МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магістра

на тему:

Використання природніх композиційних матеріалів у нетрадиційній та атомній енергетиці (структурні дослідження)

Виконав: студент 6 курсу, групи НФ-61

Савельєв А.А.

Спеціальність

105 прикладна фізика та наноматеріали

Освітня програма:

прикладна фізика енергетичних систем

Керівник:

к. ф.-м. н., доцент Семененко В.Є.

Рецензент:

Харків – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр

Спеціальність 105 прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ _____

підпис ініціали,прізвище

"____"_____20___року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Савельєва Антона Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи «Використання природніх композиційних матеріалів у нетрадиційній та атомній енергетиці. (структурні дослідження)»

керівник роботи Семененко Володимир Єгорович, канд. фіз.-мат. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "___"_____20__року №___

2. Строк подання студентом роботи_____

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Ознайомлення з літературою
2	Класифікація природніх композитів
3	Структурування природніх композитів, які використовуються в атомній та альтернативній енергетиці.
5	Висновки

5. Дата видачі завдання _____

Студент _____ Савельєв А.А.

підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Семененко В.Є.

підпис ініціали, прізвище

Реферат

Савельєв Антон Андрійович

«Використання природніх композиційних матеріалів у нетрадиційній та атомній енергетиці» (випускна робота магістра).

Дипломна робота присвячена вивченню можливостей та перспективам використання природних композитних матеріалів у нетрадиційних та атомних енергетичних застосуваннях. Дослідження охоплює аналіз фізичних властивостей цих матеріалів, їх роль у стабільних структурах кристалізації та умови утворення кристала. Особливо увага приділяється використанню природних композитів у конструкційних матеріалах, системах радіаційного захисту та утилізації відходів у контексті атомної енергетики. Робота має на меті застосування практичну значимість та перспективи використання природних композитів у сучасних енергетичних технологіях.

Ключові слова: природні композити, атомна енергетика, структури кристалізації, конструкційні матеріали, радіаційний захист, утилізація відходів, фізичні властивості, енергетичні технології, нетрадиційні застосування, дослідження матеріалів.

– Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2023 – 49 с.

Abstract

Savelyev Anton Andreevich "The use of natural composite materials in non-traditional and nuclear energy" (master thesis).

The thesis is devoted to the study of the possibilities and prospects of using natural composite materials in non-traditional and nuclear energy applications. The study covers the analysis of the physical properties of these materials, their role in stable crystallization structures, and conditions of crystal formation. Particular attention is paid to the use of natural composites in construction materials, radiation protection systems and waste disposal in the context of nuclear energy. The work aims to apply the practical significance and prospects of using natural composites in modern energy technologies.

Keywords: natural composites, nuclear energy, crystallization structures, structural materials, radiation protection, waste disposal, physical properties, energy technologies, non-traditional applications, materials research.- Kharkiv: KhNU. VN Karazin, 2023 - 49 p.

ЗМІСТ

Розділ І. Введення ……7

1.1. Актуальність теми……...7

1.2 Мета та завдання дослідження……...8

1.3 Обґрунтування вибору теми ……..9

Розділ ІІ. Основні поняття фізичних властивостей композитних матеріалі...10

2.1. Визначення природних композитів……..11

2.2. Типи структур природних композитів……..…14

2.3. Кристалічна структура та її роль у властивостях матеріалів……..…17

2.4. Види кристалічних структур…….18

2.5. Вплив структури на фізичні властивості…….22

2.6. Процеси утворення стабільних структур кристалізації……..…24

2.7. Умови утворення стабільних кристалічних структур…… 30

2.8. Динаміка кристалізації та її етапи…….32

Розділ ІІІ. Використання природних композитних матеріалів у нетрадиційній та атомній енергетиці……..33

3.1. Природні композити в атомній енергетиці…….…….34

3.2. Використання композитів у конструкції реакторів……36

3.3. Ефективність використання композитних матеріалів у нетрадиційних джерелах енергії…….38

3.4. Сонячні батареї на основі природних композитів……...41

3.5. Композитні матеріали у вітровій енергетиці……...43

3.6 Евтектична кристалізація……..48

IV. Висновки……59

4.1. Підведення підсумків**……..…...**52

Список літератури……..….62

Розділ І. Вступ

1.1. Актуальність теми

Актуальність використання природних композитів у нетрадиційній та ядерній енергетиці обумовлена необхідністю розробки стійких та ефективних джерел у контексті сучасних викликів, пов'язаних із зміною клімату та виснаженням традиційних ресурсів. Має велике теоретичне та практичне значення.

Натуральні композити, такі як дерево, бамбук та конструкційні матеріали, мають особливу стабільність та легкість, що робить їх привабливими для використання у будові ядерних реакторів, а не в традиційних джерелах енергії. Розуміння процесу формування стабільних кристалічних структур є важливим для покращення властивостей.

У цьому контексті вивчення механізму зародження кристалів та умов формування стабільної кристалічної структури призвело до можливості використання природних композиційних матеріалів у сучасних технологіях виробництва енергії.

У сучасному світі, зі збільшенням попиту на енергію, доступ до традиційних ресурсів обмежень, що потребує розробки нових технологій.

Взаємодія природи та сучасних технологій відкриває нові перспективи для створення ефективних та екологічно чистих матеріалів для використання у виробництві енергії.

Це ще більш актуально з технічної та практичної точок зору, оскільки відкриває перспективи для створення стійких та високоефективних систем, які допомагають скоротити викиди та підвищити стійкість сучасного енергетичного сектору.

Сучасна енергетична галузь України звикла до постійного зростання та забезпечує надійне енергопостачання всього світового співтовариства.

Використання природних композитів у виробництві енергії має більше перспектив у галузі атомної енергетики та нетрадиційних джерел, таких як сонячна енергія та енергія вітру для енергетичної промисловості.

Вивчення кристалічних структур та процесів їх формування у природних композитах є важливим фактором для розуміння та оптимізації їх властивостей у контексті виробництва енергії. Підтримувати стале розвиток енергетики. У

цьому контексті вивчення властивостей природних композитів та їх використання в енергетичних системах стане необхідним кроком для досягнення енергоефективності та екологічної безпеки.

Природна позитивність розглядається не лише через їхню структурну складність, а й через унікальність їх механічних та теплових властивостей.

Крім того, натуральні композити можуть стати важливим елементом для розробки нових концепцій енергозбереження та освоєння альтернативних джерел енергії [3].

Ця тема, що вивчає природні композити та їх використання в енергетичних технологіях, також має наукове значення, але практичної точки зору, оскільки відкриває нові перспективи для створення сталої, ефективної та екологічно чистої енергетики майбутнього.

Висновок:

Підсумовуючи впровадження на батьківщині магістерського дослідження "Використання природних композитів у нетрадиційній та ядерній енергетиці", важливо визначити, що вивчення фізичних властивостей природних композитів та їх кристалічних структур є важливим фактором для розвитку стійких та ефективних енергетичних технологій [1]. Це відкриває шлях до нових можливостей у застосуванні цих матеріалів у сучасних енергетичних технологіях, які мають великий потенціал для вирішення актуальних проблем. сталого розвитку та забезпечення енергетичної безпеки.

1.2 Мета та завдання дослідження

Сфера охоплення та розробка теми "Використання природних композитів у нетрадиційній ядерній енергетиці" виділяє ряд основних цілей і завдань, спрямованих на вивчення фізичних властивостей цих матеріалів, зокрема їх кристалічної структури.

Метою цього дослідження є глибоке розуміння процесу утворення та стабілізації кристалічних структур природних композитів, а також визначення їх потенційного використання в нетрадиційних і ядерних енергетичних технологіях.

Вивчення різних типів кристалічних структур, характерних для природних композитів, зокрема їх утворення та взаємодії між компонентами.

Визначення впливу кристалічної структури на фізичні властивості природних композитів. Вивчення різних механізмів утворення кристалів у природних композитах та визначення умов, які полегшують або перешкоджають цьому процесу. Аналіз кінетики та стадій зародка утворення кристалів у природних композитах.

Розглянемо можливість використання природних композитів у конструкції реактора та їх роль у підвищенні безпеки та стійкості. Оцінка ефективності використання природних композитів у відновлюваних джерелах енергії, таких як сонячна та вітрова енергія.

Очікувані результати:

Очікується, що в результаті цієї роботи буде отримано глибоке розуміння механізму формування кристалічних структур природних композитів, що дозволить визначити їх можливості та обмеження в контексті їх застосування в нетрадиційних і ядерних енергетичних технологіях.

1.3. Обґрунтування вибору теми

Вибрані теми актуальні у контексті сучасних проблем енергетичної галузі та сталого розвитку. Забезпечення сталого і безперервного енергопостачання стало серйозною проблемою в умовах попиту, що зростає, і виснаження традиційних ресурсів.

Потреба нових матеріалів у галузі енергетики

Використання природних композитів виходить за рамки традиційних матеріалів та відкриває можливості для створення нових, ефективних та екологічно чистих технологій у галузі ядерної та альтернативної енергетики [2].

Можливість структурного покращення

Розуміння кристалічної структури природних композитів може покращити конструкцію енергетичних систем та забезпечити максимальну міцність та стабільність матеріалів з мінімальною масою.

Зв'язок із сучасними енергетичними тенденціями

Вивчення можливості використання композитних матеріалів нетрадиційних джерелах енергії (сонячні батареї, вітряні електростанції) відбиває сучасні тенденції у створенні альтернативних енергетичних рішень [4].

Практичне значення

Результати цього дослідження можуть мати велике практичне значення для розробки нових матеріалів і технологій у виробництві енергії, які призведуть до сталого та екологічно чистого розвитку сучасного енергетичного сектора.

Розділ II. Основні поняття фізичних властивостей композитних матеріалів

У сучасному технологічному світі композитні матеріали стають важливим чинником не лише в енергетиці, але й у забезпеченні високої ефективності та довговічності різних типів тканин. Щоб оптимізувати їх внесок у виробництво енергії, важливо розуміти основні фізичні властивості цих матеріалів [5].

Композитні матеріали складаються з більш ніж 2 компонентів, які поєднуються, щоб утворити матеріали з унікальною міцністю. До основних компонентів відносяться матриця і армуюча оболонка. Взаємодія між цими компонентами визначає кінцеві фізичні властивості матеріалу, і в результаті цієї взаємодії він може деконструювати кристалічну структуру, викликаючи її сили.

Механічні властивості композитних матеріалів, такі як гнучкість і міцність, визначають їхню довговічність і привабливість для різних розумів. Кристалічна структура відіграє важливу роль у формованих механічних властивостях і впливає на поведінку матеріалу під тиском.

Теплові властивості, такі як теплопровідність і теплоємність, дуже важливі в галузі енергетики. Кристалічна структура визначає розподіл теплообміну в матеріалі, що важливо для оптимізації теплового процесу в енергетичній системі.

Провідність та ізоляційна здатність композитних матеріалів залежать від їх кристалічної структури. Розуміння цих авторитетів є важливим для виробництва матеріалів у виробництві електричної енергії та магнітних пристроїв.

Кристалічна структура композитного матеріалу може мати значний вплив на його магнітні властивості. Вивчаючи взаємодію атомів і молекул у композитних матеріалах, ми можемо зрозуміти, як виникає магнітна поляризація та як вона впливає на електромагнітні властивості. Це важливо для

розробки магнітних матеріалів, які можна використовувати в сучасних енергетичних системах та електронних пристроях.

Кристалічна структура композиту також впливає на його оптичні властивості. Вивчення взаємодії світла з різними компонентами композитних матеріалів може призвести до створення нових оптичних матеріалів для використання в сонячних елементах та інших енергетичних пристроях.

Кристалічна структура визначає хімічну стійкість композиційного матеріалу в різних середовищах. Важливо розуміти хімічні властивості, щоб передбачити довговічність і надійність матеріалів у виробництві енергії.

Дослідження фізичних властивостей композитних матеріалів також може оцінити їхній вплив на екологію та екологічну стійкість. Можливість використання біорозкладаних композитів та їхні властивості можуть бути важливим фактором для сталого розвитку енергетичних технологій [6].

Ці аспекти вивчення фізичних властивостей композитних матеріалів сприяють їх використанню в енергетичних технологіях шляхом поєднання механічних, теплових, електричних, магнітних і оптичних аспектів.

2.1 Приклади природніх композитів.

Природний композитний матеріал — це матеріал, що складається з двох або більше різних компонентів, об’єднаних для утворення нового матеріалу з властивостями, відмінними від властивостей окремих компонентів, і вони представлені в природі в результаті взаємодії різних органічних і неорганічних елементів. він поєднується, щоб створити унікальні структури та особливості.

Основні властивості природних композитів:

Багатокомпонентний: природний композитний матеріал складається з двох або більше компонентів, які можуть мати різний структурний і хімічний склад.

Структурна організація: елементи композиції, розташовані відповідно до певної структури, які надають матеріалу унікальних властивостей.

Вони виникають у природі: їх часто можна знайти в біологічних системах і шарах, оскільки вони виникають у природних умовах без значного впливу людини.

Оптимізація властивостей: кожен компонент у природних композитах виконує певні функції, які дозволяють досягти оптимального поєднання механічних, термічних чи інших властивостей.

Приклади природних композитів:

Деревина: складається з целюлозного волокна (твердий компонент) і лігніну (матричний компонент) [7].

Кістка: містить гідроксиапатит (кристалічний компонент) і колаген (органічний компонент).

Оболонка: містить карбонат кальцію (кристалічний компонент) і органічний білок.

Бамбук: має міцні целюлозні волокна та гумоподібний матричний компонент.

Вивчення природних композитів є важливим для розуміння їх структури та властивостей і може вплинути на розробку нових матеріалів у різних галузях, у тому числі в енергетиці.

Екологічність: оскільки більшість природних композитів піддаються біологічному розкладанню та виробляються природним шляхом, вони можуть зменшити свій негативний вплив на навколишнє середовище порівняно з синтетичним матеріалами.

Легка вага та міцність: природні композити мають високу відносну об’ємну міцність, тобто вони можуть мати значну міцність та довговічність для даної маси.

Енергоефективність: виробництво природних композитних матеріалів, як правило, потребує менше енергії порівняно з виробництвом синтетичних матеріалів, зменшуючи викиди CO2 та інші негативні впливи на навколишнє середовище [8].

Гнучкість дизайну: природні композити можна формувати в різні форми та структури, що робить їх гнучкими для використання в різних галузях промисловості.

Труднощі та обмеження природних композитів:

Обмежена доступність: деякі природні композити можуть бути обмежені в доступності та обсязі, що може вплинути на великомасштабне виробництво.

Вплив на навколишнє середовище: використання деяких природних ресурсів для композиційних матеріалів може вплинути на екосистеми, якщо не брати до уваги збалансоване та відповідальне використання.

Розкладність: у деяких випадках природні композити вразливі до води, грибків та інших факторів, які можуть вплинути на термін їх служби.

Застосування природних композитів в енергетиці:

Використання сонячних елементів: природні композити можна використовувати для створення нових матеріалів для сонячних елементів завдяки їх теплопровідності та механічній міцності.

Вітроенергетичні композити: використання природних композитів у виробництві компонентів для вітрових турбін, де потрібна легкість і висока міцність, може бути перспективним.

Енергозберігаючі будівельні матеріали: природні композити можна використовувати для створення енергозберігаючих будівельних матеріалів, які забезпечують високу теплоізоляцію та довговічність.

Жорсткість і еластичність:

Жорсткість: це показник стійкості матеріалу до деформації під впливом зовнішніх навантажень. У природних композитах твердість зазвичай визначається твердими включеннями (наприклад, кристалічними структурами), що містяться в гнучкій матриці (органічний компонент).

Гнучкість: визначає здатність матеріалу повертатися до початкової форми після зняття навантаження. Поєднання жорстких і гнучких компонентів в природних композитах робить їх еластичними і міцними.

