

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування факультету)

Композиційні матеріали, хімії та технологій

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему РОЗРАХУНОК ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБУ ЗІ СКЛОПОЛІМЕРУ

(назва теми)

Виконав: студент 4 курсу, групи БАДз-211сп

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма

Композиційні та порошкові матеріали, покриття

Гордієнко Т.С.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник Савченко В.О.

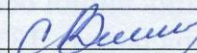
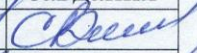
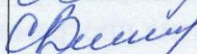

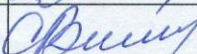

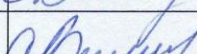
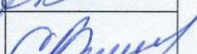
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент Скребцов А.А.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

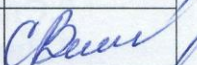
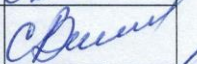
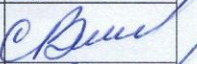
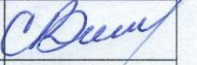
2024 р.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)


Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Віра САВЧЕНКО, доцент		
2	Віра САВЧЕНКО, доцент		
3	Віра САВЧЕНКО, доцент		
Нормо-контроль	Віра САВЧЕНКО, доцент		

7. Дата видачі завдання «03» травня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ, розділ 1	10.05.2024	
2	Розділ 2	24.05.2024	
3	Розділ 3, презентація	10.06.2024	
4	Попередній захист	14.06.2024	

Студентка


(підпис)

Таїсія ГОРДІЄНКО
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Віра САВЧЕНКО
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи бакалавра «Розрахунок властивостей виробу зі склополімеру»: 27 с., 3 рис., 12 джерел.

МІЦНІСТЬ, ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТ, МАТРИЦЯ, ВОЛОКНО, РОЗРАХУНКИ ВЛАСТИВОСТЕЙ.

Предметом дослідження є методики розрахунків властивостей полімерних композиційних матеріалів.

Мета роботи – розрахувати властивості виробу із полімерного композиційного матеріалу, який складається з епоксидної смоли та скловолокна.

Пояснювальна записка містить усі необхідні етапи роботи для прогнозування властивостей полімерного волокнистого композиту.

Результати. Проведено розрахунки властивостей деталі з полімерного композиту. Порівняння розрахованих властивостей показує, що вибрано полімерний матеріал правильно так як густина композиту менше ніж густина стандартної деталі. Якщо порівнювати чисельні значення то ми побачимо вираз $2138 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} < 5263 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Якщо ж порівнювати показники питомої міцності то витримуються необхідні умови, тобто питома міцність композиту більше ніж у стандартної деталі. Якщо порівнювати чисельні значення то ми побачимо вираз $0,74 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{кг}} > 0,11 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{кг}}$.

ABSTRACT

Explanatory note to the bachelor's diploma qualification work "Calculation of properties of glass polymer products": 27 pages, 3 figures, 12 sources.

STRENGTH, POLYMER COMPOSITE, MATRIX, FIBER, CALCULATIONS OF PROPERTIES.

The subject of research is methods of calculating the properties of polymer composite materials.

The purpose of the work is calculate the properties of a product made of a polymer composite material consisting of epoxy resin and fiberglass.

The explanatory note contains all the necessary work steps for predicting the properties of a polymer fiber composite.

The results. The properties of the part made of polymer composite were calculated. A comparison of the calculated properties shows that the polymer material was chosen correctly, since the density of the composite is less than the density of the standard part. If we compare the numerical values, we will see the expression $2138 \text{ kg/m}^3 < 5263 \text{ kg/m}^3$. If we compare the specific strength indicators, then the necessary conditions are met, that is, the specific strength of the composite is greater than that of the standard part. If we compare the numerical values, we will see the expression $0.74 \text{ (N}\cdot\text{m)/kg} > 0.11 \text{ (N}\cdot\text{m)/kg}$.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1 Використання композиційних матеріалів у промисловості	8
1.1 Використання композиційних матеріалів в промисловості	8
1.2 Методики прогнозування властивостей композиційних матеріалів	9
1.3 Методики покращення властивостей композиційних матеріалів	10
Розділ 2 Вихідні дані для розрахунків	15
2.1 Деталь літального апарату	15
2.2 Вихідні дані для розрахунків	16
Розділ 3 Розрахунок властивостей виробу із склополімеру	17
3.1 Розрахунок властивостей без урахування матеріалу деталі.....	17
3.2 Прогнозування властивостей деталі з полімерного композиту	18
Висновки	25
Перелік посилань.....	26

