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 бакалавра

на тему:

Природні композитні матеріали з регулярною структурою

Виконав: студент 4 курсу, групи НФ-41
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 – 2022

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) бакалавр

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 «Природні композитні матеріали з регулярною структурою»

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	Проведення аналізу літературних даних на тему дипломного проекту.
2	Розглянути особливості електронно-променевої зонної кристалізації тугоплавких карбідних сплавів.
3	Методи створення легованих напівпровідників, виявлення оптимальних умов кристалізації
4	Рекомендації щодо використання легованих напівпровідників у сумішах
5	Висновки

5. Дата видачі завдання _____

Студент _____ Савельєв А.А.

підпис інніціали, прізвище

Керівник роботи _____ Семененко В.Є.

підпис інніціали, прізвище

Реферат

Савельєв Антон Андрійович «Природні композитні матеріали з регулярною структурою» (випускна робота бакалавра). – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2022 – 59 с.

Робота складається з вступу, трьох розділів; містить 14 малюнків, 9 таблиць. Робота має оглядовий характер, в якій було проаналізовано сучасне застосування композитних матеріалів, та дано визначення термінології.

Ключові слова: композитні матеріали, єтектичний сплав, євтектична кристалізація

Abstract

Savelyev Anton Andreevich "Natural composite materials with a regular structure" (bachelor's thesis). - Kharkiv: KhNU. VN Karazin, 2022 - 59 p.

The work consists of an introduction, three chapters; contains 14 drawings, 9 tables.

The paper has a review character, in which the modern application of composite materials was analyzed, and the definition of terminology was given.

Key words: composite materials, eutectic alloy, eutectic crystallization

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

КМ – композитні матеріали.

ЗМІСТ

Вступ…….……..8

Розділ 1. Композиційні матеріали. Загальні відомості, різновиди…..…….....10

1.1. Різновиди композиційних матеріалів…….……...…10

1.2.Дисперсно-твердні композиційні матеріали……..….12

1.3. Історія розвитку композиційних матеріалів……..…….…...13

Розділ 2. Композитні матеріали в альтернативній енергетиці……..15

2.1. Вітроенергетика ……..…….…...15

2.2.Вплив вітрового удару на композиційний матеріал……..……...24

2.3. Композитні матеріали та сонячна енергетика……..……26

Розділ 3. Евтектичні сплави та їх використання ……..…..45

Евтектичні сплави та метали ……..…….…….…45

Евтектична кристалізація ……..47

Висновки...…….….58

Література……59

Вступ

Наше суспільство вступило в період, який все частіше називають ерою високих технологій, прагнучи до створення нових матеріалів, що практикуються у подвійній свідомості: високі температури та звикання, хвиля агресивного, тонкого середовища.

Помітне місце серед таких матеріалів нової техніки займають композиційні матеріали (КМ), основу їх розробки складає реалізований у природі принцип – сумісна дія різнорідних матеріалів дає ефект, рівносильний створенню нового матеріалу, властивості якого і кількісно і якісно суттєво відрізняються від властивостей шкірного.

Більшість характеристик композиційних матеріалів багатофункціональні, їх енергетичні рівні (електричні, гальваномагнітні, оптичні, термоелектричні та інші характеристики) не набагато перевищують енергетичні рівні основних традиційних матеріалів.

У 1200 році нашої ери монголи почали створювати складові луки, які були неймовірно ефективні на той час. Вони були зроблені з дерева, бамбука, кістки, сухожилля великої рогатої худоби, роги та шовку, сполучених сосновою смолою. Після промислової революції синтетичні смоли стали твердніти шляхом полімеризації. У 1900-х роках це нове знання хімічних речовин призвело до створення різних пластиків, таких як поліестер, фенол та вініл. Так вони почали розробляти синтетичні матеріали, бакеліт створив хімік Лео Бакеланд.

Той факт, що він не проводить електрику і термостійкий, означає, що його можна широко використовувати в багатьох галузях промисловості.
1930-ті роки були надзвичайно важливим часом для розробки композитів. Скловолокно було представлено Оуенсом Корнінгом, який також започаткував

першу індустрію полімерів, армованих волокном (FRP). Смоли, розроблені на той час, використовуються досі, а ненасичені поліефірні смоли були запатентовані в 1936 році. Через два роки стали доступні системи смол з високими експлуатаційними характеристиками. Перше вуглецеве волокно було запатентовано у 1961 році, а потім стало комерційно доступним. Потім, у середині 1990-х років, композити стали все частіше використовуватися у виробничих та будівельних процесах через їхню відносно низьку вартість порівняно з матеріалами, які використовувалися раніше.

Розділ 1. Композиційні матеріали. Загальні відомості, різновиди.

1.1. Різновиди композиційних матеріалів

Складові матеріали або композити є тривимірними гетерогенними системами, що складаються з компонентів з різними властивостями, структура яких дозволяє використовувати відповідні особливості. Діапазон властивостей композитних матеріалів може бути досягнутий з допомогою звичайних матеріалів. Вони дозволяють використовувати принципово нові структури, що ніколи раніше не існували.

Композиційні матеріали визначають обсяг будівельних матеріалів і міцність контактного шару, що зв'язує їх, а також волокон та їх компонентів у твердому тілі.

Основою композиційних матеріалів (матриць) є метали або сплави (металовмісні композиційні матеріали), кераміка, а також полімери, вуглецеві та керамічні матеріали (неметалеві композиційні матеріали). Матриця пов'язує композицію та надає їй форми. Властивості матриці залежать від технологічних умов виробництва композиційних матеріалів та від важливих функціональних характеристик, таких як робоча температура, тріщиностійкість, стійкість до впливу навколишнього середовища, щільність та питома міцність.

За хімічним складом розроблені композиційні матеріали з композиційними матрицями, що складаються з двох та більше шарів. Композитні матеріали із такими композитними матрицями називаються поліматрицями. Наповнювачі рівномірно розподіляються по всій матриці і називаються затверджувачами, оскільки відіграють ключову роль підвищення міцності матеріалу. Наповнювачі також називають армованими компонентами.

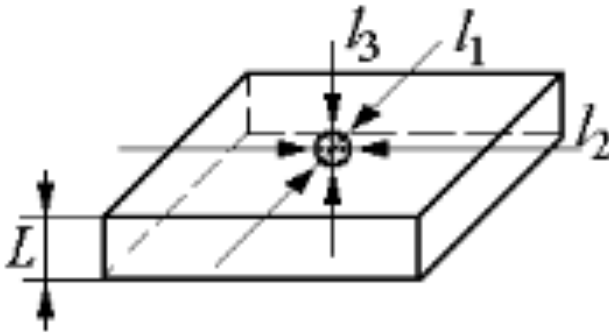


Рис.1.1 Нульмерна форма наповнювачів.

За формою наповнювача композиційні матеріали ділять на дисперсні, волокнисті та шаруваті. Дисперсні затверджувачі є композиційними матеріалами, армованими нульовими наповнювачами, волокнисті - одновимірними, шаруваті - двовимірними наповнювачами.

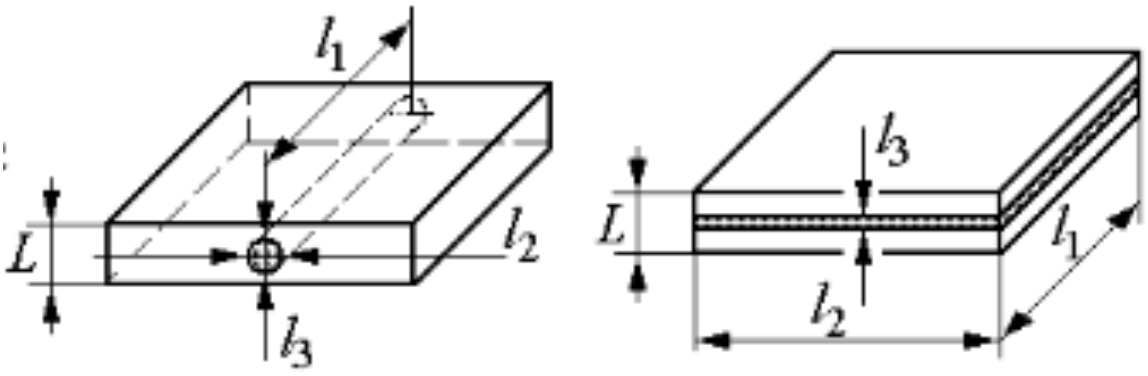


Рис.1.2. Одновимірні та двовимірні форми наповнювачів

де l_1, l_2, l_3, - розмірі наповнювачів, L - товщина матриці.

За схемою армування (рис 1.1) волокнисті композиційні матеріали поділяються на три групи: одновісне, двоосьове та триосьове (просторове) армування. При одновісному армуванні вміст наповнювача становить 1...5%, при двовісному - 15...16%, при тривісному - понад 15%. Плоскі листи паперу,

тканини або азбесту (волокнистого мінералу) використовуються як наповнювачі в шаруватих композитах.

Наповнювачі різної форми (одномірні та нульові) або наповнювачі однакової форми, але різного складу можуть використовуватися одночасно для розширення набору властивостей або поліпшення деяких властивостей. Композитні матеріали, що складаються з двох та більше різних наповнювачів, називаються поліармованими.

1.2 Дисперсно-твердні композиційні матеріали

Порівняно з волокнистими матеріалами матриця є основним несучим елементом у дисперсійно-тверді композиційних матеріалах. Дисперсні частинки уповільнюють рух дислокацій у металі та підвищують його міцність при нормальних та підвищених температурах. Перевага таких матеріалів полягає в тому, що вони ізотропні (однорідні) порівняно з властивостями волокнистих матеріалів. Висока міцність може бути досягнута лише при досягненні розміру частинок армування 0,01...0,1 мкм.

Як зміцнювальні фази використовують частинки легкоплавких фаз - оксидів, нітридів, боридів, карбідів (Al_2O_3, SiO_2, BN, SiC та ін.). Дисперсно-тверді композиційні матеріали в основному отримують методами порошкової металургії або введенням в рідкий метал наповнювачів.

В цілому широко застосовуються дисперсійно-тверді композиційні матеріали на основі алюмінію та нікелю. Матеріали з урахуванням алюмінію називаються обпаленим алюмінієвим порошком. Матеріали на основі алюмінію відрізняються високою міцністю, жаростійкістю, корозійною стійкістю та термічною стабільністю своїх властивостей.

Зі збільшенням вмісту глинозему підвищуються міцність, твердість, жаростійкість та гнучкість матеріалу. Матеріали на основі алюмінію добре

деформуються в гарячому стані, погано деформуються в холодному, легко обробляються різанням, добре зварюються контактним та аргонно-дуговим зварюванням. Плити, профілі, прес-форми, фольга виготовляються із матеріалів на основі алюмінію (АЛМ). Шток поршня, лопатки компресора, лопатки вентилятора та турбіни, обмотки трансформатора тощо. закуповуються у АНМ.

Матеріали на основі нікелю використовують нікель та сплави як матрицю. Тут затверджувачами є частинки оксидів торію та гафнію. Матеріали на основі нікелю відрізняються високою термостійкістю, високою термостійкістю. Область застосування цих матеріалів не обмежена. Їх застосування дозволяє значно збільшити потужність двигунів, енергетичного та транспортного обладнання, зменшити масу машин та інструментів.

1.3. Історія розвитку композиційних матеріалів

Історія композиційних матеріалів починається у 40-х роках XX століття. На той час його швидкому розвитку та застосуванню сприяли три фактори:

1) Активне використання у військовій техніці (літаки, вертольоти, ракети) високоміцних та легких матеріалів. Використовувані раніше металеві компоненти робили свою справу, але були тяжкі. Це обмежувало їхнє використання. Чим важчий літак або гелікоптер, тим менше вантажу він може нести.

2) Полімерна промисловість у період показувала бурхливе зростання і намагалася завоювати ринок різних пластиків. У дослідних лабораторіях з'явилися нові легкі полімери, які можуть покращити механічні властивості пластмас.

