

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний інститут, факультет будівництва, архітектури та
дизайну

(повне найменування інституту, факультету)

Композиційних матеріалів, хімії та технологій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПІВВІДНОШЕННЯ
КОМПОНЕНТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ

Виконав: студент 2 курсу, групи БАД 219м

Спеціальності 132- Матеріалознавство_
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) Композиційні _

та порошкові матеріали, покриття_

Колінченко Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Савченко В.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Павленко Д.В.
(прізвище та ініціали)

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, Будівництва, архітектури та дизайну
 Кафедра КМХТ
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 132- матеріалознавство
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Композитні та порошкові матеріали, полімери
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри КМХТ

« _____ » _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Коліщенко Дмитра Олександровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці

керівник проекту (роботи) Савченко Віра Олександрівна, К.Т.Н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 29 » листопада 2020 року № 242

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Оксидна смола та затверднувач рідких виробників, пластифікатор та прискорювач; вартість матеріалів та їх вплив на властивості, заводська технологія виробництва композитної арматури.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Класифікація ПКМ та видір матриці матриці; 2) Матеріали та методика дослідження; 3) Дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці; 4) Охорона праці; 5) Техніко-економічне обґрунтування

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Мікродеталі з матриці до та після обробки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічний	Савченко В.О, к.т.н, доцент	<i>Савченко</i>	<i>Савченко</i>
Економічний	Левченко Н.М, д.держ.упр, інж-р	<i>Левченко</i>	<i>Левченко</i>
Охор.пр.та безп.	Якімов В.Ю, к.т.н, доцент	<i>Якімов</i>	<i>Якімов</i>
Нормоконтроль	Акімов І.В, доцент	<i>Акімов</i>	<i>Акімов</i>
Пер на англ.	Петрашов А.С, старший викладач	<i>Петрашов</i>	<i>Петрашов</i>

7. Дата видачі завдання « 01 » жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Написання літературного огляду	23.10.2020	
2	Проведення експериментальних досліджень	29.10.2020	
3	Опис результатів експерименту	29.11.2020	
4	Охорона праці	08.12.2020	
5	Екологічна частинка	12.12.2020	
6	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2020	

Студент(ка)

Акс / *Коліщенко Д.О*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

Савченко / *Савченко В.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ складається з 102 сторінок, 37 рисунків, 23 таблиць.

Об'єктом дослідження є процес впливу співвідношення компонентів на змінення механічних властивостей полімерної матриці.

Метою цієї роботи була розробка оптимального складу полімерної матриці з підвищеними механічними властивостями шляхом зміни співвідношення її компонентів. В роботі досліджувалися механічні властивості полімерної матриці на основі епоксидних смол китайського виробництва (YD-128) та чеського (EP-520) в залежності від співвідношення вмісту затверджувача, пластифікатора. В роботі показано, що при збільшенні вмісту затверджувача та пластифікатора механічні властивості полімерної матриці зростають, наприклад міцність при розтягуванні зростає на 59%, а ударна в'язкість на 105%. Також була досліджена мікроструктура полімерної матриці, яка показала, що зразки на основі китайських смоли та затверджувача після проходження термічного оброблення покращили свою структуру.

Ключові слова: ЕПОКСИДНА СМОЛА, ПОЛІМЕРНА МАТРИЦЯ, ЗАТВЕРДЖУВАЧ, ПЛАСТИФІКАТОР, СКЛОВОЛОКНО, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ПОЛІМЕРІЗАЦІЯ, КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ

ABSTRACT

The research work consists of 102 pages, 37 figures, 23 tables.

The object of study is the process of influencing the ratio of components to change the mechanical properties of the polymer matrix.

The aim of this work was to develop the optimal composition of the polymer matrix with improved mechanical properties by changing the ratio of its components. The mechanical properties of a polymer matrix based on epoxy resins made in China (YD-128) and Czech (EP-520) depending on the ratio of the content of hardener, plasticizer and fiberglass were investigated. It is shown that as the content of hardener and plasticizer increases, the mechanical properties of the polymer matrix increase, for example, the tensile strength increased by 59% and the toughness by 105%. The microstructure of the polymer matrix was also investigated, which showed that the samples based on Chinese resin and hardener after heat treatment improved their structure.

Keywords: EPOXY RESIN, POLYMER MATRIX, HARDENER, PLASTIFIER, GLASS FIBER, MECHANICAL PROPERTIES, POLYMERIZATION, COMPOSITE

ЗМІСТ

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1 Класифікація полімерних композитних матеріалів та вибір матеріалу матриці.....	8
1.1 Полімерні композитні матеріали та їх види.....	8
1.2 Вибір матричного матеріалу.....	19
1.3 Вплив матриці на властивості полімерних КМ.....	21
1.4 Властивості полімерних композитних матеріалів.....	24
1.5 Вплив компонентів на властивості полімерної матриці.....	25
1.5.1 Вплив затверджувача на властивості полімерної матриці.....	25
1.5.2 Вплив пластифікатора на властивості полімерної матриці.....	29
1.6 Технологія виготовлення композитної арматури з склопластиків.....	31
1.7 Мета та цілі дослідження.....	35
РОЗДІЛ 2 Матеріали та методика досліджень.....	36
2.1 Матеріал матриці.....	36
2.2 Матеріали компонентів.....	36
2.3 Методика проведення випробування на розтягування.....	37
2.3.1 Підготовка та виготовлення зразків.....	37
2.3.2 Обладнання для випробування на розтягування.....	39
2.4 Методика проведення випробування на ударну в'язкість.....	41
2.4.1 Обладнання для випробування зразків на ударну в'язкість.....	43
2.5 Методика проведення та зразки для випробування на твердість.....	45
2.5.1 Обладнання для випробування на твердість.....	47
2.6 Дослідження мікроструктури матриці.....	48
РОЗДІЛ 3 Дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці.....	49
3.1 Вибір співвідношення компонентів.....	50

3.2	Вплив співвідношення затверджувач-смола на властивості полімерної матриці.....	52
3.3	Вплив кількості пластифікатору на властивості полімерної матриці ...	61
3.4	Вплив співвідношення компонентів на композицію зі скловолокна ...	66
3.5	Висновки	67
РОЗДІЛ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....		69
4.1	Аналіз потенційних небезпек	69
4.2	Заходи по забезпеченню безпеки	70
4.3	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	74
4.4	Заходи з пожежної безпеки	76
4.5	Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	81
РОЗДІЛ 5 Техніко-економічне обґрунтування		84
5.1	Опис ідеї.....	85
5.2	SWOT-аналіз.....	88
5.3	Взаємодія зі стейкхолдерами	89
5.4	Життєвий цикл проекту та заробітна плата	92
5.5	Розрахунок матеріальних витрат.....	93
5.6	Розрахунок необхідних інвестицій.....	96
Висновки		97
Список джерел посилань		99

ВСТУП

На сьогоднішній день перспективним напрямком є використання полімерів на основі епоксидних смол. В основному вони використовуються для виготовлення полімерних композитних матеріалів (ПКМ), на основі ровінгу та епоксидної смоли. Але їх властивості не завжди задовольняють виробників.

Вплив кількості затверджувача та пластифікатора при виготовленні полімерної матриці може дати різні результати. Тому дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці є темою цієї роботи.

За основу було взято хімічний склад полімерної матриці для виготовлення композиційної арматури на заводі «Імперіал». Для дослідження впливу компонентів було прийнято відійти від стандартної технології, зменшити кількість затверджувача та провести випробування для аналізу змін механічних властивостей. На основі результатів дослідження було обрано зразок з найкращою зміною механічних властивостей і на його основі були виготовлені зразки для подальшого дослідження впливу співвідношення пластифікатору на властивості полімерної матриці.

Дослідження показали, що зміна співвідношення компонентів полімерної матриці може як підвищити механічні властивості, так і знизити їх, в основному зниження відбувається через перенасичення епоксидної смоли одним із компонентів. Результатом досліджень є отримання оптимального складу полімерної матриці з покращеними властивостями.

РОЗДІЛ 1

КЛАСИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛУ МАТРИЦІ

1.1 Полімерні композитні матеріали та їх види

Композитний матеріал – це поєднання двох або більше компонентів, що не розчинюються один в одному, з різними фізико-хімічними властивостями, які при поєднанні дають новий матеріал, що володіє покращеними характеристиками, якими жоден з компонентів окремо не володіє. Причиною їх використання як аналог традиційним матеріалам є покращені фізико-механічні властивості [1].

Композитні матеріали зазвичай класифікуються за двома різними рівнями: Перший рівень класифікації зазвичай проводиться щодо складової матриці. Основні композиційні класи включають органічні матричні композити, металеві матричні композити та композити з керамічної матриці.

Полімери є ідеальними матеріалами, оскільки їх легко обробляти, вони мають легку вагу і бажані механічні властивості. Існують два основних види полімерів - термореактивні та термопластичні.

Термореактивні полімери мають добре зв'язну тривимірну молекулярну структуру після затвердіння. Вони розкладаються замість плавлення при затвердінні. Вони можуть утримуватись у частково затверділому стані також протягом тривалого періоду часу, отримуючи при цьому дуже гарну гнучкість. Таким чином, вони найбільш підходять як матрична основа для армування волокнами.

Термореактивні полімери знаходять широке застосування у вигляді композитів, які армовані подрібненими волокнами. Термореактивні полімери вимагають двоступеневого процесу полімеризації. Перший виконується постачальником матеріалів, в результаті чого утворюється лінійний ланцюговий полімер з частково реагуючими частинами. Другий виконує

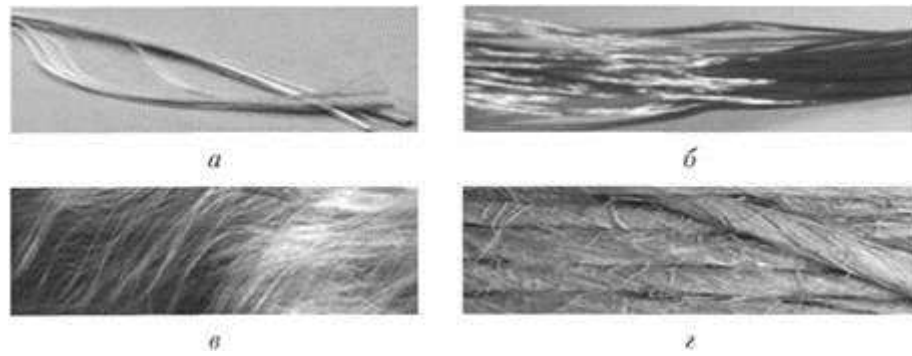
формувач, який контролює остаточне зшивання. Короткі ланцюги з великою кількістю зв'язків утворюють жорсткі термореактиви, тоді як довші ланцюги з меншою кількістю зв'язків утворюють більш гнучкі термореактиви. З усіма термореактивами полімерізація є постійною і незворотною.

Термопласти мають одно- або двовимірну молекулярну структуру, і вони, як правило, мають вищий рівень робочої температури і мають вищу температуру плавлення. Ще однією перевагою є те, що процес пом'якшення при підвищеній температурі є зворотнім, щоб відновити свої властивості під час охолодження, полегшення застосування звичайних методів компресування для формування сполуки [1].

Другий рівень класифікації відноситься до виду армувального наповнювача. Оскільки армувальний матеріал має головне значення в механізмі зміцнення композиту, зручно класифікувати композити за характеристиками саме армувального наповнювача. Зазвичай використовуються наступні три категорії:

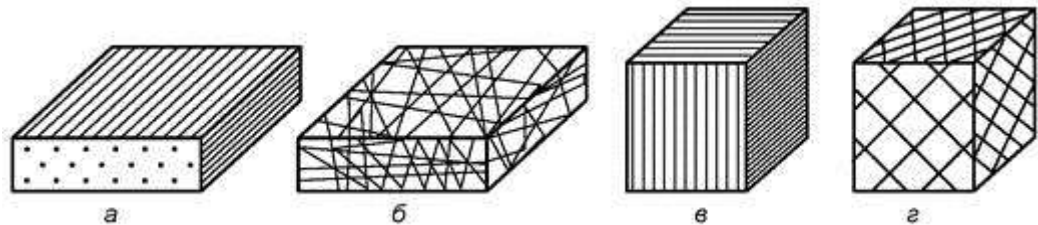
- Матеріали, що армуються волокнами;
- Дисперсно-зміцнені композити;
- Органічні та неорганічні речовини природного або штучного походження.