ВСТУП

Наука про композиційні матеріали є розділом матеріалознавства і зародилась порівняно недавно – в 60-х роках. Проте композити існують і використовуються з давніх часів. Ще за часів Древнього Єгипту людство виготовляло цеглини із глини та соломи, де чітко прослідковується поєднання двох різнорідних матеріалів і утворення третього, характеристики якого перевищують характеристики компонентів. Неважко навести приклади композитів у природі. Найтипівішим матеріалом, який залишається актуальним і сьогодні, є бамбук. У ньому поєднуються целюлозні армуючі волокна, котрі зв'язуються між собою низько-модульною пластичною органічною матрицею. Що і послужило прикладом для створення сучасних композиційних матеріалів (КМ). Щодо більш сучасних матеріалів, але вже давно відомих, то широко використовуються такі композити як бетон, зокрема залізобетон (поєднання залізних стержнів із цементною матрицею). Також загально відомим композитом є фанера – поєднання шарів шпону, просякнутих і склеєних між собою фенольним в'язучим. Простим прикладом є медична шина: марля поєднується із гіпсом. За даними прикладами можна прослідкувати, що композит є поєднанням кількох матеріалів із різними характеристиками, яке в результаті дає властивості вищі за суму вхідних компонентів.

У наш час існує безліч різнорідних композитів, кожен з яких має своє застосування. Класифікувати їх можна за багатьма критеріями, що пов'язано з їхньою різноманітністю. Власне композит можна назвати певною конструкцією з кількох вхідних матеріалів побудованій по заданому принципу, тому і число комбінацій видів композитів є надзвичайно великим і прогнозування їх властивостей є дуже актуальною та важливою задачею.

Мета роботи – розрахувати властивості виробу із полімерного композиційного матеріалу, який складається з епоксидної смоли та скловолокна.

Актуальність роботи полягає у зростаючому рівні використання склопластиків у авіабудуванні.

В роботі проведено розрахунки властивостей циліндричної деталі із склопластику.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно розв'язати такі завдання:

- аналіз предметної області;
- опис існуючих методик для прогнозування властивостей композитів;
- розрахунок властивостей заданої деталі.

РОЗДІЛ 1

ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1 Використання композиційних матеріалів в промисловості

Композиційні матеріали, це матеріали, які ще 20...30 років тому називалися матеріалами майбутнього, а сьогодні це найпоширеніші матеріали в промисловості. До поняття композиційний матеріал можна віднести практично будь який матеріал з гетерогенною структурою, тобто матеріал у якого структура складається з двох і більш фаз. Оперуючи цим визначення до композитів можна віднести більшість матеріалів які використовуються для виготовлення деталей в різноманітних галузях промисловості. Звернемо свою увагу на металеві сплави, які майже всі утворюють декілька фаз в процесі кристалізації, які ці фази створюються навмисно (в процесі термічної обробки), або утворюються за рахунок домішок, що є в металах. Розглянемо як приклад такий клас матеріалів як сталь. Сталь можна розглядати як композиційний матеріал, який складається з двох фаз: доєвтектоїдна з фериту і перлиту, а заєвтектоїдна з перлиту та цементиту. Якщо звернути увагу на полімерні матеріали, то в них окрім основного компоненту (смоли), до складу зазвичай входять різноманітні наповнювачі, фарбники, мастила і т.п.

Досить багато композиційних матеріалів є і в природі. До природних композитів можна віднести стовбури дерев, кістки тварин та людей, зуби , які мають волокнисту структуру від природи. Зазвичай ці матеріали складаються з пластичної матриці і більш твердих та міцних речовин, що входять до складу композитів у вигляді волокон.

Сучасне матеріалознавство пішло по шляху вивчення можливостей, які закладені в композитах і добилося відчутних успіхів. За рахунок вибору компонентів, їх концентрації, розмірів, форми, орієнтації і міцності з'єднання

один з одним фізико-механічні властивості композитів можна регулювати в найширших межах [1, 2].

Застосування в промисловості композиційних матеріалів дозволяє значно знизити масу ракет, літаків, автомобілів, судів, підвищити їх дальність дії, збільшити потужність двигунів, створити нові конструкції, працездатність яких раніше обмежувалася відсутністю необхідних матеріалів [3].

На сьогоднішній час найбільш широко в промисловості використовуються композити на основі полімерів. Вони більш досконало вивчені і дозволяють виготовляти великогабаритні деталі складної конструкції за більш простими технологіями.