3) Наприклад, дуже висока теоретична міцність деяких матеріалів, таких як скло. Постало питання, як використовувати високоміцні матеріали за запитами військових відомств.

Композитні матеріали першого покоління (1940-і роки) були полімерами, армованими скловолокном. Незважаючи на те, що вони дуже стійкі, ці матеріали дуже тендітні і мають свої недоліки, такі як наявність мікротріщин (мікротріщин) на поверхні. При цьому кількість мікродефектів та їх розміри були однаковими в кожній виготовленій деталі композиту. Оскільки кількість цих дефектів зазвичай залежить від розміру компонента, єдиним рішенням було використання коротких волокон в композитах для зниження дефектності всієї системи.

Але таке скловолокно не мало сенсу, якщо бути точнішим. Незабаром інженери зрозуміли, що, просто вставивши волокна в матрицю, вона стане міцною, і ці волокна зупинять дефекти в матриці. Полімер з недостатньою міцністю або жорсткістю армується новими волокнами, внаслідок чого виходить міцний, твердий та легкий продукт. Армоване волокно надає додаткову міцність крихким полімерним матеріалам. Армовані пластики з'явилися більше у техніці, ніж у наукових дослідженнях. У той час як вчені вивчали взаємозв'язок між структурою матеріалу та його властивостями, промислові інженери вивчали взаємозв'язок між функціями та властивостями матеріалу.

Скляні компанії давно знають, як відокремити скловолокно від розплавленого металу. У 1932 р. компанія Owens у США розпочала виробництво скловолокна, а у 1935 р. компанія Corning розпочала серійне виробництво волокна.

Фенольні, карбамідні та анілін-формальдегідні смоли були розроблені на початку 1930-х років. і запатентовані в 1936 р. У Швейцарії П. Кастан отримав свій перший патент на епоксидні смоли та незабаром видав патентну ліцензію однієї із найстаріших хімічних компаній Ciba. У міру вивчення цих нових термопластичних та термореактивних смол для їх власного використання (упаковка, клей тощо) їх можливості почали використовувати як матрицю для армування матеріалів. Змішування полімерів із різними добавками стало

звичайним явищем у хімічній промисловості. Зростання використання полімерів у промисловості привело до створення в 1937 Товариства виробників пластмас, яке в 1941 було перейменовано в Товариство інженерів з пластмас.

Завдання інженерів і техніків полягала в тому, щоб додати волокна до матеріалу так, щоб вони були рівномірно розподілені в матриці і не змішувалися один з одним. Щоб вирішити цю проблему, Pittsburgh Plate Glass Company у 1940 році розробила та виготовила алілові смоли низького тиску.

У 1942 році ВМС США замінили всі електричні екрани на своїх кораблях композитом з меламіну та скловолокна, що покращило електроізоляційні властивості пластикових екранів.

У 1943 році на військовій базі США під назвою Райт-Паттерсон стартував дослідницький проект створення компонентів літаків з композиційних матеріалів. В результаті перший такий літак піднявся в повітря наступного року, 1944-го.

Перший комерційний композит назвали армованим скловолокном. І досі широко використовується.

Розділ 2. Композитні матеріали в альтернативній енергетиці

2.1. Вітроенергетика

Швидкий прогрес у технології матеріалів призвів до деяких змін у конструкції вітряних турбін. Ця зміна насамперед позитивно вплинула на зниження цін на вітроустановки. Як відомо, під час будівництва вітрогенераторів використовується широкий спектр матеріалів. Однак багато факторів, таких як механічне обладнання, опір втоми, корозійна стійкість, ударна в'язкість, жорсткість, вага та зовнішній вигляд, впливають на матеріали вітряних турбін.

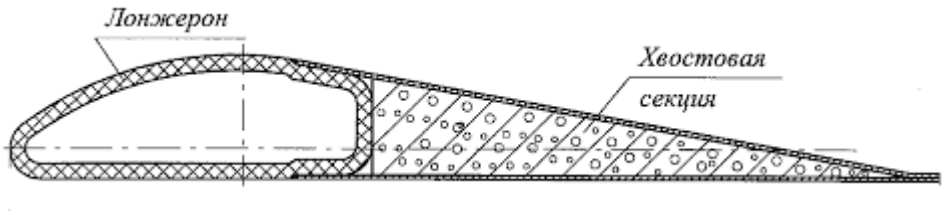


Рис.2.1. Профіль лопаті вітрогенератора.

Цей факт останнім часом призвів до того, що у вітрових конструкціях стали широко застосовуватись такі матеріали, як композит – важлива складова ефективності системи.

Розмір та кількість цього компонента варіюється в залежності від потужності турбіни. Його розвиток у минулому, пов'язаний з матеріалами, що використовуються в його конструкції, варіювався від тканини до дерева та листового металу, але останні роки всі виробники турбін (Eker and Vardar, 2005). З іншого боку, цей дуже важливий компонент для вітроустановок має бути добре відомим з погляду конструктивних параметрів (рис. 2.1).

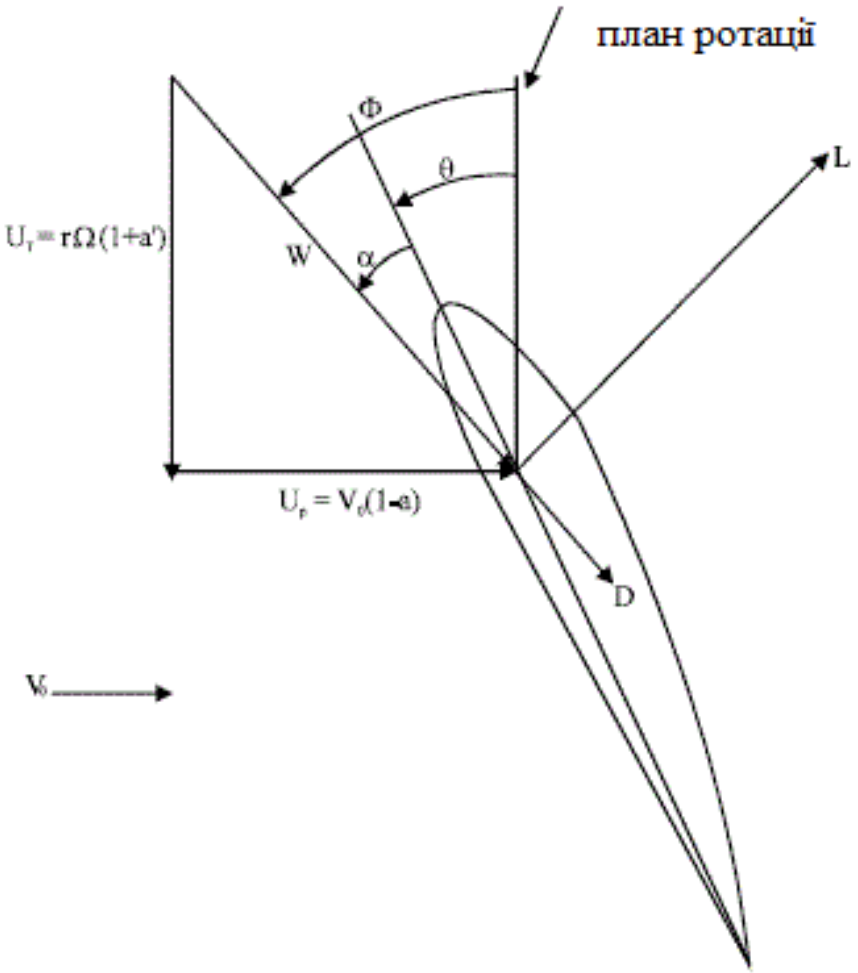


Рис. 2.2. Дія сил на лопату вітрогенератора

Перетин лопаті радіусом r показано на рис. 2.2 з відповідними швидкостями, силами та кутами. Відносний вектор вітру на радіусі r, позначений W, являє собою результуючу осьову складову u P і обертальну складову u T. Обертальна складова є сумою швидкості лопаті rΩ і швидкості обертання лопаті. повітря, r Ω. Осьова швидкість u P зменшується на компонент V_a 0 через ефект сліду або уповільнення, що створюється лопатями, де V_0 - швидкість необуреного вітру проти вітру. Терміни ά і ά представляють обертальні та осьові інтерференційні фактори відповідно.

Кут атаки позначається буквою a, крок лопаті позначається буквою q, а кут вітру щодо площини обертання позначається буквою f. Результуючі сили

підйому та опору представлені L і D і спрямовані перпендикулярно та паралельно відносному вітру, як показано.

Основною проблемою, що впливає на конструкцію та експлуатацію вітряних турбін, є втома. Термін служби більшості компонентів поступово скорочується через велику кількість оборотів, що відбуваються при відносно низьких напругах. Лопаті турбіни є компонентами, які мають найвищу частку втомного руйнування (50%), і в першу чергу відповідальні за відцентрові та гравітаційні навантаження .

До інших факторів, що сприяють втомному руйнуванню, відносяться зсув вітру, турбулентність, затінення вежі та взаємодія з турбінами, спрямованими проти вітру. Вплив кожного з цих факторів на ротор важко визначити кількісно, і для кращого розуміння проводиться багато досліджень, наприклад робота, описана Нодою (1997).

Як правило, композиційні матеріали складаються з металевих, органічних чи неорганічних основних структурних елементів. Вони відомі як матриці, волокна, частинки, матриці, шари. Ці елементи дизайну мають обмежені геометричні форми. Фактична функція матриці як об'ємного компонента полягає в тому, щоб генерувати дисперсію інших структурних компонентів, таких як волокна, частинки, штампуючи у власну структуру для забезпечення фазових взаємодій між цими компонентами.

А також передати напруги, що надходять у матеріал, в армовану фазу і забезпечити формування композиційного матеріалу зручними технічними засобами. При цьому накладення впливу на фізико-механічні та хімічні властивості відіграє важливу роль як визначальний фактор у формуванні структури композиту.

Компоненти, присутні в композиційних матеріалах, розчинені один в одному, хімічно інертні. Однак, особливо у металевих системах, навіть у

невеликих кількостях можна виявити легке розчинення та міжфазні реакції, що впливають на властивості композиту між компонентами.

Метою розробки композитних матеріалів для лопатей вітряних турбін може бути покращення однієї або кількох фізичних, механічних чи хімічних властивостей. І тому використовуються різні методи.

Основний принцип, що визначається у всіх них, полягає в розробці слабких частин у процесі основного призначення з метою отримання більш ефективної лопатки турбіни (рис. 2.3).



Рис. 2.3 Вітроелектростанція, яка піддається сильному впливу солоного повітря.

Однією з основних цілей композитів, що використовуються в турбінних лопатках є зниження втоми матеріалу до мінімально можливого рівня. Тому що втома, що виникає у композитному матеріалі, відрізняється від втоми інших матеріалів. Тріщина лопатки турбіни, що піддається різному навантаженню в ізотропних матеріалах, покращується з діагностичною прогресивною зміною, і лопатка піддається деформації в кінці періоду, доступного для розрахунку.

Чутливість до надрізу, що затримує проходження надрізу до волокна, у композиційних матеріалів нижче, ніж у металевих. Розвиток втоми у композитах відбувається у різних формах залежно від матеріалу. Втома через міцність зв'язку на межі розділу волокно-матриця визначається як втома, що виникає при зміні напряму навантаження та напрямки волокна.

У міру поширення тріщини вздовж волокна утворюються ушкодження. Поки напрямок навантаження волокна залишається постійним, забезпечується високий рівень опору втоми. У такому разі втомна міцність збільшується зі збільшенням об'ємної швидкості. Поперечна втома поширюється від шару, до якого додана висока напруга, залежно від його міцності.

Оскільки матричні матеріали входять до складу композиту, схильного до впливу таких факторів навколишнього середовища, як волого-, тепло- і хімічна корозійна стійкість матеріалів, корозійна стійкість матеріалів визначає їх вплив на довкілля, такі як вологопоглинання, абсорбція.