Масовий опір:

Інтегруючи легші компоненти в природні композити, можна створювати матеріали з високим відносним опором маси. Це важливо для застосувань, де маса матеріалу обмежена, наприклад, в аерокосмічній та автомобільній промисловості [9].

Термічна стабільність:

Специфічна структура природних композитів може забезпечити їм стійкість до високих температур. Наприклад, кристалічний компонент може витримувати термічні навантаження, а гнучка матриця може поглинати і розсіювати тепло.

Електро- і теплопровідність:

Розташування і тип компонентів у природних композитах впливають на їх електропровідність. Наприклад, частинки зерна можуть виконувати роль провідника, а органічна матриця може бути ізолятором. Також в залежності від структури вони можуть мати різні властивості теплопровідності.

Біологічна сумісність:

Їх біосумісність важлива в природних композитах, таких як тканина та кістка. Органічні компоненти можуть взаємодіяти з живими тканинами без шкідливого впливу.

Висновок

Базове розуміння фізичних властивостей композитних матеріалів є важливим елементом для розробки нових віртуальних енергетичних технологій. Розуміння потоку кристалічних структур на потужність дає можливість оптимізувати його вплив в існуючих енергетичних технологіях.

2.2 Типи структур природних композитів

Основні компоненти:

Гідроксиапатит (кристалічний компонент): це кристалічна форма фосфату кальцію, який забезпечує твердість і міцність.

Колаген (органічний компонент): Це білкова речовина, яка забезпечує гнучкість і еластичність.

Особливості: гідроксиапатит утворює кристалічну структуру, яка зміцнює кістки, а колаген забезпечує гнучкість для більш глибокого ефекту та російської еластичності[320].



Рис.1.1. Демонстрація будови кісткової тканини.

Застосування: Механічна підтримка і захист кісток тіла тварин і людини, забезпечення структурної комірчастості.

Дерев'яна конструкція:

Основні компоненти:

Целюлозне волокно (твердий компонент): Довге целюлозне волокно забезпечує жорсткість і еластичність.

Лігнін (органічний компонент): це складний полімер, який забезпечує гнучкість і стабільність.

Властивості: Взаємодія цих компонентів створює композицію з високою жорсткістю та еластичністю, придатну для витримування механічних навантажень.

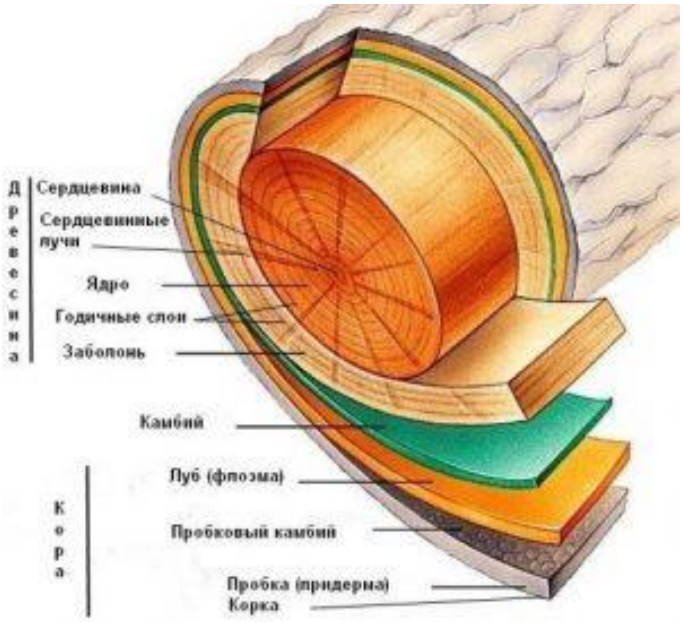


Рис 1.2. Будова деревини з точки зору композитного матеріалу.

Застосування: Механічна підтримка рослин, транспортування води та поживних речовин, будівництво.

Основні компоненти:

Арагоніт (кристалічний компонент): це кристалічна форма карбонату кальцію, яка надає твердість і твердість.

Органічний білок: взаємодія з арагонітом надає гнучкості та міцності [11].

Властивості: поєднання арагоніту та органічного білка створює структуру, яка забезпечує міцність і захист від хімічних впливів.

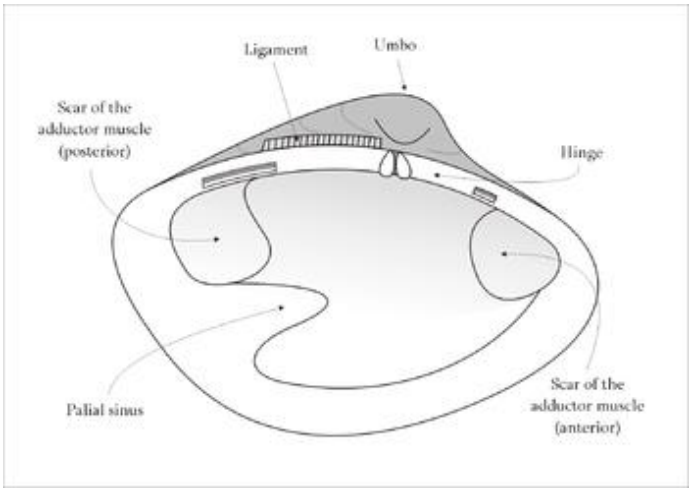


Рис. 1.3 Структура мушлі з точки зору композитного матеріалу.

Застосування: Створення міцних і легких раковин, які захищають молюсків від зовнішніх факторів.

2.3 Кристалічна структура та її роль у властивостях матеріалів

Кристалічна структура матеріалу визначається регулярним і тривалим розташуванням атомів або молекул у тривимірній решітці. Ця структура істотно впливає на властивості матеріалу і його поведінку в різних умовах.

Кристалічні матеріали відрізняються великим ступенем організованості та закономірністю їх структури, що зумовлює певні механічні, термічні, електричні та оптичні властивості. Атоми або молекули в кристалічному матеріалі розташовані відповідно до певної симетрії, яка визначається кристалографічною площиною та напрямком.

Однією з важливих ролей кристалічної структури є її вплив на міцність і твердість матеріалу. Впорядковане розташування атомів у кристалічній решітці дозволяє ефективно передавати механічні навантаження по всьому матеріалу. Крім того, кристалічна структура може визначати оптичні та електричні властивості, такі як прозорість, розсіювання світла або провідність [12].

Теплові властивості матеріалу також залежать від його кристалічної структури. Регулярна атомна організація може впливати на теплопровідність і розширення матеріалу при зміні температури.

Кристалічна структура є основою для розуміння механізму фазового переходу, при якому зміни в організації атомів впливають на фізичні та хімічні властивості. Такий підхід важливий для розробки нових матеріалів із покращеними властивостями для різних застосувань у техніці, електроніці, медицині та інших галузях.

Кристалічна структура матеріалу відіграє вирішальну роль у визначенні його властивостей і поведінки. Така організація атомів або молекул у тривимірній решітці має значний вплив на механічні, теплові, електричні та оптичні властивості матеріалу [13].

Кристалічні матеріали відрізняються високим ступенем текстури, що дозволяє їм проявляти певні властивості. Зокрема, це стосується міцності та жорсткості, оскільки регулярний порядок атомів у решітці дозволяє ефективно передавати механічні навантаження.

Орієнтація атомів у кристалічній структурі може визначати магнітні та електричні властивості матеріалу. Наприклад, магнітний момент атомів можна визначити за їх положенням у ґратці, що визначає магнітну поведінку.

Зміни в кристалічній структурі можуть викликати фазові переходи, такі як плавлення та кристалізація, і мати значний вплив на фізичні властивості матеріалу.

Структура також визначає оптичні властивості, такі як прозорість або поглинання світла, що робить кристалічні матеріали важливими в оптиці та електроніці.

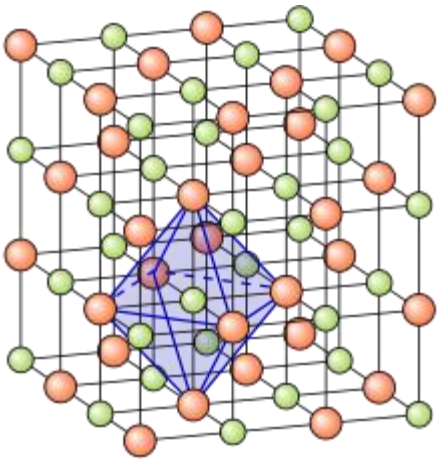


Рис. 1.4. Кристалічна структура хлориду натрію.

Вивчення кристалічних структур є важливою галуззю науки, у якій кристалографія використовується для визначення точного атомного або молекулярного розташування матеріалів[14]. Це є основою для розробки нових матеріалів із покращеними властивостями для широкого спектру застосувань у таких важливих галузях, як машинобудування, електроніка, медицина та інші .

2.4 Види кристалічних структур

Кристалічна структура, структура, конденсат тривимірного періодичного кристалічного ряду. Характеризується гратчастим повторенням структурних одиниць, базових комірок, а повна симетрія кристалічної структури визначається однією з 230 просторових груп. Симетрія, у поєднанні з деякими стандартизованими правилами метрики та постійної нульової точки, дозволяє вибирати базові клітини однозначно визначеної паралельної поверхні, довжина краю якої містить точно один із відповідних наборів атомів кожного зсуву, який відображається як параметр решітки (постійна гратки). Якщо вони не є симетрично еквівалентними (асиметричні одиниці), атомні позиції для атомів у

цій елементарній комірці повинні бути визначені та повідомлені. Оскільки типова міжатомна відстань становить приблизно 10-10 м, кристалічна структура визначається дифракційними експериментами з використанням низьких пучків, нейтронів і електронних пучків цієї довжини хвилі. Для точного опису кристалічної структури потрібна така інформація: а) загальна хімічна або структурна формула, б) символи просторової групи, в) параметри решітки та г) координати атомів в асиметричних одиницях на основі векторів ребер стандартних елементарних комірок. У цьому форматі інформацію про кристалічну структуру можна знайти в публікаціях, антологіях і базах даних. З цих даних можна розрахувати всі геометрично релевантні кристалічні величини, такі як відстань і кут, координаційний багатогранник і будь-яку структурну проекцію [15].

Навіть на початку кристалографії визначення структури було помічено, що хімічно подібні, але дуже різні сполуки також мали однакові або схожі кристалічні структури. Це спостереження запропонувало використовувати термін структурний тип разом із великою кількістю даних про понад 100 000 кристалічних структур, які зараз відомі та потребують каталогізації матеріалів даних.

Однак, якщо геометричний і хімічний підходи до кристала відрізняються, концепція типів структури також відрізняється в деталях. Перша концепція структурного типу була сформульована в структурному звіті, опублікованому з 1923 року, опублікованому на додаток до «Journal of Crystallography», в якому дві кристалічні структури належали до одного структурного типу, якщо просторові групи були еквівалентними, а положення точок заповнення перекриваються. Як наслідок, визначення структурних типів було введено в структурні звіти, що все ще є поширеним у літературі сьогодні. Воно базується на іменуванні складених класів і безперервній нумерації пов’язаних типів. тут a = основна структура, B = сполука ab, C = сполука AB2, D = сполука AnBm, E = сполука з двома або більше атомами без значного комплексоутворення, F = сполука з двома і трьома атомними радикалами, G = сполука з чотирма атомами радикали, H = п'яти- та багатоатомні композитні радикали, L = сплав, M = змішаний кристал[16].

Наприклад, A1 показує структуру міді (рис. 1). B1 — структура хлориду натрію, C1 — структура флюориту. З 1945 року структурні звіти називаються «структурними звітами», і понад 50 томів структурних звітів утворюють найповнішу колекцію структур у формі книги. Однак найменування описаних

вище типів будівель не було продовжено і тому обмежується основними спорудами, відомими здавна. Крім того, наведене вище визначення означає, що геометрично дуже різні структури піриту (гантелі S2) і CO2 (гантелі CO2) одного структурного типу повинні бути підраховані.

У сфері електронних носіїв кристалічні структури збираються в різних базах даних. Найважливішими з них є A) Кембриджський файл даних про органічні сполуки, b) База даних неорганічних кристалічних структур неорганічних сполук (ICSD) і C) Файл даних про метали Національної дослідницької ради Канади (METDF), який містить дані про метали та сплави. . Структура також зберігається в цих базах даних у наведеному вище форматі. Більш складний структурний опис намагається охарактеризувати ближній і дальній порядок кристалічної структури[17].

Локальний порядок визначається координаційним числом (кількістю найближчих сусідів атома) і координаційним багатогранником (найближчим сусіднім многогранником). Слід зазначити, що атоми, які трохи відхиляються від мінімальної відстані, повинні бути додані для координації. Тут розумне обмеження встановлюється розміром площі ефективної площі або принципом першого великого проміжку в списку відстаней (принцип максимального розриву). Зберігання дистанційних замовлень складніше.

Поки ми дотримуємося локального порядку, ми знаходимо конститутивний зв’язок, розглядаючи позицію атома як точку на діаграмі, задану найкоротшою сполучною лінією (у вищезгаданому значенні), і розглядаючи взаємопов’язані компоненти діаграми. Таким чином також можна розрізнити мережеві, шарові, ланцюгові та острівні структурні зв’язки та перенести ці визначення на структури (наприклад, шарові структури). Повний опис дистанційного порядку Е. Дано Хелнером. він ввів номенклатуру точкових шарів і ґратчастих комплексів. Він заснований на розширенні шляхом розміщення символів символів у незмінних точках, а потім розділення символів на параметричні точки [18].

Необхідність зрозуміти формування певних кристалічних структур на основі геометричних, фізичних і хімічних законів призводить до відкриття правил, заснованих на глобальній моделі упаковки (сферичної упаковки), особливо коли йдеться про іонні та металеві зв’язані атоми, починаючи зі сферичних атомів. . іони та їхні радіуси можна знайти тут: таблиця відповідності. Першим правилом цього типу є змішаний кристал, правило Розарію Юма. Закон Вегарда стверджує, що кристали, геометрично еквівалентні позиції яких зайняті сумішшю хімічно споріднених атомів,

утворюються, лише якщо їхні радіуси не відрізняються один від одного більш ніж на 15%, а параметри решітки змішаної кристалічної структури формуються лінійно від решітки. параметри. чиста структура. І, нарешті, правило поділу RADIUS стверджує, що певне співвідношення радіусів призводить до створення особливої структури, особливо для іонних структур. Отже, для простих сполук AB, радіус перерізу RA/RB від 0,225 до 0,414, структура кухонної солі від 0,414 до 0,732 і структура хлориду цезію від 0,732 до 1,0, відповідні правила застосовуються до інтерметалічної фази, яка утворюється, що призводить до ідентифікації Фаза Лабеса у співвідношенні радіусів 1-3/ 1- 2.

Квазікристали можна розуміти як поперечні перерізи та виступи кристалічних структур із високовимірного простору, тому дослідження чотиривимірних та високовимірних кристалічних структур викликають інтерес в останні роки. Напівкристалічна структура займає проміжне положення між кристалічною та аперіодичною структурою. Це просто n-вимірні структури з M(n)-кратною періодичністю. Найвідомішим прикладом тривимірної напівкристалічної структури є нерегулярний подвійний періодичний шар. Такі помилки укладання виникають, наприклад, у кобальту. Кобальт кристалізується в найщільнішій сферичній упаковці кубічних і гексагональних кристалів і в структурі, в якій послідовності шарів обох модифікацій змінюються нерегулярно. (Рис1.5). Опис кристалічної структури міді[18].