Посилені волокнами композити. Склопластик - це, мабуть, найкраще відомий композит, армований волокном, але вуглецево-епоксидні та інші волокнисті композити також належать до цієї категорії. Для армування використовують багато видів волокон (рис. 1.1). Волокна можуть бути у формі довгих суцільних, або вони можуть бути рубленими, відрізняються не тільки види волокон, але й типи їх розташування (рис. 1.2). Волокна зазвичай поєднують з пластичними матричними матеріалами, такими як метали та полімери, щоб зробити їх жорсткішими, також волокна додають до крихких матричних матеріалів, таких як кераміка, для підвищення в'язкості [1].



(а – скляні нитки, б – вуглецеві нитки, в - базальтові нитки, г – органічні нитки)

Рисунок 1.1 – Волокна армувальних компонентів, що використовуються у полімерних матрицях [2]



а - хаотичний, б - просторовий тринитковий, в - просторовий багатонитковий, г - та ін. [2]

Рисунок 1.2 – Види армування волокнами за напрямком

Відношення довжини до діаметра волокна, міцність зв'язку між волокном і матрицею та кількість волокна та тип армування є змінними, що впливають на механічні властивості (рис. 1.3 та 1.4). Важливо мати високе співвідношення довжини до діаметра, щоб прикладене навантаження ефективно передавалось від матриці до волокна.

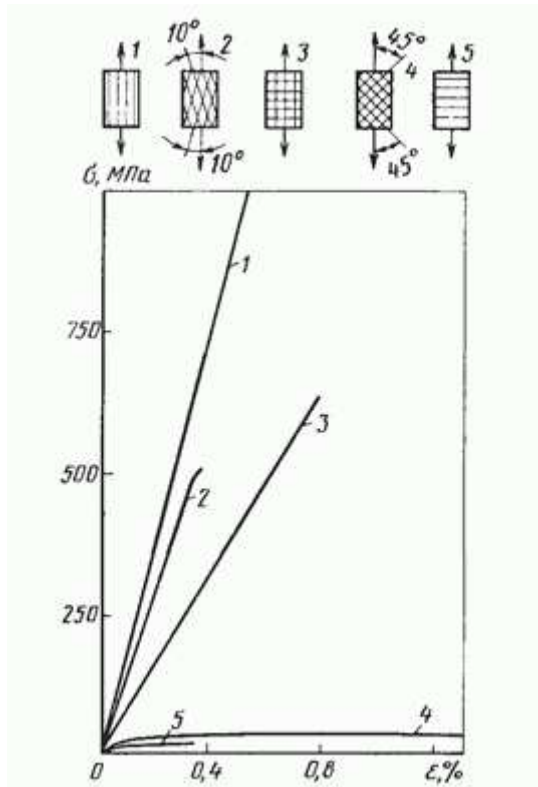


Рисунок 1.3 – Вплив схеми армування (1-5) на напруження при розтягуванні епоксидних вуглепластиків [3]

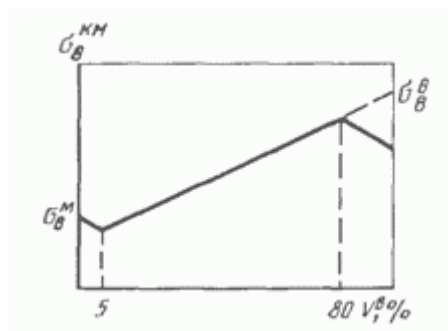


Рисунок 1.4 – Вплив кількості волокнистого наповнювача на міцність полімерного композиту [3]

Волокнисті матеріали включають:

Скловолокло - скло є найпоширенішим і недорогим волокном і зазвичай використовується для армування полімерних матриць. Скло має високу міцність на розрив і досить низьку щільність ($2,5 \text{ г/см}^3$) [1].

Вуглець-графітові волокна -. вуглець це дуже легкий елемент, щільність якого становить близько $2,3 \text{ г/см}^3$, а його жорсткість значно вища,

ніж у скла. Вуглецеві волокна можуть мати в 3 рази більше жорсткість ніж сталеві волокна і до 15 разів більшу міцність ніж будівельна сталь. Графітна структура є кращою перед алмазоподібними кристалічними формами для виготовлення вуглецевого волокна, оскільки графітова структура виконана з щільно упакованих шестикутних шарів, складених у пластинчастому стилі. Завдяки цій структурі механічні та термічні властивості є анізотропними в залежності від форми, розміру, орієнтації, і це дає конструкторам компонентів можливість контролювати міцність і жорсткість компонентів, змінюючи показники волокна [1].

Полімерні волокна - міцні ковалентні зв'язки полімерів можуть привести до значного підвищення властивостей, якщо їх вирівняти вздовж осі волокон високомолекулярних ланцюгів. Кевлар - це арамід (ароматичний поліамід), що складається з орієнтованих ароматичних ланцюгів, що робить їх твердими паличкоподібними полімерами. Його жорсткість може досягати 125 ГПа, і хоча він має великі показники на розтягування, але при цьому має погані компресійні властивості. Кевларові волокна в основному використовуються для підвищення в'язкості в іншому випадку крихких матриць.

Керамічні волокна, виготовлені з таких матеріалів, як глинозем та SiC (карбід кремнію), є вигідними при застосуванні при дуже високих температурах, а також там, де є агресивне навколишнє середовище. Кераміка має погані властивості при розтягуванні та зсуві, тому частіше вона використовується у вигляді армувальних часточок.

Металеві волокна, деякі з них мають високу міцність, але оскільки їх щільність дуже висока, вони мало корисні у критичних для ваги застосуваннях. Виготовлення дуже тонких металевих волокон (менше 100 мкм) також дуже дороге. [1]

Дисперсно-зміцнені композити, використовують у якості наповнювача дрібні частинки діаметром від 10^{-5} мм до $2,5 \times 10^{-4}$ мм. Ці частинки допомагають матриці протистояти деформації, що робить матеріал більш

твердим і міцним. Розглянемо металевий матричний композит з тонким розподілом дуже твердих і дрібних вторинних частинок. Матеріал матриці несе більшу частину навантаження, а деформація здійснюється за допомогою ковзання та дислокаційного руху. Вторинні частинки перешкоджають ковзанню та дислокації, а отже, зміцнюють матеріал. Однак такі частинки, як оксиди, не вступають у реакцію з матрицею або переходять у розчин при високих температурах, тому зміцнювальна дія зберігається при підвищених температурах.

Армовані частинками композити використовують частинки більших розмірів ніж дисперсно-зміцнені композити. Діаметр частинок зазвичай становить близько декількох мікрон. У цьому випадку частинки несуть основну частину навантаження. Частинки використовуються для збільшення модуля пружності та зменшення пластичності матриці. Прикладом зміцнених частинками композитів є автомобільна шина, яка має частинки сажі в матриці з поліізобутиленового еластомерного полімеру. Армовані частинками композити набагато простіші та дешевші, ніж виготовлення армованих волокнами композитів. У полімерних матрицях частинки просто додаються до розплаву полімеру в екструдері або формувальнику під час обробки полімеру. Подібним чином до розплавленого металу перед розливом додають армувальні частинки.

Нижче приведені види волокнистих композитних матеріалів на основі полімерної матриці.

Склопластиками називаються полімерні композиційні матеріали, які армуються скляними волокнами. Скляні волокна зазвичай формують з розплавленого неорганічного скла. Матриці для склопластиків використовують як термопластичні (полістирол, поліаміди) так і терморезистивні (епоксидна смола, поліефірна смола). Склопластики володіють цілою низкою переваг : вони мають добрі електроізоляційні властивості, високу міцність та низку теплопровідність. Основні механічні властивості вказані у таблиці 1.1. Історія використання склопластиків вже

нараховує 80 років, їх почали використовувати ще під час Другої світової війни.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості склопластиків [7]

Марка волокна	Руйнівне напруження на розтягування, МПа		Руйнівне напруження на стиснення, МПа		Руйнівне напруження при вигині, МПа	
	По основі	По утку	По основі	По утку	По основі	По утку
МТБС- 6,0	255	261	164	373	298	527
МТБС- 5,2	246	249	130	251	132	304
МТБС- 4,35	278	334	184	390	292	419
ІТМ	388	304	362	335	483	397

Кількість волокон у перших склопластиках була досить невелика, бо використовувалося волокно в основному для нейтралізації грубих дефектів матриці. Але з часом матриця все більше брала на себе роль зв'язуючого, щоб міцно тримати між собою волокна, тож зміст їх почав збільшуватись і зараз досягає 80% по масі. Існує також такий тип склопластиків як склотекстоліти, їх різниця в тому, що в останніх, в якості наповнювача, використовують тканину, що сплетена з скляних волокон.

Існує велика кількість сфер використання склопластиків, це обумовлено їх невеликою ціною. Використовують їх в основному у радіоелектроніці, будівництві виробництві побутових предметів [4]. Досить популярним сьогодні продуктом є арматура із склопластиків (рис.1.5), що складається з внутрішнього стержня та зовнішнього шару. Внутрішній

стержень складається з скловолокон, які розташовані паралельно один до одного, та залиті полімерною смолою.

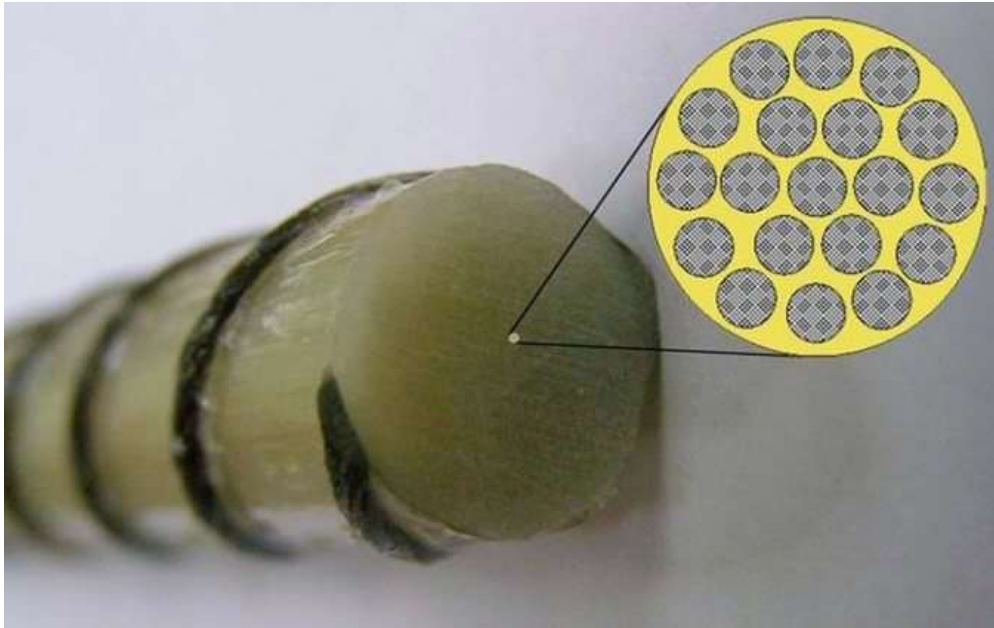


Рисунок 1.5 – Арматура із скловолокон у розрізі [5]

Вуглепластиками називають полімерні композиційні матеріали, що армують вуглецевими волокнами. Вуглецеві волокна зазвичай отримують з природних та синтетичних волокон на основі целюлози або з нафтового пеку. Для отримання задовільних властивосте волокна використовують термічну обробку волокна, що проходить я в три етапи (окислення - 220°C , коксування – $1000\text{...}1500^{\circ}\text{C}$ і графітизація – $1800\text{...}3000^{\circ}\text{C}$). Така термічна обробка дає змогу отримати волокна з великим вмістом (до 99,5% по масі) вуглецю [4].