Сучасний вітряк, який іноді називають ротором, зазвичай складається з двох або трьох лопатей, виготовлених з дерева високої щільності, плексигласу або композитного матеріалу. Сконструйовані як лопаті літака, ці лопаті створюють дисбаланс між підйомною силою та опором для уловлювання енергії вітру. Згідно з принципом Бернуллі, на підвітряній кромці лопаті, що рухається, утворюється кишеня низького тиску, коли вона проходить крізь вітер. Цей тиск впливає на лопату, змушуючи турбіну обертатися проти крутного моменту, що протидіє, викликаного силою опору, генератором і втратами в системі.

Ця сучасна конструкція аеродинамічного профілю вловлює енергію вітру набагато ефективніше, ніж старі сільськогосподарські вітряки, які покладаються на силу вітру, що впливає на лопаті.

Аеродинаміка турбіни (включаючи форму та кількість лопатей), склад матеріалу та розмір є ключовими питаннями при проектуванні вітроенергетичних систем. Ротори сучасних вітряних турбін, як правило, складаються з трьох лопат, швидкість і потужність яких регулюються за допомогою керування звалюванням або кроком. Управління зваленням включає управління механічним обертанням лопатей; Налаштування висоти тону (в даний час використовується частіше) включає зміну висоти тону самих лопатей. Лопаті ротора виготовляються з композитних матеріалів з використанням скловолокна та поліестеру або скловолокна та епоксидної смоли, іноді у поєднанні з деревом та вуглецем.

У вітроенергетики найчастіше використовуваними типами композитних матеріалів є склопластики (GRP). GRP домінує на ринку, тому що він забезпечує необхідні властивості за низькою ціною. Важливими характеристиками склопластику є хороші механічні властивості, хороша корозійна стійкість, висока термостійкість, простота виробництва та вигідна вартість. Що ще важливіше, композитні матеріали дозволяють проектувати конструкції, які забезпечують значні переваги, такі як зниження ваги порівняно з традиційними конструкційними матеріалами, зберігаючи при цьому необхідний рівень продуктивності та надійності.

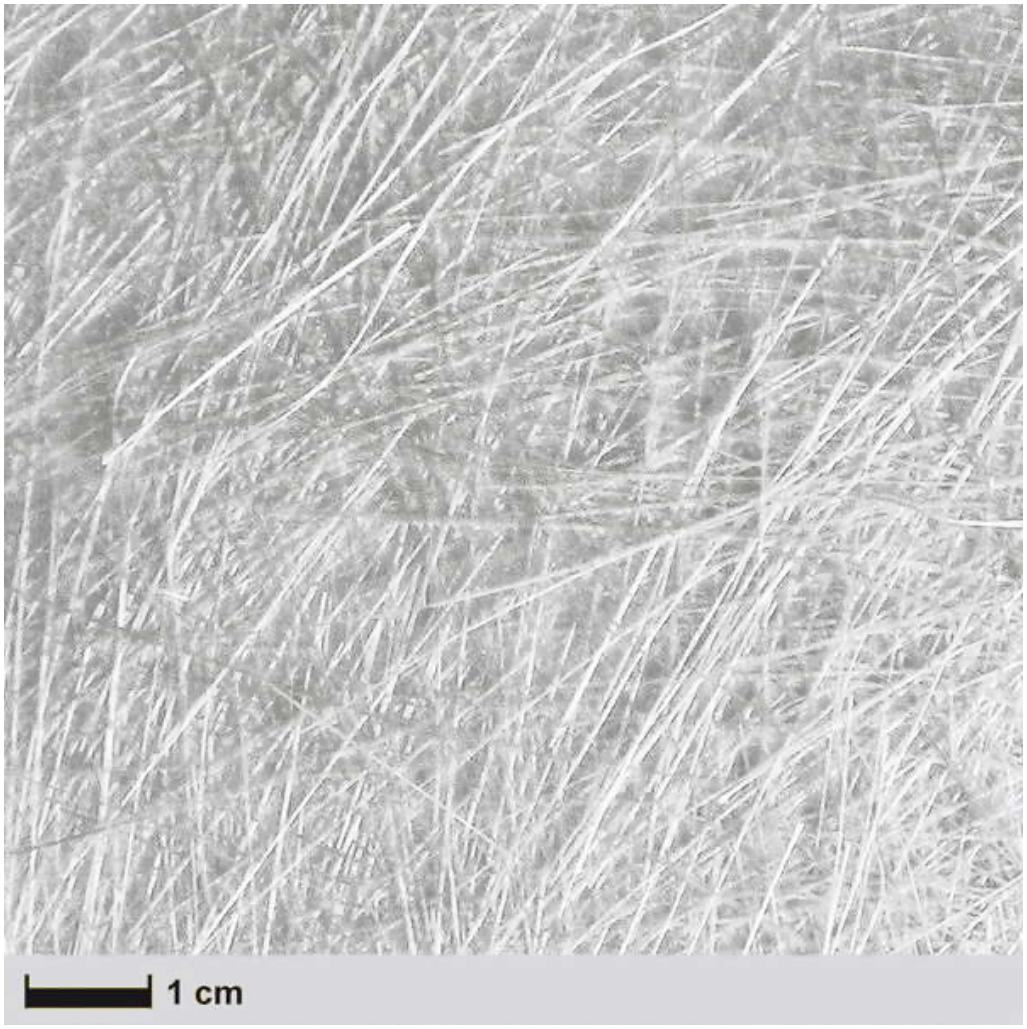


Рис. 2.4. Скловолокно застосовувані для армування лопатей вітроелектростанцій

Скловолокно, розроблене наприкінці 1940-х років, є найбільш поширеним та оригінальним сучасним композиційним матеріалом на полімерній основі. Сьогодні близько 85% всіх вироблених композитних матеріалів становлять скловолокна (Dorey, 1988). Фізична форма волокон є важливим фактором, що впливає на властивості нового матеріалу. Підкріплення в основному бувають трьох різних форм: молекулярні, переривчасті та безперервні. Хоча частинки зазвичай мають сферичну форму, вони мають приблизно однаковий розмір у всіх напрямках. Уривчасті волокна (рубані, подрібнені або бахромчасті волокна) можуть бути від кількох міліметрів до кількох сантиметрів. Діаметр більшості волокон не перевищує кількох мікрометрів. Таким чином, немає

необхідності в дуже великій довжині перетворення волокна з форми частинок у форму волокна.

Безперервні волокна використовуються як мотузки без розрізу в деяких методах, таких як обмотка дротом. Найбільш високі механічні властивості волокон проявляються за їх довжиною, а не шириною. Ці властивості призводять до того, що композиційні матеріали виявляють свої надмірні анізотропні властивості, які не спостерігаються у металах. Таким чином, дуже важливо враховувати розташування волокон у каніфолі та їх геометрію на етапі проектування лопаток турбіни.

Існуюча властивість анізотропії матеріалу забезпечує виграш при використанні у зручному місці виробу на етапі проектування. У деяких випадках для армування матеріалу як тканина використовуються резистивні волокна, що забезпечують однакову міцність у всіх напрямках. Текстильні волокнисті тканини з безперервних волокон бувають різних типів, призначених для різних цілей.

Хоча скловолокно є найчастіше використовуваним армуючим матеріалом, чисте вуглецеве волокно нині широко використовують у складних композитних матеріалах (Mallik, 1990). Хоча вуглецеве волокно міцніше і легше за скловолокно, його виробництво обходиться дорожче. Борне волокно міцніше і дорожче, ніж вуглецеве волокно. Полімери використовуються не тільки як матричні волокна, але і для виготовлення волокон для композиційних матеріалів. Арамід є полімерним волокном, що надає композитному матеріалу набагато більш високу міцність і жорсткість. Арамід використовується у виробах, де легка та конфіденційна конструкція призначена для композиційних матеріалів.

Скловолокно виготовляється зі скляних матеріалів, таких як силікат, колеманіт, оксид алюмінію та сода (рис. 2.4). Скловолокно є найбільш відомим та використовуваним волокнистим композитом. Скловолокно виробляється шляхом пресування розплавленого скла із спеціально розробленої печі з

невеликими отворами на підставі. У лопатях вітряних турбін використовуються типи E-Glass та S+R Glass.

E-Glass є найбільш часто використовуваним типом скла у виробництві армованих волокон. Він має низьку вартість, ефективну ізоляцію та низький рівень водопоглинання. S+R Glass — матеріал, що має низьку вартість і високі експлуатаційні властивості. Діаметри проводів у волокні рівні половині діаметра скла E, тому кількість волокон збільшується, тому забезпечується жорсткіша якість поверхні, що відноситься до більш високої якості комбінації. Залежно від мети використання скловолокна види обгортання можуть бути різними.

Діаметр волокон та кількість волокон у масі можуть бути різними. Після формування скловолокна надання йому стійкості до деформації процес герметизації може здійснюватися хімічними засобами. Як герметизуючий матеріал зазвичай використовують полімери, розчинні у воді і легко піднімаються перед введенням волокон у композиційний матеріал. Зв'язок між волокном та смолою дуже важливий. Через відсутність якісного поділу кріплення додаткового матеріалу до матриці жорсткість та довговічність композиційного матеріалу знижуються. Щоб уникнути цього, волокно покривається хімічними речовинами.

2.2. Влив вітровогу удару на композіційний матеріал

У технології вітряних турбін, щоб уникнути непередбачених наслідків, викликаних вітром із зовнішнього середовища, очікується, що матеріал забезпечить найкомфортнішу реакцію чи реакцію. Залежно від передбачуваного використання та місця, де створюється додаток, потенційний матеріальний вплив може бути викликаний багатьма різними способами. І тут реакція на удар визначається матеріалом.

Композитні матеріали мають властивості, які можуть звести вплив до мінімального рівня. Реагувати на удар, хоча він може бути у вигляді розриву в

кінці пластичного зміни форми, композити можуть пошкоджуватися у великій кількості різних режимів, і в цих режимах ушкодження не відбувається істотної зміни розмірної цілісності. матеріалу. Зазвичай видно непомітні та дуже незначні ушкодження. Енергія удару тільки в композиційних матеріалах може бути поглинена пружною деформацією та деякими механізмами ушкодження (розрив матриці, відмежування, розрив волокна та ін.). Щодо цього термін «стійкість до пошкоджень» відноситься до кількості пошкоджень від ударів, що виникають у складній системі.

Як правило, страйки класифікуються як низькошвидкісні або високошвидкісні, але між цими категоріями немає відкритої передачі. Проведені дослідження показують, що ще немає чіткого результату визначення цієї передачі. Деякі дослідження, проведені в цій галузі, показують, що низьку швидкість удару, яку можна вважати статичною, слід оцінювати як швидкість, що змінюється від 1 до 10 мс-1 швидкості, залежно від швидкості вітру та якості матеріалу. твердість леза.

У нормальних умовах тихохідні поштовхи викликають деформації при контакті вітру та лопаті у внутрішній структурі матеріалу. У деяких випадках удар ногою на низькій швидкості також використовується як удар із низькою енергією. При низькій швидкості удару час контакту, необхідне реакції на вплив на структуру матеріалу, досить велике, у результаті еластично поглинається більше енергії.

Тому динамічна структурна реакція лопатки турбіни має вирішальне значення. Відгук на швидкий удар забезпечується хвилею напруги вздовж матеріалу, у цьому випадку матеріал не встигає відреагувати на удар та травма дуже мала. Таким чином, висока швидкість визначає обрив волокна у вигляді зламу, а низька швидкість визначає поділ між шарами та злам основи.

Ситуація навантаження, при якій композитні матеріали найбільш сприйнятливі, - це ситуація навантаження поза площиною. Тому що вони слабші у порівнянні з площиною шару у напрямку товщини. В результаті

композиційні матеріали, що зазнають удару в поперечному напрямку, сильно ушкоджуються, що призводить до зниження загальної здатності, що несе.

Композитні матеріали є відповідальними за те, що ударні навантаження дуже складні. Це також залежить від якостей, властивих кожному компоненту, у тому числі складається композитний матеріал, і структурних змін. Крім того, реакція на удар також залежить від геометрії, швидкості та маси дме вітру. Кожен їх грає значної ролі у характеристиці чистого ефекту простягання у бік ширини.