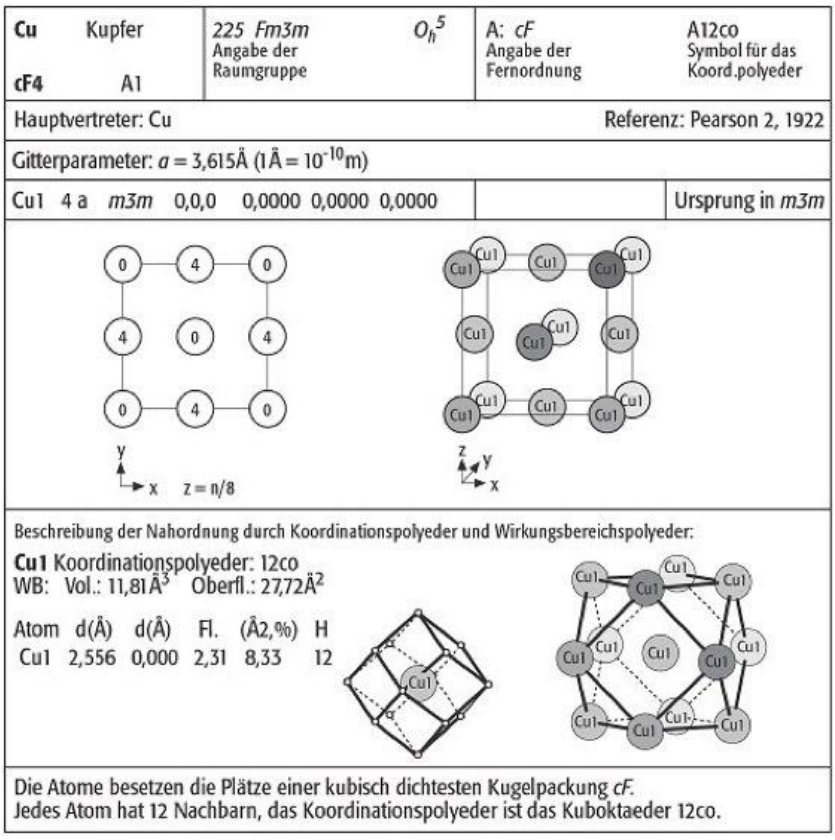


Рис. 1.5. Кристалічна структура міді.

Символи в нижньому рядку верхньої лівої панелі є символами Пірсона та структурними символами у звіті про структуру. Просторова група ідентифікується порядковим номером міжнародної таблиці, символом Германа Маугіана та символом Шейна Фрая.

Рядок містить перелік положень зайнятих точок і зображення виділення нульових точок. На малюнку ліворуч показано вказану проекцію, а дані висоти показують кратне відсоткове співвідношення вектора сітки в напрямку проекції. На зображенні нижче показано многогранник налаштування та ефективного діапазону (1=ефективний діапазон) [19].

2.5 Вплив структури на фізичні властивості

Структура матеріалу має істотний вплив на його фізичні властивості. Організація атомів або молекул у матеріалі визначає його механічні, теплові, електричні, оптичні та інші властивості. Важливо враховувати цей аспект для розуміння та вдосконалення властивостей матеріалів у різних галузях науки і техніки.

Механічні властивості:

Регулярна кристалічна структура матеріалу може призвести до високої міцності та твердості, оскільки атоми чи молекули сортуються, а механічні напруги ефективно передаються через матеріал. Наприклад, металевий кристал може мати високу міцність завдяки своїй кристалічній структурі.

Теплові властивості:

Розташування атомів у структурі впливає на теплопровідність і теплоємність матеріалу. Наприклад, кристалічна структура може мати кращі термічні властивості та ефективна в застосуванні теплопровідних матеріалів[20].

Електричні та магнітні властивості:

Розташування атомів у кристалічній решітці визначає електричні та магнітні властивості матеріалу. Провідність, ізоляція та феромагнетизм можуть залежати від структури матеріалу.

Оптичні властивості:

Кристалічна структура визначає оптичні властивості матеріалу, такі як прозорість, поглинання світла та розсіювання. Наприклад, полімер із

кристалічною структурою може мати інші оптичні властивості, ніж аморфний полімер.

Фазовий перехід:

Кристалічна структура може впливати на термодинамічні зміни, такі як фазові переходи, які відбуваються через зміни температури або тиску. Може описати такий стан речовини, як тверда речовина, рідина або газ[3].

Ці фізичні властивості, які залежать від структури матеріалу, важливі для розуміння та оптимізації застосувань у виробництві, технології та інших сферах.

Вплив структури на фізичні властивості матеріалу — це широка тема, яка охоплює різні аспекти властивостей матеріалу залежно від його внутрішньої організації. Давайте детальніше розглянемо деякі важливі аспекти:

Міцність і твердість:

Кристалічна структура може призвести до утворення кристалітів із великою міцністю та твердістю, оскільки атоми чи молекули в клітці відсортовані та можуть добре протистояти механічним навантаженням.

Пластичність і деформація:

Аморфні матеріали більш пластичні, тобто вони можуть деформуватися без втрати своєї структури. Кристалічні матеріали можуть мати обмежену здатність до пластичної деформації через обмежену кількість «дислокацій» — транспортабельних атомних дефектів[6].

Теплові властивості:

Теплопровідність і розширення матеріалу можна визначити за його структурою. Кристалічні матеріали можуть мати високу теплопровідність уздовж кристалічного напрямку та мати специфічні теплові властивості залежно від атомної структури.

Електричні та магнітні властивості:

Кристалічна структура може визначати електричні та магнітні властивості матеріалу. Наприклад, напівпровідники можуть мати кристалічні структури, які впливають на їх провідність та електронні властивості.

Оптичні властивості:

Крім того, властивості прозорості, світлопоглинання, розсіювання та інші оптичні властивості можуть залежати від структури матеріалу. Кристалічна структура може призвести до таких подій, як поляризація світла.

Фазовий перехід:

Розташування атомів у кристалічній решітці може визначати умови температури та тиску для фазових переходів, таких як плавлення, кристалізація або сублімація[9].

Кристалографічні дефекти:

Дислокації, точкові дефекти та ін. Дефекти кристалічної структури. це може вплинути на механічні властивості матеріалу. Наприклад, рух дислокацій може призвести до пластичної деформації.

Вплив колоїдної дисперсії:

Деякі матеріали можуть мати колоїдну систему, в якій дрібні частинки (колоїди) розсіяні по всій матриці. Це може призвести до погіршення механічних і оптичних властивостей.

Структура полімеру:

Для полімерів, таких як пластмаси, структура може бути аморфною або кристалічною. Кристалічна зона може визначати міцність і термічні властивості, а аморфна — пластичність і пружність[10].

Мезоструктури та наноматеріали:

Більші структури, такі як мезоструктури (протяжні структури з кристалів) і наноматеріали (матеріали з розміром частинок у нанометровому діапазоні), характеризуються своїми структурними властивостями.

Властивості квантових точок:

Квантова точка, яка є наноструктурою, може мати квантовий ефект, який визначає її оптичні та електронні властивості.

2.6. Процеси утворення стабільних структур кристалізації

Решітка Браве є основним блоком, у якому можна об’єднати всі кристали. Ця концепція виникла як топологічна проблема пошуку кількох різних способів розміщення точок у просторі, де кожна точка має однакову «атмосферу». Тобто

кожна точка оточена тим самим набором точок, що й інша, так що жодні високі точки не можуть відрізнятися одна від одної. Математик Огюст Браве виявив, що існує 14 різних наборів точкових груп, відомих як ґратки Браве. Ці решітки класифікуються на 7 різних «кристалічних систем», тому вони відрізняються співвідношенням між кутами між ребрами «елементарної комірки» і відстанню між точками в елементарній комірці[16].

"Параметр решітки" - це довжина, розділена між 2 точками у вершині елементарної комірки. Кожен із різних параметрів решітки позначається літерами a, смуга C. Якщо 2 сторони рівні, як у квадратній решітці, довжина 2 параметрів 2 ґратки вказується в одиницях і c, і не виділяється. Кут позначений грецькими літерами α, β та dy12{π} {}, а кут із даною грецькою літерою не вивчається римською еквівалентною віссю. Наприклад, α є кутом, розділеним між віссю b і віссю c.

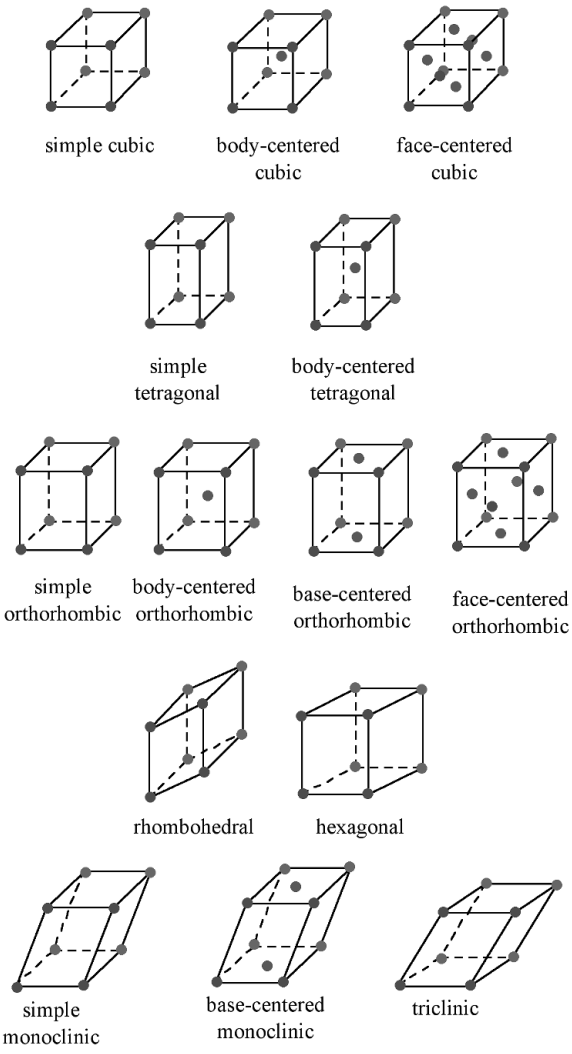
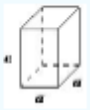
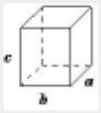
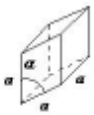
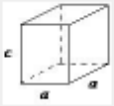
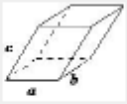


Рис. 1.6. Демонстрація кристалічних систем.

Рис. 1.6 показує клітку Bravaiscage. Важливо розрізняти характеристики кожної окремої системи. Приклади матеріалів, які використовуватимуться для кожної з сіток Браве, наведені в таблиці. 1

Таблиця 1.

cubic	a=b=c, α = β = γ = 90°	
tetragonal	a = b ≠ c, α = β = γ= 90°	
orthorhombic	a ≠ b ≠ c, α = β = γ= 90°	
rhombohedral	a = b = c, α = β = γ ≠ 90°	
hexagonal	a = b ≠ c, α = β = 90°, γ = 120°	
monoclinic	a ≠ b ≠ c, α = γ = 90°, β ≠ 90°	
triclinic	a ≠ b ≠ c, α ≠ β ≠ γ	

Найбільш симетричною в системі є кубічна решітка. Усі кути дорівнюють 90°, а всі грані мають однакову довжину (a = b = c). Вам потрібна лише довжина однієї сторони (a), щоб повністю описати цю систему. На додаток до простої кубічної, кубічна решітка також містить об'ємноцентровану кубіку та гранецентровану кубіку (рис. 1,6).

Об'ємноцентрований куб обумовлений наявністю атомів (або октонів) у центрі куба, крім атомів (іонів), розташованих у кутах куба. Подібним чином, гранецентрований куб вимагає, щоб крім атомів (іонів), розташованих у кутах куба, був атом (Oct), розташований у центр грані кожного куба[15].

Усі кути чотиристоронньої решітки дорівнюють 90°, а 3 сторони мають однакову довжину (a = b). Система також містить чотиригранні кристали в центрі тіла (рис.

У орторомбічній ґратці всі кути дорівнюють 90°, а довжина вигину нерівна. Система має визначатися лише трьома параметрами решітки. Система також включає орторомбічну в центрі тіла, орторомбічну в центрі основи та орторомбічну в центрі грані (рис. 1.6).

Решітка в центрі основи містить атоми (іони), розташовані на вершині орторомбічної решітки, а також атоми (іони), розташовані лише на 2 протилежних гранях.

Ромбічні сітки також відомі як стрикутні сітки та не мають кута, що дорівнює 90°, але оскільки всі сторони мають однакову довжину (a = b = c), можна використовувати лише 1 параметр решітки[10].

Кристалічна структура шестикутника має два кути, що дорівнюють 90°, інший кут (y2{π}{}) дорівнює 120°. Щоб це сталося, 120 ребер, що оточують кут 2° (a = b), мають бути рівними, а 3. сторона (c) має становити 90° відносно іншої сторони та мати будь-яку довжину.

Сторони моноклінної решітки не мають однакової довжини, але 2 кути дорівнюють 90°, а інші кути (зазвичай визначені як β) є дещо відмінними від 90°. Вона являє собою косопаралелограмну призму з прямокутною основою. Система також включає моноклінну систему з центром в основі (рис. 1,7).

У триклінній клітці жоден із країв елементарної комірки не дорівнює, а жоден із кутів у елементарній комірці не дорівнює 90°. Триклінну ферму вибрано так, щоб усі внутрішні кути були гострими. Ця кристалічна система має найнижчу симетрію і повинна визначатися 3 параметрами решітки (a, b, c) і 3 кутами (α, β, γ). Структура кристала визначається відповідно до елементарної комірки. Оскільки весь кристал складається з повторюваних елементарних комірок, цього визначення достатньо для представлення всього кристала. Розташування атомів всередині елементарної комірки представлено за допомогою координат[15].

Є 2 системи, які можуть спричинити плутанину в загальновживаних координатах. Обидва використовують кут елементарної комірки як джерело. Першою, менш поширеною системою є декартова або система декартових координат (X, Y, Z). Зазвичай вони мають ангстромуніти та пов’язані з

відстанню в кожному напрямку між початком комірки та атомом. Dec. Цими координатами можна маніпулювати так само, як і на дво- чи тривимірному графіку. Тому, враховуючи декартові координати атомів, дуже легко обчислити міжатомну відстань і розділений кут. На жаль, неперевершену природу кристала не можна легко виразити за допомогою цих других координат. Наприклад, розглянемо клітинку-куб із розміром 3,52Å.

Припустимо, що ця клітинка містить координовані атоми (1,5, 2,1, 2,4). Тобто атоми становлять 1,5 Å у напрямку x (відповідно до осі a-клітин), 2,1 Å у напрямку y (відповідно до осі b-клітин) і 2,4 Å у напрямку z (відповідно до осі c-комірок))від початку. Тоді наступна елементарна комірка вздовж напрямку X має еквівалентний атом із координатами (1,5 +3,52, 2,1, 2,4) або (5,02, 2,1, 2,4). Це був досить простий розрахунок, оскільки комірка мала дуже високу симетрію, а тому осі a, b і c збігалися з декартовими вісями X, Y і Z.

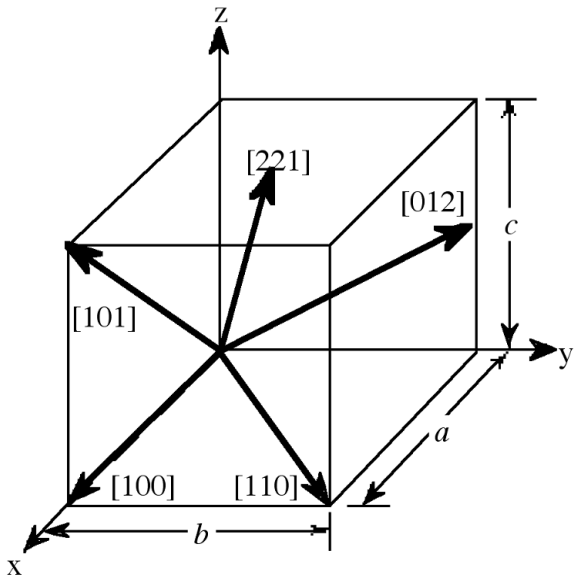


Рис. 1.7 Загальні напрямки в кубічній елементарній комірці.