До цих матеріалів, в першу чергу можна віднести склопластики, які займають місце за об'ємом використання (95%). В США виготовляється близько 1 млн. тон виробів в рік, а в країнах Європи – 150 тис. тон на рік. Такі матеріали застосовують не лише для виготовлення складних і відповідальних деталей, але і для виробництва деталей широкого споживання; у суднобудуванні, будівництві, електротехніці і ін. Вони мають досить високі, в порівнянні з металами, показники міцності, майже у декілька разів більші показники стійкістю до втомної напруги, опору до корозійної дії навколишнього середовища при значно нижчій масі деталей.

1.2 Методики прогнозування властивостей композиційних матеріалів

Прогнозування міцності циліндричної конструкції, такої як циліндр зі склополімеру, може бути виконаний за допомогою теорії пружності. Основні кроки для прогнозування міцності такої конструкції включають:

1. Визначення внутрішнього та зовнішнього тиску: оцініть механічне навантаження, якому буде піддаватися циліндр, включаючи внутрішній та зовнішній тиск, якщо такі є.

2. Вибір матеріалу: оцініть властивості матеріалу склополімеру, включаючи модуль пружності та межу міцності. Ці дані зазвичай надаються виробником матеріалу або можуть бути виміряні експериментально.

3. Визначення напружень: використовуючи теорію пружності, визначте напруження, які виникають в матеріалі циліндра під дією механічного навантаження. Для циліндричної конструкції напруження можуть бути розраховані за допомогою формул теорії пружності.

4. Перевірка міцності: порівняння отриманих значень напружень з межею міцності матеріалу склополімеру. Якщо напруження перевищують межу міцності, це може свідчити про можливість виникнення деформацій або руйнування конструкції.

5. Оцінка безпеки та довговічності: після розрахунку міцності проведіть оцінку безпеки та довговічності конструкції, враховуючи фактори безпеки та можливість виникнення деформацій при роботі циліндра.

1.3 Методики покращення властивостей композиційних матеріалів

Номенклатура полімерних матеріалів, які виробляються промисловістю України є не достатньо широкою, а потреби будівництва, машино- та авіабудування в цих матеріалах зростають постійно [4]. Тому основним завданням на сьогоднішній день є покращення властивостей полімерних композиційних матеріалів.

Взаємодія між скловолокном і епоксидною смолою впливає на механічні властивості та загальну міцність склопластикових композитів. Ось кілька ключових аспектів цієї взаємодії [5]:

1. Адгезія: якісна адгезія між скловолокном і матрицею є ключовою для забезпечення міцності композиту. Добра взаємодія на межі поділу компонентів

може призвести до передавання напружень між скловолокном і матрицею, що сприяє покращенню механічних властивостей.

2. Вологовбирання: поглинання вологи між скловолокном і матрицею може призводити до зниження міцності і міцності композиту через руйнівні ефекти, такі як деградація і відшаровування.

3. Інтерфейсні шари: утворення інтерфейсних шарів між скловолокном і матрицею може мати значний вплив на міцність композиту. Якщо ці шари неоднорідні або відокремлюються від скловолокна, це може призвести до зниження ефективності передачі напружень.

4. Взаємодія з наповнювачами: додавання наповнювачів до матриці може впливати на взаємодію між скловолокном і матрицею. Наприклад, наповнювачі можуть утворювати додаткові шари або взаємодіяти з інтерфейсом, що впливає на міцність композиту.

Загалом, оптимізація взаємодії між скловолокном і епоксидною смолою є важливим аспектом при розробці склопластикових композитів. Існує кілька методів для покращення взаємодії між скловолокном та епоксидною смолою в склопластикових композитах. Ось декілька з них:

1. Підготовка поверхні скловолокна: ефективна підготовка поверхні скловолокна перед нанесенням смоли може значно покращити адгезію. Це може включати механічне шліфування, обробку плазмою або хімічну обробку, щоб забезпечити чистоту та активувати поверхню для кращого зчеплення з смолою.

2. Використання адгезійних промоторів: адгезійні промотори, такі як силанові з'єднувачі, можуть бути використані для покращення адгезії між скловолокном і смолою. Ці спеціальні хімічні сполуки можуть забезпечити кращу сполученість між фазами композиту.

3. Модифікація смоли: додавання адгезійних агентів або модифікаторів до епоксидної смоли може поліпшити її здатність до взаємодії з скловолокном. Ці добавки можуть покращити мокру адгезію покращити властивості композитів [6].