Очікується, що найближчими роками полімерні композити займуть своє місце у технології лопаток турбін. Для цього планується провести дослідження міцніших і жорсткіших волокон і вищої термостійкості, що не викликає тріщин, високої ударної в'язкості та міцної форми полімерної матриці. Понад те, з допомогою класично відомих композитів, турботехнології інтелектуальних композитів можна вважати економічним способом. Тому насамперед виникатимуть напруги в лопатках турбіни, а пов'язана з ними енергія вітру може викликати відчуття жару та удару.

За допомогою інтелектуальних композитів можна буде знизити фактор ризику, контролювати вібрації конструкції та, як наслідок, можливість отримання більших величин виграшу в енергії. Більш того, впровадженням таких матеріалів тією чи іншою мірою буде забезпечена повністю керована конструкція на лопатях вітряка за рахунок сприйняття, перетворення енергії на корисну по всій поверхні контролю кожної точки.

2.3. Композитні матеріали та сонячна енергетика

Застосування композитних матеріалів є актуальним і для сонячної енергетики, особливо для місць з вкрай суворими умовами. Учнями зі стенфордського університету були проведені дослідження щодо створення та визначення найбільш відповідного композиту для сонячних електростанцій, що знаходяться в солоній місцевості (море або океан).

З розвитком науки і техніки властивості окремих матеріалів неспроможна задовольнити потреби виробництва та у суспільному розвиткові. Стало тенденцією поєднувати речі з різними властивостями та демонструвати чудові властивості композитних матеріалів за рахунок композитного ефекту, і такі матеріали стали основним матеріалом у галузі.

Зазвичай використовувані композити є полімерними матричними композитами, армованими скловолокном, а саме пластиками, армованими скловолокном.Композитна смола, армована скловолокном, має такі переваги, як мала вага, висока міцність, опір втоми, корозійна стійкість, електрична ізоляція. При пултрузії необхідно враховувати фактори морського середовища.

Профілі використовуються у морській техніці. Композитний матеріал являє собою новий тип конструкційного матеріалу завдяки своїй легкій вазі, високій міцності, корозійній стійкості та іншим характеристикам, який має відмінні характеристики при тривалому використанні в морському середовищі. Тому композиційні матеріали більше використовуються в океанській техніці, в середині 1940-х років США вперше застосували композити в суднобудуванні, композиційні матеріали в нашій країні спочатку застосовувалися у військових цілях, а потім поступово поширилися і на громадянське життя, хоча і після швидкий розвиток, але застосування морського середовища все ще потребує подальшого розвитку.

В даний час застосування композиційних матеріалів у морському середовищі в основному використовується в суднобудуванні та виробництві допоміжних виробів, у тому числі рибальських човнів, яхт та рятувальних шлюпок. У той же час композитний матеріал, армований скловолокном, використовується як трубопровод для морської води, пожежобезпечного і водонепроникного трубопроводу при розробці морських нафтогазових родовищ.

Морське середовище складне, в основному включає морське гідрологічне середовище, повітряні погодні умови, геологічне середовище та інші фактори

навколишнього середовища, які мають безліч факторів, що впливають на матеріал. Щоб краще використовувати композитні матеріали у морському середовищі, нині необхідно вивчити еволюцію характеристик композитних матеріалів морському середовищі. Основними факторами корозії матеріалів у морському середовищі є вміст солі, температура, сонячне світло та pH. Вивчення атмосферостійкості композиційних матеріалів в основному відноситься до оцінки та оцінки атмосферостійкості композиційних матеріалів шляхом приміщення їх у відкрите природне середовище та піддання їх комплексному впливу різних факторів.

Сонячний композитний матеріал - це новий тип матеріалу, виготовлений із використанням передової технології підготовки матеріалу для оптимізації складу матеріалів із різними властивостями. Завдяки їх численним перевагам використання сонячних композитів у морському середовищі стає дедалі актуальнішим. Морське середовище надзвичайно складне, і багато традиційних металевих матеріалів, таких як вологість, висока солоність і налипання корозійно-активних речовин, є серйозною проблемою. Тому сонячні композити мають велике значення у сфері суднобудування. Використання сонячних композитів у сфері морської техніки має значення.

Однак через обмеження науки, технологій та матеріалів потрібні додаткові дослідницькі зусилля. вивчили та проаналізували властивості композитів, армованих скловолокном, стосовно сталевих конструкцій. узагальнили використання композитних райзерів, композитних гнучких труб, композитних швартівних тросів, корпусів підводних човнів, гребних гвинтів та інших компонентів, а також спрогнозували основні напрямки технічного розвитку композитних матеріалів для морських бурових установок у майбутньому, матеріальні властивості та правила, зміни.

Деяку кількість рідкої смоли вінілового оцту (0,5 г) слід зважити в ємності для змішування, потім відповідно до пропорції відповідної маси (відповідно до масового співвідношення 1:100) добавки слід додати до смоли,

яка повинна ретельно перемішати скляною паличкою. Потім дати постояти для деаерації, потім у форму додати рідину для змішування, після затвердіння при температурі 100 °C протягом півтори години зразки поміщають у пакети для використання. Композит із прохолодної вінілової смоли, армованої скловолокном, був отриманий методом витяжної екструзії.

Таблиця 1.

Сировина	Клас/модель
• Вінілефірна смола • Скловолокно • Пероксид трет-бутилбензоату (TBPB) • Біс (4-трет-бутилциклогексил) • пероксид вуглецю • Триоксид сурми • Декабромдіфеніловий ефір • Фторполіуретанова напівглянцева емаль • Безводний етанол • Сірчана кислота • Соляна кислота • Гідроксид натрію • хлорид натрію • Ацетон • Кислотний ефір (P16)	• Atlac430 • 4800Tex • Промисловий клас • Промисловий клас • Senior pure • Senior pure • TS96-61 • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Analysis of pure • Промисловий клас

Смола, ініціатор та антипірен змішувалися у ваговому співвідношенні 100:1,3 ~ 1,5:15. Суміш поступово перемішують і вводять у бак для замочування. Враховуючи необхідність захисту поверхні композиційного

матеріалу при практичному застосуванні після обробки зразка, поверхня зразка була покрита напівматовою емаллю на основі фторполімерного оцту, яка може запобігти корозії цвілі, соляного туману і вологи, а також різні кольори на вибір.

Таблиця 2. Експериментальне обладнання.

Назва приладу	Модель
• Лінія з виробництва композитної пултрузії • Електрична піч для струменевого сушіння • Інфрачервоний спектрометр • Differential scanning calorimeter • Диференціальний скануючий калориметр • Термогравіметричний аналізатор • оптичний мікроскоп ZEISS • Універсальна машина для випробування матеріалів • Електронний баланс • Прутковий твердомір • Камера для випробувань на корозію у сольовому тумані • Камера для випробування на старіння лампи • Термостатична водяна лазня	• LJ-1020 • 101-2A • Spectrum 100 • Pyris6 • TGA Q50 • 200MAT • CMT5504 • FA2004A • HBa-1 • LY W-015 • - • DK-600

Швидкість пултрузії вінілових композитних профілів зазвичай становить 0,1 м/хв, вона становить 0,2 м/хв, швидкість пултрузії, коли ефективність

виробництва вища, але швидкість пултрузії надто висока, продукт легко виготовляється з форми. не повністю затверджений, у цьому дослідженні використовувалася швидкість пултрузії 0,1 м/хв, тягове зусилля 50 вузлів і три діапазони температур: 100–110 °C, 120–130 °C, 130–140 °C, щоб забезпечити якість продукту С реальному виробничому процесі лише шляхом регулювання температури трьох зон відповідно до умов процесу можна отримати композитний матеріал з чудовими властивостями профілю екструзії. Був підготовлений пултрузійний профіль, а потім матеріал був нарізаний до необхідного розміру відповідно до сонячної панелі.

Випробування на механічні характеристики Випробування на розтяг проводили відповідно до GB/T 3354-1999 "Методи випробування на розтяг пластмас, армованих орієнтованим волокном". Розмір зразка для випробування профілю зі склопластику на розтяг становив 230 мм × 15 мм × 2 мм, випробування проводилися на універсальній випробувальній машині.

Оскільки матеріал у затиснутому положенні легко ламається в процесі розтягування, армуючі листи з алюмінієвого сплаву повинні бути приклеєні до обох кінців пластичного зразка, а листи, що армують, повинні мати товщину 1,5 мм. Клей, що використовується для склеювання армуючих панелей, є сумішшю смоли 618 і поліфталеїну, щоб гарантувати, що армуючі панелі не відваляться під час випробування. Міцність на розтягнення випробовували за кімнатної температури зі швидкістю навантаження 2 мм/хв (рис. 1).

Випробування на міцність при згині проводили на тій самій універсальній випробувальній машині. Розмір зразка згину становив 100 х 15 мм х 4 мм, і для випробувань використовувався режим триточкового згину. Радіус навантажувальної головки становив R=5 мм×0,2 мм, радіус закруглення підшипника становив R=2 мм×0,2 мм, швидкість навантаження становила 2 мм/хв. Експериментальні результати показують, що його властивості на розтяг та вигин хороші та його нелегко пошкодити.

Відповідно до положень стандарту GB/T 10125-2012 «Випробування в соляному тумані на корозію в штучній атмосфері» випробування на стійкість профілю зі склопластику до корозії в нейтральному соляному тумані проводилося у випробувальній камері в нейтральному соляному тумані. Див. рисунок 3 для тестової коробки. У тесті на вплив нейтрального сольового туману композити FRP були поділені на дві групи. Одна група була покрита фторополіуретановою напівглянсовою емаллю, а інша група не оброблялася.

Дві групи були оброблені відповідно до розміру зразка на розтягування та розміру зразка на вигин та протестовані у випробувальній камері з нейтральним сольовим туманом. Випробування в нейтральному сольовому тумані протягом 1000 годин було розділено на 7 частин за часом залежно від спостереження за відбором проб, час відбору проб становило 24 години, 48 годин, 72 години, 168 годин, 336 годин, 672 години та 100 годин початку випробування, взяття 3 зразки для перевірки працездатності в кожному віці, включаючи оцінку зовнішнього вигляду, випробування на вагу, випробування на міцність при розтягуванні, випробування на міцність на вигин та розрахунок збереження міцності.

Відповідно до положень GB/T 10125-2012 «Випробування на корозію в сольовому тумані в штучній атмосфері» випробування профілю зі скловолокна на корозійну стійкість у нейтральному сольовому тумані було проведено в камері для випробувань у тумані з нейтральним сольовим розчином. Див. рисунок 3 для тестової коробки. У тесті на вплив нейтрального сольового туману композити FRP були поділені на дві групи. Одна група була покрита напівглянцевою фторополіуретановою емаллю, а інша група не оброблялася. Дві групи були розроблені на основі розміру зразка на розтяг та розміру зразка на вигин та випробувані в камері для випробувань у нейтральному сольовому тумані.

Після випробувань, щоб посадити зразок в клей і зменшити корозію, перед очищенням зразок висушується в приміщенні протягом 0,5ч~1ч, а потім

поверхня обережно очищається проточною водою при температурі нижче за температуру 40° С для видалення солі з поверхні зразка, потім при тиску повітря у зразку близько 300 мм менше 200 кПа зразки слід негайно висушити феном. Результати експериментів показують, що цей тип матеріалу має високу корозійну стійкість і відповідає умовам вибору матеріалів для корабельного інженерного обладнання.

Екструдований композитний профіль був встановлений на фотоелектричні панелі серії YGE 145 як каркас і застосований у морському середовищі. Випробування проводилися на Морській випробувальній станції Санья в Китаї. Розмір сонячної панелі становить 1470 мм × 680 мм × 25 мм, а композитний каркас виконаний відповідно до розмірів сонячної панелі. Випробування проводилося у трьох областях:

(1) випробувальний майданчик крила, який може імітувати хвилі на борту;

(2) випробувальний стенд на морській платформі, який може імітувати навігаційне середовище суден;

(3) Навчальний полігон з атмосферної інсоляції, що є морською та прибережною зоною, імітує умови швартування корабля. У кожній тестовій зоні було встановлено 10 композитних елементів рами та 10 елементів рами з алюмінієвого сплаву.