Залежно від режиму обробки та вихідної сировини отримане вуглеволокно має різну структуру (рис. 1.6)

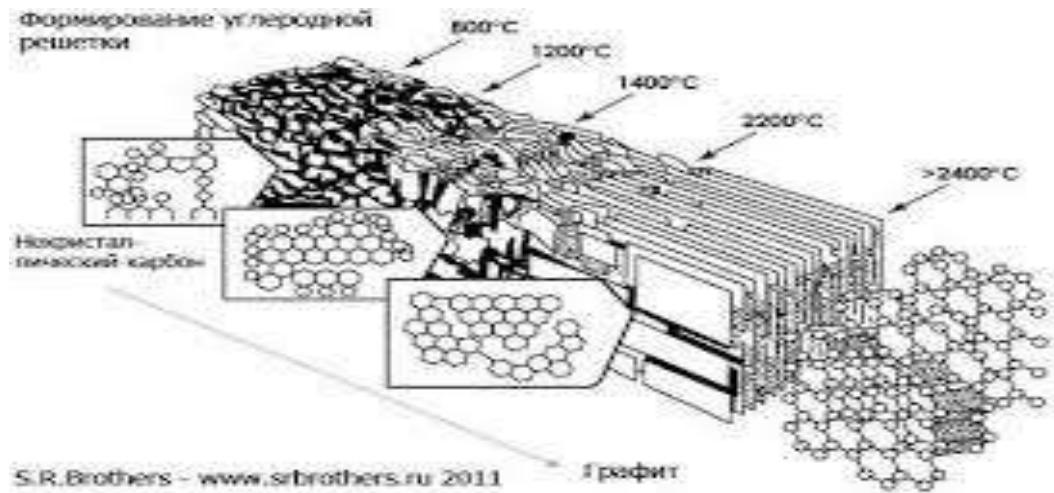


Рисунок 1.6 – Формування структури вуглецевої решітки за різних температур [6]

При виготовленні вуглепластиків використовуються також термопластичні та терморезистивні матриці як і для склопластиків, найчастіше – полімери. Але при таких схожих компонентах властивості отримують зовсім інші. Так при виготовленні вуглепластиків ми отримуємо матеріал, що у порівнянні з склопластиком має більш високий модуль пружності та нижчу щільність. Основні властивості вуглепластиків показані у таблиці 1.2. Також вуглепластики та вуглецеві волокна мають дуже низький коефіцієнт лінійного розширення, а також добре проводять струм. Основними сферами застосування вуглепластиків є машинобудування, виробництво космічної техніки, авіація та виробництво медтехніки.

Також вуглецеві волокна та матриця використовують для створення найбільш термостійкого композиційного матеріалу - вуглевуглепластиків. Вони здатні витримувати температури до 3000 °C. Для виробництва таких матеріалів використовують декілька способів. За одним з них вуглецеві волокна піддаються просочуванню фенолформальдегідною смолою, а потім піддають дії високих температур (2000 °C), при цьому відбувається піроліз органічних речовин і утворюється вуглець. Операцію повторюють декілька разів, для того щоб матеріал був більш щільним і менш пористим.

Таблиця 1.2 – Основні властивості вуглепластиків на основі епоксидних та поліамідних зв'язуючих [7]

Показники	Орієнтація волокон	
	Односпрямовані	Перехресні
Щільність, г/см ³	1,45 ... 1,50	1,4 ... 1,5
Міцність, МПа		
На розтяг	800 ... 1700	500 ... 900
На вигин	1000 ... 2000	800 ... 1200
На стиснення	700 ... 1200	500 ... 800
Модуль пружності, ГПа	120 ... 150	65 ... 85

Другий спосіб отримання такого матеріалу полягає в прожаренні при високих температурах звичайного графіту в атмосфері метану. В підсумку ми маємо наступну ситуацію : дрібнодисперсний вуглець, який утворюється при піролізі метану закриває усі пори у структурі графіту. При цьому збільшується щільність. Вуглепластики використовують для виготовлення гальмівних колонок, електротермічного обладнання та космічних кораблів [4].

Боропластиками називають композиційні матеріали, у яких в якості наповнювача виступають борні волокна, які поєднані з термореактивною полімерну матрицю. Борні волокна мають дуже велику твердість, це дозволяє отримати високі механічні властивості (таблиця 1.3), також борні волокна мають велику стійкість до агресивних умов, але при цьому мають і велику крихкість [4].

Органопластиками називають композиційні матеріали, в яких у ролі наповнювача служать органічні синтетичні, а також природні та штучні волокна. Вони бувають у вигляді ниток, тканин, паперу, джгутів. В якості матриці у органопластиках служать фенольні та епоксидні смоли, а також поліаміди. Наповнювача у матеріалі від 40 до 70 %. Якщо у ролі матриці

виступає термопластичний полімер, наприклад поліуретан або поліетилен, то кількість вже інша, від 2 до 70 %. Властивості органопластиків досить різноманітні: вони легше вуглепластиків та склопластиків, володіють низькою щільністю, високий опір удару та динамічним навантаженням, але при цьому низька міцність при стиску та вигині.

Таблиця 1.3 – Основні властивості односпрямованих шаруватих боропластиків [7]

Властивості	Значення
Границя міцності, МПа	
При поздовжньому розтягуванні/стисненні	1323/2432
При поперечному розтягуванні/стисненні	72/276
Гранична деформація, %	
При поздовжньому/поперечному розтягуванні	6,55/0,40
Модуль пружності, ГПа	
При поздовжньому/поперечному розтягуванні	207/19
При поздовжньому/поперечному стисненні	207/19

Важливу роль в поліпшенні механічних характеристик органопластика грає ступінь орієнтації макромолекул наповнювача. Макромолекули жорстко-ланцюгових полімерів, таких, як кевлар в основному орієнтовані в напрямку осі полотна і тому мають високу міцність при розтягуванні вздовж волокон.

В основному органопластики використовують у авіабудуванні, машинобудуванні, виробництві спортивного інвентарю, радіоелектроніці [4].

Текстолітами називають шаруваті пластики, які армовані тканинами. У 1920-х роках була розроблена технологія виробництва текстолітів на основі фенолформальдегідних смол. Процес виготовлення полягав у покриванні тканини смолою, потім пресування отриманої композиції при високих температурах, щоб отримати текстолітову пластину.

Основна технологія отримання текстолітів збереглася, але зараз можна отримати не тільки пластини але й вироби різної форм Зв'язуючими речовинами у текстолітах є різноманітні терморективні та термопластичні полімери, іноді також використовуються неорганічні сполуки - на основі силікатів та фосфатів. У ролі наповнювача виступає тканини з таких волокон як скловолокно, вуглеволокно, базальттові волокна, синтетичні волокна. Великий вибір наповнювача дозволяє отримати найрізноманітніші властивості [4].

1.2 Вибір матричного матеріалу

Велика кількість полімерних матеріалів дає багато можливостей при виборі матриць. Як правило, цей вибір стосується майбутніх умов роботи ПКМ, а також можливостей виробника.

Полімерні зв'язуючі поділяються на дві основні категорії: терморективні (реактопласти) та термопласти. Перші можуть бути представлені у вигляді рідини з малою в'язкістю, яка після просочування армувального матеріалу (нитки, волокна, стрічки, тканини) завдяки хімічній реакції перетворюється на тверду полімерну матрицю. В якості олігомерів для отримання зв'язуючих використовують епоксидні смоли, фенолформальдегідні смоли, полефірні смоли.

Розробка нових ідей у створенні полімерних матриць для ПКМ є головною та важливою проблемою, оскільки більшість властивостей ПКМ визначається матрицею. По-перше, це матриця з'єднує волокна між собою, створюючи монолітну структуру композиційного матеріалу. Саме від матриці залежить як реалізуються властивості волокон. Особливо це залежить від таких властивостей матриці, як міцність, пластичність, ударна в'язкість, жорсткість.

Основними вимогами до матричних матеріалів майбутніх ПКМ є [9]:

- Правильне змочування наповнювача;
- Високі показники адгезії до наповнювача;
- Низька втрата об'єму під час затвердіння;
- Задовільна міцність після затвердіння;
- Можливість регулювати затвердіння при кімнатній температурі;
- Відсутність летючих компонентів;
- Задовільні характеристики (хімічна стійкість, жаростійкість, тощо);
- Низька вартість;
- Можливість легкої утилізації відходів.

Найбільш розповсюдженим матричним матеріалом виступають епоксидні смоли, вони вже багато років широко використовуються на ринку полімерів. За час їх існування з'явилося безліч нових марок ЕС. Що дозволяє ще легше та швидше отримувати ПКМ на основі ЕС.

Епоксидні смоли - це олігомери або окремі низькомолекулярні продукти, які під час твердіння перетворюються у епоксидні полімери. Ці смоли служать клеєм та конструкційним матеріалом. Маючи ряд переваг епоксидні смоли застосовують у якості конструкційного клею під час склеювання металів та неметалів та виробів з них. Застосування епоксидних клеїв справляє значний технологічний та економічний вплив, що дозволяє вдосконалити виробничі процеси різних матеріалів, приладів та виробів [8].

Вперше цю функціональну категорію відкрив П. Кастанья у Швейцарії та самостійно С. Грінлі в США на початку 1940-х. Нові матеріали одразу

показали несподівані властивості. Першими ЕС, які були представлені на ринку, були продукти реакції бісфенолу А і епіхлоргідрину. Ця реакція і на зараз являє собою основним варіантом виробництва смол, представлений формулою нижче:

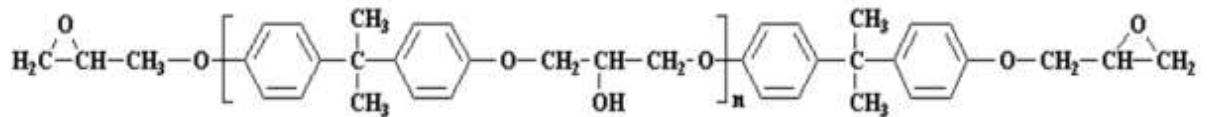


Рисунок 1.7 – Основна реакція отримання епоксидних смол [8]

До складу композиції, що використовують для просочення входить не тільки зв'язуюча речовина, але й каталізатор, затверджувач і багато інших добавок, що змінюють властивості смоли, а отже змінюють і властивості майбутнього ПКМ, наприклад склопластика.

1.3 Вплив матриці на властивості полімерних КМ

Полімерна матриця, що об'єднує всі частини композиту, забезпечує монолітну структуру матеріалу. Матриця не тільки захищає армувальні елементи від зовнішнього впливу, але й допомагає рівномірно розподіляти навантаження на них. У той же час матриця здатна зупинити ріст тріщин, виявлених під час руйнування волокон, через дуже високу пластичність матриці або локального відшарування волокон з матриці. Отже основною функцією полімерної матриці є розподіл напружень між близько розташованими волокнами та утворення бар'єру для зростання тріщин, які утворюються при руйнуванні волокон. Руйнування волокон обумовлено пластичною деформацією матриці або локальним відділенням волокон від

матриці. Також матриця має значний вплив на такі характеристики композиційних матеріалів, як хімічна стійкість та термостійкість, а також визначає технологічні методи та способи виготовлення та переробки матеріалів у виробі [9].

Але всі ці функції матриці залежать від її взаємодії із наповнювачем, під час процесу отримання композиту та його експлуатації. Також до зміни властивостей композиту призводить якість компонентів та їх сполучуваність. Порівняльні характеристики ПКМ на основі наповнювача із скловолокна, із застосуванням в якості сполучного олігомерних смол, наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Властивості склопластиків на основі термореактивних зв'язуючих [10]

Властивості	Одиниця Виміру	Значення показників для склопластиків на основі різних смол		
		Поліефірна	Епоксидна	Фенолформаль- дегідна
Щільність	г/см ³	1,4...1,74	1,6...1,9	1,5...1,8
Міцність при розтягуванні	МПа	140...450	400...600	300...500
Міцність при статичному вигині	МПа	150...500	400...800	200...600
Міцність при стисненні	МПа	150...300	200...400	100...300
Модуль пружності на розтягування	МПа	11...25	22...32	18...25

Згідно даних, що наведені у таблиці 1.4, склопластики на основі епоксидних смол мають перевагу у вигляді більш високої міцності при всіх видах навантаження. Такі дані є результатом впливу на властивості гарного поєднання наповнювача та матриці.

Неоднорідність компонентів може привести і до негативних результатів, наприклад якщо ввести у полімер частинку з модулем пружності, що буде відрізнятися від модуля пружності матриці, то це призведе до виникнення перенапружень на межі частинка-матриця [11].

Це правило працює як при введенні газоподібних включень так і твердих часток. Якщо розглянути цей механізм докладніше, то можна встановити, що при введенні твердої частки із модулем пружності більшим за модуль пружності матриці, то вона буде деформуватися менше, ніж матриця і найбільші напруження будуть виникати на її полюсах (рис. 1.8).