4. Використання проміжних шарів: введення проміжних шарів або зв'язуючих агентів між скловолокном і смолою може допомогти покращити адгезію та розподіл навантаження в композиті. Ці шари можуть бути полімерними або неорганічними матеріалами.

5. Контроль вологовбирання: зменшення впливу вологи на інтерфейс скловолокна і смоли може допомогти уникнути деградації адгезії. Це може включати в себе контроль умов зберігання і обробки композитних матеріалів.

Ці методи можуть бути використані окремо або в комбінації для досягнення оптимальної взаємодії між скловолокном та епоксидною смолою в склопластикових композитах. Вибір конкретного методу залежить від властивостей матеріалів, умов застосування та вимог до кінцевого продукту.

Також останнім часом великим попитом користується композитна (склопластикова) арматура, яка відноситься до сучасних будівельних матеріалів, використання яких призводить до зменшення економічних витрат на будівництво об'єктів та зменшення ваги об'єктів. Завдяки цим особливостям склопластикової арматури сучасні будівельні компанії все більш ефективно її використовують в якості армуючого матеріалу як у вигляді арматури так і у вигляді армуючих сіток. Одна з головних переваг полімерної арматури є висока питома міцність, що призводить до зменшення поперечних перетинів арматури при розрахунках міцності конструкції. Також, важливим фактором є те, що композитна полімерна арматура має досить високі показники пружності, що призводить до зменшення витрат на транспортування, так як вона легко згортається в бухти. Але вона також має ряд недоліків, а саме не стійка до впливу високих температур, має низькі модуль пружності та пластичність [6].

Для того щоб досягти максимальних показників міцності в композитах армувальний елемент повинен мати значно більшу міцність та сприймати на себе більшу частину навантажень без руйнування.. Для досягнення такого ефекту необхідно забезпечити добрий зв'язок волокна з матрицею, що призводить до збільшення площі їх контакту. Оптимальним варіантом для покращення

властивостей композиту є використання волокон та волокнистих матеріалів для армування [7].

Також важливим фактором, який впливає на вибір матеріалу композиту є обсяги витрат для виготовлення виробів із полімерних композитів, які необхідні для авіації (таблиця 1.1-1.2) [8]. Але розробляючи технологію виготовлення деталей з композитів необхідно більш творчо підходити до аналізу переваг, адже ці матеріали є анізотропним і вони можуть легко реалізувати ті характеристики, які закладають матеріалознавці при проектуванні композиту.

Таблиця 1.1 - Економія витрат при застосуванні композитів

Тип судна	Економія витрат, дол..
Космічний апарат Спейс Шатл	10000...15000
Супутник на синхронній орбіті	10000
Супутник на навколоземній орбіті	1000
Надзвуковий пасажирський літак	200...500
Винищувач	150...200
Боїнг-747	150...200
Двигуни літака	100...200
Пасажирський літак	100
Транспортний літак	50...75

Таблиця 1.2 - Виробничі витрати на виготовлення різних матеріалів

Матеріал	Питомі затрати енергії, кВт*год	
	На 1кг матеріалу	На 1 кг виробу
Епоксивуглепластик	33,0	72,7
Сталь	35,2	220,4
Алюміній	48,5	392,4
Титан	189,5	1543,2

Велика кількість конструкцій та деталей, які використовуються в техніці можна віднести до деталей, які в собі містять комбінації з простих форм, таких як стрижень, пластина, конус, куля, призма,. Всі ці деталі є заповненими матеріалом зсередини. Для авіації досить важливим є принцип зниження маси конструкцій та елементів деталей, що робить актуальним використання матеріалу в якому можна максимально реалізуються високі показники властивостей при їх мінімальній масі.

Отже, підсумовуючи все вище викладене, можна зробити висновок про те, що для виготовлення типових для авіаційної галузі деталей все частіше використовуються композиційні матеріали. А з урахуванням тенденцій до зменшення загальної ваги літаків за рахунок зменшення маси деталей то доцільним буде використання сам полімерних композиційних матеріалів і прогнозування їх властивостей є досить актуальною задачею для матеріалознавства.

РОЗДІЛ 2**ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ****2.1 Деталь літального апарату**

В авіабудуванні найчастіше використовуються деталі циліндричної форми. Тому для виконання роботи та для прогнозування властивостей деталей із композиційного матеріалу [9] обираємо циліндричну деталь літального апарату (рис. 2.1), яка має наступні параметри: довжину $L=0,9$ м, площу поперечного перерізу $S=95 \cdot 10^{-6}$ м² та масу $M=0,45$ кг. В процесі експлуатації на дану деталь може діяти розтягуюче зусилля, яке має максимальне значення $P=55$ кН.