У ході випробувань умови тестового середовища та робочий стан сонячних фотомодулів відстежувалися у режимі реального часу. Період випробувань у морському середовищі 9 місяців, відбір проб у різні моменти часу, випробування за випробуванням продуктивності сонячних фотоелектричних компонентів та механічних властивостей композитної структури у трьох випробувальних зонах після морського середовища, фотоелектричних компонентів та меж можна оцінити стійкість до корозії, старіння профілактика, удар вітростійкість, водонепроникність.

Аналіз механічних властивостей. У статті описані механічні властивості композитних профілів, виготовлених методом пултрузії. Процедура була протестована відповідно до відповідних стандартів. Основні властивості композитних профілів наведено у таблиці 3.

Таблиця 3.

Кількість	Проект	Результати	Стандарт виконання	Розмір зразка мм
1.	1.Міцність на розтяг, Мпа.	1. 786	GB/T3354-2014	230 × 15 × 2.3
2.	2. Модуль розтягування, ДПА.	2. 53.6	GB/T 1448-2005	12 × 10 × 4
3.	3. Міцність на стиск Мпа.	3. 312		100 ×15 × 2.3
4.	4. Модуль стиснення ДПА.	4. 11.6	GB/T3356-2014	120 × 10 × 4
5.	5. Міцність на вигин МПа.	5. 1.01×10^3	GB/T 1451-2005	
6.	6. Модуль вигину ДПА.	6. 40.2	GB/T 1463-2005	50 × 10 × 2.3
7.	7. Ударна в'язкість кДж/м2.	7. 442		
8.	8. Щільність кг/м3.	8. 2.03×10^3		

На рис. 4 представлена крива зміни швидкості приросту маси композитного профілю після випробування у сольовому тумані. З малюнка видно, що якість двох зразків поступово підвищувалося від початку до 336 год.

З 336 год до 1000 год швидкість приросту маси зразків поступово знижувалася, що було повільніше, ніж рання тенденція. Оскільки зі збільшенням часу корозії у сольовому тумані поглинання молекул води у зразках поступово досягало насичення, а швидкість збільшення маси двох зразків становила від 0,12 до 0,14%.

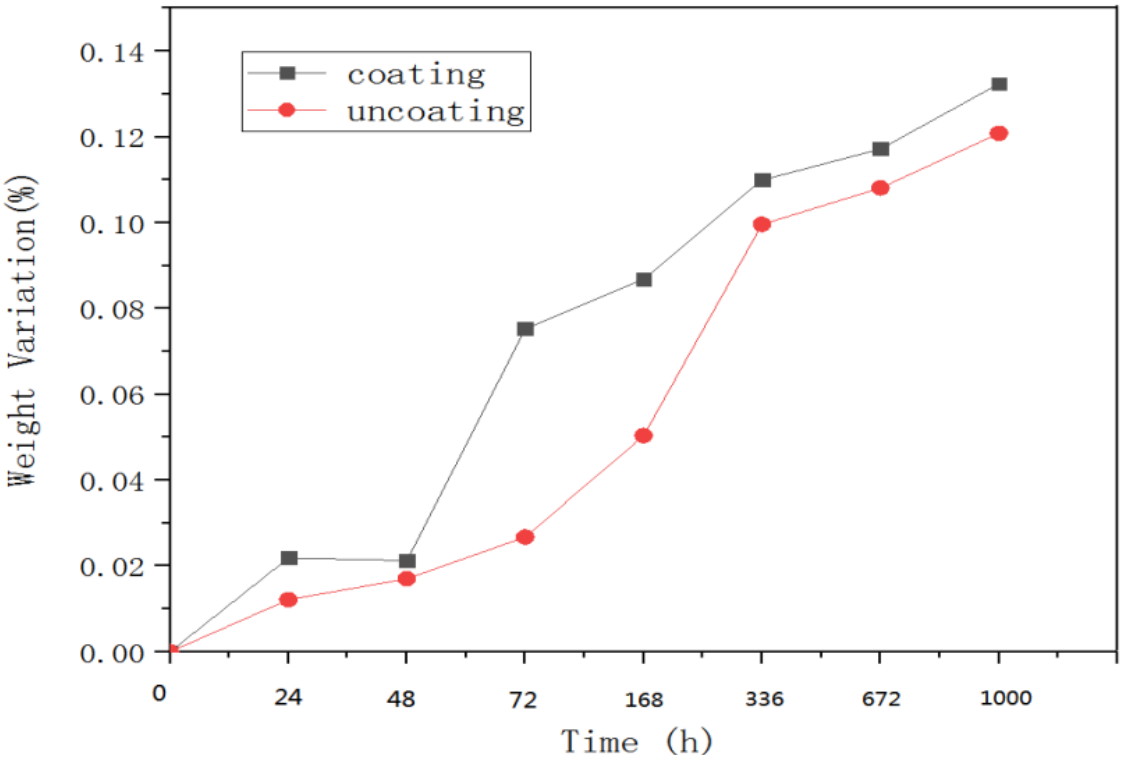


Рис.2.5. Зміна якості композитного профілю після випробування в сольовому тумані

Причини збільшення маси композиційних матеріалів при випробуваннях у сольовому тумані такі. По-перше, молекули води в середовищі сольового туману проникають у зразок через поверхню або ділянки смоли та волокна; Інша причина полягає у тому, що до зразка прилипає соляний туман (Баран, 2017). Максимальна напруга, яка витримує матеріал до розриву при розтягуванні, є межею міцності матеріалу при розтягуванні, випробування на корозію в соляному тумані до і після зміни значень межі міцності при розтягуванні зразків, що представляють композиційний матеріал, розрахунок корозійної стійкості при випробуванні в соляному тумані після збереження міцності на розрив швидкість, випробування в нейтральному сольовому тумані

після поверхневого напилення напівфабрикату емалі з фторполіаміновим оцтом, результати випробувань на розтяг композиційного матеріалу наведені в таблиці 4.

Таблиця 4. Міцність на розтяг композитних профілів з фторополіуретанової напівматової емалі після випробування в сольовому тумані

Час випробування сольовим туманом (t)	Міцність на розтягування (МПа)	Модуль пружності (ГПА)	Коефіцієнт міцності (%)
0	788.14	53.37	100
168	659.73	49.19	83.71
336	678.75	47.08	86.12
672	711.805	45.31	90.31
1000	678.76	49.18	86.12

У таблиці 5 показано випробування в сольовому тумані протягом 1000 годин обробки поверхні властивостей композиту при розтягуванні. Характеристики на вигин показують високе збереження міцності на вигин у кожний момент часу, практично без втрати міцності на вигин, після 1000 годин зразків корозії в нейтральному сольовому тумані міцність на розтяг композитного матеріалу та швидкість збереження міцності на вигин були вищими, що вказує на те, що Композитний матеріал у корозійностійкому середовищі нейтрального соляного туману може експлуатуватися тривалий час і зберігати хороші властивості на розтяг та вигин.

Таблиця 5. Властивості вигину необроблених композитних профілів після випробування у сольовому тумані.

Час випробування сольовим туманом (t)	Міцність на розтягування (МПа)	Модуль пружності (ГПА)	Коефіцієнт міцності (%)
0	1378.68	45.03	100
168	1321.12	40.70	95.82
336	1309.05	41.77	94.94
672	1326.18	45.69	95.94
1000	1327.20	41.79	96.26

Аналіз впливу морського середовища на механічні властивості та фотоелектричні властивості. Компоненти сонячної енергії використовуються в морському середовищі, відповідно, в атмосферних випробуваннях, випробувальній зоні морської платформи та експериментальній зоні заплеску (рис. 5), експериментальній платформі та набір рам. , вивчення механічних властивостей композитної рами, а також порівняння та аналіз впливу композитної рами з рамою з алюмінієвого сплаву на фотоелектричну продуктивність клітини



Рис. 2.6. Сонячна електростанція на якій проводилися випробування.

У таблиці 6 представлені результати випробувань на вигин каркасу сонячного модуля з композиційних матеріалів морського середовища. Після періоду випробувань на трьох тестових майданчиках Санье міцність композиту на вигин і швидкість збереження міцності в обсязі збільшилися. Час морських випробувань, оскільки морські випробування були тривалішими, спостерігалися вищі значення міцності на вигин.

Це пов'язано з тим, що в процесі морських випробувань межа сонячної складової композитного матеріалу в основному піддавалася впливу сонячного світла та середовища сольового туману, ультрафіолетові промені містяться в сонячному світлі, ультрафіолетове опромінення може викликати пост-затвердіння композиту. структура матеріалу і викликають старіння. матеріал. За результатами випробувань при випробуваннях у морському середовищі швидкість дотвердження композиційного матеріалу вище, ніж швидкість руйнування під дією ультрафіолету, що проявляється у підвищенні міцності на вигин.

Таблиця 6. Характеристики вигину рами компонента після випробувань на вплив морських умов

Зона випробувань	Період випробувань	Міцність на вигин (МПа)	Збереження міцності (%)
Майданчик для випробувань бризковика	Початкове значення Три місяці П'ять місяців	1013 1076 1200.6	100 106 118
Зона випробувань морської платформи	Початкове значення Шість місяців Дев'ять місяців	1013 1092.4 1396.25	100 108 137
Зона випробувань на атмосферний вплив	Початкове значення Шість місяців Дев'ять місяців	1013 1074.2 1329.8	100 106 131

У Таблиці 7 показано властивості розтягування зібраної рами сонячного модуля після випробувань вплив води. За результатами експериментів можна сказати, що міцність композитного каркаса на розтяг неоднакова на різних ділянках.

Таблиця 7. Міцність на розтяг складової рами після морських кліматичних випробувань

Зона испытаний	Период испытаний	Прочность на изгиб (МПа)	Сохранение прочности (%)
Площадка для испытаний брызговика	Начальное значение Три месяца Пять месяцев	690 673 661	100 97.5 95.8
Зона испытаний морской платформы	Начальное значение Шесть месяцев Девять месяцев	690 668 756	100 96.8 109.6

Зона испытаний на атмосферное воздействие	Начальное значение Шесть месяцев	690 716 716	100 103.8 103.8

Деякі інвертори записують зміну компонентів кривої потужності, компонент збільшується, коли сонце починає працювати, потужність збільшується, досягає максимуму опівдні, коли час знову збільшується після вимкнення живлення, повторіть цей процес. щодня, а комплект комплектуючих (20 шт.) на випадок сонячної погоди щодня потужністю до 18,5 кВт/год.

У таблиці 8 показані номінальні потужності компонентів сонячного фотоелектричного модуля через 9 місяців після випробувань у морському середовищі. Відповідно до відповідних нормативних вимог, після випробувань сонячного модуля в морських умовах максимальне ослаблення потужності не перевищує 5% від експериментальних вимірювань до та після випробувального компонента, ослаблення потужності завжди менше 5%, компонент може працювати нормально і не має видимих дефектів, показує, що композитний матеріал може бути використаний як каркас сонячного модуля, що застосовується в морському середовищі.