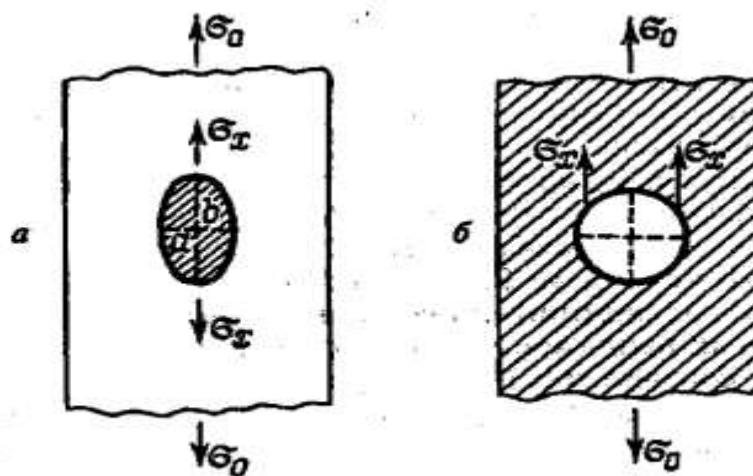


Рисунок 1.8 – Схема виникнення перенапруги на твердій частинці (а) та на кульці повітря (б) [11]

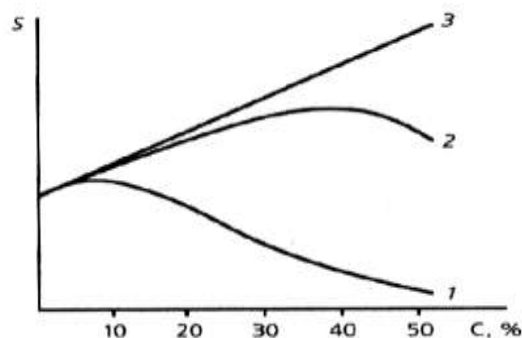
Результатом таких перенапружень на межі частка-матриця може стати мікро руйнування, розростання тріщини та руйнування матеріалу.

Під час процесу формування виробу, нагрівання супроводжується охолодженням. Ця зміна може призвести до теплового розширення та подальшого виникнення усадочних напружень. Після закінчення охолодження тиск P полімерної матриці на частку є максимальним на межі частка-матриця і зменшується в міру віддалення від неї. При $P < 0$ напруження стискує, а при $P > 0$ – розтягне. Це також може призвести до виникнення термозбіжних напружень, які ослаблюють матеріал [11].

Підвищена деформація матричного полімеру поряд з виникненням перенапружень на межі матриця-частинка може привести до відшарування полімеру від частки, появи пористості, а також до виникнення нових мікрodefектів в композиті.

1.4 Властивості полімерних композитних матеріалів

Властивості ПКМ визначаються не лише властивостями матриці, а й властивостями наповнювача (волокон) та міжфазної межі волокно-зв'язуюче, а і кількістю наповнювача (рис. 1.9). Наприклад механічні властивості ПКМ залежать від таких властивостей волокон як ударна в'язкість, пластичність, міцність. А такі властивості ПКМ як атмосферостійкість, хімічна стійкість, термостабільність визначаються вже полімерною матрицею і властивостями межею розділу фаз [12]



1 – дисперсного, 2 – волокнистого рубаного, 3 – армуючого
безперервного

Рисунок 1.9 – Залежність міцності S полімерного матеріалу від вмісту
 C (%) наповнювача [13]

1.5 Вплив компонентів на властивості полімерної матриці

1.5.1 Вплив затверджувача на властивості полімерної матриці

Щоб розпочати процес склування епоксидної смоли треба використати певну кількість затверджувача. Цей, здавалося б, незручний спосіб отримання епоксидної композиції, який обмежує життєздатність суміші смоли і затверджувача, відкриває перед виробниками величезні можливості.

Більшість властивостей отриманого клейового з'єднання на епоксидних смолах в значній мірі залежать від типу використовуваного затверджувача. Затверджувачі можна розділити на дві групи:

- Які діють при кімнатній температурі (аліфатичні аміни);
- Які діють при підвищених температурах (ангідридні кислоти);

Така класифікація є умовною, так як затверджувачі, які діють при кімнатній температурі, можуть діяти і при підвищених температурах. Це може позитивно вплинути на реакцію, що протікає, наприклад, ми зможемо зменшити час затвердіння, а також збільшити міцність отриманих клейових з'єднань. В основному, як конструкційні матеріали з підвищеною теплостійкістю, а так само для склеювання відповідальних вузлів з металів застосовуються ангідриди.

Клеї які діють при кімнатній температурі (холодного затвердіння) застосовують для склеювання неметалевих матеріалів в різних комбінаціях. Крім того, епоксидні клейові композиції, отримані при кімнатній температурі, характеризуються життєздатністю, що не перевищує кількох

Рисунок 1.12 – Будова просторової сітки при гомополімеризації [13]

Епоксидний полімер, утворений за допомогою амінного затвердіння характеризується великим вмістом ОН-груп в одиниці об'єму, ніж вихідний олігомер, тоді як при затвердінні ангідридами зміст ОН-груп дещо знижується [16], а при гомополімеризації олігомерів нові гідроксильні групи не з'являються. Таким чином, характерним відмінністю представлених вище модельних фрагментів просторової сітки буде в першому випадку наявність груп ОН і третинного атома азоту, у другому - складних, а в третьому - простих ефірних зв'язків. Хімічна будова сітки визначає, зокрема, термостійкість епоксидного полімеру. Так полімери, отримані ангідридним затвердінням більш термостійкі, ніж отримані іншими методами, однак для затвердіння такого типу потрібні і підвищені температури [13].

При підборі затверджувача зазвичай враховують такі чинники:

- властивості самого затверджувача і легкість переробки композицій (токсичність, температура і тривалість затвердіння, в'язкість і життєздатність, тепловиділення і усадка в процесі затвердіння і інші технологічні параметри);
- властивості одержуваних полімерів (адгезія до різних матеріалів, деформаційно-міцнісні і діелектричні характеристики, теплостійкість, хімічна стійкість і т. п.) [13].

Вибір затверджувача визначається конкретним призначенням виробу і умовами його експлуатації [17].

Вплив типу затверджувача на адгезійну міцність (табл. 1.5), показує, що міцність межі розділу в з'єднаннях зі скляними волокнами та сталевую проволокою, затверджених амінами і ангідридом карбонової кислоти, залежить від марки застосовуваних епоксидних олігомерів. Цікаво відзначити, що при затвердінні третичними амінами - триетаполаміном (ТЕА) і триетаноламініотитанатом (ТЕАТ) значення τ_0 , вище, ніж при затвердіння м-фенілендіаміном (МФДА) - первинним аміном. При використанні метилтетрагідрофталевого ангідриду (МТЕФА) виходять такі ж

високі значення τ_0 , і τ , як і при затвердінні третинними амінами. Відомо, що фізико-механічні показники епоксидних смол, які затверджені ангідридом, цілком можна порівняти з характеристиками олігомерів, які затверджені амінами. Відповідно, можна говорити про однакові тенденції трансформаційних змін адгезійної і когезійної міцності при зміні типу затверджувача.

Таблиця 1.5 – Адгезійна міцність при взаємодії діанових епоксидних смол, як отверджені при різних затверджувачах, з скловолокном та сталеву проволокою (ТЕА – триетаноламін, ТЕАТ – триетаноламінітитанат, МТГФА – метілтетрагідрофталевий ангідрид) [1]

Склад зв'язуючого		Режим затвердіння		τ_0 , МПа	τ , МПа	
Епоксид на смола	Затверджувач	Т, °С	t, ч	Скловолокно	Стальна проволока	
				S = 8*10 ⁻³ , mm ²	S=0,55 mm ²	S=0,95mm ²
ЕД-20	ТЕА	90	2	36,5	52,5	45
		120		35	44	35
	160					
	МТГФА	130	5	31	50	36
		150				
		170				
ЕД-16	ТЕА	90	2	32	49	40
		120	2			
		160	2			
	ТЕАТ	80	1	33	-	-
		130	6			
		150	6			

1.5.2 Вплив пластифікатора на властивості полімерної матриці

Спосіб фізичної модифікації полімерів, суть якого полягає у введенні рідких речовин (пластифікаторів) з метою підвищення еластичності, пластичної деформації, ударної міцності і зниження в'язкості для полегшення переробки полімерних матеріалів називають пластифікацією. Пластифікаторами називаються низькомолекулярні речовини, що підвищують еластичність і пластичність полімерів. Вони роблять значний вплив на структуру і властивості полімерів. Пластифікатори можуть бути як низькомолекулярними, так і високомолекулярними. З їх допомогою можна цілеспрямовано змінювати морозостійкість і крихкість, ударну в'язкість і технологічність, тепло-, електрофізичні та інші властивості полімерів.

При введенні пластифікатора у композицію відбувається його взаємодія з сегментами макромолекул та збільшується рухливість останніх. Це призводить до зміни температури склування та текучості полімеру. На рисунку 1.13 наведені термомеханічні криві для непластифікованого (1) і пластифікованого (2) полімеру.

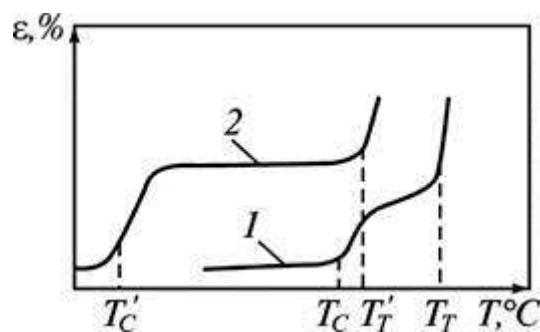
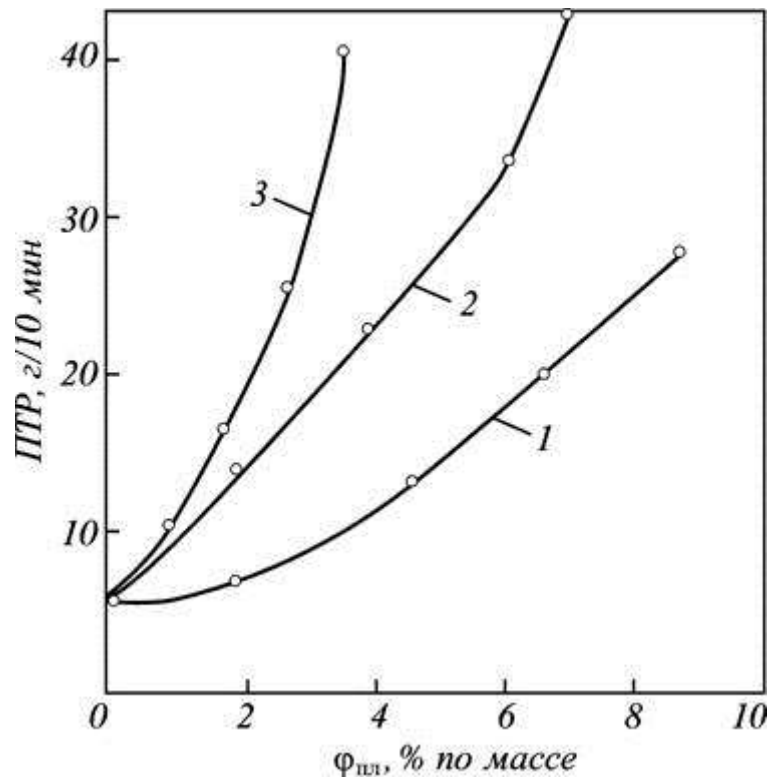


Рисунок 1.13 - Термомеханічні криві непластифікованого (1) і пластифікованого (2) полімеру (ϵ - деформація при стисненні; T - температура) [18]

По зміні температури склування можна робити висновки щодо пластифікуючої здатності пластифікатора по відношенню до даного полімеру.

Зменшення температури склування дозволяє розширити температурний діапазон високоеластичного стану полімеру, а зниження температури плинності полегшує переробку композиції, покращує дисперсність наповнювача та інших інгредієнтів суміші. На рисунку 1.14 показано вплив пластифікаторів на показник плинності розплаву полівінілхлориду.



1 - діоктилфталат; 2 - діоктилсебацінате; 3 - поліетилсілоксанової рідини ПЕС

Рисунок 1.14. - Залежність показника плинності розплаву (ПТР) при 200 °С полівінілхлориду від вмісту пластифікатора (фпл) [18]

Як правило, властивості міцності полімерів зі збільшенням вмісту пластифікатора погіршуються, що пояснюється послабленням взаємодії між макромолекулами і збільшенням їх рухливості. В якості пластифікаторів

використовують низькомолекулярні сполуки з високою температурою кипіння. Найбільш часто застосовують ефіри аліфатичних і ароматичних карбонових кислот, складні поліефіри, ефіри фосфорної кислоти, , синтетичні і рослинні масла і інші речовини.