Тому атомні координати зазвичай представляють дробовими координатами (x, y, z). Ця система координат збігається з октаксами (a, b, c) і пов’язана з положенням атома в точках дробу на кожній осі. Розглянемо атоми в обговоренні кубічної комірки вище. Атом був на відстані 1,5 Å у напрямку a від початку координат. Довжина осі A становить 3,52 Å, отже, атоми віддалені або (1,5/3,52), або 0,43 осі від початку координат. Аналогічно, це 0,60 або на осі b (2,1/3,52) і 0,68 на осі (2,4/3,5). Тобто дробові координати цього атома дорівнюють (0,43, 0,60, 0,68). Але координати еквівалентного атома в наступній клітинці напрямок a легко обчислити, оскільки цей атом знаходиться на відстані лише 1 елементарної комірки один від одного[2].

Шляхом простого додавання 1 до координати X таке перетворення можна виконати незалежно від форми елементарної комірки. Тому дробові координати використовуються для зберігання та обробки інформації про кристал. Визначення індивідуальних векторів у будь-якій кристалічній ґратці отримують за допомогою цілочисельного множника параметрів ґратки точки, у якій вектор залишає елементарну комірку. де h, k і l є зворотними значеннями точки, у якій вектор залишає елементарну комірку. Передбачається, що початок усіх векторів визначається як [000].

Наприклад, відповідно до цього методу, напрям уздовж осі a є компонентом лише в напрямку a і дорівнює, оскільки він не має компонента в напрямку осі b або в напрямку осі c. Буде вектор по діагоналі впоперек грані, визначеної A та осями, і рухатиметься з одного кута елементарної комірки до протилежного кута буде в напрямку Рис.1.8.

Наведено кілька прикладів різних аспектів елементарної комірки. Представлення напряму кристала складається з найменшої комбінації цілих чисел і представляє одиницю відстані, а не фактичну відстань. Напрямок такий самий, як, тому використовується . Дроби не використовуються. Наприклад, вектор, який перетинає центр верхньої поверхні елементарної комірки, має координати x = 1/2, y = 1/2 і z = 1. Щоб перетворити на найменшу комбінацію цілих чисел (цілих чисел), вам потрібно все обернути.

Нарешті, усі паралельні вектори мають однакову кристалічну орієнтацію, таку як на рис. 1.8 вертикальні краї комірок

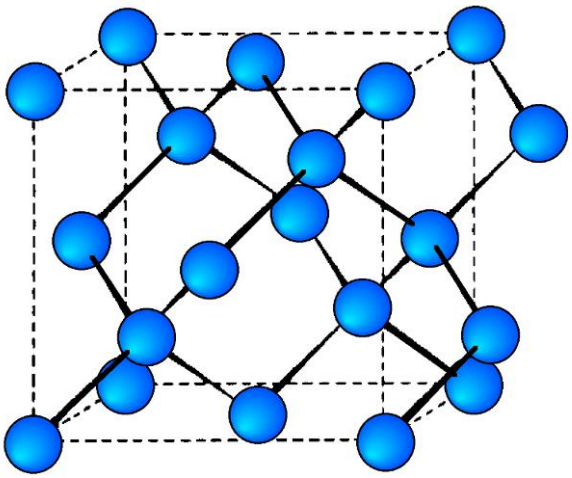


Рис. 1.8. Структура елементарної комірки алмазної кубічної решітки, яка демонструє дві взаємопроникаючі гранецентровані кубічні решітки[15].

Він має всі кристалічні аспекти [hkl] = [001].

2.7. Умови утворення стабільних кристалічних структур

Серед тисяч відомих мінералів відносні є дуже поширеними. Основна причина цього полягає в тому, що багато мінералів стабільні лише за певних умов. 1878. Уіллард Гіббс описав форму енергії, яка визначає стабільність сполуки. Концепції Гіббса, включаючи вільну енергію, складають основу галузі термодинаміки[4].

Як зазначає Гіббс, природні хімічні системи найбільш стабільні, коли енергія зведена до мінімуму. Таким чином, мінерали та мінеральні агрегати з низькою енергією Гіббса більш стабільні, ніж з високою енергією. У результаті нестабільні мінерали з часом руйнуються за меншої вільної енергії Гіббса, утворюючи різні мінерали. Тому мінерали з відносно низькою енергією Гіббса є більш поширеними, ніж інші мінерали.

Елементи можуть зв’язуватися багатьма способами, утворюючи кристали, але мінералоги ідентифікували понад півдюжини природних поліморфів кремнезему (Sio2) у спосіб, який природним чином мінімізує вільну енергію Гіббса під час зв’язування атомів.

Поліморфи — це мінерали з однаковим складом, але з різним розташуванням атомів і зв’язків. Поліморфи з найменшою хімічною енергією є стабільними формами Sio.2. Різні поліморфи мають найнижчу енергію за різних умов тиску та температури. При кімнатній температурі і тиску α-кварц має найменшу енергію і є стабільним, тоді як інші поліморфи термодинамічно нестійкі.

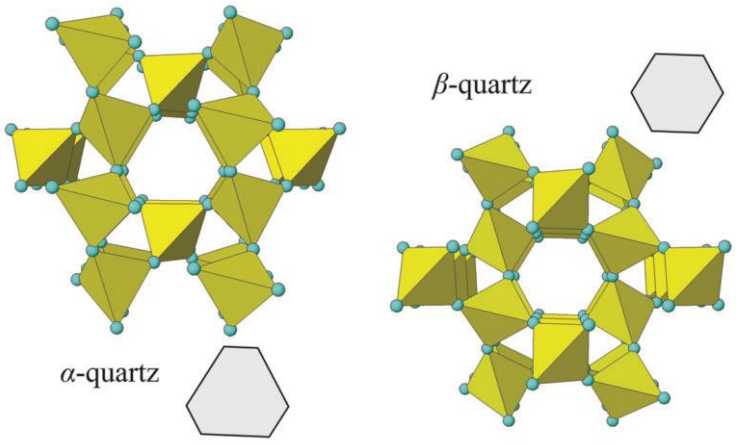


Рис.1.9. Різниця між α-кварцом і β-кварцом

За нормальних поверхневих умов α-кварц є стабільним, тому очікується, що він утворюватиметься за винятком інших. Зазвичай це правда, але бувають винятки[16].

Через кінетичні та інші фактори природна система не завжди може досягати найнижчих (стабільних) умов енергії. Тому, особливо при низьких температурах, можна знайти приклади напівстабільних поліморфізмів Sio2 - вони повинні чекати досить довго і реагувати, щоб стати а-кварцом. Як правило, високих температур і тисків напівстабільний а-кварц не витримує. Він перетворюється на інші мінерали Sio2 з меншою хімічною енергією (такі як кристобаліт, коезит, тридиміт або стішовіт) (рис. 1.9.). Перехід від однієї поліморфної форми до іншої може бути реконструктивною трансформацією, яка передбачає значну перебудову атомів і зв'язків.

Крім того, це може бути перетворення зміщення, при якому зв'язок розпадається або стискається (не розривається), коли один мінерал змінюється іншим, і кут між зв'язками змінюється. Прикладом перетворення заміщення є поліморфна зміна, коли високотемпературний Sio2 перетворюється з β-кварцу в α-кварц шляхом охолодження[11].

Вона дуже тонка, але, як ви бачите на малюнку 1.9, різниця між двома поліморфами полягає в тому, чи містить структура суто гексагональну симетрію та нахили. він не утворює β-кварц (тягне вправо) і не утворює α-кварц (тягне вліво). На відео нижче показана структура α-кварцу. Придивившись ближче, ви побачите, що воно починається з вигляду під каналом, подібного до фотографії зліва над Малюнком 1.9. Третій тип трансформації - трансформація безладу.

Це поступові зміни, які передбачають дещо інше впорядкування та розташування атомів і відбуваються під певним тиском або температурою.

Будь-яка трансформація може відбуватися швидко або дуже повільно. Реконструктивні перетворення зазвичай відбуваються повільно і можуть не відбутися навіть у разі необхідності. Наприклад, всі алмази повинні бути перетворені в графіт (конверсія реконструкції) на поверхні Землі, але це не так. Навпаки, перетворення зміщення є миттєвим і оборотним, так що α-кварц перетворюється на β-кварц.

Коли кристал нагрівається до 573 ° C, він перетворюється на β-кварц. Охолодіть той самий кристал, і він знову перетвориться на альфа-кристал. Порядок-нерегулярне перетворення, третій тип перетворення відбувається з

різною швидкістю залежно від того, наскільки швидко змінюється температура, іноді тиск.

Якщо темп змін швидкий, трансформація може не відбутися. Правило фаз, важливий наслідок законів термодинаміки, визначає, що кількість стабільних сполук, які можуть співіснувати в будь-якій хімічній системі, має бути невеликою. Тому стабільні мінерали не тільки передбачувані, але й обмежені невеликою кількістю[9].

Стійкі мінерали для деяких каменів можуть бути різними за будь-яких умов. Якщо порода піддається метаморфізму під впливом тиску або зміни температури, мінерал може реагувати, утворюючи нові мінерали з низькою вільною енергією Гіббса. Коли вони перестали реагувати, вони досягли рівноваги. Якщо вільна енергія Гіббса зведена до мінімуму, система перебуває в стабільному стані рівноваги.

2.8. Динаміка кристалізації та її етапи

Подібні заряди відштовхуються, а протилежні заряди притягуються, тому, коли атоми об’єднуються, утворюючи кристал, катіони роз’єднуються в аніони й оточуються аніонами. Аніони приєднані до катіонів і оточені катіонами. Це відбувається навіть тоді, коли зв’язок не є повністю іонним.

Тому кристалічна структура зазвичай складається з чергування катіонів та аніонів у трьох вимірах. Ці міркування балансу заряду є причиною того, чому ідеальний кристал має правильне розташування атомів. Розподіл іонів однаковий у всіх частинах кристала і не залежить від розміру кристала. Якщо можливе більше одного розташування, кристал природним чином буде рости таким чином, щоб мінімізувати енергію.

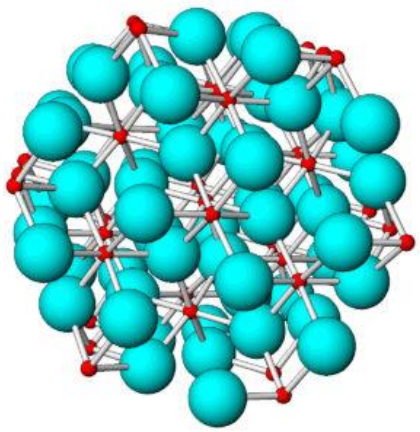


Рис. 1.10. Модель з корунду

Найпоширеніші аніони, такі як O2-, більші за звичайні катіони. З цієї причини можна вважати, що іонні мінеральні структури містять невеликі катіони (показані червоним кольором), оточені більшими аніонами (показані синім кольором). Кількість катіонів навколо кожного аніона значною мірою залежить від їх відносного розміру[8].

Таким чином до кожного катіону приєднується 6 аніонів, а до кожного аніону – 4 катіони відповідно до атомної конфігурації корунду. В інших мінералах катіони та аніони можуть мати менше або більше зв’язків.

Розділ ІІІ. Використання природних композитних матеріалів у нетрадиційній та атомній енергетиці

Композитні матеріали можуть бути використані в атомних електростанціях в різних аспектах для поліпшення ефективності, міцності та безпеки. Ось кілька прикладів використання композитних матеріалів в атомних електростанціях:

Структурні елементи:

Арматура: Композитні матеріали можуть використовуватися для виготовлення арматури та структурних елементів, що забезпечують міцність та стійкість конструкцій.

Обшивка: Композитні матеріали можуть слугувати обшивкою реакторів або інших компонентів, забезпечуючи легкість та високу міцність.

Захисні елементи:

Термозахист: Композити з високотемпературними полімерами або карбоновими волокнами можуть використовуватися для створення термозахисних бар'єрів, що захищають від термічних стресів.

Реакторні елементи:

Модератори: Деякі композити можуть бути використані для створення модераторів, які використовуються для зменшення швидкості нейтронів та управління реакцією у реакторі.

Трубопроводи та арматура:

Композитні матеріали для трубопроводів: Вони можуть бути використані для створення легких та корозійностійких трубопроводів для транспорту радіоактивних рідин.

Композитні підкладки та ущільнення:

Антикорозійні матеріали: Композити можуть бути використані для виготовлення антикорозійних покриттів або підкладок для захисту структур від корозії.

Робочі інструменти та обладнання:

Легкі інструменти: Використання композитів для виготовлення легких інструментів та обладнання може поліпшити зручність та безпеку обслуговування.

3.1. Природні композити в атомній енергетиці

Біологічний щит – це абсорбуючий матеріал, розміщений навколо реактора або радіоактивного джерела. Зниження радіації на АЕС до безпечного для людини рівня. Ефективність А .Як біологічний щит, матеріал пропорційний площі поперечного перерізу розсіювання та поглинання

Стіни біологічного захисту також використовувалися для підтримки корпусів реакторів. в радіаційному закладі. Цей додатковий щит зменшує безпеку робочого простору. Сьогодні це низька вартість і більше. Вивчалися легкі альтернативні матеріали для захисту реактора. Основні переваги захисту матеріалів - економічність і дуже великі. Кількість бетону. Однак бетонні матеріали мають деякі недоліки, наприклад, можливість розтріскування. Важко транспортувати після тривалого впливу радіації.

Також бетон Структура біологічного щита послаблюється під впливом підвищення температури. Підвищення температури та вплив радіації, які також впливають на машину, фізичні та радіаційні властивості. Для ремонту бетону необхідно правильно вибрати засіб для ремонту, оскільки не всі продукти підходять для будь-яких цілей. Підходить для ідеальних продуктів це може не працювати добре на невеликих тріщинах для загального латання.

Як відремонтувати бетонну конструкцію оригінальна міцність, формула рекомендується як ремонтний розчин для утворення тріщин. біологічний щит. Цей розчин задовольняє вимоги до покращеної пластмаси. на довершення[2].

Він має ефективність радіаційного захисту, високу механічну міцність для цього застосування, Адгезія та фізичні властивості. Термопластичні матеріали можуть бути використані для виробництва нових матеріалів, які можуть бути забезпечені наступним чином щит. Крім того, інші переваги

включають довговічність, низьку вартість жовтневого гальмування та хорошу Термічна та хімічна стабільність. Полімерний матеріал забезпечує хороше відновлення нейтронів.

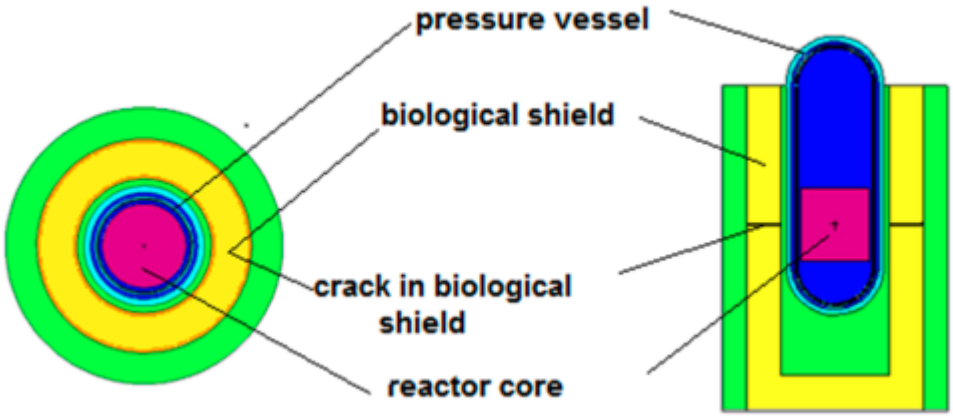


Рис. 3.1 Осьовий і радіальний перерізи моделі реактора МЦНП-5.

