходити за межі нормованих величин оптимальної температури для даної категорії робіт. Температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля) технологічного обладнання

(екрани і т. ін.) не повинна виходити більш ніж на 2°C за межі оптимальних температур повітря для даної категорії робіт. При виконанні робіт в аудиторіях та інших приміщеннях повинні дотримуватися оптимальні умови мікроклімату (температура повітря 22-24 °С, відносна вологість 60-40 %, швидкість руху повітря не більш 0,1 м/с).

У теплий період року показники мікроклімату лежать в межах допустимих норм, а в холодний період – спостерігається дещо знижена температура і підвищені вологість та швидкість руху повітря, в основному за рахунок спільної дії печей та системи вентиляції.

Отже, в холодну пору року в приміщенні необхідно використовувати зволожувачі повітря, а також для підвищення температури потрібно встановити додаткове опалення. Для підтримки в приміщенні оптимального температурного режиму відповідно до вимоги ДБН В.2.5-67:2013 [82] є централізоване опалювання і вентиляція. У теплий період року використовується кондиціонування.

#### **4.4.2 Освітлення**

Освітлення буває трьох видів: природне, штучне і суміщене. Природне у свою чергу поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. Штучне – загальне і місцеве. Суміщене освітлення – освітлення, при якому використовується природне та штучне освітлення. Через недостачу освітлення людина працює в шкідливих умовах, більше напружується зір, відповідно – швидше настає втома, погіршується зір.

У лабораторії 710 використовується система суміщеного освітлення, при якому в світлий час доби використовується природне та штучне освітлення. При цьому, недостатнє, за умовами зорової роботи, природне освітлення доповнюється штучним. Природне освітлення в лабораторії – бокове, здійснюється через бокові світлові прорізи в зовнішніх стінах з

південної сторони. Відстань до місця основної роботи складає 1 м. Для загального освітлення використовуються люмінесцентні лампи ЛБ-40 (8 одиниць у лабораторії).

Штучного загального освітлення достатньо, то місцеве освітлення можна не використовувати. Освітлення лабораторії відповідає встановленому по ДБН В.2.5.28-2006 рівню в 200 лк [79].

#### **4.4.3 Вплив шуму та вібрації**

Головним джерелом шуму є витяжна вентиляція марки С4.70-3.2., яка знаходиться над печами. Характер шуму вентиляції тональний. Тривалість роботи вентиляції залежить від тривалості роботи печі (2 години на зміну). Фактичний шум від вентиляції складає 65 дБА. Нормування здійснюється відповідно з ДСН 3.3.6-037-99 [80]. Загальний рівень шуму в приміщенні лабораторії не повинен перевищувати 75 дБА. Оскільки шум в лабораторії не перевищує встановлені норми, то шкідливого впливу на людину не відбувається.

При виготовленні шліфів застосовуються шліфувальні круги. Цей вид устаткування є джерелом шуму. Кількісно вплив цього чинника визначається рівнем звука, що не повинен перевищувати допустимий. Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [80] рівень звука не повинен перевищувати 65 дБА в приміщеннях лабораторій з шумним устаткуванням.

При роботі на шліфувальних кругах чималу небезпеку представляє вібрація. При виготовленні шліфів має місце початкова вібрація, небезпечна тим, що викликає спазм судин, порушення чутливості шкіри, відкладенню солей в суглобах, а також впливає на нервові закінчення. Основні вимоги по вібрації викладені в ДСН 3.3.6.039-99 [83]. Для запобігання вібрації застосовують віброізолюючі матеріали (з підвищеною можливістю щодо демпфірування).

В цілому, використання устаткування при додержанні норм та правил охорони праці не становить небезпеки для працюючого.

Шум до 50 дБА не викликає шкідливого впливу на людину в процесі її трудової діяльності. Шум з рівнем 50 – 60 дБА може викликати психологічний вплив, що виявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, утрудненні роботи з масивами інформації тощо. За рівня шуму 65 – 90 дБА можливий його фізіологічний вплив: пульс прискорюється, тиск крові підвищується, судини звужуються, що погіршує постачання органів кров'ю. Дія шуму з рівнем 90 дБА і вище може призвести до функціональних порушень в органах та системах організму людини: знижується слухова чутливість, погіршується діяльність шлунку та кишківника, з'являється відчуття нудоти, головний біль, шум у вухах. При рівні шуму 120 дБА та вище здійснюється механічний вплив на орган слуху, що виявляється у порушенні зв'язків між окремими частинами внутрішнього вуха, можливий навіть розрив барабанної перетинки. Звукові хвилі такого високого рівня, проникаючи через шкіру, викликають механічні коливання тканин організму, внаслідок чого відбувається руйнування нервових клітин, розриви дрібних судин.

#### **4.4.4 Дослідження інфрачервоного та теплового випромінювання**

Джерелами теплового випромінювання є індукційна піч ТВЧ. Реторти під час технологічного процесу повністю ізольовані теплоізоляційним матеріалом, а зверху обладнані засобом, що охолоджується за рахунок постійної циркуляції води, тому це суттєво не впливає на мікроклімат. У виробничих умовах з високою температурою і вологістю навколишнього середовища тепловіддача утруднена, організм людини може перегрітися. Таке явище називають гіпертермією. При гіпертермії істотно підвищується температура тіла, спостерігаються інтенсивне потовиділення, головний біль,

почуття слабкості, спрага, порушення сприйняття кольору предметів. При швидкому наростанні симптомів в особливо тяжких випадках температура тіла досягає 41-42 °С, шкіра стає блідою, синюшною, зіниці розширюються, дихання стає частим, поверхневим (50-60 разів за хвилину), прискорюється частота пульсу (120-160 ударів за хвилину), інколи виникають судоми, знижується артеріальний тиск, можлива втрата свідомості. Якщо потерпілому своєчасно не надати медичну допомогу, він може померти. Внаслідок перегрівання організму і втрати ним великої кількості рідини з потом можливе порушення водно-електролітного обміну, що проявляється судомною хворобою [84].