Низькомолекулярні пластифікатори утворюють з полімером в більшості випадків термодинамічно-сумісні суміші. У багатьох випадках сумісність буває обмеженою. При виборі пластифікатора керуються не тільки його впливом на властивості полімеру, а й визначають межі його сумісності з даними полімером при температурах можливої експлуатації виробу [18].

1.6 Технологія виготовлення композитної арматури з склопластиків

Вже декілька років на ринку будівельних матеріалів існує гарна альтернатива металевій арматурі, це композитна арматура із скловолокна. Вона має ряд переваг над металевою арматурою (табл. 1.6), що ще більше схиляють ваги вибору у її бік.

Таблиця 1.6 - Порівняння характеристик композитної арматури з металевою арматурою класу А-III [19]

	Склопластикова арматура	Металева арматура
Сировина	Ровінг скляний, смола епоксидна	Метал
Пружність	Максимально пружній	Пружно-еластичний
Міцність при	800...1300	390...490

розтягуванні, МПа		
Видовження, %	2,2	25
Теплопровідність, Вт/(м*°С	0,35	46
Щільність, кг/м ³	1900	7850

Основні переваги композитної арматури над металевою наступні. По-перше вона володіє ліпшими фізико-механічними властивостями. Насамперед вона більш стійка до агресивних середовищ, ніж металева арматура, що поширює сфери її застосування. По-друге вона володіє низькою теплопровідністю та не накопичує статичну електрику [19].

Композитну арматуру з скловолокна виготовляють на спеціально обладнаній виробничій лінії, яка складається з наступних елементів:

- шпулярника для бобини з ровінгом;
- вузла для сушки і прогріву ровінгу;
- ванни для просочення ниток смолою;
- обмотувача для формування арматурного профілю ;
- бункера для фінішного покриття;
- тунельної магнезитової печі;
- блоку повітряного і водяного охолодження;
- механізму для протягання;
- автомата для різання арматури;
- пристрою для намотування бухт;
- блоку управління;

Лінії для виробництва композитної арматури з скловолокна можуть відрізнятися не тільки якістю обладнання в цілому, але і його продуктивністю зокрема. Основним показником продуктивності є випуск лінією в хвилину кількості арматури. В середньому це від 6 до 12 м [20].

Процес виробництва композитної арматури, за умови дотримання якості, вимагає чіткого дотримання технології. Ця технологія включає в себе кілька основних етапів.

1. Етап обробки стеклоровінга

Ровінг є основним матеріалом, з якого виготовляється композитна арматура. Бобини з ровінгом встановлюються на передбачені для цього стелажі, з яких відбувається його подальша подача на лінію (рис. 1.15). Перше, що відбувається з зібраними в пучок нитками, це їх просушування і прогрів за допомогою гарячого повітря. Після цього пучки повністю занурюються у ванну з епоксидною смолою для їх просочення [20].



Рисунок 1.15 – Процес подачі ниток на лінію [20]

2. Етап надання форми і обмотки.

По завершенню етапу обробки ровінг відправляється в філь'єру, для надання потрібного діаметру і форми, а після цього на тіло майбутньої арматури намотується джгут. Механізм обмотки має 4 струмка, в кожному з яких проводиться кругова обмотка (рис. 1.16). Кругова траєкторія обертання забезпечує правильну циліндричну форму виробу [20].



Рисунок 1.16 – Процес намотування ровінгу на композитну арматуру [20]

3. Етап полімеризації На даному етапі арматура потрапляє в магнетитову піч (рис. 1.17), що має довжину 8 м, щоб відбулася полімеризація смол, якими просочувався ровінг.



Рисунок 1.17 – Магнетитова піч [21]

4. Етап охолодження і нарізки Після печі стрижні арматури охолоджуються в наповненій водою ванні та ріжуться на потрібну довжину в автоматі різання, який ділить їх за заздалегідь заданими параметрами. Автомат для різання робить зріз точно і рівно, так як оснащений дисковою пилкою, що має діамантове напилення. Вся виробнича лінія є повністю автоматизованою і знаходиться під управлінням програмного блоку, в якому задаються всі необхідні параметри перед початком її роботи [20].

1.7 Мета та цілі дослідження

На основі літературних даних можна побачити, що сьогодні полімерні матриці на основі епоксидних смол дуже широко використовуються для виготовлення різноманітної номенклатури ПКМ. Найбільш актуальним на продуктом є композитна арматура на основі полімерної матриці та скловолокна. З кожним роком використання її у сферах будівництва та сільського господарства зростає, а при цьому зростають і вимоги до цих ПКМ. Підвищення механічних властивостей можна досягти не тільки змінюючи тип волокна, розміри частинок але і зміною співвідношення компонентів таких як смола, затверджувач та пластифікатор.

Отже метою цієї роботи є дослідження впливу співвідношення компонентів полімерної матриці (епоксидної смоли, пластифікатора, затверджувача) на її властивості.

Для досягнення цієї мети потрібно:

- визначити вплив компонентів на властивості полімерної матриці;
- вибрати оптимальний склад компонентів для отримання найкращих показників властивостей полімерної матриці для виготовлення композитної арматури.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріал матриці

У першому розділі наведений літературний огляд дає можливість визначити вимоги до матричного матеріалу (епоксидної смоли), який використовується для виготовлення композитної арматури, бо вони відповідають ряду вимог, а саме:

- хороша адгезія до великої кількості наповнювачів;
- велика кількість видів смол та затверджувачів для них;
- низька втрата об'єму при затвердінні;
- висока хімічна стійкість;

Особливо важливою властивістю епоксидних олігомерів є їх здатність до поєднання з різними продуктами з метою спрямованої модифікації і поліпшення властивостей композитів. Також ЕС мають велику кількість видів затверджувачів та пластифікаторів, різних за активністю. Цей широкий вибір також надає нам більше можливостей при дослідженні впливу компонентів [22]. Для проведення досліджень, в якості матриці використовували епоксидну смолу чеського виробництва Ероху-520 та китайського виробництва YD-128.

2.2 Матеріали компонентів

Для дослідження впливу компонентів на полімерну матрицю використовувалися наступні типи затверджувачів та пластифікаторів:

- Затверджувач чеського виробництва P-11 (TELALIT)

Основна характеристика: використовується для затвердження епоксидних смол та систем, які використовуються переважно у будівництві та для виготовлення композитів. В'язкість 5...10 мПа*с, амін число 1480...1680 [23].

- Пластифікатор чеського виробництва S-7106

Основна характеристика: реактивний розчинник для систем на основі епоксидних смол. В'язкість 7...15 мПа*с, щільність 0,89 г/см³ [24].

- Затверджувач китайського виробництва TC-601 (МТНРА)

Основна характеристика: один із найчастіше використовуваних затверджувачів для епоксидних смол. В'язкість 4,5 мПа*с, щільність 1,21 г/см³ [25].

2.3 Методика проведення випробування на розтягування

2.3.1 Підготовка та виготовлення зразків

Під час випробування на розтягування проводили дослідження за ГОСТ 56785-2015 «Композити полімерні» [26]. Цей метод полягає в розтягуванні зразка ПКМ з постійним навантаженням або деформацією та швидкістю прикладених зусиль до моменту руйнування (розриву) зразка. Випробування проводили при кімнатній температурі та визначали показники міцності при розтягуванні.

Для проведення цього випробування використовують зразки у вигляді смуги з прямокутним перетином зразки без накладок (рис. 2.1), які закріплювалися у захвати через наждачний папір. Рекомендовані розміри зразків наведені у таблиці 2.1. Також існує ряд вимог до зразків: їх відхилення від номінальних розмірів не повинно перевищувати $\pm 1\%$ по

ширині та $\pm 4\%$ по товщині. Також шорсткість торцевих поверхонь зразка не повинна перевищувати 1,6 мкм.

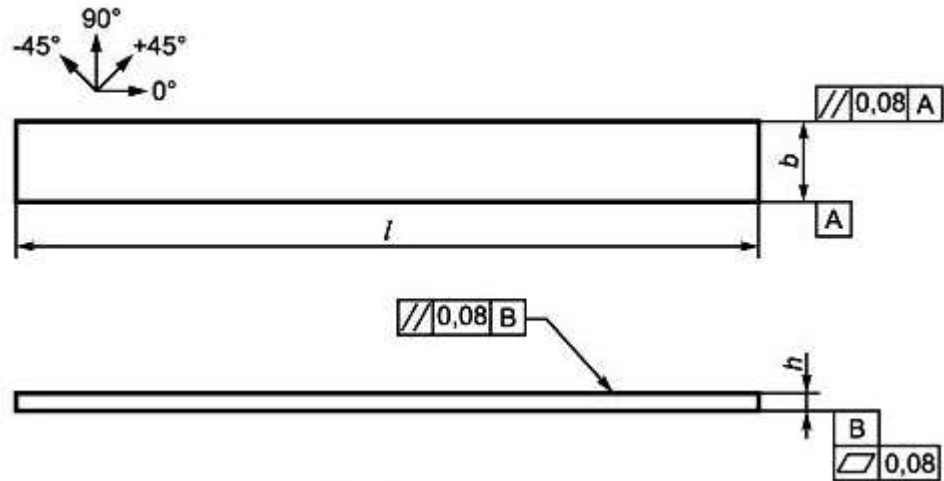


Рисунок 2.1 – Зразок без накладок [26]

Таблиця 2.1 – Рекомендовані розміри зразків [26]

Напрямок армування наповнювачем	Ширина b	Загальна довжина	Товщина h	Довжина накладки	Довжина робочої зони l_{pz}
0	≥ 15	≥ 250	$\geq 1,0$	≥ 56	≥ 90
90	≥ 25	≥ 175	$\geq 2,0$	≥ 25	≥ 90
Інші схеми	≥ 15	≥ 250	$\geq 2,5$	Наждачний папір	≥ 90

Технологія виготовлення зразків, механічна обробка, місця та напрямлення вирізання зразків повинні відповідати вимогам нормативних документів або технічній документації на матеріал. Зразки матеріалу повинні бути виготовлені із застосуванням одного і того ж методу формування. Зразки повинні мати гладку рівну поверхню без здуття, відколів, нерівностей, надрізів, подряпин, тріщин або інших видимих

неозброєним оком дефектів. Відхилення від паралельності бічних граней - не більше 0,2 мм.

Маркування зразків було відображено на верхній та нижній частині, що фіксувалися у захвати, що дозволяло легко та точно ідентифікувати зразки до та після випробування. Перед випробуванням вимірювали розміри зразка (його товщину та ширину по краях та в середині). У протокол випробування було записано найменше значення площі поперечного перерізу [26].

2.3.2 Обладнання для випробування на розтягування

Випробування проводилися на розривній машині (рис. 2.2), що відповідає ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования» [27].

Розривна машина яка забезпечує лінійне переміщення активного захвату (траверси) з заданою постійною швидкістю навантаження або деформації та виміром навантаження з погрешністю не більше 1% від вимірюваної величини.



Рисунок 2.2 - Розривна машина, що використовувалася для дослідження міцності

Захвати повинні забезпечувати надійне кріплення зразків. Не допускається руйнування зразків в захватах. Для збільшення тертя захватних частин зразка при закріпленні рекомендується використовувати наждачний папір. Рекомендується використовувати тензодатчики з базою виміру деформації 6 мм. Екстензометри або інші датчики деформації, що забезпечують вимір деформації з похибкою не більше $\pm 0,25\%$ бази датчика деформації. При використанні інших тензодатчиків база повинна бути не менше 3 мм. Для екстензометру база виміру деформації повинна бути від 10 до 50 мм.

Засоби вимірювання температури по ГОСТ Р 8.585, що забезпечують вимір з похибкою не більше $\pm 1,5\%$ вимірюваної величини. Засоби вимірювання вологості повинні забезпечувати вимірювання з похибкою не більше $\pm 2\%$ вимірюваної величини.

Засоби вимірювання ширини і товщини зразка повинні забезпечувати вимірювання з похибкою не більше $\pm 1\%$ вимірюваної величини. Для вимірювань рекомендується використовувати штангенциркуль за ГОСТ 166 з похибкою не більше $\pm 0,025$ мм і мікрометр по ГОСТ 6507 з похибкою не більше $\pm 0,01$ мм. При вимірюванні на нерівних поверхнях ПКМ використовують мікрометр зі сферичними вимірювальними губками радіусом від 4 до 5 мм. При вимірюванні на гладких механічно оброблених поверхнях або розрізах використовують вимірювальні інструменти з плоско-паралельними губками.