Було припущено, що ці матеріали можуть бути придатними для захисту від гамма- та рентгенівського випромінювання Додався важкий метал. Останнім часом багато дослідників вивчають ефект розсіювання Наповнювачі в різних полімерах, що відповідають вимогам радіаційного захисту [8].Волокнистий композит – екологічний, легкий, міцний і недорогий матеріал, Recyclable, sustainable, recyclable. Ремонт тріщин у бетоні – нереалістичне завдання. Так як тріщини з'являються не завжди. Загалом волокна, які використовуються в бетонних матеріалах, є скло, сталь, синтетичні та натуральні волокна. Відповідає за композити з натуральних волокон Підвищити механічні властивості пластмаси і одночасно зменшити її вартість і вагу[4].

Продукти основне призначення волокон – це перетворення в цемент і бетон Поліпшення деяких властивостей цих матеріалів, таких як міцність на розтяг і вигин. Цемент страхування – натуральний Волокнисті композитні матеріали поділяються на вироби низької щільності та вироби високої щільності. Різні дзвінки Для дослідження використовували цемент з модифікованою масою для приготування бетону різної щільності Потім він буде працювати від ядерного реактора для зменшення нейтронів і гамма-випромінювання.

Широко використовується карбід бору (B4C).Захисний матеріал може бути окремо або в комбінації з іншими матеріалами для радіаційного захисту. Цементні волокна (CF) і цементно-волокнисті магнетитові композити (CFM) були придатними екранами для обох Нейтрони і гамма-промені відповідної інтенсивності[7].

Ця робота в основному спрямована на розробку математичної моделі корейського APR1400 Ядерний енергетичний реактор MWe як MCNP-5 з кодованою водою під тиском (PWR)Сільськогосподарське волокно та промислові пластикові відходи для приготування натурального волокна (FP) (γ = (1,373 г/м3)),Свинцеве волокно (FPPb) (λ=2,756 г/см3), цементне волокно (ЦВ) (λ = 2,095 г/м3) і магнетиту цементного волокна (CFM) (λ=2,858 г/см3Суміш, з якої можна формувати різні форми як наповнювач матеріал для руйнування біологічних екранів на АЕС.У цьому дослідженні корейський реактор потужністю 1400 МВт було обрано як еталонний реактор. Цей еволюційний PWR потужністю 4060 МВт поєднує низку конструктивних покращень із наступним: Проектування та розробка корейської стандартної атомної електростанції (KSNP) для досягнення корисності[11].

Це дослідження базується на моделюванні ядерного енергетичного реактора потужністю 1400 МВт у Південній Коре. Використання коду MCNP-5 для моделювання тріщин, що виникають у біологічних щитах. Підвищення температури і радіаційне опромінення. Ця модель аналізує нейтрони та гамма-випромінювання розподіл потоку та потужності дози до центру через резервуар високого тиску та біологічний щит. Цей розрахунок важливий для дослідження матеріалів, що екранують радіацію、Дизайн щита. Осьовий і радіальний розріз моделі 1400MWe MCNP-5 у Кореї.

3.2. Використання композитів у конструкції реакторів

Застосування керамічних композитів у високотемпературних реакторах (HTRS) є привабливим завдяки їх низькому тепловому розширенню, відмінним високотемпературним характеристикам, невеликій вазі та помірно видатній радіаційній стійкості.

Ці керамічні композити ідеально підходять для недорогих компонентів, оскільки витрати на виробництво зазвичай вищі порівняно з металевими сплавами.

Концепція застосування композитних матеріалів для конструкцій не є новою для комерційних чи неатомних галузей. Авіаційна промисловість, зокрема, десятиліттями використовує методологію проектування композитних конструкцій, орієнтовану на конкретні матеріали. Вони вперше представили підхід стохастичного проектування в 1980-х роках і запропонували спосіб вимірювання властивих дизайну ризиків і чутливості проектних змінних за

допомогою підходу статистичної ймовірності відмови замість застосування детермінованих факторів безпеки (США).S.DOT, 1999) [19].

Керамічні композити широко використовуються в комерційній промисловості, і розроблено унікальні методи проектування, але код сертифікації ядерних конструкційних композитів і відповідні правила проектування для ядерних застосувань є неповними. Історичні методи проектування з використанням більш традиційних детермінованих інструментів (для металевих частин) є непрактичними для композитних матеріалів, оскільки вони передбачають широке створення прототипів і тестування, а також обмежене моделювання.

Наближення ймовірної відмови дає розробнику міру для моделювання та оцінки прийнятних умов відмови. Обмежена доступність відповідних високотемпературних конструкційних матеріалів підтримує методології проектування та виклики в проектуванні компонентів HTR, таких як посудини під тиском, теплообмінники Decanter та внутрішні елементи сердечника. Основна структурна кераміка та композитні матеріали були визначені як потенційні сучасні матеріали для деяких основних внутрішніх приміщень, головним чином через їх покращені температурні характеристики. Деякі компоненти мають лише температурні обмеження[6].

Як визначено в ASME BPVC Sec III Div5, Правила будівництва компонентів ядерних установок у високотемпературних реакторах визначають обмеження неметалевих компонентів внутрішньої активної зони як компонентів, що містяться в корпусах високотемпературного реактора поділу та виготовлені з графіту. матеріалів або керамічних композитів. Принцип кодексу — мінімізація ризику. ASME неметалевий керамічний композитний матеріал

Керамічні композитні матеріали (також відомі як композити з керамічною матрицею, CMC) складаються з більш ніж 2 матеріалів із матричним компонентом (наприклад, керамікою C або SiC) і армуючим компонентом (такими як волокна C або SiC). Інтерфейс або покриття на межі (зазвичай декарбонізоване) між волокном і матрицею визначає поведінку руйнування (Sauder et al. Це можливо зробити.

Враховуючи властивості компонентів, властивості композиційного матеріалу визначаються насамперед конструкцією волокон.

Стохастичний метод проектування Htrs. Завдання для основних розробників полягає в тому, щоб точно описати дані, які можна отримати,

оцінити надійність застосованих даних і статистично застосувати дані для прогнозування продуктивності. Рання розробка почалася в 1950-х роках (США). S.DOT, 1999), тому ідея імовірнісного дизайну існує вже досить давно[19].

Стохастичний підхід для реалізації Htrs був прийнятий на початку німецького коду розробки KTA3232 (KTA, 1992), і ідея була:

Проектування неметалевих керамічних композитних деталей ASME:

Підхід до проектування, описаний ASME BPVC Sec III Div5 підрозділ HH підрозділ B для неметалевих матеріалів передбачає два методи: Проектування Перший підхід полягає у проектуванні деталей для досягнення цілей надійності на основі межі напруги, отриманої з кривої надійності матеріалу. Другий підхід полягає в проектуванні компонентів для досягнення цілей надійності на основі експериментального тестування доказів компонентів[3].

Розробка методичних рекомендацій і стандартів тестування

Завдяки значній гнучкості дизайну архітектури, структури та властивостей матеріалу CMC, цей код вимагає від проектувальників отримання виміряних даних випробувань для оцінки механічної, фізичної та термічної поведінки. Він передбачає використання вказівок ASTM і стандартів тестування для створення тестових даних.

За останні роки було досягнуто значного прогресу у встановленні передових керівних принципів і стандартів з кераміки з метою зосередження Міжнародного підкомітету ASTM C28.07 на кераміці.

Ліцензування: ліквідація розриву

Місія Комісії з ядерного регулювання США (NRC) полягає в забезпеченні охорони здоров'я та безпеки під час експлуатації комерційних атомних електростанцій. Частиною його повноважень є створення правил, вимог, специфікацій і стандартів, а також ліцензування ядерних установок.

3.3. Ефективність використання композитних матеріалів у нетрадиційних джерелах енергії

Сьогодні, в умовах дедалі більшого виснаження викопного палива та бажання захистити природне середовище, відновлювана енергетика все більше займає лідируючі позиції (рис.3.2).

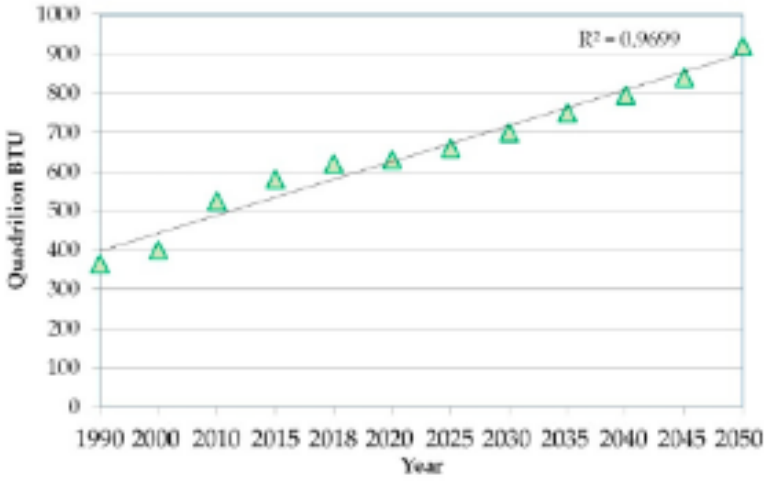


Рис.3.2. Споживання енергії в усьому світі, підготовлений на основі

Для розробки енергогенеруючих пристроїв потрібен міцний матеріал, з одного боку, і екологічно чистий, з іншого. Використання металів, виготовлених металургійними методами, обмежене через їх високу вагу та відносно низьку втомну міцність. Інтерес до композиційних матеріалів пов'язаний з тим, що вони мають механічні та міцнісні параметри, аналогічні металевим матеріалам, а також мають малу вагу, що розширює їх використання в конструкціях, де вага конструкції має велике значення. Композиційні матеріали, що містять волокнисті наповнювачі, що запобігають поширенню тріщин, є більш стійкими до розтріскування та втомних навантажень порівняно з металевими матеріалами[11].

Основним показником волокон, які використовуються у виробництві композиційних матеріалів, є питома міцність як відношення міцності на розрив до питомої ваги волокнистого матеріалу. Питома міцність арамідного волокна і вуглецевого волокна в 6 разів перевищує міцність титану і в 10 разів більше, ніж сталі. Найбільше обладнання для виробництва електроенергії (тобто вітрові турбіни) піддається корозії, особливо в солоному морському середовищі. За цих умов для створення лопатей ротора можна використовувати лише композитні матеріали, щоб забезпечити належну довговічність конструкції. Композиційні матеріали також дозволяють отримувати матеріали з властивостями, яких металургійні методи не дають металевим матеріалам[2].

Однак у зв’язку з підвищенням вимог щодо охорони навколишнього середовища та подальшим обов’язком утилізації продукту необхідно підбирати склад з урахуванням переробки. В даний час елементи вітрових турбін зазвичай виготовляються з армованого вуглецевим волокном пластику, який важко переробити. Багато турбін, вироблених у столітті, потребують ремонту та

оновлення. Таким чином, це можливість використовувати більш стійкі матеріали, дизайн і методи обробки яких були значно вдосконалені за останні роки. Згідно з даними Європейської асоціації промисловості композитів (ECIA), світ вступає в нову еру вітроенергетики, вага використовуваних вітряних турбін становитиме 2,5 мільйона тонн, а 12 000 турбін буде замінено або модернізовано протягом наступних кількох років[12].

В даний час природно отримані відновлювані джерела, які повністю піддаються біологічному розкладанню, важко розкладаються, або ті, які повністю не піддаються біологічному розкладанню, потребують заміни полімерами. Композитні матеріали, які зазвичай використовуються в пристроях для виробництва електроенергії, виконують 2 функції .Перша група композитних матеріалів використовується для забезпечення достатньої міцності конструкції (тобто лопаті ротора вітрових турбін). Друга група, завдяки своїй гнучкості, легкій вазі, контрольованому опору в широкому діапазоні, економічній ефективності та високій провідності (> 103S · см-1) майбутні високоефективні провідні полімери для зберігання енергії можуть бути покриті різними матеріалів і включені в композити завдяки хорошій спорідненості матеріалів. 1 грудня 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016, 2016. Крім того, фізико-хімічні властивості полімерів Oct (тобто змішуваність, зшивання, афінність і хімічні стабільність) можна контролювати, змінюючи їх хімічну структуру.

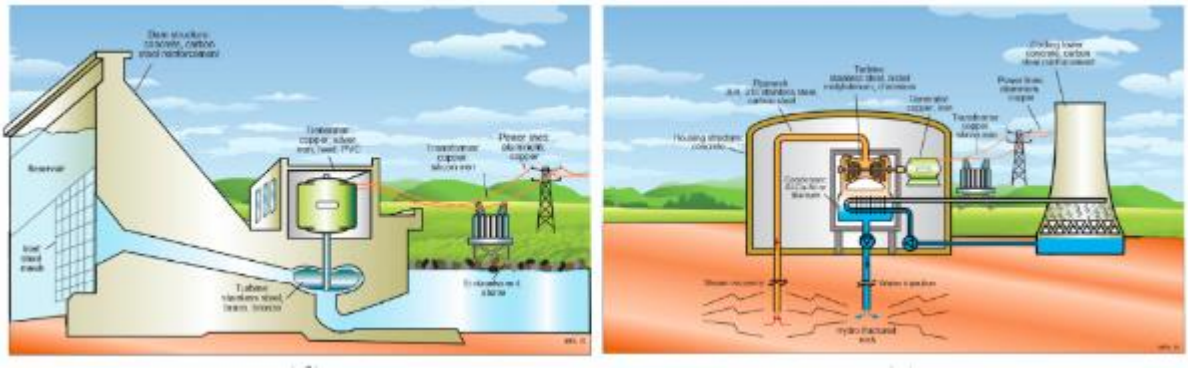


Рис.3.3 Джерела електроенергії

Сучасні будівельні матеріали у вигляді композиційних матеріалів схематично представлені на малюнку 3.3 як типове джерело електропровідності для багатьох виробників енергії, сонячних елементів, суперконденсаторів, автомобілів, паливних елементів, вітрових турбін, гідроенергетики та біогазових генераторів. На додаток до провідних властивостей, композитні матеріали, що містять органічні полімери, також виявляють бажані властивості, такі як електронні, магнітні, вологі, оптичні, механічні властивості та властивості поглинання мікрохвиль. За словами Аль-Гула та його друзів,

провідні полімери (CP) загалом поділяються на такі 3 основні групи: провідні полімерні композити, по суті провідні полімери (ICPS) та іонні провідні полімери[18].

На рисунку 3.3 показано загальне застосування полімерів на основі наноматеріалів та їх композитів у багатьох різних сферах застосування, пов'язаних із виробництвом і зберіганням енергії. Композитний матеріал – це штучний матеріал, виготовлений із 2 або більше компонентів (фаз) з різними властивостями. Властивості багатофазних матеріалів, отриманих таким чином, є результатом властивостей компонентів з різними фізико-механічними властивостями. Один із компонентів є матрицею, яка зв'язує композит, а інший 1 є будівельним матеріалом, який надасть композиту відповідну міцність, яка є результатом властивостей фази компонента[14].

3.4. Сонячні батареї на основі природних композитів

Вибухове зростання відновлюваних джерел енергії та глобальне прагнення до досягнення нульової чистої цілі вимагають нових та інноваційних способів розробки екологічно чистих накопичувачів енергії, щоб подолати складність, вартість і токсичність виробництва електродів для пристроїв EES, включаючи тривалу стійку електрохімічну енергію. зберігання (EEC). батареї та суперконденсатори (СК).