В якості засобів індивідуального захисту застосовуються рукавиці суконні, для захисту очей від впливу ІЧВ – окуляри зі спеціального жовто-зеленого скла.

#### **4.4.5 Електробезпека**

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220 В. Воно відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом у відповідності з ДНАОП 0.00-1.32-01 [85]. Мікроскоп має підсилену ізоляцію і не має елементів для заземлення (II клас), піч для нанесення покриттів має робочу ізоляцію і елемент для заземлення (I клас).

За небезпекою враження людей електричним струмом приміщення лабораторії у відповідності з ПУЕ-2017 [93] відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки лабораторія обладнана струмопровідною металевою підлогою. Безпека експлуатації роботи електроустаткування забезпечується наступними захисними заходами: періодичною перевіркою стану ізоляції та недоступністю безструмових частин.

На дію електричного ураження впливає ряд факторів: величина струму (1 мА), рід струму (струм перемінний), частота струму (50 Гц), шлях струму в

організмі, тривалість дії струму, стан організму, виробниче середовище. Величина струму, що протікає через будь-яку ділянку тіла. При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25 мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною 100 мА може призвести до смертельного наслідку.

Проходячи скрізь людину, електричний струм здійснює термічний, електролітичний та біологічний вплив. Термічний вплив проявляється в опіках окремих частин тіла, пошкодження судин, нервів та інших тканин. Електролітичний вплив проявляється в розкладенні крові та інших органічних рідин, в результаті чого виникає значне порушення їх фізико-хімічного складу. Біологічний вплив проявляється як особливий специфічний процес, який властивий лише живій тканині: подразнення та збудження живих тканин організму, що супроводжується невимушеним скороченням м'язів; порушення внутрішніх біоелектричних процесів.

У лабораторії, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів.

#### **4.4.6 Шкідливі речовини в повітрі робочої зони**

Головним показником, який характеризує стан забруднення повітря лабораторії шкідливими газами та пилом, є концентрація шкідливих речовин, яка не повинна перевищувати гранично допустиму концентрацію (ГДК), що встановлена ГОСТ 12.1.005-88 «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования» [87].

В лабораторії виконувався технологічний процес плавлення алюмінієвого сплаву з додаванням залізних часточок. Токсична дія алюмінію може призвести до хронічного ураження дихальних шляхів, що

призводять до змін в легенях (пневмоконіоз, фіброз та ін.). ГДК алюмінію в робочій зоні  $6 \text{ мг/м}^3$ , а орієнтовний безпечний рівень впливу в атмосферному повітрі (взуття) становить  $0,01 \text{ мг/м}^3$ .

Описані вище шкідливі дії кожного елементу небезпечні для людини при тривалому (хронічному) впливі на організм. Важливим фактором є і масштаб виробництва. В даній роботі плавлення відбувалося невеликими об'ємами в індукційній печі і при ввімкненій витяжці. Отже, повітря робочої зони відповідає санітарним нормам, оскільки концентрація шкідливих речовин у повітрі не перевищує ГДК.

#### **4.5 Розрахунок місцевої вентиляції**

Для забезпечення місцевої вентиляції обрано встановлення пристроїв місцевої вентиляції від робочого місця. Конструкцію місцевої вентиляції вибирають виходячи з особливостей технологічного процесу, устаткування та відповідно до таких основних положень:

- отвір вентиляції повинний бути максимально наближений до джерела виділень шкідливих речовин;
- розміри отвору вентиляції повинні бути рівними або більшими від розмірів струменя повітря, що видається. Зменшення розмірів отвору приводить до збільшення витрати повітря;
- отвір пристрою повинен розташовуватись з урахуванням як можна меншого відхилення потоку шкідливих речовин від природного напрямку руху;
- потік шкідливих речовин не повинний проходити через зону дихання працюючих.

Витяжні пристрої місцевої вентиляції встановлюються над

зосередженими джерелами тепло- і вологовиділень та над джерелами шкідливих речовин, що виділяються разом із теплотою. Застосовувати вентиляції можна при незначній рухомості повітря в приміщенні, тому що потік повітря, який спрямовується під ними, може відхилитися. Для усталеної роботи пристроїв місцевої вентиляції їх постачають фартухами і розміщують на мінімальній висоті над джерелом виділень. Також їх можна рекомендувати за наявності стійких конвективних потоків для процесів, що не вимагають постійного спостереження.

При конструюванні пристроїв місцевої вентиляції варто робити з центральним кутом розкриття не більше 60 градусів і отвором, що перекриває в плані джерело виділень шкідливих речовин (рис. 3.1).

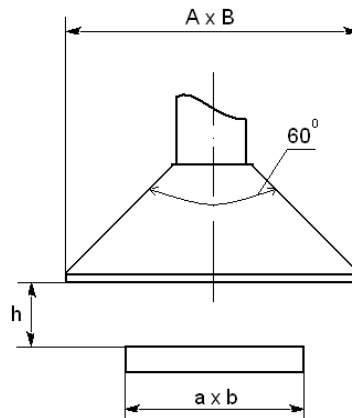


Рисунок 3.1 - Схема витяжної вентиляції

Розміри прямокутної вентиляції в плані приймають

$$B = 1,2 \cdot b, \quad (3.1)$$

де  $B$  – розмір сторони витяжного пристрою, м;  $b$  – ширина джерела, м.

Довгу сторону отвору вентиляції рекомендується брати

$$A = a + 0,24h, \quad (3.2)$$

де  $h$  – відстань від устаткування до низу вентиляції, м;  $a$  – довжина джерела, м.

Вихідними даними для розрахунку є:

1. площа джерела  $F_d = 0,25 \text{ м}^2$ ;

2. температура нагрітої поверхні джерела  $t_d = 300^{\circ}\text{C}$ ;

3. відстань від поверхні джерела до низу вентиляції  $h=1$  м.