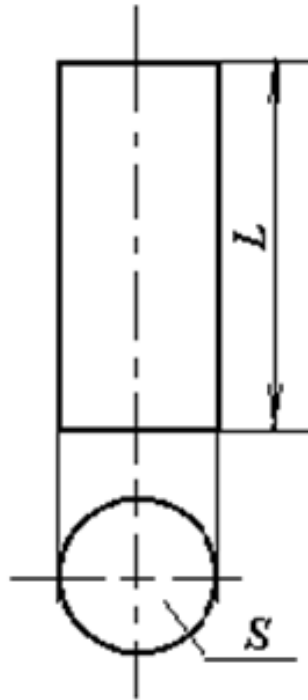


Рисунок 2.1. – Деталь літального апарату.

2.2 Вихідні дані для розрахунків

Для прогнозування властивостей деталі з волокнистого композиційного матеріалу використовуємо довідникові дані властивостей матриці та армувального елемента, які занесено у таблицю 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні характеристики матриці [10-12]

Матриця	Епоксидна смола
Густина, кг/м ³	1200
Границя міцності при розтягуванні, МПа	80
Модуль пружності при розтязі, МПа	3000...4500

Таблиця 2.2 – Фізико-механічні характеристики волокна [10-12]

Волокно	Скляне
Густина, кг/м ³	2540
Діаметр, мкм	10...15
Границя міцності при розтягуванні, МПа	1750...3500
Модуль пружності при розтязі, МПа	70650
Критичне напруження на волокно, МПа	2000...3200
Коефіцієнт Пуассона	0,17...0,3

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБУ ІЗ СКЛОПОЛІМЕРУ

3.1 Розрахунок властивостей без урахування матеріалу деталі

Прогнозування властивостей композиційних матеріалів представляє собою досить складний та багатостадійний процес. Розрахунки властивостей композиційних матеріалів здійснюються з урахуванням особливостей будови матеріалів матриці та армувального елемента, типу та характеру розташування цих елементів. Найбільш доступними та найбільш вивченими, з теоретичної точки зору, є розрахунки композиційних матеріалів армованих волокнами, що орієнтовані в одному напрямку. На базі таких розрахунків можна спрогнозувати властивості волокнистих композиційних матеріалів, враховуючи найбільш важливі принципи проектування і розрахунків композиційних матеріалів [9].

На першому етапі прогнозування важливо знати які вимоги висуваються до властивостей деталі що проектується в процесі експлуатації. Тому що в залежності від цих показників можна обирати матеріал, з якого буде виготовлятися дана деталь.

До важливих показників, які необхідно враховувати в процесі проектування деталі та прогнозування її властивостей є такі показники: границя міцності та густина матеріалу деталі, а також питома міцність. Тому розраховуємо ці показники для деталі, що вказана в п.2.1.

Розраховуємо границю міцності деталі літального апарату за формулою 3.1:

$$\sigma_B = \frac{P}{S} = \frac{55000}{95 \cdot 10^{-6}} = 578,95 \text{ МПа}, \quad (3.1)$$

де σ_B – границя міцності, МПа;

P – навантаження, Н

S – площа поперечного перерізу, м².

Розрахуємо густину деталі, що проєктується за формулою 3.2:

$$\gamma = \frac{M}{V} = \frac{M}{S \cdot L} = \frac{0.45}{95 \cdot 10^{-6} \cdot 0.9} = 5263 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad (3.2)$$

де, γ – густина, $\text{кг}/\text{м}^3$;

M – маса деталі, кг ;

S – площа поперечного перерізу деталі, м^2 ;

L – довжина деталі, м .

Розрахуємо питому міцність ($\sigma_{\text{пит}}$) за формулою 3.3:

$$\sigma_{\text{пит}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\gamma} = \frac{578,95}{5263} = 0,11 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}} \quad (3.3)$$

3.2 Прогнозування властивостей деталі з полімерного композиту

Для прогнозування властивостей полімерного композиційного матеріалу необхідно знати основні показники властивостей матриці та армувального компоненту. В даному випадку обираємо в якості матриці епоксидну смолу, а в якості армувального елемента скловолокно (див.табл.2.1).