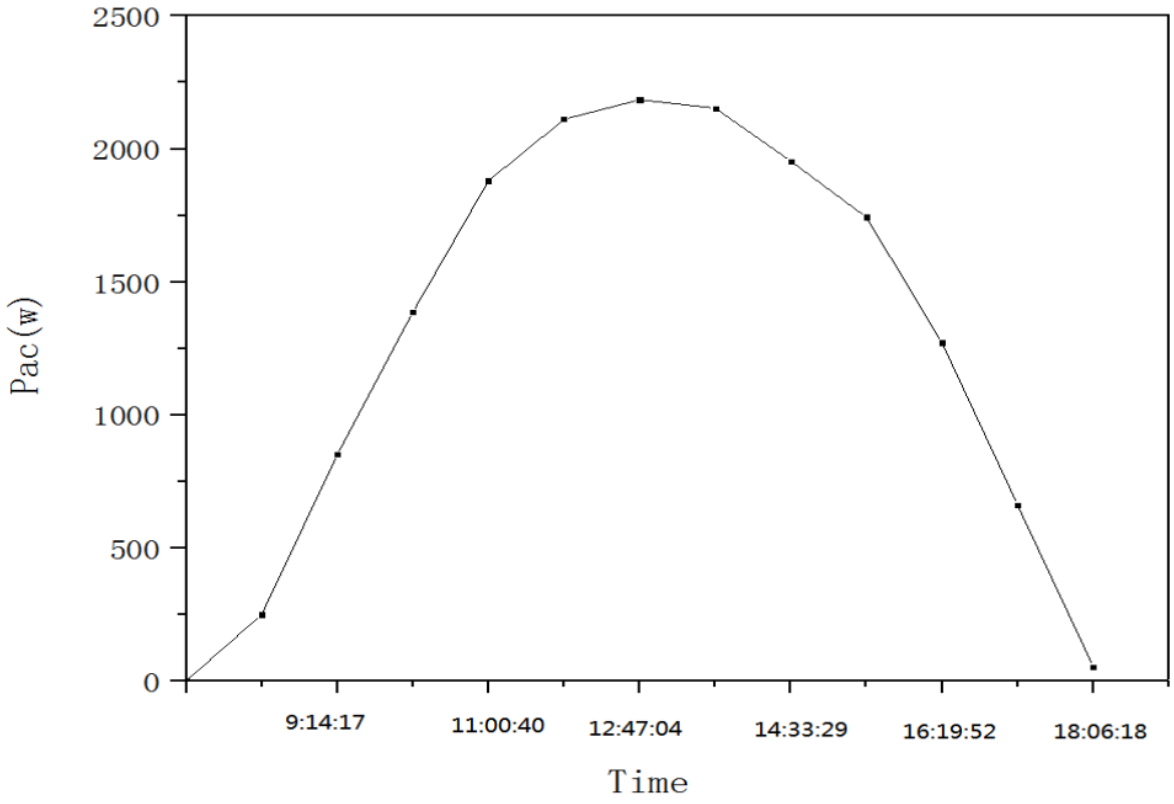


Рис.2.7. Крива демонструє зміну потужності з часом

Таблиця 8. Енергетичні параметри компонентів через 9 місяців після морських кліматичних випробувань

Зона випробувань	Класифікація компонентів	максимальна потужність перед випробуванням (w)	максимальна потужність після тесту (w)	Коефіцієнт згасання (%)
Морська платформа	Композитний каркас	148.529	142.892	4.02
Зона випробувань	Рама з алюмінієвого сплаву	147.551	141.352	4.34
Атмосферне вплив	Композитний каркас	147.840	141.615	4.25
Зона випробувань	Рама з алюмінієвого сплаву	148.276	141.966	4.08

Судячи з результатів випробувань на розтяг, після випробувань у сольовому тумані міцність композитів на розтяг знижувалася, але зі збільшенням часу корозія в сольовому тумані не викликала швидше зниження міцності, а відбувалися коливання в певному діапазоні. Причина в тому, що ранні випробування композитних профілів в умовах соляного туману: водопоглинання, кількість вологопоглинання є важливими факторами, що впливають на механічні властивості композитних матеріалів, композитні матеріали поглинають вологу, що полегшує відпадання волокна від підкладки, викликаючи внутрішні просвіти. що призводить до втрати експлуатаційних властивостей композиційних матеріалів.

У міру збільшення часу кількість вологи, що поглинається, стає насиченим. Механічні властивості композиційного матеріалу знижувалися повільно. Після 1000 годин корозії в нейтральному сольовому тумані ступінь збереження межі міцності композитного профілю становить 86,12 % за високого ступеня збереження межі міцності. Міцність на розтяг композитної рами сонячної панелі в зоні випробувань на бризковиках трохи знизилася після періоду випробувань в океані, але ступінь зниження не була очевидною. Міцність на розтяг композитної рами сонячної панелі у випробувальній зоні морської платформи спочатку зменшувалася, але збільшувалася зі збільшенням часу випробувань. Міцність на розтяг композитної рами сонячного модуля в зоні випробувань на атмосферостійкість збільшувалася зі збільшенням часу випробувань. Так само ультрафіолетове випромінювання сонця може викликати пост-затвердіння композитного каркаса під час тестування.

Коли ступінь затвердіння більший за ступінь корозії, межа міцності матеріалу збільшується, що приблизно збігається з тенденцією міцності на вигин. Коли сонячний фотоелектричний модуль використовується в морському середовищі, на поверхні модуля легко накопичується більше солі через велику кількість соляного туману в морському середовищі. Коли накопичені тверді

частинки змішуються з дощовою водою, морською водою або іншими рідкими речовинами, а потім протягом тривалого часу опромінюються сонячним світлом, вони утворюють сильну пляму, яка нелегко відпасти. Якби ця точка просто перекривала послідовну гілку модуля, то заблокована частина не могла б досягти фотогальванічного ефекту і ставала б навантаженням, що споживає струм, утворюючи «гарячу точку».

Коли температура цієї частини підвищується до певної міри, це може призвести до пошкодження всієї батареї. Наявність хотспоту призведе до послаблення максимальної потужності модуля, і що менший розмір хотспота, то сильніший ефект хотспота, що більше хотспотов, то більше вщухання модуля з'явиться. Після випробувань у морському середовищі максимальну потужність сонячного модуля було знижено.

Після дев'яти місяців випробувань максимальне ослаблення потужності сонячного модуля не перевищує 5%. Модуль може нормально працювати, що показує, що модуль із композитною рамою можна використовувати в морському середовищі. На цій основі мають бути створені професійні дослідницькі структури для дослідження різних матеріалів, щоб забезпечити потужну фінансову та технічну підтримку матеріальних інновацій. Результати випробувань механічних властивостей композитних профілів показують, що композитна ізоляція має переваги легкої ваги та високої міцності. Корозійну стійкість композиту оцінювали за допомогою випробування на корозійну стійкість у нейтральному сольовому тумані.

Можна бачити, що в міру збільшення часу випробування якість зразка покращувалося через гігроскопічність зразка, а його коефіцієнт збереження міцності на розтяг і міцності на вигин був вищим, що вказує на те, що композитний матеріал краще працював у сольовому середовищі. Після випробувань у морському середовищі були перевірені властивості композитної рами на вигин та розтяг. Результати випробувань показали, що міцність композитного профілю на вигин збільшувалася зі збільшенням часу

випробувань, а швидкість збереження його міцності на розтяг була вище, що вказує на те, що композит підходить для морського середовища. Після випробувань у морському середовищі було перевірено електричні характеристики сонячного модуля. Результати випробувань показали, що максимальна потужність сонячного модуля зменшилася після випробування в морському середовищі, через дев'ять місяців після випробування максимальне ослаблення потужності становить менше 5%, компонент може нормально працювати, оснащений компонентом з композитного каркасу, може бути використаний у морському середовищі.

У цей час велика увага приділяється вивченню евтектичних сплавів як перспективних високоміцних матеріалів, так і деяких неконструкційних матеріалів із особливими фізичними властивостями.

сьогодні бікристалічна модель подвійної евтектики недостатньо відома і поширена. У зв'язку з цим проблема морфологічного аналізу евтектик, результати якого потрібно оцінювати з урахуванням мікроскопічної картини формування евтектики і молекулярно-кінетичних закономірностей цього процесу, продовжує залишатися одним з головних об'єктів дискусій у сучасній теорії сплавів.

При твердінні подвійних металевих розплавів евтектичного складу звичайно виникають тонко диференційовані структури, рідше при дотриманні особливих температурно-концентраційних умов кристалізації утворяться грубо – або тонкозернисті фазові суміші. Згідно з теорією А. А. Бочвара, перші потрібно назвати власне евтектичними, другі – конгломератними структурами.

Розділ 3. Евтектичні сплави та їх використання

3.1. Евтектичні сплави та метали

Евтектичні метали мають чітко визначену температуру плавлення. З іншого боку, інші співвідношення змішування з тими ж компонентами мають діапазон плавлення або затвердіння, в якому, крім розплаву, є тверда фаза. Більш того, їхня температура плавлення найнижча з усіх сумішей тих же інгредієнтів.

Завдяки тому, що всі компоненти твердне одночасно і при набагато нижчій температурі, ніж це було б у разі чистих компонентів, утворюється тонка однорідна структура, яка зазвичай має характерну пластинчасту структуру. Причиною цього є низька кінетична енергія атомів при цій температурі, яка дозволяє утворюватися лише на коротких відстанях і, отже, лише дуже маленьким кристалам (також званим кристаллітами).

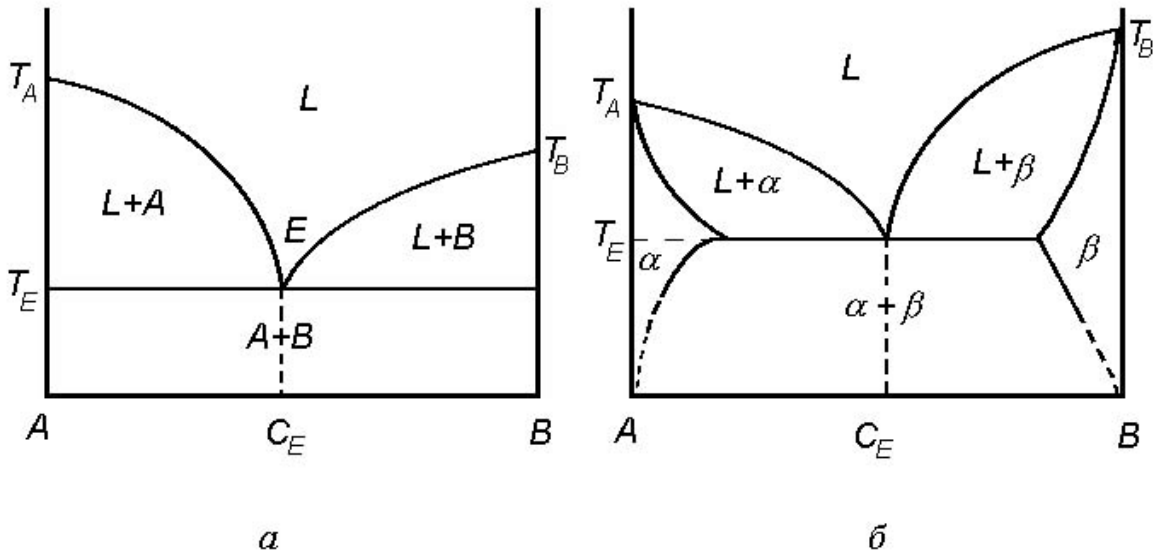


Рис.3.1. Діаграма стану (фазова діаграма) евтектичної системи

Евтектика - це фазова рівновага, що характеризується тим, що умови довкілля (ступеня свободи) можуть вільно вибиратися тільки в дуже невеликому діапазоні. Найбільш поширеним уявленням евтектики є фазова

діаграма тільки з двома ступенями свободи, тобто з температурою та концентрацією компонентів, що беруть участь.

У евтектичній точці (де сходяться лінії солідуса і ліквідусу) три фази системи знаходяться в рівновазі (в даному прикладі розплав, A і B), це явище називається евтектикою. Є й інші прояви зі схожими назвами, наприклад. Б. оскільки всі залучені фази знаходяться у твердому агрегатному стані, його називають евтектоїдним. Основний принцип не змінюється.

Технічно поширеною евтектикою є ледебуріт системи Fe-C (4,3% C/1147 °C), що використовується для лиття сірого чавуну. Технічно поширеним евтектоїдом є перліт системи Fe-C (0,80 %/723 °C). Оскільки температура плавлення евтектичного сплаву набагато нижча, ніж чистих металів, такі сплави переважні для використання в пайці.