Продуктивність витяжної вентиляції  $L_n$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ , визначається за формулою:

$$L_n = (F_n / F_d) \cdot L_k \quad (3.3)$$

де  $F_n$  – площа вентиляції,  $\text{м}^2$ ;  $L_k$  – кількість повітря, що надходить під отвір пристрою з конвективним струменем,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

$$L_k = 125 \cdot \sqrt[3]{(h \cdot Q_k \cdot F_d)} \quad (3.4)$$

де  $h$  – відстань від поверхні джерела до низу пристрою, м;  $Q_k$  – кількість конвективного тепла, що виділяється джерелом, Вт.

$$Q_k = \alpha_k \cdot F_d \cdot (t_d - t_{p.z.}) \quad (3.5)$$

де  $\alpha_k$  – коефіцієнт конвективної тепловіддачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$$\alpha_k = 1,3 \cdot \sqrt[3]{(t_d - t_{p.z.})} \quad (3.6)$$

де  $t_{p.z.}$  – температура повітря в робочій зоні приміщення,  $^{\circ}\text{C}$ .

Знаючи всі величини, можемо розрахувати потрібний повітрообмін біля джерела забруднення.

Спочатку розрахуємо коефіцієнт конвективної тепловіддачі:

$$\alpha_k = 1,3 \cdot \sqrt[3]{t_d - t_{p.z.}} = 1,3 \cdot \sqrt[3]{(300 - 22)} = 8,5 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Далі розрахуємо кількість конвективного тепла, що виділяється джерелом, і кількість повітря, що надходить під вентиляцію із конвективним струменем:

$$Q_k = \alpha_k \cdot F_d \cdot (t_d - t_{p.z.}) = 8,5 \cdot 0,25 \cdot (300 - 22) = 590,7 \text{ Вт},$$

$$L_k = 125 \cdot \sqrt[3]{h \cdot Q_k \cdot F_d} = 125 \cdot \sqrt[3]{(1 \cdot 590,7 \cdot 0,25)} = 660,7 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Тепер, маючи всі потрібні дані, можна розрахувати продуктивність витяжної вентиляції:

$$L_n = (F_n / F_d) \cdot L_k = (0,29 / 0,25) \cdot L_k = 776,4 \text{ м}^3/\text{год}.$$

#### 4.6 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі); розрив або зруйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки [73,94]. З метою запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення [73]. Під час аналізу небезпеки підприємства (об'єкта) потрібно визначити всі можливі аварійні ситуації і аварії, в тому числі й малоймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть виникати на підприємстві, розглянути сценарії їхнього розвитку і оцінити наслідки. Виявлення можливостей і умов виникнення аварій має виконуватись на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (апаратів, машин тощо), так і їх групи (технологічних блоків), а також з урахуванням небезпечних властивостей речовин і матеріалів (вибухопожежонебезпечних та шкідливих), що використовуються у виробництві. При цьому слід враховувати параметри стану речовин (температура, тиск, агрегатний стан тощо) і стан обладнання, які відповідають як нормальному технологічному режиму, так і режимам, які можливі при настанні й розвитку аварії.

Надзвичайна ситуація – це порушення умов життєдіяльності людей викликані виробничими аваріями, катастрофами, стихійними лихами, епідеміями які привели або можуть привести до людських жертв і великих матеріальних збитків (згідно закону України «Про захист населення і території в умовах надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру»).

Принципи забезпечення безпеки в умовах НС за ознаками їх реалізації умовно ділять на три групи.

Перша – це завчасна підготовка і накопичення засобів захисту (колективних та індивідуальних) від небезпечних і шкідливих чинників, забезпечення їхньої готовності для використання населенням, а також

підготовка до проведення заходів щодо евакуації населення з небезпечних зон (зон ризику).

Друга – диференційований підхід у забезпеченні повного обсягу захисних заходів залежно від виду джерел небезпечних і шкідливих чинників, а також від місцевих умов.

Третя – комплексне ефективне застосування засобів і способів, які забезпечують надійний захист від наслідків НС, узгоджене здійснення усіх заходів, що гарантують безпеку життєдіяльності в сучасному техно-соціальному середовищі. Щоб запобігти виникненню надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру в нашій країні існує Єдина державна система запобігання і регулювання на надзвичайній ситуації техногенного характеру.

Ситуація в лабораторії при виникненні пожежі належить до об'єктивного рівня, тому що в лабораторії немає великої кількості горючого матеріалу. Згідно Класифікатора надзвичайних ситуацій в Україні надзвичайною ситуацією об'єктного рівня вважається така ситуація, що розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті і наслідки якої не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони. Для спрощення машинної обробки інформації класифікатор визначає оригінальний код кожної надзвичайної ситуації, що складається з 5-ти цифр, які вказують на клас, групу і вид надзвичайної ситуації (О - об'єктний, М - місцевий, Р - регіональний, Д – державний).

Основний засіб захисту населення в надзвичайних ситуаціях - це евакуація населення, його укриття в захисних спорудах, використання засобів індивідуального захисту і медичної профілактики, що зазначені у попередньому розділі. Захисні споруди - це інженерні об'єкти, спеціально призначені для захисту населення від фізичних, хімічних, біологічно небезпечних і шкідливих чинників. Розглянемо таку надзвичайну ситуацію як пожежа (картка 10205 Класифікатора надзвичайних ситуацій – Пожежі

(вибухи) в будівлях та спорудах громадського призначення).

#### 4.6.1 Аналіз пожежної безпеки

Навчально–наукова лабораторія знаходиться в будівлі, що відноситься до першого ступеня пожежної безпеки згідно ДСТУ 3273-95 [73]. Відповідно до ДБН В.1.1-7-2002 будівля відноситься до I ступеня вогнестійкості (будинки з несущими та загороджувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів) [88]. Робоче приміщення відповідно до НПАОП 40.1-1.32-01[89] та НАПБ Б 03.002-2007 [90] з вибухонебезпечності відноситься до категорії "В". Відповідно до ПУЕ-2017 [93] клас робочої зони приміщення з пожежної небезпеки II-II а.

Можливими причинами виникнення пожежі в даному приміщенні є:

- 1) коротке замикання проводки;
- 2) використання побутових електроприладів;
- 3) недотримання умов протипожежної безпеки.