Для прогнозування механічних властивостей композитних матеріалів на основі властивостей їх складових компонентів та їх об'ємних відсотків можна використовувати модель Рейса-Волфа-Холла, яка є однією з популярних моделей. Ця модель розглядає напруження в композиті на основі припущень про рівномірне розподілення навантаження на всі складові.

Основні припущення моделі Рейса-Волфа-Холла включають:

1. Рівномірне розподілення напруження: припускається, що напруження в композиті розподілені рівномірно між складовими матеріалами.

2. Модель лінійного комбінування: механічні властивості композиту визначаються за допомогою лінійного комбінування властивостей складових матеріалів та їх об'ємних відсотків.

Формула для прогнозування механічних властивостей композиту за моделлю Рейса-Волфа-Холла може бути виражена формулою 3.4:

$$E_{\text{км}} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot E_i, \quad (3.4)$$

де, $E_{\text{км}}$ - модуль пружності композиту;

V_i - об'ємний відсоток складової i ;

E_i - модуль пружності складової i ;

n - кількість складових матеріалів.

Ця формула дозволяє розрахувати очікуваний модуль пружності композиту на основі властивостей його складових компонентів та їх вмісту. Також можна розширити модель на прогнозування інших механічних властивостей, таких як межа міцності, густина та інші властивості композиту.

Важливо враховувати, що модель Рейса-Волфа-Холла має свої обмеження і не завжди точно відображає реальну поведінку композитних матеріалів, особливо в умовах великих деформацій або нерівномірного розподілу напружень.

Іноді можуть відбуватися процеси руйнування волокон (крихкі волокна) то в такому випадку міцність композиту може бути нижчою ніж міцність матриці, адже зруйновані волокна це концентратори напружень та можна вважати, що введення таких волокон рівносильно введенню в матрицю ниткоподібних пор. В такому випадку міцність композиту можна виразити наступною формулою:

$$(\sigma_{\text{в}})_{\text{км}} = (\sigma_{\text{в}})_m (1 - V_f) \quad (3.5)$$

де $(\sigma_{\text{в}})_{\text{км}}$ – межа міцності композиту;

$(\sigma_{\text{в}})_m$ – межа міцності матриці;

V_f – об'єм волокна.

Залежність міцності однонаправлених композитів від об'ємної концентрації волокон представлена на рис. 3.1.

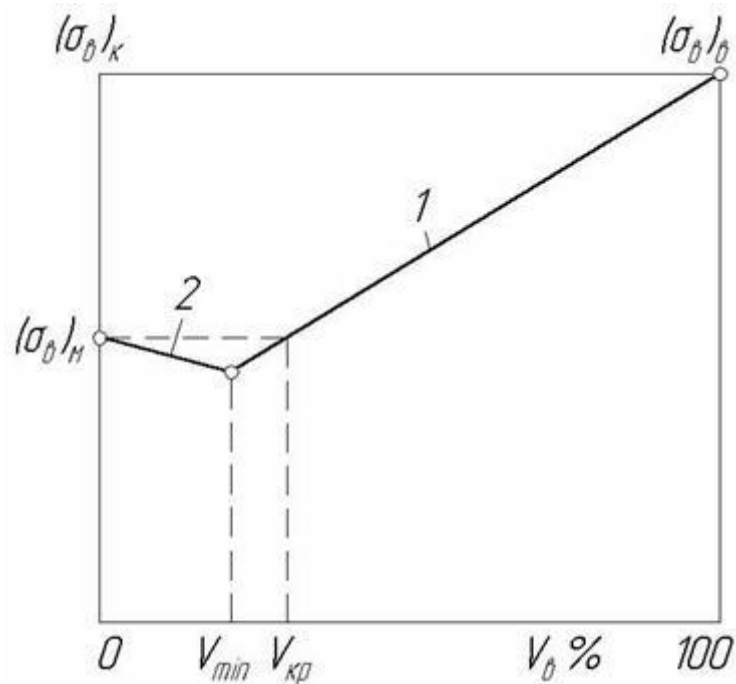


Рисунок 3.1 – Залежність міцності однонаправлених композитів від об'ємної концентрації волокон згідно з формулою (3.4) та формулою (3.5).

Модель Войта - це ще один з методів прогнозування механічних властивостей композитних матеріалів, який використовується для оцінки впливу наповнювачів на властивості матричного матеріалу. Ця модель базується на ідеї, що дисперсія наповнювачів у матриці впливає на механічні властивості композиту.