З цієї точки зору, матеріали для накопичення енергії, яких у природі достатньо для виробництва гнучких і негнучких батарей і СК, забезпечують багато переваг для задоволення вимог зростаючого попиту на пристрої EES. У розробці різних електронних компонентів виробництво пристроїв EES, таких як батареї та живильні електроди, з використанням натуральних волокон є дуже важливим для стійких електронних пристроїв, оскільки це може подолати проблему використання токсичних речовин у існуючих батареях[3].

Виробництво пристроїв EES на основі біосумісних матеріалів, зосереджених на переході до зеленої енергії, може досягти найменшого можливого екологічного сліду пристроїв зберігання енергії, як показано на малюнку 3.4. Крім того, перетворення біомаси в активоване вугілля Octodes для стійких електронних продуктів підтримує дослідження економіки замкнутого циклу передових електронних технологій. Подібні пристрої EEC можна надалі застосовувати для сталого розвитку міст[3].

Згідно з Цілями сталого розвитку Організації Об’єднаних Націй (ЦСР), екологічно чисті дослідження ЕЕС енергетичних матеріалів мають значний вплив на багато ЦСР, як показано на малюнку 3.4

Максимальне використання природних ресурсів для розробки електронних пристроїв може зменшити шкідливі та токсичні електронні відходи, які становлять загрозу для навколишнього середовища. Останні інновації в екологічній електроніці призвели до екологічно стійких досягнень нових електронних технологій.

Розробка компонентів на основі натуральних волокон дуже важлива для проектування зеленої електроніки. Це пов’язано з такими властивими перевагами, як низька вартість, чудові специфічні механічні властивості, природне багатство та здатність до біологічного розкладання. З використанням натуральних волокон розробляються різні типи електронних пристроїв, у тому числі датчики, транзистори, генератори енергії та ЕЕ.

Для цього натуральні волокна розроблені у вигляді діелектричних, провідних, чутливих і активних електродів. У виробництві електронних пристроїв на основі тканини тканини на основі натуральних волокон використовувалися безпосередньо як підкладка. У жовтні ще одним основним упорядкуванням натуральних волокон є приготування активованого вугілля з відходів біомаси[11].

Порівняно з хімічним осадженням з парової фази та методами Хаммера, вуглецеві методи, отримані з біомаси, є найпростішими та найбільш економічно вигідними. Шляхом карбонізації та активації за допомогою фізичних і хімічних процесів біомаса стає чудовим матеріалом з активованого вугілля з різними можливостями хімічної структури, включаючи вуглецеві нанолисти (CNS) або тривимірний вуглець, схожий на стільники.

Ці електроди з активованого вугілля діють як самопідтримувана провідна мережа для культивування оксидів металів за допомогою різних синтетичних методів, включаючи гідротермальне приготування та електроосадження. Основною перевагою провідних вуглецевих мереж з оксидами металів є їх внесок як високоенергетичного накопичувального матеріалу для виробництва ees завдяки ефектам як утворення електрохімічного подвійного шару (EDL), так і передбачуваної ємності матеріалу[3].

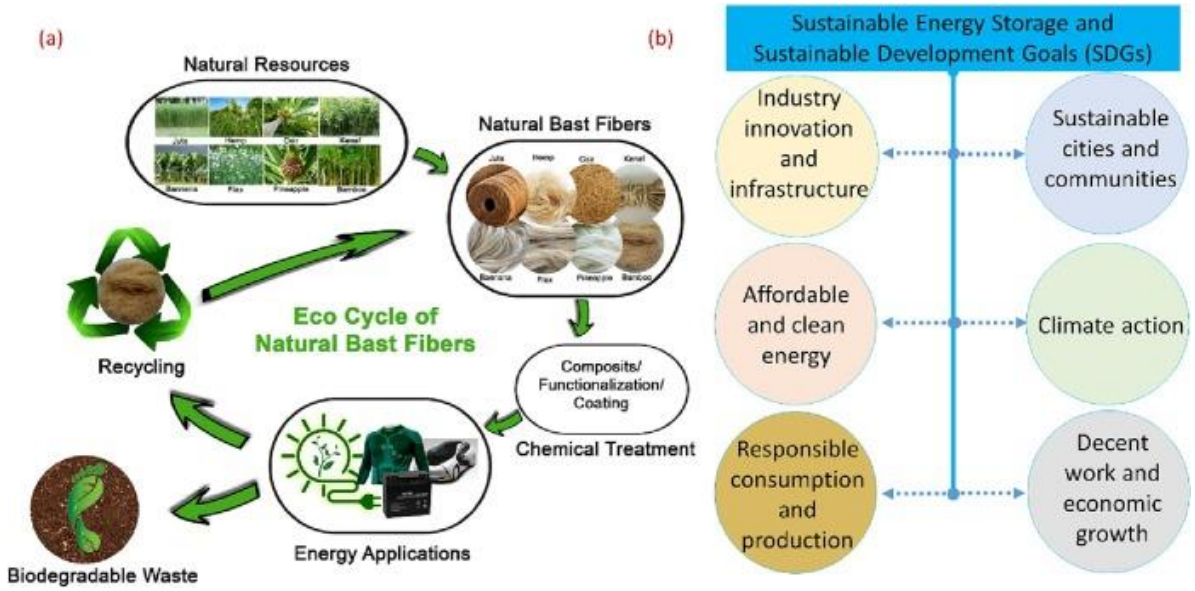


Рис.3.4. (a) Стала система накопичення енергії для розумного суспільства (b) екологічно безпечне зберігання енергії та його сфера застосування в цілях сталого розвитку (ЦСР).

Луб'яне волокно для формування вуглецевого волокна є широкодоступним матеріалом серед природних волокон (основна область виробництва наведена на малюнку 3.4), і його багаті властивості волокна мають переваги для розробки електродів і декарбонізації. Висока питома поверхня (SSA) і пористість дуже важливі для виробництва EES і забезпечують велику площу для формування EDL. Крім того, провідність електрода, висока міцність на розрив і незалежна вуглецева структура без сполучних речовин забезпечують кращу продуктивність. 19 жовтня 2018 було виявлено, що вуглець на основі лубу демонструє всі ці властивості і тому є вигідним для розробки EES[5].

Наприклад, активоване вугілля на основі волокна льону показує ssa 1649 $м^2$. Розмір пор г-1 і 2 нм. Завдяки цим властивостям як карбонізовані електроди з біомаси, так і покриті (сконструйовані) електроди з луб'яних волокон були застосовані та широко відомі для виробництва EEC. Виробництво батарей і електродів SCS як батарей і детальна оцінка їх продуктивності прокладуть шлях до розробки нових біосумісних пристроїв[7].

3.5. Композитні матеріали у вітровій енергетиці

Нижче наведено короткий огляд матеріалів, які використовуються для лопатей вітрових турбін. Вітроенергетика є одним з найбільших відновлюваних джерел енергії, який зазвичай використовують, встановлюючи вітряки на пустирях, далеко від мегаполісів. Найбільшою проблемою є досягнення максимальної ефективності та мінімальних витрат. Цього можна досягти

шляхом заміни середньовічних лопатей вітрових турбін на лопаті з гібридного композитного матеріалу. Основними перевагами цього є збалансована міцність і жорсткість. Лопаті вітрових турбін виготовляються відповідно до певних математичних розрахунків, які вже були зроблені та налаштовані відповідним чином, щоб лопаті оберталися в певному напрямку.

Використання нових матеріалів, таких як нанопорошки та гібридні волокна, революціонізує поточний виробничий процес і відкриє двері для нових можливостей, таких як висока ефективність, менший вплив на навколишнє середовище та менший знос. Обговорюються деталі та властивості таких матеріалів. Прогрес у сфері науки і техніки відбувається семимильними кроками щодня. Тренд вдосконалення спрямований на відновлювані джерела енергії, одними з яких є композитні матеріали та арматура[14].

Композитні матеріали складаються з більш ніж 2 різних матеріалів, стиснутих разом. Композитний матеріал в основному складається з 2 частин: матриці та армування. Кінцевою метою цього процесу є отримання матеріалу з вищою бажаною якістю або гібридними властивостями порівняно з підкладкою. Композит, скловолокно в чашках, бетон, саман і т. д. Це як повсякденне життя. Матриця зазвичай являє собою однорідний полімерний матеріал. Роль матриці полягає в тому, щоб забезпечити структурний тиск, форму, міцність і тип, щоб захистити волокна від пошкоджень, спричинених несприятливими хімічними реакціями, і розподілити тиск. Матриця забезпечує стабілізацію з’єднання композитного матеріалу проти вигину в сценарії навантаження тиском[17].

Композитні матеріали також поділяються на різні категорії залежно від типу присутньої фази. Існує 4 типи матричних матеріалів: полімерні матричні композити, металеві матричні композити, вуглецеві матричні композити та керамічні матричні композити. Арматурою є волокно, яке надає жорсткість композитним матеріалам. Є 3 класи армування: композит, армований частинками, композит, армований волокном, і композит, армований структурою. Композитні матеріали будівель, мостів, кузовів гоночних автомобілів тощо. Знаходять застосування в їх будівництві. Подальший прогрес було досягнуто в удосконаленні структури композитних матеріалів шляхом налаштування матового нанорозміру. Їх називають гібридними композитами. Гібридні композити складаються з двох елементів, неорганічної та органічної частин на молекулярному рівні. Найпоширенішими типами гібридних композитів є епоксидні композити, зміцнені вуглецевими арамідами, і епоксидні композити, зміцнені склом[11].

Енергія - це здатність виконувати роботу. Електроенергія як вид енергії в даний час є найпоширенішим у світі. Електроенергія, яку ми споживаємо, — це енергія вітру, сонячна енергія, теплова енергія тощо. Її класифікують як вторинне джерело енергії, оскільки її отримують із первинних джерел. Ми по-різному використовуємо доступні природні ресурси для виробництва електроенергії. Основним джерелом є теплова енергія, що використовує викопне паливо (вугілля, природний газ). Щоб перейти від невідновлюваних джерел до відновлюваних, потрібен час[15].

Вітрові турбіни вважаються найкращим і найефективнішим пристосуванням до зміни. Вітрові турбіни перетворюють енергію вітру в механічну. Величезні вітряки були відкриті на всій території, щоб перетворювати енергію вітру на електроенергію. Середня берегова вітрова турбіна потужністю 2,5-3 МВт може виробляти понад 6 мільйонів кВт·год на рік, і з кожним роком цей показник зростатиме. Але кожна система має свої плюси і мінуси. Вітрові лопаті виходять з ладу через механічні пошкодження, високу напругу, утворення повзучості та багато інших факторів. Лопаті попередніх вітряних турбін виготовлялися з одного матеріалу, який, як виявилося, був недовговічним і мав високий відсоток відмов[17].

Тому експерименти з новою категорією матеріалів – композитними матеріалами, які замінюють запобіжні лопаті турбін – виявилися успішними. Випробування проводяться для покращення. композиційні матеріалиавт додавання інших матеріалів, таких як сарамідні волокна. Для покращення властивостей композитних матеріалів під час проходження цієї статті. Тому ця сфера, здається, має великі перспективи для передових і гібридних композитних застосувань[17].

Типова вітрова турбіна складається з втулки, корпусу двигуна (корпуса кришки), генератора, вежі та крила. Маточина та лопатка разом утворюють ротор. Початкова класифікація вітряних турбін може ґрунтуватися на напрямку осі відносно осі обертання. Вітротурбіна з горизонтальною віссю (HAWT) має вал, встановлений паралельно землі, тоді як вітротурбіна з вертикальною віссю має вал, встановлений перпендикулярно до землі. Вітрові турбіни, які зазвичай використовуються для виробництва електроенергії, мають переважно горизонтальний тип Oct (HAWT) [6].

Припинення основного розвитку Vawt може бути пов’язано з низьким коефіцієнтом обертання мікросхеми та труднощами в регулюванні швидкості обертання ротора. Основним компонентом турбіни є лопатка, яка також є найдорожчим компонентом вузла турбіни.

Крила вітряної турбіни схожі на крила літака, насправді вони (вигнуті крила) створені у формі крила повітря, ця крива використовується для створення зон низького тиску і, таким чином, для створення підйомної сили. Плоскі лопаті також не використовуються широко, але вони, як правило, створюють високі сили тертя та знижують ефективність. Тут важливе співвідношення (Tip Speed Ratio, TSR) визначається як відношення кінцевої швидкості ротора до швидкості вітру. Відповідно до профілю лопаті, кількість лопатей тощо .Це залежить. Сама лопатка є структурою, що складається з 2 поверхонь, по суті, з оболонки, з'єднаних за допомогою інтегрованої сітки, що з'єднує 2 частини (сторону всмоктування та сторону тиску) або за допомогою стовпа[15].

В основному є 2 типи навантажень: навантаження у формі крила та навантаження у формі краю.

1) спричинене тиском вітру та силою тяжіння або навантаженням тиску відповідно. Згинанню в напрямку крила протидіють стійки, внутрішня сітка або стійки на крилі, тоді як краї профілю спричиняють згинання в напрямку краю. З точки навантаження на матеріал, основної пластини на головній стійці піддається періодичному навантаженню розтягування-розтягу (сторона тиску), інша (сторона всмоктування) піддається періодичному навантаженню стиснення-стиску. У міру збільшення розміру вітрової турбіни діють довші лопаті, гравітаційне навантаження стає основною рушійною силою, а структурна жорсткість лопаті стає головним пріоритетом . Вони також повинні бути здатні витримувати більше одного циклу втоми; отже, співвідношення жорсткість/вага має велике значення[13].

Сьогодні всі вітряні турбіни складаються з лопатей, які в основному виготовлені з композитних матеріалів. У композиційних матеріалах, які використовуються сьогодні, матриця зазвичай є матрицею термозатвердіння (майже 80% комерційно використовуваних композитів використовують термозатвердіння), і тепер поліефірну смолу замінили поліефірні смоли в багатьох сферах застосування.

Термопластичні матриці є цікавою альтернативою термореактивним матрицям, але вони використовуються рідко. Що стосується використовуваного армування, то скловолокно та вуглецеве волокно посідають перше місце, оскільки вони використовуються найчастіше завдяки своїм різноманітним властивостям та універсальності, найпоширенішим типом композитного матеріалу у промисловості вітрових турбін є армований скловолокном пластик (GRP). GRP домінує на Sunday, оскільки він забезпечує необхідні функції за

низькою ціною. Скляні волокна знаходять більше використання, ніж вуглецеві волокна, завдяки їхній низькій стійкості до пошкоджень, вуглецеві волокна з найкращими властивостями розтягування та стиснення. Крім того, вони значно дорожчі. Наразі у виробництві цих турбін використовуються нові та кращі матеріали з чудовими властивостями[11].

1)Лопаті вітрових турбін виготовляються за допомогою класичного процесу виробництва композитів. Раніше для виробництва малих і середніх ножів використовувався процес вставки.

2) Як нанести матрицю (зазвичай епоксидну смолу) за допомогою щітки або валика (зазвичай скловолокна) для армування. Потім ми приклеїли 2 оболонки до стовпів за допомогою клею. Цей процес передбачав високі витрати праці, не гарантував якості та негативно впливав на навколишнє середовище.

Останнім часом почали застосовуватися технології попереднього та вакуумного введення, які не лише покращують якість, а й скорочують час виробництва. Для великих лопатей використовується техніка ін’єкції, за якої смола вводиться у вже розташовані волокна під високим тиском, а потім уся збірка затверджується при нагріванні. Наразі тривимірні текстильні композити вивчаються, щоб перевірити, чи придатні вони для великомасштабного виробництва лопатей вітрових турбін[15].

Порівняно з металами та сплавами композиційна структура забезпечує кращу роботу та довше виходить з ладу. Розрив композитного матеріалу може бути спричинений розривом волокна, розломом матриці, відшаровуванням матриці волокна або нестабільністю вигину та може бути легко описаний наступним чином.

- Руйнування волокон: руйнування волокон в основному спричинене високою крихкістю структури армування, що призводить до утворення невеликих тріщин між волокнами, що знижує міцність композитного матеріалу.