У зв'язку з цим відповідно до ПУЕ-2017[93] необхідно передбачити такі заходи з пожежної безпеки:

– ретельну ізоляцію всіх безструмових провідників до робочих місць; періодичний огляд та перевірку ізоляції;

– суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочому місці.

Приміщення обладнане двома пожежними датчиками типу ДТЛ, сигнал від яких надходить на станцію пожежної сигналізації (площа, що захищається,  $2 \times 15 = 30 \text{ м}^2$ ). Відстань між датчиками становить 4 м відповідно до ДБН В.1.1-7-2016 [92] та ДСТУ 3273-95 [73]. Така кількість датчиків відповідає нормам розміщення згідно з ДБН В.1.1-7-2016 [92], тому що площа, яка захищається датчиком ДТЛ, становить  $15 \text{ м}^2$ , два датчики захищають площу приміщення  $30 \text{ м}^2$ , а площа приміщення лабораторії

становить 19,4 м<sup>2</sup>.

Приміщення обладнане такими елементами пожежогасіння:

- вогнегасник ОУБ-3 – 1 шт.
- вогнегасник ОП-1 "Момент" – 1 шт.

У приміщенні виконуються усі вимоги з пожежної безпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 "Правила пожежної безпеки в Україні"[24].

У приміщенні також наявний план евакуації на випадок виникнення пожежі. Час евакуації відповідає вимозі ДБН В.1.1-7-2016 [92], а максимальне віддалення робочих місць від евакуаційних виходів відповідає СНиП 2.09.02-85 [88].

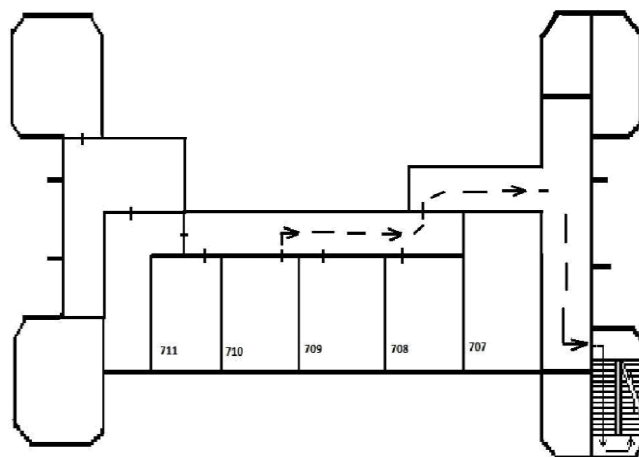


Рисунок 1.2 – План евакуації з приміщення лабораторії

Основними заходами з пожежної безпеки є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; обережне відношення з легкоплавкими речовинами. Виконання роботи передбачено лише на робочому місці.

#### **4.6.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

У випадку виникнення аварійної ситуації, а саме закорочення кабельної

електропроводки, що знаходиться під напругою та іскрить необхідно:

- відключити подачу струму до лабораторії та сповістити про пожежу за допомогою пожежної сигналізації;

- гасити полум'я необхідно вогнегасниками типу ВВ-2, ВВ-8, а також піском;

- необхідно швидко евакуюватися в безпечні приміщення або на двір.

Поблизу лабораторії є пожежний інвентар (пожежний щит, ящики з піском, азбестове полотно), пожежний ручний інструмент - лопи, сокири та ін.

Передбачено пожежний гідрант і пожежний кран, укомплектований пожежним рукавом з приєднаним до нього пожежним стовбуром.

У випадку пробією електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому штучне дихання.

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;

- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);

- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

## **5 РОЗРОБЛЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЕКТУ**

### **5.1 Опис ідеї проекту**

Впровадження легких і міцних матеріалів в повсякденне життя. Створення і застосування композиційних матеріалів – один з найбільш перспективних шляхів забезпечення виробництва конструкційними матеріалами, вирішення завдань підвищення експлуатаційних параметрів техніки, економії ресурсів. Сучасні композиційні матеріали поєднують високі властивості міцності з легкістю і довговічністю. Їх використання дозволяє знизити масу конструкції на 25-50%. За рахунок їх застосування можна збільшити експлуатаційний ресурс, знизити до мінімуму втрати від корозії, витрата палива.

### **5.2 Бізнес-модель**

#### **5.2.1 Продукт**

Області застосування КМ численні:

- 1) енергетичне турбобудування, автомобільна промисловість – для корпусів і деталей машин;
- 2) гірничорудна промисловість – для бурового інструменту, бурових машин і ін. ;
- 3) металургійна промисловість – як вогнетривких матеріалів для футеровки печей, кожухів та ін., Арматури печей, наконечників термопар;
- 4) будівництво - для прольотів мостів, опор мостових ферм, панелей для висотних збірних споруд та ін. ;
- 5) хімічна промисловість – для автоклавів, цистерн, апаратів сірчано-кислотного виробництва, ємностей для зберігання і перевезення нафтопродуктів та ін. ;
- 6) текстильна промисловість – для деталей прядильних машин, ткацьких верстатів і ін. ;
- 7) сільськогосподарське машинобудування – для ріжучих частин плугів, дискових косарок, деталей тракторів і ін. ;
- 8) побутова техніка – для деталей пральних машин, лез бритв, гоночних велосипедів, деталей радіоапаратури та ін.

### **5.2.2 Сегмент споживачів**

Споживачами запропонованого продукту можуть бути наступні промислові підприємства:

- ТОВ «Мелітопольський завод підшипників ковзання»;
- ТОВ «Завод інженерних машин М»;
- ДП «Харківське КБ з машинобудування ім. Морозова»;
- ПАТ «Полтавський турбомеханічний завод»

– ФІЛІЯ «Дарницький вагоноремонтний завод» публічного акціонерного товариства – «Українська залізниця»;

### **5.2.3 Канали збуту**

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

### **5.2.4 Взаємодія зі споживачами**

З конкретним споживачами взаємодія може відбуватися через особисті контакти, по телефону, електронній пошті; можливе застосування програм лояльності.