Основні припущення моделі Войта включають:

1. Однорідний розподіл наповнювачів: Припускається, що наповнювачі однорідно розподілені у матриці композиту.
2. Припущення про контакт: Наповнювачі взаємодіють з матрицею без будь-яких шарів адгезії чи інших ефектів.

Модель Войта показує, як об'ємний відсоток наповнювача впливає на ефективний модуль пружності композиту. Вона вказує на збільшення модуля пружності композиту зі збільшенням вмісту наповнювача. Однак важливо зазначити, що ця модель має свої обмеження і не завжди точно відображає реальну поведінку композитних матеріалів, особливо в умовах великих деформацій або нерівномірного розподілу напружень. Вона може бути представлена за допомогою формули 3.6 для модуля пружності композиту:

$$E_{км} = E_m(1 + 2.5V_f) \quad (3.6)$$

де $E_{км}$ - модуль пружності композиту;

E_m - модуль пружності матричного матеріалу;

V_f - об'ємний відсоток наповнювача.

Також ефективним показником прогнозування властивостей є розрахунок критичної довжини волокна, який дає можливість розрахувати оптимальну довжину волокна, при якій відбувається краще сприйняття навантажень і підвищується міцність композиту. Це важливо для підвищення якості та довговічності виробів з полімерних композитів. Ця величина для однонаправлених полімерних композитів визначається за формулою Халяка і Цвайгера, яка має наступний вигляд:

$$L_{кр} = \frac{\tau_{кр} \cdot \left(\frac{E_f}{E_m} \right) \cdot (1 + \nu_f)}{(\sigma_f - \tau_{кр})} \quad (3.7)$$

де: $L_{кр}$ - критична довжина волокна,

$\tau_{кр}$ - критичне напруження на волокні,

E_f - модуль Юнга волокна,

E_m - модуль Юнга матриці,

ν_f - коефіцієнт Пуассона волокна,

σ_f - міцність матеріалу волокна.

За даними моделі Рейса-Волфа-Холла критичну довжину волокна однонаправленого композиту можна визначити за формулою 3.8:

$$L_{кр} = \frac{d_f \cdot \sigma_f}{2 \cdot T_{гр}}, \quad (3.8)$$

де $T_{гр} = \sigma_{вm} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right)$

Також важливим показником міцності композиційного матеріалу є значення критичної об'ємної частки волокон ($V_{кр}$), яка визначається як така об'ємна частка, при якій міцність композиційного матеріалу стає рівній міцності неармованої матриці.

Величину $V_{кр}$ можна розрахувати за формулою 3.9:

$$(\sigma_{в})_m = (\sigma_{в})_f \cdot V_{кр} + \sigma_{вm}^* (1 - V_{кр}) \quad (3.9)$$

де $(\sigma_{в})_m$ – границя міцності матриці, МПа;

$(\sigma_{в})_f$ – границя міцності волокна, МПа;

$\sigma_{вm}^*$ - визначається для пластичних матеріалів, як границя текучості, МПа.

Розв'язуючи рівняння (3.8) щодо $V_{кр}$, одержуємо формулу 3.9:

$$V_{кр} = \frac{(\sigma_{в})_m - \sigma_{вm}^*}{(\sigma_{в})_f - \sigma_{вm}^*} \quad (3.9)$$

Розглянувши основні методики прогнозування властивостей волокнистих композиційних матеріалів переходимо безпосередньо до розрахунку властивостей заданої деталі із полімерного композиційного матеріалу. Вихідні дані для розрахунків наведено у розділі 2.

1. Розрахунок критичного об'єму вмісту волокна:

$$V_{кр} = \frac{120}{1750-1580} = 0,705 \quad (3.10)$$

2. Розрахунок критичної довжини волокна:

- За методикою Рейса-Волфа-Холла:

$$L_{кр} = \frac{0,012 \cdot 1750}{2 \cdot 120 \cdot 0,71} = 1,23 \text{ м} \quad (3.11)$$

- За методикою Халяка і Цвайгера:

$$L_{кр} = \frac{2000 \cdot (70650/4500) \cdot (1+0,25)}{(2200-20)} = 1,96 \text{ м} \quad (3.12)$$

3. Розрахунок границі міцності склопластику:

$$\sigma_{вкм} = 120 * (1 - 0,705) + 2200 * 0,705 = 1586 \text{ МПа} \quad (3.13)$$

4. Розрахунок модуля Юнга для склопластику:

- За моделлю Рейса-Волфа-Холла:

$$E_{км} = 4500 * (1 - 0,705) + 70650 * 0,705 = 51135 \text{ МПа} \quad (3.14)$$

- За методикою Войта:

$$E_{км} = 4500(1 + 2,5 * 0,705) = 12431 \text{ МПа} \quad (3.15)$$

5. Розрахунок густини склопластику:

$$\gamma_{\text{КМ}} = 1200 * (1 - 0,705) + 2540 * 0,705 = 2138 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \quad (3.16)$$

6. Розрахунок питомої міцності склопластику:

$$\sigma_{\text{ПИТ}}^{\text{КМ}} = \frac{1586 \text{МПа}}{2138 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}} = 0,74 \frac{\text{Н} \cdot \text{М}}{\text{КГ}} \quad (3.17)$$

7. Порівняння властивостей матеріалу:

Порівняння розрахованих властивостей показує, що вибрано полімерний матеріал правильно так як густина композиту менше ніж густина стандартної деталі. Якщо порівнювати чисельні значення то ми побачимо вираз $1791 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} < 5263 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$. Якщо ж порівнювати показники питомої міцності то витримуються необхідні умови, тобто питома міцність композиту більше ніж у стандартної деталі. Якщо порівнювати чисельні значення то ми побачимо вираз $0,88 \frac{\text{Н} \cdot \text{М}}{\text{КГ}} > 0,11 \frac{\text{Н} \cdot \text{М}}{\text{КГ}}$.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз області використання полімерних композиційних матеріалів у промисловості та показано, що найбільш широко такі матеріали використовуються у авіабудуванні.

2. На підставі літературних даних визначені методики та послідовність прогнозування механічних властивостей деталі з полімерного композиційного матеріалу.

3. Для авіаційної деталей, обрані матеріали, які забезпечують їх тривалу експлуатацію.

4. Порівняння розрахованих властивостей показує, що вибрано полімерний матеріал правильно так як густина композиту менше ніж густина стандартної деталі. Якщо порівнювати чисельні значення то ми побачимо вираз $2138 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} < 5263 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Якщо ж порівнювати показники питомої міцності то витримуються необхідні умови, тобто питома міцність композиту більше ніж у стандартної деталі. Якщо порівнювати чисельні значення то ми побачимо вираз $0,74 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{кг}} > 0,11 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{кг}}$.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гончаренко В.В., Коваленко І.В. Технологія композиційних матеріалів: Навчальний посібник. К., 2007, 131 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни "Механіка ортотропних композитних матеріалів" / укл. Бельмас І.В., Танцура Г.І. Кам'янське: ДДТУ, 2020 р., 108 с.
3. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці : підручник / Є. О. Джур, Кучма Л. Д., Манько Т. А. та ін. – К. : Вища освіта, 2003, 399 с
4. Композиційні матеріали в авіабудуванні(огляд) С. Б. Беліков, І. П. Волчок, О. А. Мітяєв та ін. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, 2017, № 2, С. 32–40.
5. Пилиповский Ю.Л., Грудина Т.В., Сапожникова А.В. Композиционные материалы в машиностроении. - К.: Техника, 1990, 141 с.
6. Підковинська У. В., Савченко В. О. Вплив наповнювачів на структуру та властивості полімерної матриці *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні* № 1, 2024, С. 24-30.
7. Бондар Н.В. Міцність авіаційних оболонок із композитів з урахуванням робочого середовища та експлуатаційного пошкодження. Дис. ... канд. техн. наук, 05.07.02, Київ, 2019, 154с.
8. Берлин А.Л. Современные полимерные композиционные материалы // Соросовский образовательный журнал. – №1., Выпуск 8.– 1995. – с. 57-65.
9. Я.С. Карпов, Ф.М. Гагауз, А.Ю. Воробьев Проектирование и конструктивно технологическое решения стержней из композиционных материалов – Харьков: ХАИ, 2010. – 70 с.
10. Композиционные материалы: справочник /Под ред. Д.М. Капиноса. - К.:Наук. думка, 1985, 592 с.
11. Копань В. С. Композиційні матеріали / Копань В. С. – К. : унів. вид. «Пульсари», 2004, 198 с.

12. Дащенко А.Ф., Лазарева Д.В., Сурьянинов Н.Г. ANSYS в задачах инженерной механики / Изд. 2-е, перераб. и доп. под ред. Н. Г. Сурьянинова.— Одесса. — Пальмира, 2011.— 505 с