Випробування у даній роботі проводилися на розривній машині УРМ-5, максимальне зусилля складало 50 кН. Зразок встановлювали у захвати розривної машини так, щоб вісь прикладання навантаження співпадала з поздовжньою віссю зразка. При закріпленні зразка стежили за тим, щоб середина губок у кріпленнях співпадала з поздовжньою віссю зразка. При затисканні зразка у захватах стежили за тим, щоб не викликати руйнування зразків в області затискання, але також щоб не дати їм вислизнути із захватів під час випробування. Шкала навантаження обиралася таким чином, щоб вимірювана величина становила від 20 до 80 % від максимального значення шкали. Швидкість переміщення активного ходу машини від 1 до 10 мм/хв.

Під час випробування зразок рівномірно навантажували із заданою швидкістю деформування аж до його руйнування, та записували найбільше навантаження, що витримував зразок. Кожен варіант різного складу мав мінімум 5 зразків для дослідження [26].

2.4 Методика проведення випробування на ударну в'язкість

Випробування на ударну в'язкість проводили згідно ГОСТ 57948 – 2017 «Композиты полимерные. Метод определения ударной вязкости образцов без надреза» [28].

Суть методу полягає в руйнуванні консольно-закріпленого зразка з ПКМ без надрізу ударом маятника поперек зразка на певній відстані від місця закріплення. Зразок вертикально кріпиться у випробувальній установці з маятниковим принципом ударного впливу (маятниковому копрі). Потім у вільному падінні роблять удар бойком маятника. Випробування на удар маятникових копром дозволяє визначити енергію руйнування стандартних випробувальних зразків зазначеного розміру в встановлених умовах кріплення маятника і швидкості маятника при ударі.

Цей метод випробування відрізняється від інших методів аналогічного характеру тим, що в ньому використовують зразки без надрізу. Відсутність надрізу на зразках робить справжній метод випробування особливо корисним у випадку з армованими матеріалами, де надріз може порушувати схему орієнтування армувального наповнювача, виключаючи окремі шари з роботи. При випробуваннях на ударну міцність зразків без надрізу отримують більш високі результати в порівнянні з випробуваннями зразків з надрізом, через відсутність місця концентрації напружень.

Рекомендовані геометричні розміри зразка (дозволяється проводити випробування зразків, які мають іншу товщину, з обов'язковим занесенням відповідної інформації до протоколу випробувань) наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Рекомендовані геометричні розміри зразків [28]

Товщина, мм	Довжина, мм	Ширина, мм
12,70 ± 0,15	60,30 – 63,50	3,17 ± 0,13

На поверхні зразка не повинно бути тріщин, здуття, подряпин, вм'ятин та сколів. Також слід уникати зразків тонше 3,04 мм бо вони обертаються у

захватах, а також зразків ширше 6,35 мм. Виготовлені зразки маркують номером партії та порядковим номером по різні боки від поперечної осі симетрії, що дозволяє точно ідентифікувати зразки після випробування. Кількість зразків для випробувань має бути не менше п'яти для кожного режиму випробувань. Випробування проводять в приміщенні або закритому об'ємі при температурі і відносній вологості навколишнього повітря або іншого середовища, зазначених в нормативних документах на випробовуваний матеріал. Якщо таких вказівок немає, то випробування проводять при температурі $(23 \pm 2) ^\circ \text{C}$ і відносній вологості повітря $(50 \pm 10)\%$ встановлених в ГОСТ 12423 [28].

В роботі використовувалися зразки, розмірами, які відповідають рекомендованим у документі по якому проводилися випробування. Виготовлені зразки були марковані по різні боки від поперечної осі. Маркування не стиралося після випробування та дозволяло точно визначити зразок до та після випробування. Час від закінчення виготовлення зразків до проведення випробувань складав 60 годин. Кількість зразків для випробувань однієї партії була не менше п'яти для кожного режиму випробування.

2.4.1 Обладнання для випробування зразків на ударну в'язкість

Випробування проводилися на випробувальній установці маятнікового типу (маятніковому копрі), яка складалася з наступних вузлів:

- Копер складається з масивної основи, на яку встановлюють захвати для закріплення зразка і з якими вони з'єднані жорсткою рамою. Номінальної енергії маятника було достатньо для руйнування зразків, що випробувалися.

- Копер забезпечений механізмом фіксації та скидання маятника, а також механізмом індикації енергії руйнування зразка в захоплення [28].

Маятник складається з односкладового важеля з підшипником на одному кінці і головкою, що має ударний наконечник (бойок) на іншому. Важіль повинен бути досить міцним щоб зберігати правильні зазори і взаємне розташування між частинами установки і зразком, а також щоб мінімізувати втрати на вібрацію, яких неможливо уникнути при випробуванні на ударну в'язкість. Захвати, маятник і рама повинні бути досить жорсткими, щоб забезпечувати необхідне взаємне узгодження бойка і зразка, як в момент удару, так і при розвитку тріщини, а також мінімізувати втрати енергії внаслідок вібрації. Основа повинна бути досить потужною, щоб протистояти ударній дії маятника.

Установка повинна мати таку конструкцію, яка дозволяє мінімізувати втрати енергії від опору повітря від маятника, тертя в підшипниках маятника, а також тертя і інерцію в установці. Для визначення енергії, витраченої маятником при руйнуванні зразка використовують або стрілку-показчик з рахунковим механізмом або електронну систему, що складається з цифрового показчика і датчика, як правило, кодового датчика або розрахункового пристрою. У будь-якому випадку зазначена енергія руйнування визначається за визначенням висоти підйому маятника над точкою удару в вираженні енергії, знятої з даного конкретного маятника [28].

Один з типів установок маятнікового копру показано на малюнку 2.3.

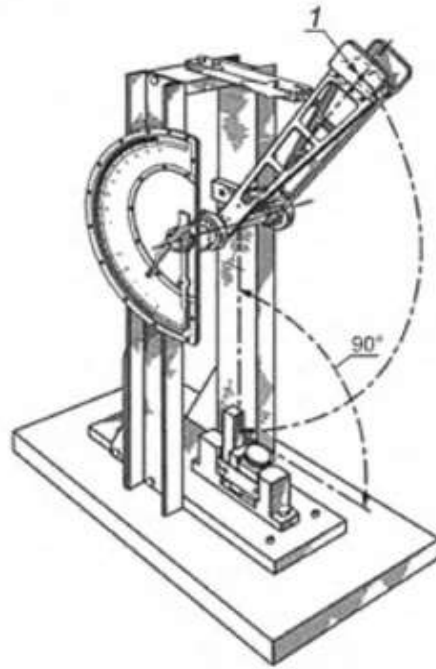


Рисунок 2.3 - Установка маятникового типу для випробування консольної балки на ударну в'язкість [28]

Випробування проводили на маятниковому копрі з максимальним зусиллям 300 Дж, вага молоту складала 300 кг. Зразок без надрізу встановлювали у захвати так, щоб удар маятника приходився точно по центру.

2.5 Методика проведення та зразки для випробування на твердість

Випробування проводилися за ГОСТ 24622-91 (ИСО 2039/2-87) «Пластмассы. Определение твердости. Твердость по Роквеллу» [29]. Показник твердості за Роквеллом знаходиться в прямій залежності від твердості пластмас при втисненні індентора: чим вище показник твердості за Роквеллом, тим твердіше матеріал. Через те, що шкали Роквелла незначно перекривають один одну, при випробуванні одного і того ж матеріалу з

використанням різних шкал можна отримати два різних числа, які обидва технічно абсолютно коректні [29].

Метод визначення твердості, при якому до сталевій кульки, що знаходиться на поверхні випробуваного матеріалу, докладають послідовно попередню і основну навантаження, потім основне навантаження знімають, залишаючи попередню навантаження, причому час дії навантажень задано в встановлених межах. Вимірюють глибину вдавнення, рівну загальній глибині вдавнення кульки під дією загального навантаження, мінус пружне відновлення після встановленого періоду часу, що пройшов після зняття основного навантаження, мінус глибина вдавнення кульки в результаті дії попереднього навантаження.

Показник твердості за Роквеллом за допомогою цього методу визначають по чистому збільшенні глибини вдавнення в той час, як навантаження на кульку зростає від попередньої заданого навантаження до загальної і знову повертається до тієї ж самої попередньої сили навантаження. Кожне ділення шкали Роквелла відповідає 0,002 мм вертикального переміщення кульки [29].

Стандартний зразок для випробування повинен являти собою плоску пластину завтовшки не менше 6 мм. Площа зразка повинна бути достатньою, щоб відповідати вимогам. Зразок для випробування не обов'язково повинен бути квадратним. На поверхні зразка, що контактує з опорою, після випробування не повинно залишатися слідів від вдавнення кульки. Відбір проб, режим і спосіб виготовлення зразків вказують в нормативно-технічній документації на матеріал конкретного типу. При неможливості отримати для випробувань зразки з мінімальною товщиною, зразок для випробування складають з декількох більш тонких зразків, домагаючись необхідної товщини за умови, що поверхні окремих частин будуть щільно стикатися один з одним і не будуть роз'єднуватися ніякими поверхневими дефектами (наприклад, вм'ятинами або заусенцями від ріжучого інструменту). Всі вимірювання слід проводити тільки на одній поверхні зразка [29].

Для визначення твердості за Роквеллом досить одного зразка, на якому, якщо він з ізотропного матеріалу, слід провести не менше 5 вимірів. Число зразків і їх товщину, число і товщину шарів для зразків, що складаються з кількох зразків, вказують в нормативно-технічній документації на матеріал конкретного типу. При випробуванні анізотропних матеріалів напрямком вдавнення слід обумовити щодо осей анізотропії. Там, де необхідно отримати результати більш ніж в одному напрямку, зразки слід готувати так, щоб в кожному напрямку можна було провести не менше 5 вимірів твердості за Роквеллом [29].

Для випробування використовувалися зразки плоскої форми, завтовшки 5 мм квадратної форми. Поверхня контакту зразка з сталеву кулькою було рівною, дефектів на зразку не знайшлося. Виміри проводилися на одній поверхні зразка 5 разів. Необхідні дані були внесені в технічну документацію.

2.5.1 Обладнання для випробування на твердість

Апаратурою служить стандартний прилад Роквелла для визначення твердості, який складається з: жорсткого корпусу, що несе підйомну платформу з робочим столом діаметром не менше 50 мм для розміщення зразків для випробування; індентора з відповідними кріпильними деталями; пристрою для плавного (без поштовху) прикладення необхідних навантажень до індентора. Індентор - полірована сталева загартована кулька по ГОСТ 3722, яка вільно катається в оправці. Кулька не повинна деформуватися в ході випробування, на ній не повинно бути будь-яких пошкоджень після випробування. Діаметр кульки залежить від застосовуваної шкали приладу [29].

Допускається відхилення від діаметра кульки не більше 0,015 мм. Індентор з'єднаний зі стрілочним індикатором або іншим відповідним пристроєм, що дозволяє вимірювати глибину вдавнення з точністю 0,001 мм [29].

Прилад повинен бути встановлений за рівнем на жорсткій основі, що виключає вібрацію приладу. Якщо вібрація неминуча (наприклад, при установці приладу поблизу інших випробувальних приладів), прилад Роквелла можна встановити на металевій плиті з прокладкою з пористої гуми товщиною не менше 25 мм або на будь-якій іншій підставці, яка буде ефективно гасити коливання [29]. Для дослідження використовувався апарат ТК-2, який відповідає всім вимогам ГОСТу.