Із потенційними споживачами – через інформаційні інтернет-ресурси: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

### **5.2.5 Прибуток (монетизація)**

Отримання прибутку від продажу готових виробів основної номенклатури та індивідуальних замовлень, а також від впровадження своєї технології для інших виробників.

### **5.2.6 Ключові види діяльності**

1) Наукова діяльність – це інтелектуальна творча діяльність,

спрямована на одержання та використання нових знань. Основними її формами є фундаментальні та прикладні наукові дослідження.

2) Виробництво продукції – певний технологічний процес отримання виробів певної конфігурації та із заданими технологічними та механічними властивостями.

3) Маркетингова діяльність – являє собою творчу управлінську діяльність, завдання якої полягає в розвитку ринку товарів, послуг і робочої сили шляхом оцінки потреб споживачів, а також у проведенні практичних заходів для задоволення цих потреб.

### **5.2.7 Ключові ресурси**

Технологія виробництва. Охоронні документи (патенти). Науково-технічні працівники. ;

### **5.2.8 Ключові партнери**

Ключовими партнерами є:

- підприємство, яке забезпечує виробничу базу;
- компанії з надання логістичних і маркетингових послуг;
- постачальники сировини та енергоресурсів для виробництва.

### **5.2.9 Витрати**

Основними є витрати на:

- оренду промислових потужностей;
- ресурсозабезпечення;

- логістику;
- маркетинг.

### **5.3 Споживчі властивості товару**

Представлений композиційний матеріал поєднує високі властивості міцності з легкістю і довговічністю.

### **5.4 Дослідження ринку**

За результатами аналізу існуючого ринку продукції аналогічного призначення ( вуглепластики) можна зробити висновок, що:

- річний світовий обсяг виробництва виробів аналогічного призначення становить близько 150 млн. \$;
- основними матеріалами для виробництва виробів аналогічного призначення є хромонікелевий чавун «ніхард»;
- технології, які використовуються на сьогодні для виробництва виробів аналогічного призначення програють за показниками економічності та експлуатаційними показниками розробленій технології.

### **5.5 Дослідження конкурентного оточення**

Вироби аналогічного призначення виробляють підприємства як України так і закордону. Було проаналізовано продукцію підприємств України, країн СНД та КНР, як найбільш вірогідних конкурентів. Переваги нашого продукту

за якістю та економічністю наразі дозволяють йому зайняти свою нішу на ринку аналогічних продуктів.

Ймовірні конкуренти:

- В Україні: ТОВ «БІОЛ», ТВД «Булат»;
- За кордоном Wuxi Liangxin Steel Co, Ltd..

## **5.6 Маркетингова стратегія просування**

Маркетингова стратегія просування проекту складатиметься з:

- просування проекту в мережі Internet;
- участі у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- зустрічей безпосередньо на підприємствах, які користуються запропонованою продукцією та проведення демонстрацій та «особистих продажів» виробів;
- поступовим опануванням ринку України та виходом на міжнародний ринок.

## **5.7 Елементи фінансового плану**

### **5.7.1 Опис бізнес – проекту**

Мета проекту- Впровадження технології створення такого матеріалу в різних областях застосування.

Задачі проекту - Розповсюдити технологію в металургійні й машинобудівні заводи

### **5.7.2 Опис товару/ послуги/ технології**

Запропонований композиційний матеріал можна використовувати в машинобудівній галузі промисловості. 72

### **5.7.3 Маркетинг та продаж**

Маркетингова стратегія просування проекту включає в себе:

- просування проекту в мережі Internet;
- участь у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців.

Для продажу застосовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через інтернет-ресурси.

### **5.7.4 Фінансовий план**

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не прораховувався. Однак, можна вважати, що заплановані інвестиції для впровадження у виробництво та виробництва готових виробів в межах одного підприємства-виробника становлять:

- оренда промислових потужностей – 2 000 \$;
- відпрацювання технології в умовах виробництва – 2 000 \$;
- ресурсозабезпечення – 2 000 \$;
- затрати на логістику, маркетинг, з/п – 5 000 \$.

Поточна ситуація по проекту:

- проект на стадії відпрацювання та удосконалення технології в

лабораторних умовах;

– в наявності є дослідні зразки.

### 5.7.5 Резюме

Проект призначений для покращення триботехнічних властивостей антифрикційних матеріалів. Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 9 000 \$.

## ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально показано принципову можливість управління структурою за допомогою прикладання зовнішнього магнітного поля.

2. Розроблено та вдосконалено методику впливу зовнішнього магнітного поля на розташування дисперсних частинок в заевтектичних алюмінієвих сплавах.

3. Встановлено, що температурна залежність електричного опору досліджуваного сплаву на ділянці від  $760^{\circ}\text{C}$  до  $815^{\circ}\text{C} - 830^{\circ}\text{C}$  має нелінійний характер. Це свідчить про зміни, що відбуваються в будові розплаву. Прискорене зростання опору з температурою можна пояснити зростанням ступеня розсіювання вільних носіїв заряду не тільки в результаті збільшення амплітуди коливань атомів, але і внаслідок істотного збільшення кількості розчиненого елемента в угрупованнях.

4. По результатам резистометричних випробувань встановлена зміна будови зразків при зміні температури, а також було виявлено, що в твердий стан значною мірою переносяться зміни, що відбулися в розплаві при його перегріві.

5. Розроблену методику можна рекомендувати для керування структурою в алюмінієвих сплавах.

## CONCLUSIONS

1. The theoretical substantiation and experimentally shows the principal possibility of controlling the structure by applying an external magnetic field.

2. The method of influence of an external magnetic field on the location of disperse particles in eutectic aluminum alloys is developed and improved.

3. It was established that the temperature dependence of the electrical resistance of the investigated alloy on the site from 760 °C to 815 °C - 830 °C is nonlinear. This indicates changes in the structure of the melt. The accelerated growth resistance of the temperature can be explained by the growth of the degree of scattering of free charge carriers, not only as a result of an increase in the amplitude of oscillations of the atoms, but also due to a significant increase in the number of dissolved elements in the groups.