Перевага цього полягає в тому, що необхідно вводити мало тепла, і при виборі припою можна використовувати співвідношення матеріалів між припоєм і з'єднувачем. Крім того, знижена температура плавлення використовується для сплавів, в яких температури плавлення двох компонентів сильно різняться. Така ситуація, наприклад, з алюмінієм (температура плавлення 660°C) і вольфрамом (температура плавлення 3422°C). Якби хтось спробував зробити алюмінієво-вольфрамовий сплав безпосередньо, просто «кинувши» два інгредієнти разом і нагріваючи їх, алюміній випарувався б раніше, ніж розплавився б вольфрам.

Однак, якщо лігатура спочатку виготовлена з вольфраму та металу з високою температурою плавлення, виробництво можливе. Завдяки попередній обробці чисті метали не утворюються. Прикладами евтектик є Sn-Pb («припій»), тобто. В складу 62/38, система Ag-Cu (сплав срібла та міді) складу 72/28, метал Розе, метал Вуда, деякі кварцові порфіри. або розчин 30,9 г кухонної солі у 100 г води (кріогідрат).

Ці сплави, які добре плавляться, використовуються в спринклерних системах, як припої або в забавних продуктах. Евтектичний сплав, відомий як галінстан, що складається з 68-69% галію, 21-22% індія та 9,5-10,5% олова, має особливо низьку температуру плавлення.

3.2 Евтектична кристалізація

Звернемося до (рис. 1.1, б), при температурі нижче евтектичної T_E вільна енергія двофазної твердої суміші нижча, ніж вільна енергія рідини. У результаті виникають необхідні термодинамічні умови для зародження та росту обох твердих фаз. Для початку евтектичної кристалізації необхідний контакт кристалів обох фаз. Евтектична кристалізація, під час якої утворюються токно диференційована подвійна евтектика, здійснюється шляхом зародження і росту евтектичного зерна ($\alpha + \beta$). Евтектичне зерно є двофазним ($\alpha + \beta$) бікристалом зі складною системою переміжних фазових розгалужень. Зародження зерна ініціює лише одна із фаз (α або β) яка відрізняється складнішою кристалохімічною природою, більш високим значенням критерію Джексона, менш щільною упаковкою, анізотропією будови та властивостей. Процес зародження розпочинається при появі другої фази евтектики на поверхні базового кристала. У металевих системах цьому сприяє підкладковий вплив базової фази, в органічних сплавах зародження зерна відбувається при зіткненні різнойменних кристалів, що роздільно ростуть.

В (табл. 1.1) наведені дані, за допомогою яких визначають зв'язок зародкоутворення із ентропією плавлення $\Delta S_{пл}$: високоентропійний метал або сполука може бути зароджуючою фазою по відношенню до низькоентропійного металу. При цьому речовина із огранованим (атомно-гладким) фронтом кристалізації впливає на речовини із розмитим фронтом як зароджуюча фаза, але не навпаки. Цей результат має просте пояснення (рис. 1.3).

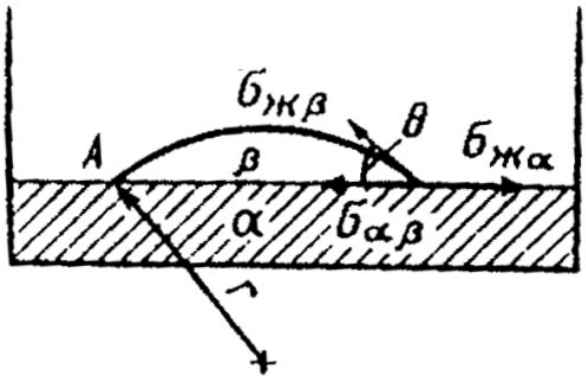


Рисунок 1.3 – Змочування і поверхневе натягнення: θ – кут змочування між підкладкою α і кристалом β у присутності розплаву *ж* ($\cos\theta\,\sigma_{ж\beta} + \sigma_{\alpha\beta} = \sigma_{ж\alpha}$);

σ – поверхневе натягнення

Щоб зародження β фази відбувалося переважно на α фазі, енергія утворення поверхні розділу (на одиницю їх площі) повинна бути менша ніж межі, що були раніше. Якщо звернемося до росту β кристала на α кристалі за наявності контакту їх обох із евтектичним розплавом *ж*, то повинна виконуватися умова: $\sigma_{\alpha\beta} + \sigma_{\beta ж} \le \sigma_{\alpha ж}$. При цьому α фаза є зароджуючою по відношенню до β фази. Інакше справедливе співвідношення $\sigma_{\beta\alpha} + \sigma_{\alpha ж} \le \sigma_{\beta ж}$

Таблиця 0 – Переохолодження (ΔТ), необхідне для гетерогенного зародження евтектичної α-фази в присутності β-фази

Система α-β	$\Delta T_{\max}$ при кристалізації α-	$T_E - T^{\alpha}_{зародж}$, К	$T^{\alpha}_{Л} - T^{\alpha}_{зародж}$, К
Pb-Sn	73	0,25±0,25	0,25±0,25
Sn-Pb	52	>40,0	>55,0

Pb-Ag	24	l,5±0,25	1,0±0,25
Ag-Pb	-	>31,0	>108,0
Pb-Sb	25	6,0^±1	10,0±2,0
Sb-Pb	48	>21,0	>44,0
Pb-AuPb₂	30	2,5±0,5	5,5±1,0
AuPb₂-Pb	40	>54,0	>81,0
Bi-Au₂Bi	60	>50,0	>57,0
Au₂Bi-Bi	60	3,0±1,0	19,0±6,0
Bi-Ag	55	>59,0	>66,0
Ag-Bi	50	4,5±1,0	28,0±7,0
Bi-Zn	50	>63,0	>65,0
Zn-Bi	-	0,25±0,25	0,25±0,25
Bi-Sn	35	>17,5	>31,0
Sn-Bi	20	6,0±1,0	10,0±2,0
Sn-Zn	23	3,5±0,5	4,5±0,5
Zn-Sn	9	>5,0	>15,0
Ag-Cu	70	29,0±1,0	53,0±5,0
Cu-Ag	55	>53,0	>108,0
Ag-Gc	60	16,0±1,0	31,0±2,0
Gc-Ag	30	>17,0	>35,0
Au-AuSb₂	-	2,0±0,5	3,0±0,75

$AuSb_2$-Au	-	>33,0	>93,0
Pb_2Bi-Bi	45	4,5±1,0	8,5±3,0
Bi-Pb_2Bi	30	>30,0	>44,0
Tl-Au	13	2,5±l,0	2,5±1,0
Au-Tl	-	>15,0	>60,0
Ti-Au	11	>9,0	>12,0
An-Ti	-	>7,0	>31,0
Tl-Sn	10	>0,25±0,25	0,25±0,25
Sn-Tl	40	>34,0	>53,0
Ag_3Sn-Sn	-	>10,0	>50,0
Sn-Ag_3Sn	35	>37,5	>42,0
Ag_3Sb-Sb	-	>34,0	>130,0
Sb-Ag_3Sb	30	>48,0	>62,0

Оскільки $\sigma_{\alpha ж} > 0$ і $\sigma_{\alpha\chi} = \sigma_{\beta\alpha}$, ці нерівності не можуть виконуватися, тобто можливості зародження у компонентів неоднакові. Звідси витікає, що зароджуюча здатність фази обумовлена високим значенням поверхневого натягнення між зародком і кристалом, що росте, або кристалом, що росте та розплавом.

При затвердінні сплавів у подвійних системах евтектичного типу можлива двомірна кристалізація, тобто одночасне утворення двох твердих фаз (α і β). У

потрійних сплавах можуть виділятися одночасно три кристалічні фази – трифазна кристалізація. Така кристалізація називається евтектичною.

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 $Ж \rightarrow \alpha + \beta$.

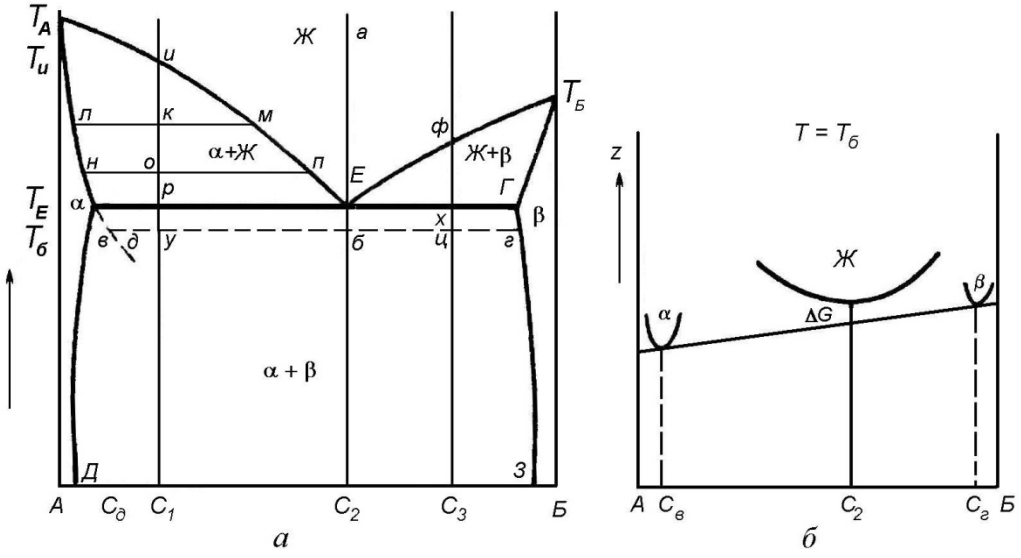


Рис. 3.2. – Діаграма стану евтектичного типу *(а)* і термодинамічні потенціали розчинів при $T=T_б$ *(б)*

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.

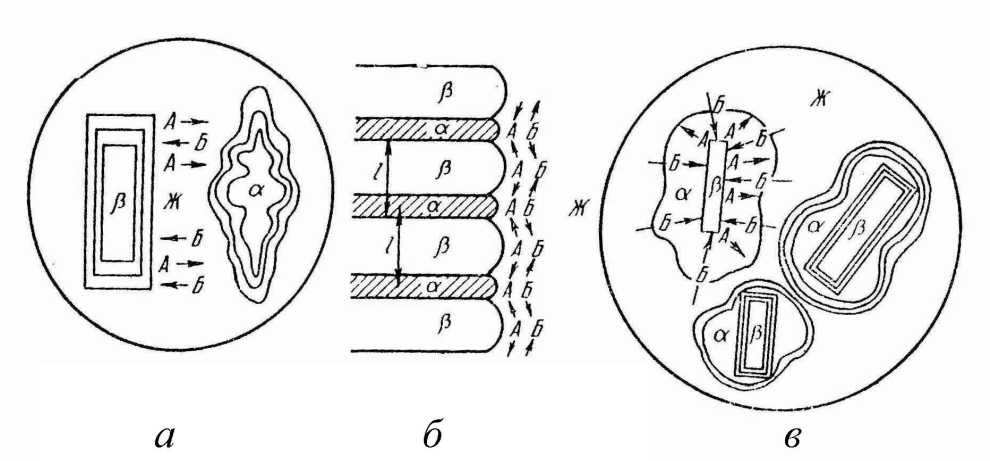


Рисунок 3.3. – Дифузійні потоки при формуванні структури грубого конгломерату (*а*), евтектичні колонії (*б*) та при абнормальній евтектичній кристалізації (*в*)

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.

Розглянута картина характерна для *нормальної* евтектичної кристалізації, ознакою якої є прямий контакт обох твердих фаз, що кристалізуються, та їх одночасне зростання в рідину. Оскільки склад рідини попереду фаз сильно різниться, а відстань між фазами невелика, то в рідині встановлюється значний подовжній (вздовж фронту кристалізації) градієнт концентрації. Це призводить до виникнення *фронтальної дифузії*. Оскільки ця дифузія здійснюється на порівняно малих відстанях (~ 1 мкм), то її іноді називають *ближньою* дифузією. Таким чином, перерозподіл компонентів у рідині, необхідний для евтектичної кристалізації, здійснюється за допомогою ближньої дифузії.