3.6 Евтектична кристалізація

Як відомо, кристалізація є фазовим переходом першого роду, який відбувається у конденсуючій системі рідина – тверде тіло. Для протікання цього перетворення необхідне відведення теплоти від рідкої фази, тобто її переохолодження. У результаті цього процесу необхідно виділити дві основні стадії: утворення центрів кристалізації фази і зростання цих центрів унаслідок приєднання атомів, що переходять з розплаву.

На діаграмі стану сплави, що розташовані лівіше евтектичної точки *E,* наприклад, складу C_1 (рис. 1.4), називаються доевтектичними, а ті що лежать правіше – заевтектичними. При їх охолоджуванні до температури $T < T_E$ в інтервалі $T_A - T_E$ утворюються лише α (або β) розчини. Кристали цих фаз називають первинними. При подальшому пониженні температури $T < T_E$ відбувається евтектичний розпад залишку рідини із одночасним виділенням двох твердих фаз $Ж \rightarrow \alpha + \beta$.

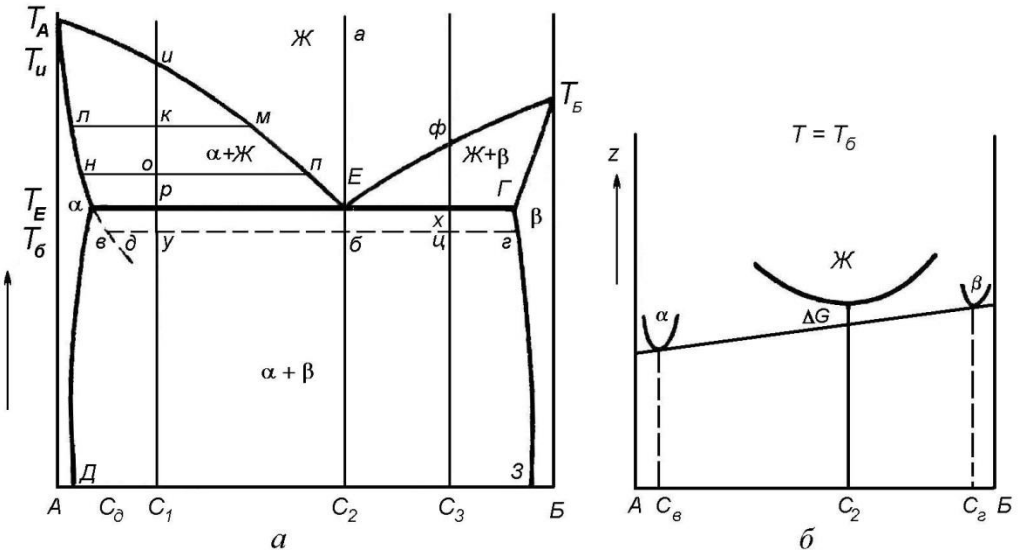


Рис. 3.2. – Діаграма стану евтектичного типу *(а)* і термодинамічні потенціали розчинів при $T=T_б$ *(б)*

Кристалізація сплавів не евтектичного складу. При охолоджуванні доевтектичних сплавів *Pb-Sn* до певних температур відбувається зародження первинних кристалів *Pb*. Зростання цих кристалів супроводжується зміною складу рідини по лінії ліквідусу свинцю і по її продовженню у метастабільну область. При іншій температурі зароджується фаза на основі *Sn*. У момент зародження *Sn* всі сплави мають один і той же склад рідини, що визначаються точкою *B*. Тим самим переохолодження $T_A - T_B$, необхідне для зародження *Sn*, виявляється постійним, а оскільки в рідині вже були кристали *Pb*, то можна говорити про каталітичне зародження олова свинцем при $\Delta T = T_A - T_B$.

Евтектичний сплав ($C=C_E$) при охолоджуванні у температурному інтервалі $T_A - T_E$ зберігає рідкий стан (рис.1.4). Для появи кристалів α і β фаз необхідне переохолодження $\Delta T = T_E - T_б$. При температурі $T_б$ термодинамічний потенціал переохолодженої рідини на ΔG вище за термодинамічний потенціал суміші кристалів α і β і таким чином з'являється стимул до евтектичного перетворення $Ж \rightarrow \alpha + \beta$. Хід евтектичного розпаду і кінцева структура сплаву залежать від ступеня переохолодження ΔT рідини.

При малих переохолодженнях кристали α і β фаз зароджуються і ростуть зазвичай роздільно. У результаті формуються великі зерна α і β фаз без взаємного проростання. Таку структуру називають структурою грубого конгломерату. Зародження евтектичних фаз у загальному випадку не одночасне. Надалі α і β ростуть одночасно, тому що у рідині, що розділяє ці кристали, відбувається дифузійне розділення компонентів. При виділенні β – розчину із розплаву евтектичного складу довколишня рідина обідняється компонентом *B*, а при виділенні α – розчину – компонентом *A*. Градієнти концентрацій компонентів *A* і *B* , що виникають у рідкому розчині, призводять до їх дифузійного переносу через рідину до фронту виділення твердих розчинів. Компонент *B* дифундує у рідині справа наліво (рис. 1.5), а компонент *A* – у протилежному напрямі. Завдяки цій дифузії підтримується можливість виділення β фази на наявних кристалах β і α фази на кристалах α.

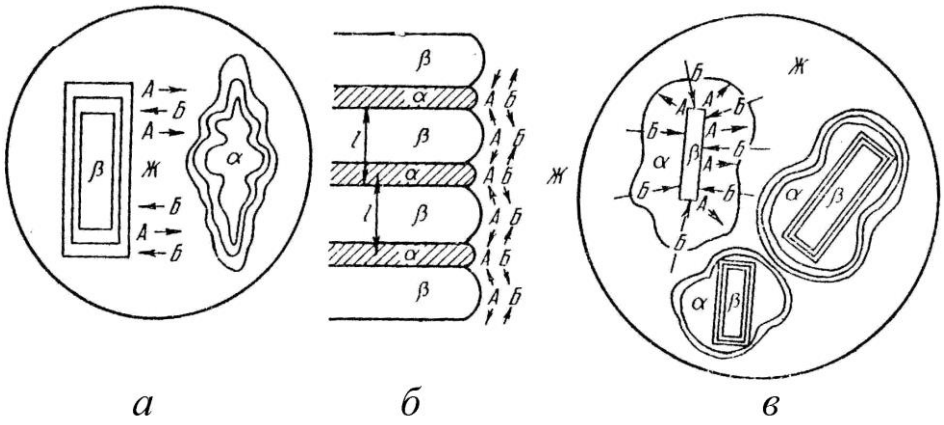


Рисунок 3.3. – Дифузійні потоки при формуванні структури грубого конгломерату (*а*), евтектичні колонії (*б*) та при абнормальній евтектичній кристалізації (*в*)

До описуваного структурного класу слід відносити *вироджені* структури. У цьому випадку причиною роздільного зростання фаз частіше за все є відносно великий об'єм, що займають первинні кристали фази, що веде кристалізацію. Інколи під виродженими розуміють структури грубого конгломерату фаз.

Із збільшенням переохолодження евтектичного розплаву хід кристалізації змінюється. Після того, як зароджуються і починають рости кристали однієї з твердих фаз (базової або лідируючої, наприклад, β) на їх поверхні, як на підкладці, зароджується кристал другої фази. Цьому сприяє збагачення довколишньої рідини компонентом *А*. У подальшому обидві кристалічні фази ростуть спільно (кооперативно), розгалужуючись та проростаючи одна в одну. Таким чином, у результаті розпаду $Ж \rightarrow \alpha + \beta$ утворюються двофазні утворення (евтектичні колонії). Створюється фронт двофазної кристалізації, що складається з відростків обох фаз, що чергуються. Подальший розвиток колонії характеризується кооперативним зростанням переміжних відгалужень, форма і розміри яких пов'язані як із кристалохімічною природою евтектичних фаз, так і

із умовами кристалізації (температурні градієнти, швидкість росту, наявність домішок тощо).

У разі кристалохімічної подібності евтектичних фаз баланс міжфазних енергій визначає базову роль однієї із фаз. Для повного прогнозування ведучої ролі визначальної фази евтектики доцільне зіставлення таких критеріїв кристалохімічної природи як температура плавлення, критерій Джексона ($k = \frac{2R}{\Delta S} = 1$ або $\Delta S = 2R = 4$ кал/град·моль), критерій Салі ($k = \frac{2R}{S_{пл} - \Delta c_p \cdot \Delta T / T_{пл}}$, де R – універсальна газова постійна, $S_{пл}$ – ентропія плавлення, Δc_p – різниця теплоємкостей у рідкому та кристалічному стані, ΔT – переохолодження, $T_{пл}$ – температура плавлення), що враховує різницю теплоємкостей у твердому і рідкому станах. Загалом, базова фаза характеризується більш високою ентропією плавлення і більшою схильністю до розвитку плоских форм росту. Її атомний склад сильніше відрізняється від евтектичного, а поверхневе натягнення із розплавом дуже велике. Ці обставини диктують необхідність більшого переохолодження рідини для виникнення кристалів базової фази і визначають схильність цієї фази ініціювати зародження колонії. Фаза, що служить базою зародження колонії, зберігає свою ведучу роль і надалі при кристалізації.

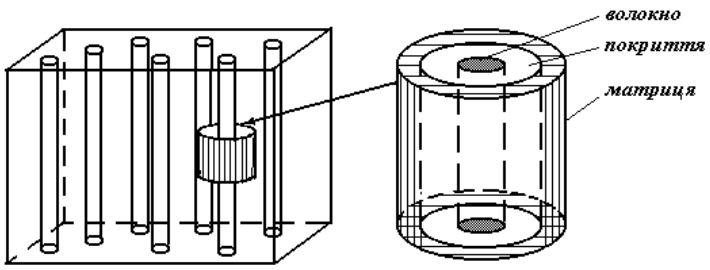
3.7 Виробництво композиційних матеріалів.

Універсальних композиційних матеріалів і способів їх отримання поки не існує. При проектуванні матеріалу необхідно надати тільки необхідні властивості для конкретної структури або певного типу конструкції. Тому оптимальна технологія може варіюватися від випадку до випадку. Приступаючи до виготовлення композитних матеріалів, необхідно уявляти, як може бути створена структура. Традиційні схеми (сировина – напівфабрикати) не завжди оптимальні при розробці композитних матеріалів. Слід пам'ятати, що форма напівфабрикату повинна бути максимально наближена до форми готового виробу. В цьому випадку роботи по з'єднанню і механічній обробці

можуть бути зведені до мінімуму, наприклад, максимальний ефект можна отримати від використання високоеластичних волокон.

Основна мета процесу виготовлення штучних композиційних матеріалів з волокнами (часто монокристалами) полягає в тому, щоб зв'язати ці волокна з матрицею в єдине ціле і максимально ефективно використовувати міцність, модуль пружності та інші властивості армованих волокон. Це означає, що волокна повинні бути вирівняні в потрібному напрямку, рівномірно розподілені в комплексі і надійно з'єднані з матрицею. Однак у багатьох випадках з'єднання з волокнами утруднене, якщо матриця попередньо не покрита іншими матеріалами (стимулюючими змочування і зв'язування компонентів). Таким чином, покриття стає 3-м компонентом, призначення якого - допомогти технологічному процесу і стати зоною передачі матриці напруг волокнам.

На малюнку 1.2 схематично показано призначення всіх трьох компонентів композитного матеріалу (волокно, покриття, матриця), А в таблиці 1.4 показані всі функції, які варіюються в залежності від конкретного призначення композитного матеріалу і природи його компонентів.



Малюнок 1.2-компоненти волокнистих композитів.

У процесі виготовлення композиційних матеріалів відбуваються фізичні перетворення і хімічні реакції, такі як зміна форми волокон, перекристалізація, зростання зерен, утворення нових фаз, дифузія атомів різних елементів і утворення пір. Такі перетворення та реакції можуть мати значний вплив на мікроструктуру та властивості композиційних матеріалів. Наприклад, у процесі виготовлення матеріалів це негативно впливає на перерозподіл та передачу напружень між волокнами (монокристалами) та матрицею, що може зменшити міцність волокон. Тому для виготовлення композиційних матеріалів усі фактори, що впливають на їх фізичні та механічні властивості, мають велике значення. При виготовленні матеріалів необхідно враховувати:

а) вимоги до кінцевого контакту між волокном і матрицею (змочування);

б) хімічну реакцію на поверхні розподілу між деталями;

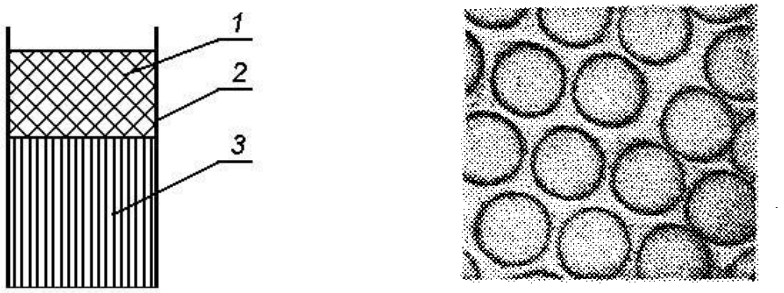
с) досконаліть поверхні монокристалічного волокна;

d) міцність з'єднання композитних компонентів уздовж межі розділу між ними.

Отже, для того щоб монокристалічні волокнисті композиційні матеріали відповідали пропонованим вимогам, при їх виготовленні необхідно об'єднати 2 або 3 технологічних процесу, таких як холодне пресування, гаряче пресування, лиття, просочення рідиною, дифузійне зварювання, плазмове напилення, екструзія, шликерное лиття, пресування в прес-формах, гальванопокриття, екструзія або кування сплавами. Такий процес вимагає 1 або іншої додаткової операції, призначеної для забезпечення того, щоб волокна матриці набули бажаної орієнтації.

У той же час можливі різні комбінації перерахованих коштів. Такі інструменти потребують подальшого розвитку, щоб їх можна було використовувати як основу для автоматизованих економічних процесів. Важливу роль у виборі способу виробництва грає наявність того чи іншого обладнання.

Розглянемо *метод рідко-фазного поєднання* – виготовлення КМ шляхом просочування розплавленим матеріалом (1) матриці (3) у вигляді окремих волокон, пучків волокон або ниткоподібних кристалів, викладених відповідним чином, або довільно (рис.1.3). найбільш ефективним методом отримання безпористих виробів є вакуумно-компресійне просочування, що поєднує елементи вакуумного просочування та лиття під тиском. Схему установки та послідовність стадій виготовлення КМ методом вакуумно-компресійного просочування наведено на рис.1.4.



а ***б***

Рисунок.1.3 – Схема отримання композиційного матеріалу просочуванням (*а*) та структура такого матеріалу (*б*) (збільшення 40): *1* – метал, що просочує; *2* – кварцева трубка; *3* – вольфрамові волокна

Установка складається із камери, що має дві зони нагріву: зону попереднього нагріву форми зі зміцнювачем *6* і зону плавлення матричного металу *8*, що є одночасно і зоною просочування. Нагрів цих зон здійснюється за допомогою двох печей опору, встановлених на різних рівнях по висоті зовні камери. Зверху камера герметично закрита кришкою. У кришці є отвір з ущільненням, в якому переміщається вгору і вниз порожнистий шток контейнера *12* із завантаженим у нього зміцнювачем. Контейнер це герметична металева оболонка, дно якої, у порівнянні із стінками, має меншу товщину. На

рис. 1.4 контейнер має таку форму, яка дозволяє виготовляти із композиційного матеріалу вироби у вигляді кілець. Шток контейнера пов'язаний із вакуумним насосом.