4. According to the results of resistometric tests, a change in the structure of the samples was established at temperature changes, and it was found that the solid state to a large extent undergo changes that occurred in the melt during its overheating.

5. The developed method can be recommended for control of the structure in aluminum alloys.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. С.С. Затуловский Концепция развития литых композиционных материалов / Процессы литья, 1997.– №4. – С. 9 – 10
2. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. А,А. Батаев, В.А. Батаев.- Новосибирск.: НГТУ, 2002.- 384 с.
3. Патент РФ на изобретение № 2425776. Водонепроницаемый прочный корпус подводного аппарата из стеклометаллокомпозита // Пикуль В. В. – Опубликовано 10.08.2011. Бюл. № 22.
4. Minaev A.A. Innovative analysis the development of cast composites metal matrix / Minaev A.A., Alimova O.T., Grishanova M.S. // Proceedings of the 77th International Scientific and Technical Conference AAI «Automobile and Tractor in Russia: Priorities for Development and Training». Section 6 «Machines and technologies of blank production». 2012. – 28 p
5. Жидкофазные технологии получения композиционных материалов. Матрицы. Упрочнители : [учеб. пособие] /Л. А. Мальцева, В. А. Шарапова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. — 120 с.

6. Shah, K. (2016). Metal Matrix Composites: The Global Market. Retrieved from <https://www.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/metal-matrix-composites-market-report-avm012e.html>
7. Семенов, Б.И. Освоение композитов – путь к новому уровню качества материалов и отливок [Текст] / Б.И. Семенов // Литейное производство. – 2000. – №8. – С. 6-9.
8. Найдек, В.Л. Новые нетрадиционные материалы – основа современной наукоемкой техники [Текст] / В.Л. Найдек, С.С. Затуловский, А.С. Затуловский // Metallurgia машиностроения. – 2005. – №6. – С.18-28.
9. Вашуков, Ю. А. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композитных материалов [Электронный ресурс] Мультимедийный образовательный модуль / Ю.А. Вашуков Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (Нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. Дан. (3766 Кбайт, печатный аналог 185 с.). – Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-R)
10. Анисимов, А.В. Разработка металлокомпозитов на основе алюминия, упрочненных наночастицами тугоплавких соединений [Текст] / О.В. Анисимов, В.И. Костиков, Е.В. Лобачева [и др.]// Известия ВУЗов (ПМ и ФП).-№3, 2011. – С. 33-39.
11. Хрусталева, А.П. Структура и физико-механические свойства литых композитов на основе алюминия, упрочненных наночастицами детонационных алмазов [Текст] / А.П. Хрусталева, С.А. Ворожцов, С.Н. Кульков //Мат всерос. конф. молод. ученых «Наука. Технологии. Инновации», г. Новосибирск, ч.4, С. 219-222, 21-24 ноября 2013 г.
12. Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов / А.В. Андреева. – М.: ИПРЖР, 2001. – 192 с.

13. Тялина, Л.Н. Т548 Новые композиционные материалы : учебное пособие / Л.Н. Тялина, А.М. Минаев, В.А. Пручкин. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0988-3.
14. Алюминиевые композиционные сплавы – сплавы будущего: Учебное пособие / Сост. А.Р.Луц, И.А. Галочкина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 82 с.:ил.
15. Семенов, Б.И. Освоение композитов – путь к новому уровню качества материалов и отливок [Текст] / Б.И. Семенов // Литейное производство. – 2000. – №8. – С. 6-9.
16. Композиционные материалы в машиностроении: Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Материаловедение», «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», «Технология автомобиле - и тракторостроения», «Конструкторско-технологические решения для обеспечения безопасности проектируемых и эксплуатируемых объектов» для студентов очной и заочной форм обучения / Сост. В.В. Евстифеев, В.И. Матюхин, В.В.Акимов – Омск: СибАДИ, 2012. – 16 с.
17. Froyen L., Verlinden B. Aluminium Matrix Composites Materials/ European Aluminium Association: TALAT Lecture 1402. – 2016 – 28 p.
18. Global Industry Analysts, Inc. (USA); <http://www.strategyr.com>
19. Прусов, Е.С. Исследование свойств литых композиционных сплавов на основе алюминия, армированных эндогенными и экзогенными фазами [Текст] / Е.С. Прусов, А.А. Панфилов // Металлы, 2011. – №4. – С. 79-84.
20. Патент РФ 2012146420. Способ получения поликристаллического композиционного материала [Текст]/ М.А. Андрианов, О.В. Игнатенко, В.В.

Мельчуков, В.В. Ткаченко // Зарег. 28.02.2011, опубл. 10.05.2014 г  
Патентообладатель: ЗАО «Микробор нанотех».

21. Конструкционные материалы: Справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.

22. Kim, C.W. Combustion Synthesis and Densification of the TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al Composites Text / C.W. Kim, C.S.Kim, S.C. Koh, D.K.Kim// International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis.-1996.- Vol.5.-№2.-p.159-167.

23. Ko, S.H. In-situ production and microstructures of iron aluminid/TiC composites Text / S.H. Ko, S.Hanada // Intermetallics.-1999.- №7.- p. 947-955.

24. Adebisi, A.A. Metal matrix composite brake rotor: historical development and product life cycle analysis // A.A. Adebisi, M.A. Maleque, M.M. Rahman // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2011. Vol. 4. P. 471-480.

25. Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering. Edited by Karl U. Kainer. Copyright © 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 3-527-31360-5.

26. Радиозащитные строительные материалы. В. Н. Гульбин, Н. С. Колпаков и др. Научно-технические технологии, № 3, 2014, т.15. С.17-25.

27. Долматов, А.В. Карбидообразование при кавитационном воздействии на расплавы Al-Ti для получения композитов Текст / А.В. Долматов, Э.А.Пастухов, Н.А. Ватолин, Э.А. Попова, Л.Е. Бодрова, А.В. Киселев// Технология металлов.- 2004.- №10.- С.24-26.