2.6 Дослідження мікроструктури матриці

Підготовка поверхні мікрошліфа для дослідження мікроструктури починалася з підготовки до тонкої шліфовки. Обробка зразків спочатку проводилася за допомогою грубозернистого шліфувального паперу для згладжування поверхні та надання їй ідеально рівної форми. Потім проводилася обробка поверхні шліфів на спеціальному верстаті з використанням дрібнозернистого паперу марки P1000, P1500, P2000 з розміром зерна 15, 8, 6 мкм відповідно. Потім поверхня шліфа доводилася до ідеальної текстури за допомогою використання пасти ГОІ, замість шліфувального паперу використовували тканину з м'яким ворсом. Дослідження мікроструктури полімерної матриці проводилися на мікроскопі Sigeta MM-700. Використовували нетравлені шліфи та збільшення x100, x400 разів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПІВВІДНОШЕННЯ КОМПОНЕНТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ

Епоксидні смоли демонструють високу реакційну здатність з багатьма різними хімічними сполуками, такими як аліфатичні та ароматичні аміни, ангідриди та поліаміди [33]. Ця характеристика пов'язана з наявністю дуже напруженої кільцевої структури етоксилінової структури [33,34]. Отже, з огляду на конкретний епоксидний мономер, механічні властивості епоксидної системи можуть змінюватися в досить високих межах шляхом зміни затверджувача. Отже, можливі варіації властивостей відображають відмінності в розвиненій високомолекулярній мережі. Окрім хімічної природи затверджувача, інші змінні, такі як час і температура затвердіння [35,36] та відношення кількості затверджувача до мономеру епоксидної смоли [37], можуть створювати дуже різноманітні макромолекулярні структури. Для епоксидної системи, утвореної дифункціональним епоксидним мономером, дигліцидиловим ефіром бісфенолу-А (DGEBA) та гексафункціональним аліфатичним аміном, триетилентетраміном (ТЕТА), було показано, що відношення затверджувача до епоксидної смоли сильно впливає на механічні [38,39] та термічні властивості [40].

Отже на властивості майбутнього композиційного матеріалу впливають не тільки типи та матеріали наповнювача, але й самі компоненти матриці (затверджувач, пластифікатор) [41]. Тому дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці є дуже важливим та актуальним.

3.1 Вибір співвідношення компонентів

За основу при виборі співвідношення компонентів була взята стандартна технологія виробництва композитної арматури на заводі «Імперіал». Вони використовували наступну формулу: китайська смола YD-128 (54,5 %), китайський затверджувач TC-601(43,6 %), китайський прискорювач DMP-30 (1,9%). Необхідно було провести оптимізацію стандартної технології для дослідження змін у механічних властивостях полімерної матриці, а також дослідити можливість використання компонентів іншого виробництва, а саме чеської смоли Ероху-520 та чеського затверджувача Р-11, які мають нижчу собівартість.

Змінення співвідношення компонентів досліджувалося у роботі [41] де показано реакцію зміни вмісту затверджувача на температуру склування, та було встановлено, що при зміні кількості затверджувача, які відрізнялася від рекомендованої, температура склування падала, а найвища температура склування відповідала рекомендованій кількості затверджувача виробником. У роботі [42] проводилися дослідження на зразках на основі епоксидної смоли та доказано, що занадто велике збільшення вмісту затверджувача призводить до зниження міцності з'єднання зразків, які досліджувалися. Такий же ефект мали зразки, які працювали при підвищених температурах.

Виходячи із вище наведених результатів у даній роботі досліджувалися зміни співвідношення затверджувача та смоли, у кількості не більше 15%. Але були використані різні типи затверджувачів: метілтетрагідрофталевий (МТНРА), що відноситься до ангідридів дікарбонових кислот та поліетиленполіамін (ПЕПА), що відноситься до аміної групи (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Співвідношення компонентів (смола-затверджувач) у зразках полімерної матриці

№ зразку	Країна та марка смоли	Кількість смоли,%	Країна та марка затверджувача	Кількість затверджувача, %	Кількість прискорювача,%
1ст	Китай, YD-128	54,5	Китай,ТС-601	43,6	1,9
2ст-то		54,5		43,6	
3то		58		40	
4то		61,7		36,4	
5то		65,3		32,8	
6		65,3		32,8	
7	Чехія, EP-520	90	Чехія, P-11	10	-
8		87,5		12,5	-
9		85		15	1,9
10	Китай, YD-128	92		8	1,9
11		90		10	
12		88		12	
13	Чехія, EP-520	54,5	Китай, ТС-601	43,6	1,9
14		58,1		40	-
15		61,7		36,4	-

Примітки: ст – стандартне співвідношення компонентів за технологією виробника; то – зразки, які піддавалися нагріванню під час склування.

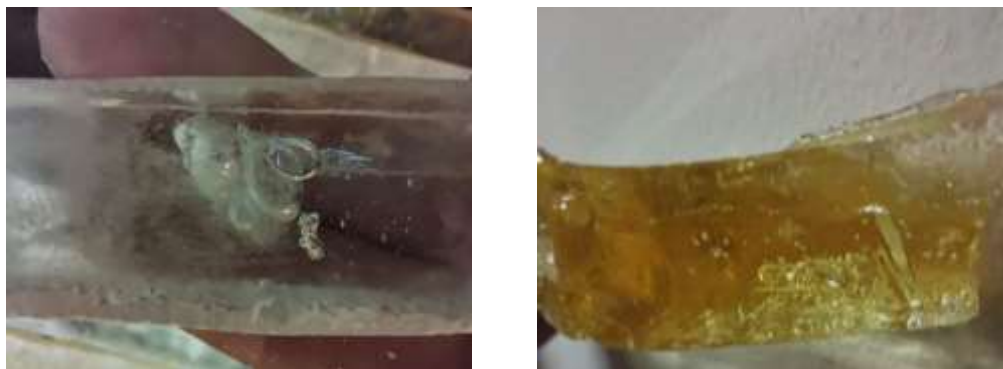
3.2 Вплив співвідношення затверджувач-смола на властивості полімерної матриці

Для дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці виготовлялося по 5 зразків для кожного номеру зразка (див. табл. 3.1). Компоненти змішувалися з епоксидною смолою у наступній послідовності: смола – пластифікатор (за наявності) – прискорювач – затверджувач. Перед додаванням затверджувача суміш перемішувалася протягом 15 хвилин, після - ще 5 хвилин. Після цього суміш розливали по формам. Склеювання полімерної матриці проводилося при кімнатній температурі, крім зразків з позначкою «то»– їх клали у піч на 20 хвилин при температурі 140 °С. В результаті проведених досліджень виявлено, що зразки на основі китайських смоли та затверджувача (№1, №6 див.табл.3.1), процес склеювання яких проходив при кімнатній температурі, були дуже крихкими та закінчувався лише через 146 годин. У порівнянні з іншими зразками вони вже мали значні сліди тріщин на поверхні, які з'являлися в процесі склеювання (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Тріщини на поверхні зразка

При поєднанні чеської смоли із затверджувачем відбувалося інтенсивне виділення тепла і температура суміші піднімалася до 150 до 170 °С, завдяки природі затверджувача, що не є термостабільним. Внаслідок цього процес склування відбувався при підвищених температурах і зразкам не потрібно було проходити додаткову термообробку. Але при підвищеному вмісті затверджувача та маленькому об'ємі розчину відбувалося надлишкове виділення тепла, що призводило до закипання зразків (рис. 3.2).



а

б

а – зразок № 8; б – зразок № 13

Рисунок 3.2 – Зразки після скіпання

Після завершення процесу склування, отримані зразки проходили механічну обробку для надання їм необхідної форми для дослідження механічних властивостей, а також виготовлення мікрошліфів, для дослідження мікроструктури полімерної матриці (рис. 3.3).

Під час механічної обробки було помічено, що зразки на основі чеської епоксидної смоли та затверджувача набагато легше піддавалися обробці на шліфувальному станку, у той час як зразки на основі китайської смоли та затверджувача переходили у пластичний стан на площі обробці.

№ зразка	Збільшення x100	Збільшення x400
----------	-----------------	-----------------


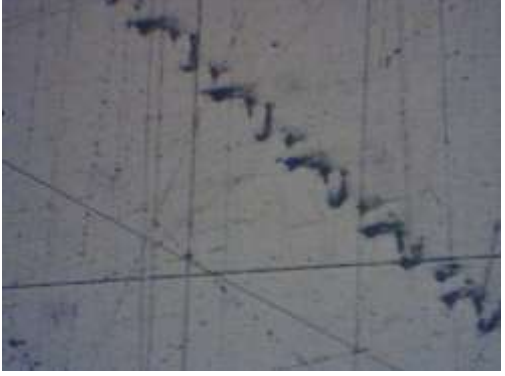


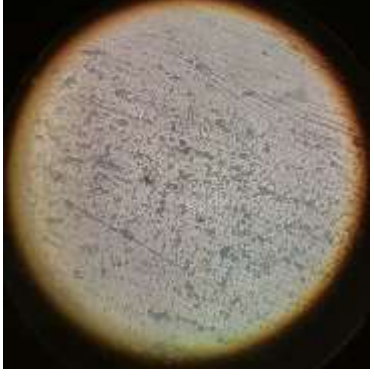



згідно табл.3.1		
1		
3		
8		
11		

Рисунок 3.3 – Мікроструктура дослідних зразків полімерної матриці (x100)

Дослідження мікроструктури полімерної матриці показало, що термічне оброблення зразків за стандартною технологією з використанням китайських компонентів призводить до покращення мікроструктури (зразок №3). При збільшенні кількості затверджувача без використання прискорювача склування відбувалося мікрозакипання зразка (зразок № 8). При поєднанні китайської смоли та чеського затверджувача структура мала оптимальний вид (зразок № 11).

Дослідження міцності полімерної матриці показало, що зі збільшенням кількості затверджувача міцність на розтягання зростає до певного вмісту, але потім падає (рис. 3.4, 3.5). Це відбувається за рахунок переходу матриці з крихкого стану у більш пластичний, але у певний момент затверджувача стає так багато, що відбувається перенасичення матриці, що призводить до зниження міцності.

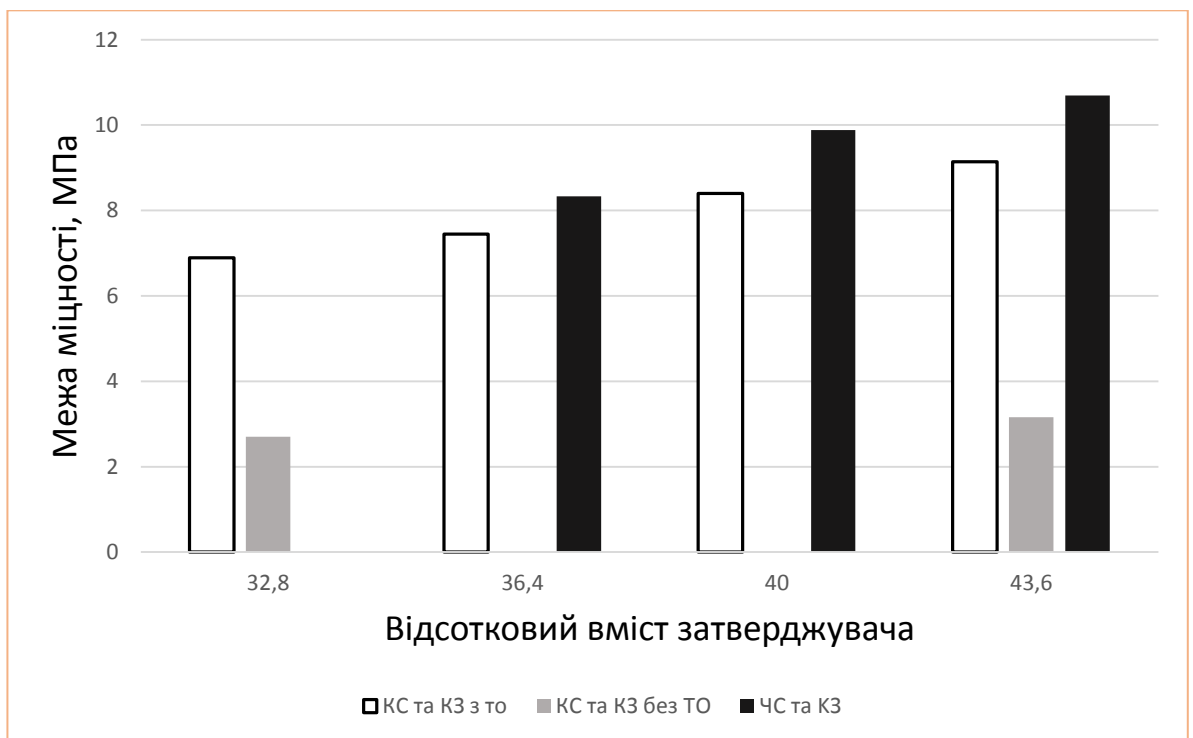


Рисунок 3.4 – Вплив кількості китайського затверджувача ТС-601 на механічні властивості полімерної матриці