Кришка камери має патрубок, через який у камеру під тиском подається інертний газ. Для запобігання нагріву ущільнення штока контейнера у кришці

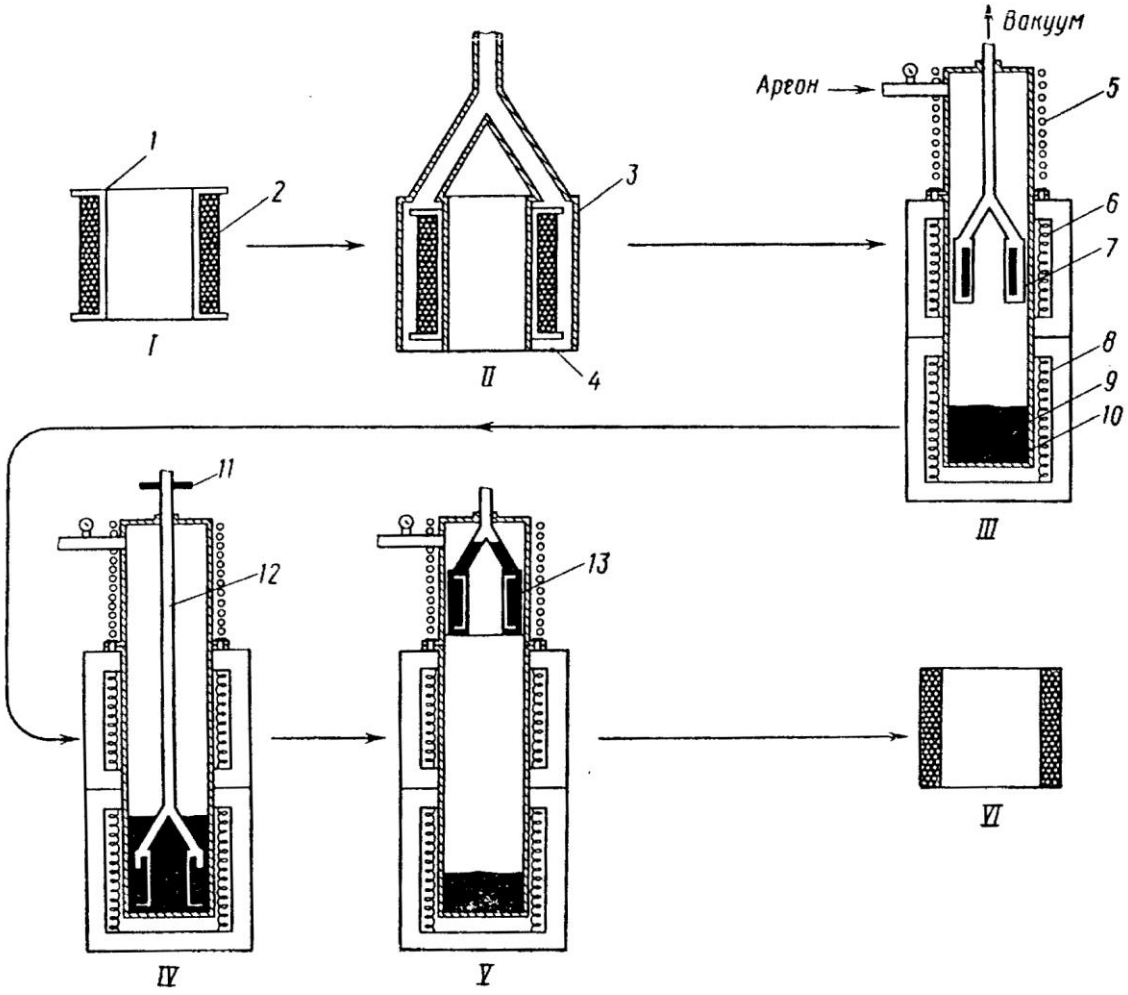


Рисунок 1.4 – Послідовні стадії виготовлення композиційних матеріалів методом вакуумно-компресійного просочування: *I* – намотування волокна на циліндричну оправку; *II* – установлення у форму; *III* – попередній нагрів; *IV* – просочування; *V* – охолодження; *VI* – розбирання, видалення форми і надлишку металу та виймання труби із композиційного матеріалу; *1* – оправка; 2 – волокно; *3* – вакуумована форма; *4* – тонкостінне дно (0,15 мм); *5* – холодильник; *6* – піч попереднього нагріву; *7* – форма з волокном; *8* – піч для плавлення металу; *9* – розплав матриці; *10* – голки для

проколювання дна форми; *11* – рукоятка; *12* – шток; *13* – метал, що заповнив форму

є холодильник *5,* виконаний у вигляді навитої на нього по спіралі металевої трубки, через яку безперервно подається вода.

Технологічний процес вакуумно-компресійного просочування, схема якого показана на рис.1.4, розглянуто нижче.

Зміцнюючі волокна укладаються в контейнер, внутрішня частина якого виготовлена формою майбутнього виробу (на приведеній схемі зображений контейнер для отримання кільця і тому волокно у даному випадку заздалегідь намотується на спеціальне облямовування, разом з яким воно завантажується в контейнер). У нижню частину камери, виконану у вигляді тигля, поміщається метал матриці. Кришка разом з контейнером установлюється на камері і герметично закріплюється. Порожнистий шток контейнера підключається до вакуумної системи, і контейнер вакуумується. Потім контейнер встановлюється в зоні попереднього нагріву, а в камеру під потрібним тиском подається інертний газ. Включаються печі, які обігрівають зону попереднього нагріву і зону плавлення металу матриці, а у холодильник подається вода. Коли матричний метал і волокно підігріваються до потрібної температури, контейнер опускається у розплавлений метал і своїм дном наколюється на голки, розташовані на дні тигля з розплавом. Внаслідок вакууму в контейнері, а також надлишкового тиску газу в камері, розплавлений метал заповнює контейнер з волокном. Після просочення контейнер підіймається в холодильник, де відбувається кристалізація матричного розплаву. Потім виріб витягується із контейнера і піддається механічній обробці.

Внаслідок підбору оптимальних умов по температурі, успішної комбінації вакууму і тиску, вдосконалення конструкції форми вдавалося одержати плоскі і кільцеві зразки для випробування при розтягуванні, що практично не мають усадкових пір гарячих тріщин і непросочених ділянок між волокнами. Вакуумування каркасу волокон перед просоченням усуває необхідність отворів

у формі для проходу металу і не вимагає контролю за витратою металу. У зв'язку з цим, наприклад, кільцеві зразки можуть бути одержані намотуванням волокна на тверде облямовування і просоченням розплавленим металом, що поступає тільки із зовнішньої поверхні намотаного каркаса, здійснюваної внаслідок занурення облямовування у розплавлений метал. Наявність надлишкового тиску необхідна, коли відстані між волокнами дуже малі, або у разі поганої змочуваності.

Усунення усадкової пористості досягалося внаслідок використання у конструкції форми випорів та підігріву її верхньої частини.

Для забезпечення якісного просочування необхідний ретельний розрахунок теплоємності системи, що враховує температуру підігріву, масу волокна, облямовування або форми, об'єм випорів тощо. Так, наприклад, якщо волокна не підігріті до необхідної температури, то матриця затвердіє перш, ніж відбудеться повне просочування.

Відмінністю *газо-фазних, хімічних та електрохімічних методів* отримання КМ є відсутність чи незначний температурний або механічний вплив на волокна у процесі поєднання їх із матрицею, а також можливість формування виробів чи напівфабрикатів складної конфігурації. Принципова схема виготовлення КМ полягає у нанесенні тим чи іншим способом на волокна шару матеріалу, що заповнює простір між волокнами і утворює матрицю. У залежності від способу нанесення матеріалу необхідно буде застосовувати додаткову операцію ущільнення матеріалу пресуванням або спіканням наприклад, при виготовленні композиційного матеріалу методом плазмового напилювання. На рис.1.5 показано схему отримання композиційних матеріалів з використанням методу плазмового напилювання матриці.

При виготовленні композиційних матеріалів з алюмінієвою матрицею, зміцнюваних волокнами бору, карбіду кремнію тощо, процес напилювання можна вести у режимах, що забезпечують досить міцний зв'язок напилюваного металу як з волокном, так і з алюмінієвою фольгою, що є частиною матричного

матеріалу. Однак можливе отримання досить міцної багатошарової стрічки і без фольги; напилений шар забезпечує при цьому міцність, необхідну при подальших операціях різання, укладання і пресування для отримання компактного матеріалу.

IV. Висновки

4.1. Підведення підсумків

У підсумку можна визначити, що дослідження використання природних композитів в атомній енергетиці підтверджує їх великий потенціал для різноманітних застосувань у даній галузі. Зокрема, властивості цих матеріалів, такі як ефективність у відбиванні та поглибленні іонізуючого випромінювання, біодеградаційна сумісність та механічна міцність, роблять їх привабливими для вирішення важливих завдань у сфері атомної енергетики.

Дослідження вказує на те, що застосування природних композитів може бути особливо корисним у вирішенні питань радіаційного захисту, екологічної стійкості та роботи з відходами. Крім того, їх використання може мати позитивний вплив на сталість та надійність структурних компонентів в атомних установках.

Розвиток цих досліджень та впровадження виробничих технологій на основі природних композитів може стати ключовим етапом у вдосконаленні ефективності та безпеки атомної енергетики. Урахування цих матеріалів у проектуванні та експлуатації ядерних установок може призвести до покращення їхньої стійкості, ефективності та екологічної придатності.

Вивчення природних композитів в атомній енергетиці створює можливості для створення нових конструкційних матеріалів. Використання цих композиційних матеріалів може призвести до покращення механічних властивостей, тепловіддачі та радіаційної стійкості структурних частин ядерних установок. Розробка екологічно чистих матеріалів

Використання біорозкладаних природних композитів може стати важливим кроком у розробці екологічно чистих матеріалів для атомної енергетики. Це включає створення біорозкладаної упаковки ядерних відходів та інших матеріалів, які можуть зменшити вплив на навколишнє середовище.

Удосконалення системи радіаційного захисту. Важливо розробити ефективну систему радіаційного захисту при виробництві атомної енергії. Ці дослідження призвели до створення нових матеріалів, які забезпечують високу стійкість до впливу іонізуючого випромінювання, що є запорукою забезпечення безпеки людей і навколишнього середовища, а також їх використання в системах очищення та утилізації відходів.

Природні композити можна інтегрувати в системи обробки та очищення ядерних відходів. Можливість зберігання біорозкладаних або радіоактивних матеріалів може сприяти вирішенню проблеми поводження з відходами та утилізації. Можливість використання в реакторних матеріалах

Вивчення природних композитів може відкрити можливість використання цих матеріалів у конструкціях реакторів. Вони мають високу термостійкість і здатні ефективно захищати від впливу високої температури і радіації.

Виконана робота є продовженням дипломної роботи бакалавра.

Актуальність теми пов’язана з матеріалами виготовленими з сплавів евтектичної кристалізації. Отримані системи виявились з контрольованим розміщенням фаз та регулюванням їх морфології та розміщення.

Було виявлено вплив градієнту температур на межі рідина – тверде тіло, що впливає на характер формувань природних композитів.

Кристалізація сплавів з градієнтом температур G 300 К/см характерна для твердих сплавів отриманих методом індукційного, зонного і плазменно-дугового методу, що не дозволяє отримання регулярних структур.

Збільшення градієнту температури до 550 – 600 К/см дозволяє запобігти двофазній нестабільності концентраційного переохолодження і формулювання колонійних структур. Останнє дозволяє отримати сплави з упорядкованою регулярною структурою.

Під час дослідження використовувався електронно-мікроскопічний метод, що дозволило встановити стан між фазної границі, яка встановлює високі властивості тугоплавких систем сплавів. Поверхня розділу є напів когерентною.

Отримані еутектичні композити в яких ведуча кристалізація карбідної фази має мікроскопічні розміри. При цьому густина дислокації 10 в 2 см -2, а міцність наближена до теоретичної G/30.

Досліди показали, що нитковидні кристали карбіду у яких ld більше 1000 см витримують великі навантаження без руйнування. При цьому відбувається залічування тугоплавкою матрицею виникаючих мікро-тріщин, та отримано композит стійкий до пред плавильних температур, вище ніж відомі жаростійкі сплави.

При написанні диплому, було проведено літературний пошук по тематиці дипломної роботи.

Як висновок можна зазначити що дослідження і створення сплавів евтектичної кристалізації є дуже перспективні особливо у наш час. Саме тому, що ці структури є стійкими до теплових навантажень та деформації, спектр використання поширюється на майже всі галузі виробництва, включаючи виробництво матриць для штамповки деталей, створення альтернативних джерел енергії, які знаходяться під впливом опромінення та впливом погодних умов і т.д.

Загальний результат:

Практичне значення цього дослідження полягає в тому, що воно не тільки сприяє розумінню фізичних властивостей природних композитів, але й визначає їх потенціал у певних ядерних застосуваннях. Результати цього дослідження можуть мати велике практичне застосування для розробки безпечних, стійких і ефективних технологій для ядерної енергетики.

Список використаної літератури:

1. Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (1997). Engineering materials 1: An introduction to their properties and applications. Butterworth-Heinemann.
2. Gibson, R. F. (2012). Principles of composite material mechanics. CRC Press.
3. Soutis, C. (2005). Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction. Materials Science and Engineering: A, 412(1-2), 171-176.
4. Datta, R. N. (2012). Handbook of Thermoset Plastics (3rd ed.). William Andrew.
5. Chawla, K. K. (2013). Composite Materials: Science and Engineering. Springer.
6. Mallick, P. K. (2007). Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design. CRC Press.
7. Bažant, Z. P., & Cedolin, L. (1991). Stability of structures: Elastic, inelastic, fracture, and damage theories. Oxford University Press.
8. Jones, R. M. (1999). Mechanics of Composite Materials (2nd ed.). CRC Press.
9. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2017). Materials Science and Engineering: An Introduction (9th ed.). Wiley.
10. Kar, K., & Satapathy, A. (Eds.). (2018). Advanced Composite Materials: Properties and Applications. CRC Press.
11. Tsai, S. W., & Hahn, H. T. (1980). Introduction to composite materials. Technomic Publishing Co.
12. Hull, D., & Clyne, T. W. (1996). An Introduction to Composite Materials. Cambridge University Press.
13. Mallick, P. K. (1997). Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design (2nd ed.). CRC Press.
14. Hosford, W. F. (2010). Mechanical Behavior of Materials. Cambridge University Press.
15. Matthews, F. L., & Rawlings, R. D. (1999). Composite materials: Engineering and science. CRC Press.
16. ASTM International. (2014). Annual Book of ASTM Standards: Section 15 - General Products, Chemical Specialties, and End Use Products.
17. Ashby, M. F., & Shercliff, H. (2009). Materials: Engineering, Science, Processing and Design. Butterworth-Heinemann.
18. Cusens, A. R., & Penn, L. (Eds.). (2001). Materials Selection in Mechanical Design. Pergamon.
19. Hull, D., & Bacon, D. J. (2001). Introduction to dislocations (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
20. Anisimov, A. G., & Kardashev, B. K. (Eds.). (2018). Handbook of Nuclear and Radiochemistry: Principles and Applications. Wiley.

21.Конспект лекцій В.Є. Семененко до курсів Конструкційні та функціональні матеріали Moodle ЦЕН ХНУ ім. В.М. Каразіна, 2021.
22.Перспективні конструкційні матеріали нетрадиційної та атомної енергетики. Азаренко Н.А., Семененко В.Є, Ткаченко В.І. Навчально-методичний посібник. Х, ХНУ, 2016.
23. Методичний додаток до курсу лекцій – Функціональні та конструкційні матеріали. с. 74.
24.N.A. Azarenkov, V.E. Semenenko, S.V. Lytovchenko, N.G. Styervoyedov. INFLUENCE OF PURITY ON MICROSTRUCTURE AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF REFRIGABLE MICROCOMPOSITES. ISSN 1562-6016. ВАНТ. 2020. №1(125) p. 38-43