На рис.(1.5), в показана евтектична кристалізація, що проходить анормальним шляхом. У цьому випадку прямий контакт із рідиною має лише одна тверда фаза, наприклад α, кристали β фази обволікаються α фазою і ростуть у ізоляції від рідини. Процес кристалізації починається із зародження і зростання однієї з твердих фаз, наприклад β. Після завершення кристалізації сплав набуває звичайну структуру рівноважних кристалів β фази, розміщених у кристалах α. У ливарних сплавах (*Fe-Si-C, Al-Si)* отримання абнормальних структур покращує механічні властивості. Абнормального ходу евтектичного перетворення в них добиваються *модифікацією. Fe-Si-C* сплави модифікують добавками магнію і церію, а *Al-Si* – добавками натрію.

В екстремальних умовах затвердіння при швидкостях охолоджування більше 10^6 К/см регулярність у будові евтектичних колоній зникає і формується неврегульована суміш евтектичних складових, що називається *тонким конгломератом фаз.* В останньому випадку через різке уповільнення дифузійних пересувань атомів компонентів та зменшення розмірів критичних зародків кристалізація здійснюється шляхом *множинного* зародження кристалів евтектичних фаз, створюючи дрібнозернисту двофазну суміш. При цьому нормальне зростання, що приводить до утворення евтектичних колоній, вироджується. Таким чином, при високошвидкісних процесах кристалізації дуже реальна фіксація структури високотемпературного стану розплаву, можлива поява метастабільних кристалічних або аморфних фаз. При цьому змінюється форма, величина і розподіл структурних складових.

Евтектичні сплави – сприятливий матеріал для отримання аморфних структур і, зокрема, металевих стекол. У багатьох аморфних сплавах на основі заліза, нікелю і кобальту температура переходу в кристалічний стан складає 900-1000 К, що робить їх придатними для короткочасного використання.

На (рис. 1.6) наведено структуру доевтектичного, евтектичного та заевтектичного сплавів, а також різні перетини евтектичних колоній.

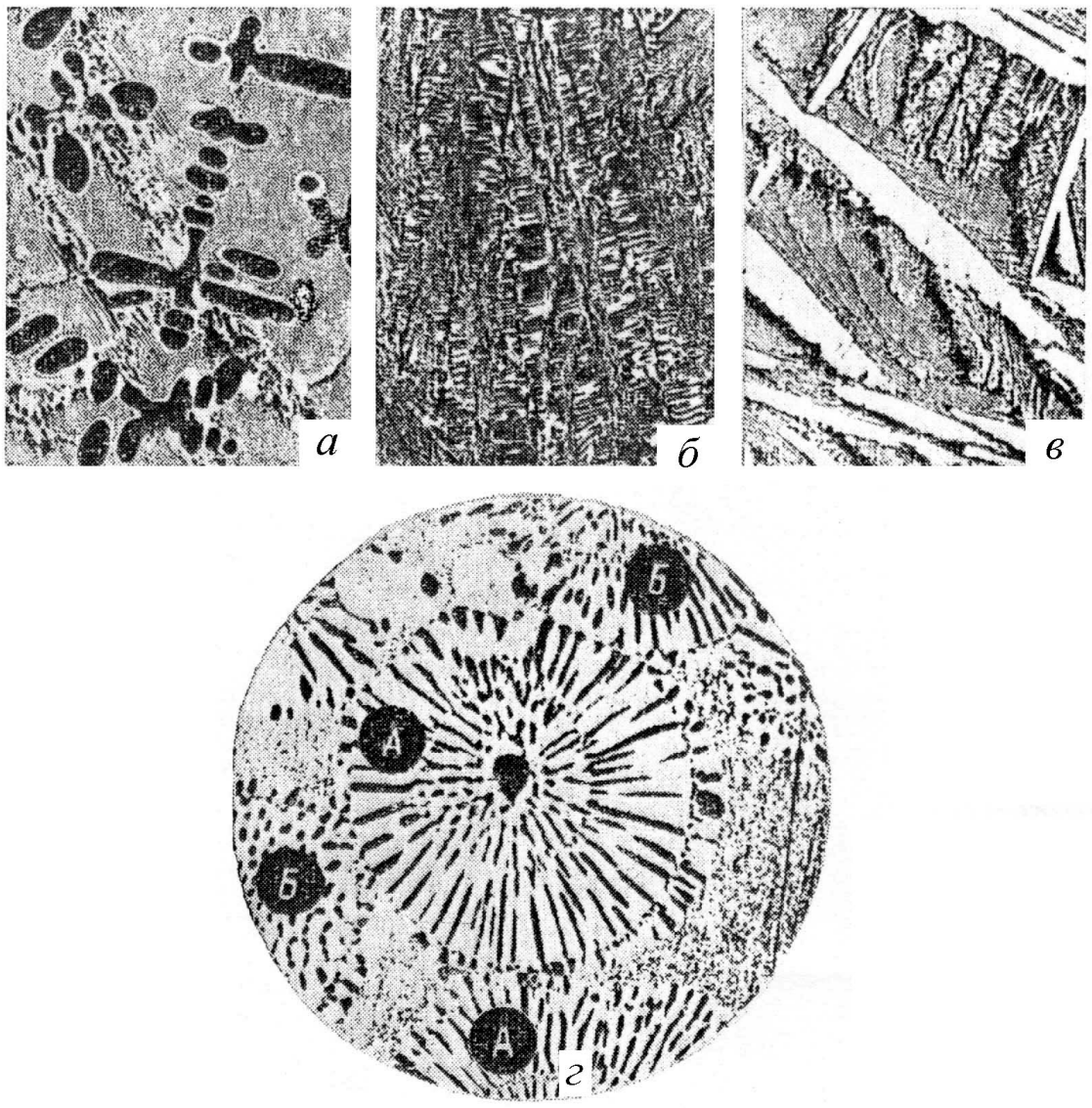


Рисунок 3.4.– Структура доевтектичного (*а)*, евтектичного *(б)* та заевтектичного *(в)* сплавів, (зб. 100), і різні перетини (*А, Б*) евтектичних колоній *(г)*, (зб. 200)

Хід евтектичного розпаду решти рідини до- або заевтектичного складів може відбуватися або з проростанням кристалів α і β фаз один в одного, створюючи двофазні колонії (див. рис. 1.6), або без проростання утворюючи структури грубого конгломерату. Евтектичні колонії – двофазні утворення, кожний із яких формується на базі одного центру евтектичної кристалізації.

Зазвичай колонія – двофазний бікристалит. У процесі росту колонії може відбуватися її розділення на комірки, при цьому всі атрибути парного росту зберігаються. У вітчизняній літературі за евтектичним зерном затвердилася назва колоній. У іноземній літературі основну структурну одиницю евтектичного сплаву іменують зерном (grains), яке може розчленовуватися на колонії (colonies), тобто комірки.

Висновки

Одним з шляхів вирішення проблеми жаростійких матеріалів в нетрадиційній атомній енергетиці є створення тугоплавких сплавів з регулярною структурою, які відрізняються високими температурами плавлення. Разом з тим, що високі температури плавлення таких сплавів, дозволяють в процесі направленої кристалізації, виявити вплив такого важливого параметра структуроутворення, впливу домішок на G структур сплавів.

Більшість робіт присвячені вивченню легкоплавких композитів. Тому завдання дипломної роботи є вивчення процесів високо градієнтної кристалізації тугоплавких композитів, чому і присвячена дипломна робота.

Отримані дані еволюції регулярних бінарних тугоплавких евтетик. Показана можливість отримання рівномірних бімонокристалічних композитів з контрольованою заданою дисперсністю. Доведено, що морфологія фаз виявляється формами росту базових карбідних кристалів. Показано що в регулярних евстетичних композитах спостерігається певна міжфазна відстань. Це забезпечує стабільність при предплавильних температурах. Вияснений взаємозв’язок бімонокристалічних структур сплавів при предплавильних температурах.

Передбачається, що подальше вивчення багатопомпозитних сплавів на основі тугоплавких металів є перспективним, дозволяє створити сучасні матеріали, які можуть витримувати високі напруги та температури і ці матеріали без сумніву знайдуть застосування в ракетно-космічній, атомній і нетрадиційній енергетиці.

Список використаної літератури:

1. Конспект лекцій В.Є. Семененко до курсів Конструкційні та функціональні матеріали Moodle ЦЕН ХНУ ім. В.М. Каразіна, 2021.
2. Перспективні конструкційні матеріали нетрадиційної та атомної енергетики. Азаренко Н.А., Семененко В.Є, Ткаченко В.І. Навчально-методичний посібник. Х, ХНУ, 2016.
3. Методичний додаток до курсу лекцій – Функціональні та конструкційні матеріали. с. 74.
4. Дорі, Г., 1988. Ударні ушкодження при розробці композитів, наслідки та попередження. Матеріали 6-ї Міжнародної конференції з композитних матеріалів та 2-ї Європейської конференції (ICCME' 1988), Імперський коледж, Лондон, стор: 301-326.
5. Егглстон, Д.М. та Ф.С. Стоддард, 1987. Проектування вітряних турбін. Ван Нострандт Рейнхольд, Нью-Йорк
6. Екер Б. і А. Вардар, 2005 Математичне моделювання лопатей вітряних турбін в об'ємному вигляді. Матеріали 6-ї Азіатсько-Тихоокеанської конференції з вітроенергетики, 12-14 вересня, готель Sheraton Walker Hill, Сеул, Корея, стор: 1-21
7. Лі А.Т. та Р.Дж. Флей, 1999 Відповідні лопаті для вітряних турбін. IPENZ Trans., 26: 7-11.
8. Маллік, П.К., 1990.Композити, армовані волокном: матеріали, виробництво та конструкція. Марсель Деккер, Нью-Йорк
9. Нода, М., 1997. Розробка програми моделювання втоми вітряних турбін. Дисертація ME, Оклендський університет, Нова Зеландія.
10. Вардар, А. і Б. Екер, 2004 Методи вимірювання в аеродинамічній трубі лопатей ротора вітрогенератора. Структура вітру, 7:305-316.
11. Скотт, Д.А. Металографія та мікроструктура древніх та історичних металів (Getty Publications, 1992).
12. Іноуе, А. Стабілізація металевих переохолоджених рідких та об'ємних аморфних сплавів. Acta Mater. 48, 279-306 (2000).

13. Сайто, Т. та ін. Багатофункціональні сплави, отримані за бездислокаційним механізмом пластичної деформації. Наука 300, 464-467 (2003).
14. Йе, Дж. В. та співавт. Наноструктуровані високоентропійні сплави з кількома основними елементами: нові концепції дизайну сплавів та результати. Дод. англ. Матер. 6, 299-303 (2004).
15. Оцука, К. та Рен, Х. Останні розробки в галузі досліджень сплавів з пам'яттю форми. Інтерметаліди 7, 511-528 (1999).
16. Gutfleisch, O. та ін. Магнітні матеріали та пристрої 21 століття: міцніше, легше та енергоефективніше. Дод. Матер. 23, 821-842 (2011).
17. Полмер І., Сент-Джон Д., Ні Ж.-Ф. та Цянь, М. Легкі сплави: Металургія легких металів (Баттерворт-Хайнеман, 2017).
18. Бейкер, Х. та Окамото, Довідник Н. ASM, Vol. 3. Фазові діаграми сплавів (ASM International, 1992).
19.Бірхеналл, К.Е. та Ріхман, А.Ф. Акумулювання тепла у евтектичних сплавах. Метал. Транс. А 11, 1415-1420 (1980).
20. Хоукс, П.У. та Спенс, Дж.К. Наука про мікроскопію (Springer Science & Business Media, 2008).
21. Мей, З. та Моррiс, Дж. Характеристика евтектичних паяних сполук Sn-Bi. Дж. Електрон. Матер. 21, 599-607 (1992).