28. Знаменский, Л. Подготовка лигатур в электроимпульсном поле Текст / Л. Знаменский, О.Ивочкина // Технический альманах .- 2005.-№4.- С.83-85.

29. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических

материалов Текст / сб. науч. трудов.- М.: Наука.- 1973.- 258 с.

30. Bonollo, F. Cylinder liners in aluminium matrix composite by centrifugal casting [Text]/ Bonollo F., Moret A., Gallo S., Mus C. // La metallurgia Italiana, 2004. – №6. – P. 49-55.

31. Patent US 20140170013 A1. In situ combustion synthesis of titanium carbide (TiC) reinforced aluminum matrix composite [Text]/ Ahmed Mohammed Nabawy, Khalil Abdelrazek Khalil, Abdurahman M. Al-Ahmari//19.06.2014.

32. A. Lekatou. Aluminium reinforced by WC and TiC nanoparticles (ex-situ) and aluminid particles (in-situ): Microstructure, wear and corrosion behavior Text / A. Lekatou, A.E. Karantzalis, A. Evangelou, V. Gousia, G. Kaptay, Z. Gacsi, P. Baumali, A. Simon // Materials and Design, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.08.040>.

33. Mazaheri, M. Comparison of microstructural and mechanical properties of Al–TiC, Al–B<sub>4</sub>C and Al–TiC–B<sub>4</sub>C Text / M. Mazaheri, R. Meratian, A. Emadi, R. Najarian // Materials Science and Engineering, 2013.- Vol. A 560.- P.278-287.

34. Курганова, Ю.А. Особенности получения литых композиционных ДУ частицами керамики материалов на основе алюминиевых сплавов Текст / Ю.А. Курганова, К.О. Байкалов // Материалы XIII Межд. симпозиума «Динамические и технологические проблемы в механике конструкций и сплошных сред», Ярополец, 2007.- С. 34-36.

35. Курганова, Ю.А. Повышение механических свойств дискретно-армированных КМ с алюминиевой матрицей Текст / Ю.А. Курганова // Заготовительные производства в машиностроении, 2007.- № 5.- С. 46-48.

36. Курганова, Ю.А. Универсальные триботехнические материалы на основе алюминиевых сплавов Текст / Ю.А. Курганова // Технология металлов, 2007, №8.- С. 29-32.

37. Курганова, Ю.А. Литейные методы изготовления дисперсно упрочненных КМ на основе алюминиевых сплавов и особенности технологических операций при производстве изделий Текст / Ю.А. Курганова // Технология

металлов, 2007.- №9.- С. 40 – 43.

38. Курганова, Ю.А. Перспективность разработки материалоемких литых изотропных композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов Текст / Ю.А. Курганова, С.В. Курганов // Материалы XIV Межд. симпозиума «Динамические и технологические проблемы в механики конструкций и сплошных сред», Ярополец, 2008.- С. 140-141.

39. Минаев А.А. Инновационный анализ развития литых металлокомполитов / Минаев А.А., Алимова О.Т, Гришанова М.С. // Материалы 77-й международной научно-технической конференции ААИ «Автомобилестроение и тракторостроение в России: Приоритеты развития и подготовка кадров». Секция 6 «Машины и технологии заготовительного производства». 2012. – 28 с.

40. Hartaj Singh, Sarabjit, Nrip Jit, Anand K Tyagi. An overview of metal matrix composite: processing and SiC based mechanical properties/ Journal of Engineering Research and Studies. – 2011. – Vol. II/ Issue IV/October- December. – pp.72-78;

41.Прусов Е.С., Панфилов А.А., Кечин В.А. Перспективы применения алюмоматричных композиционных сплавов в машиностроении // Литейщик России. – 2012. – №9. – С.16 – 19.

42. Амосов А.П. Литые СВС-комполиты/ Литейное производство. – 1999. – №1. – С. 36-37.

43.Долматов, А.В. Карбидообразование при кавитационном воздействии на расплавы Al-Ti для получения комполитов Текст / А.В. Долматов, Э.А.Пастухов, Н.А. Ватолин, Э.А. Попова, Л.Е. Бодрова, А.В. Киселев// Технология металлов.- 2004.- №10.- С.24-26.

44.Xiangfa, Liu. The relationship between microstructure and refining performance of Al-Ti-C master alloys Text / Liu Xiangfa, Wang Zhenqing, Zhang Zuogui, Bian Xiufang// Materials Science and Engineering.- 2002.- Vol.332A.- p.70-74.

45. Premkumar, M.K. Al-TiC particulate composite produced by a liquid state in situ process Text / M.K. Premkumar, M.G. Chu // Materials Science and Engineering. -1995. Vol.202A. – p.172-178.
46. Adebisi A.A. Metal matrix composite brake rotor: historical development and product life cycle analysis // A.A. Adebisi, M.A. Maleque, M.M. Rahman // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. – 2011. – Vol. 4, pp. 471-480.
47. Панфилов, Ал.А. Алюмоматричные композиционные материалы: структура, свойства и применение [Текст] / Ал.А. Панфилов, А.В. Панфилов, В.А. Кечин [и др.] // Известия Международной Академии наук высшей школы. – №4(46), 2008. – С. 155-162. ISSN 1815-0624.
48. Torralba J.M., da Costa C.E., Velasco F. P/M aluminum matrix composites. J. Mater. Process. Technol. 2003;133:203–206. doi: 10.1016/S0924-0136(02)00234-0. [\[Cross Ref\]](#)
49. Gui M., Kang B. Dry Sliding Wear Behavior of Plasma-Sprayed Aluminum Hybrid Composite Coatings. Metall. Mater. Trans. A.2001;32:2383–2392. doi: 10.1007/s11661-001-0212-9. [\[Cross Ref\]](#)
50. Adnan M., Asif M., Ahmad K.A., Nabi B., Ali H., Myong H.K. Mechanical characterization of copper coated carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites. Mater. Charact. 2013;86:39–48.
51. Paramês M.L., Viskadourakis Z., Rogalski M.S., Mariano J., Popovici N., Giapintzakis J., Conde O. Magnetic properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> thin films grown on different substrates by laser ablation. Appl. Surf. Sci. 2007;253:8201–8205. doi: 10.1016/j.apsusc.2007.02.134. [\[Cross Ref\]](#)
52. Zhu H., Cao F., Zuo D., Zhu L., Jin D., Yao K. A new hydrothermal blackening technology for Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> coatings of carbon steel. Appl. Surf. Sci. 2008;254:5905–5909. doi: 10.1016/j.apsusc.2008.03.184. [\[Cross Ref\]](#)

53. Zhang X., Wang S., Zhou J., Li J., Jiao D., Kou X. Electrochemical hydrogen storage properties of MgNi–NiP composite material. *J. Alloy. Compd.* 2009;474:273–278. doi: 10.1016/j.jallcom.2008.06.080. [[Cross Ref](#)]
54. Sharma A.K., Gupta D. On microstructure and flexural strength of metal–ceramic composite cladding developed through microwave heating. *Appl. Surf. Sci.* 2012;258:5583–5592. doi: 10.1016/j.apsusc.2012.02.019. [[Cross Ref](#)]
55. Karbouj R. Aluminium leaching using chelating agents as compositions of food. *Food Chem. Toxicol.* 2007;45:1688–1693. doi: 10.1016/j.fct.2007.03.001. [[PubMed](#)] [[Cross Ref](#)]
56. Shokrollahi H., Janghorban K. Soft magnetic composite materials (SMCs) *J. Mater. Process. Technol.* 2007;189:1–12. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.02.034. [[Cross Ref](#)]
57. Ahmadian B.H., Sharafi S., Delshad C.M. Investigation of nanostructure formation mechanism and magnetic properties in Fe<sub>45</sub>Co<sub>45</sub>Ni<sub>10</sub> system synthesized by mechanical alloying. *Powder Technol.* 2012;230:241–246. doi: 10.1016/j.powtec.2012.07.039. [[Cross Ref](#)]
58. Ding J., Miao W.F., Street R., McCormick P.G. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Fe magnetic composite synthesized by mechanical alloying. *Scr. Mater.* 2005;35:1307–1310. doi: 10.1016/1359-6462(96)00306-5. [[Cross Ref](#)]
59. Man H.C., Kwok C.T., Yue T.M. Cavitation erosion and corrosion behaviour of laser surface alloyed MMC of SiC and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> on Al alloy AA6061. *Surf. Coat. Technol.* 2000;132:11–20. doi: 10.1016/S0257-8972(00)00729-5. [[Cross Ref](#)]
60. Ren W., Deng K. Progress in Research on Solidification in a Strong Static Magnetic Field // *Steel research international.* – 2007. – V. 78, № 5. – P. 373-378.
61. Модифицирующая обработка сплавов магнитным полем / В. Б. Деев, И. Ф. Селянин, О. И. Нохрина и др. // *Литейщик России.* – 2008. – № 3. – С. 23
62. Haifang S., Chunlei G., Qing L. Constant magnetic field action on the Al-Cu alloys directional solidification // *Nonferrous Nuetals.* – 2003. – V. 55, № 1. – P.

14-17.

63. Вплив постійного магнітного поля на дендритну структуру сплавів системи Al-Cu при охолодженні розплавів / В. І. Дубодєлов, В. О. Середенко, С. С. Затуловський, А. В. Косинська // *Металознавство та обробка металів.* – 2009. – № 2 – с. 14-19.

64. Структура і зношення заевтектичного сплаву Al-Fe, що закристалізований у постійному магнітному полі / В. І. Дубодєлов, В. О. Середенко, С. С. Затуловський, А. В. Косинська // *Там же.* – 2010. – № 2. – с. 21-26.

65. Структурообразование до- и заэвтектических сплавов Al-Ni при их затвердевании в постоянном магнитном поле / В. І. Дубодєлов, В. О. Середенко, С. С. Затуловський, А. В. Косинська // *Процессы литья.* – 2010. – № 6. – с. 44-53.

66. Электропроводящие полимерные материалы / В.Е. Гуль, Л.Н. Царский, Н.С. Майзель и др. — М.: Химия, 1968. — 248 с.

67. Кирик Г.В., Радзиевский В.Н., Стадник А.Д. Новые композиционные материалы. — Сумы: Университетская книга, 2011. — 310 с.

68. ALUMINIUM METAL MATRIX COMPOSITES - A REVIEW - В. Vijaya Ramnath, С. Elanchezhian, R.M. Annamalai, S.Aravind, T. Sri Ananda Atreya, V. Vignesh and С.Subramanian-2013

69. Рамазанов М.А., Керимли С.Дж., Садыхов Р.З. Влияние постоянного магнитного поля на прочностные, диэлектрические и магнитные свойства композиций на основе полимеров и ферромагнетиков // *Пласт. массы.* — 2005. — № 10. — С. 5—7.

70. Kimura T., Kawai T., Sakamoto Y. Magnetic orientation of poly(ethylene terephthalate) // *Polym. Commun.* – 2000. – V. 41, № 2. – P. 809-812.

71. Kimura T. Phase transformation of polymeric materials in high magnetic field // Mater. Trans. – 2003. – V. 44, № 12. – P. 2520-2523.
72. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.
73. ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.
74. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч.2. / Под общ. ред. И. Г. Староверова. – М., 1969. – 536 с.
75. НАПБ Б.03.002 – 2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Наказ МНС від 03.12.2007 №883.
76. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
77. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
78. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
79. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
80. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
81. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
82. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування
83. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
84. Ткачук К. Н., Зацарний В. В., Каштанов С.Ф. та ін. Охорона праці та промислова безпека: навч. посіб. – К.: Лібра, 2010. – 559 с.
85. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок.

Електрообладнання спеціальних установок.

86. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони труда при експлуатації електронно-вычислительных машин

87. ГОСТ 12.1.005 – 88 Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования

88. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.

89. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок

90. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

91. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

92. ДБН В.1.1-7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва

93. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні

94. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06.1999 р.

# ДОДАТОК