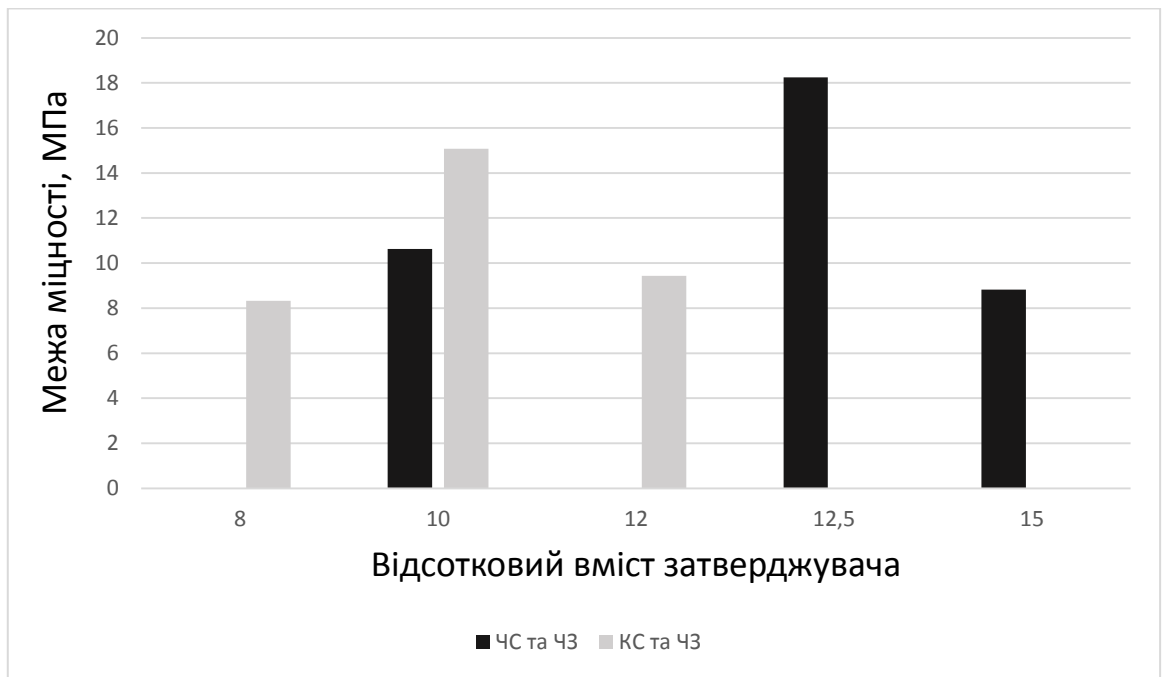


Рисунок 3.5 – Вплив кількості чеського затверджувача P-11 на властивості полімерної матриці без ТО

Така поведінка була пов'язана зі зміною кількості молекулярних сегментів, які забезпечують рухливість у високомолекулярній мережі. Композиції, багаті епоксидною смолою, крихкі завдяки загальному споживанню функціональних груп на молекулу затверджувача. З іншого боку, багаті на кількість амінів зразки демонстрували поведінку руйнування, характерну для матеріалів з великою деформаційною здатністю. Така поведінка була пов'язана з наявністю непрореагованих точок на молекулі затверджувача, які вводять новий рухливий молекулярний сегмент у сформовану високомолекулярну мережу.

Також проводилися дослідження ударної в'язкості при збільшенні кількості затверджувача (рис. 3.6, 3.7).

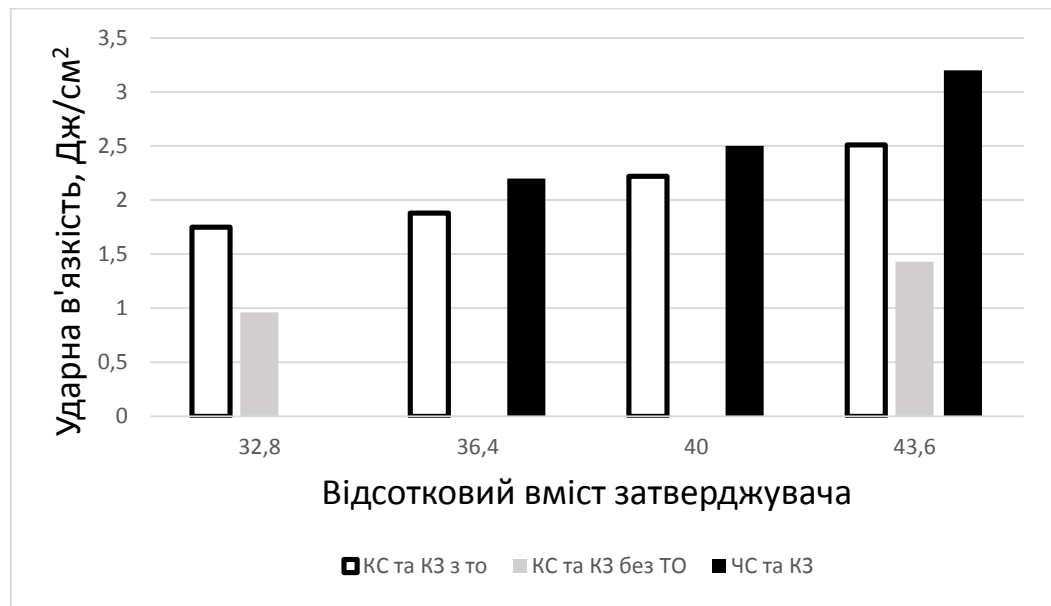


Рисунок 3.6 – Вплив кількості затверджувача ТС-601 на ударну в'язкість полімерної матриці

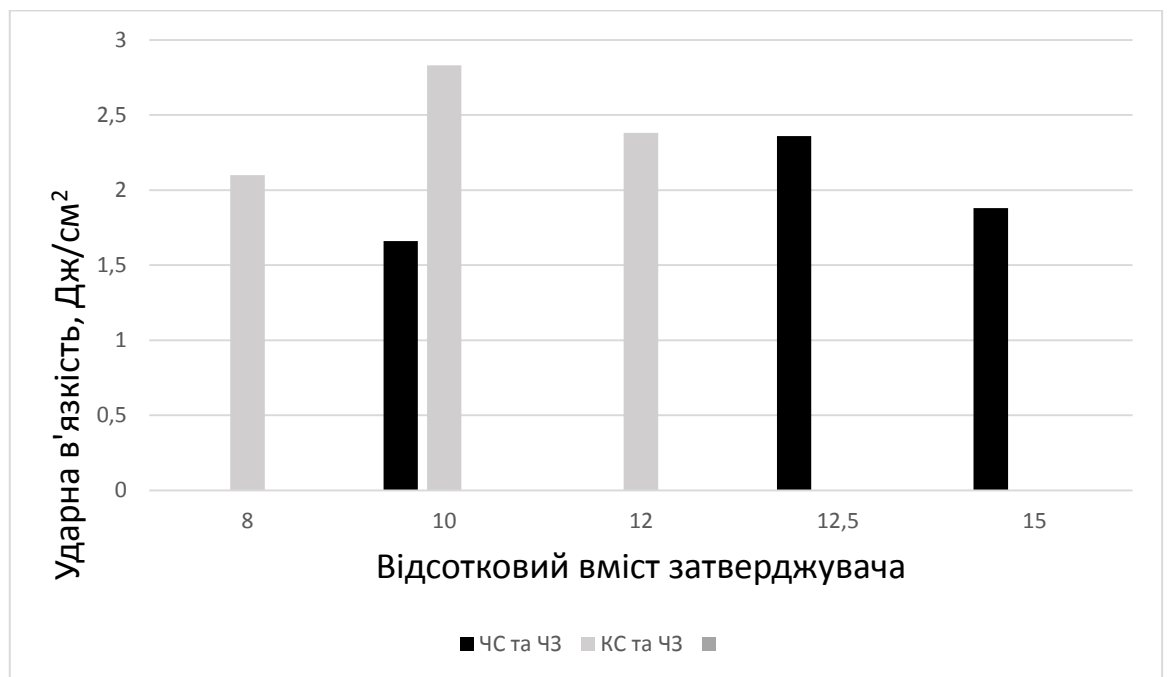
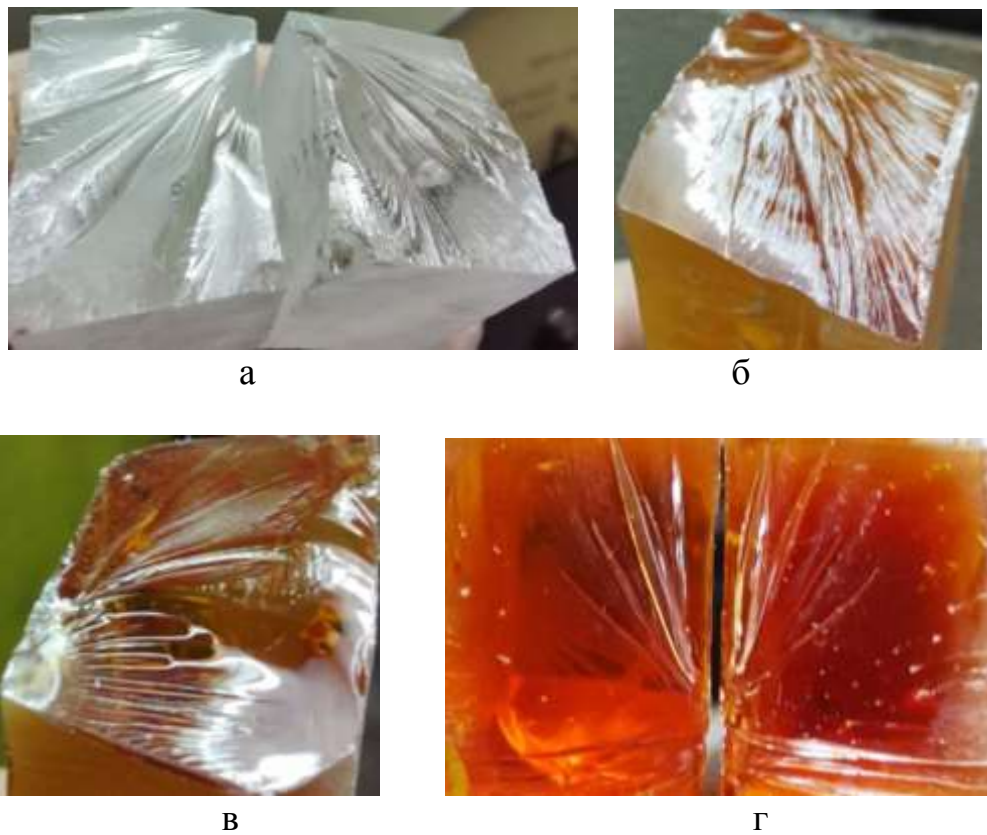


Рисунок 3.7 – Вплив кількості чеського затверджувача Р-11 на ударну в'язкість полімерної матриці без ТО

Дослідження показали, що при збільшенні кількості китайського затверджувача (див. рис. 3.6) ударна в'язкість поступово зростає, що можна пояснити наявністю непрореагованих точок на молекулі затверджувача [43].

А при збільшенні кількості чеського затверджувача ударна в'язкість зростає, а потім починає поступово знижуватися, що можна пояснити наступним. При збільшенні затверджувача більше 12,5 % починає відбуватися процес закипання полімеру, що призводить до окрихчування полімерної матриці та до значної втрати ударної в'язкості.

Результати досліджень показали, що усі зразки мали втомний злам (рис. 3.8).



а – зразок № 8, б – зразок № 10, в – зразок №2, г – зразок № 14

Рисунок 3.8 – Злами зразків

У роботі [44] було показано, що ударна в'язкість зростає з використанням термічного оброблення під час склування. У нашому випадку ця залежність зберігається. Зразки, що проходили термообробку у печі при 140 °С мають підвищену ударну в'язкість (див. рис. 3.6)

Це може дати гарну базу для подальших досліджень, наприклад згідно [45] температурний режим затвердження визначає тип фазового розділення, а відповідно впливає і на розмір частинок дисперсної фази. Під час затвердження фаза полімеру, що виділяється, формує гомогенну дисперсію з частинками менше 1 мкм, забезпечуючи зниження внутрішніх напружень та підвищення ударної в'язкості, еластичності, тріщиностійкості [46].

Дослідження твердості зразків показало, що зразки, на основі китайської смоли та затверджувача, які не пройшли термічне оброблення були досить крихкими та не змогли пройти випробування на твердість, бо зруйнувалися під час випробування (рис 3.9).



Рисунок 3.9 – Зруйнований зразок

Зразки з китайської смоли після термічного оброблення та з чеської смоли показали досить непогані результати (рис. 3.10, 3.11).

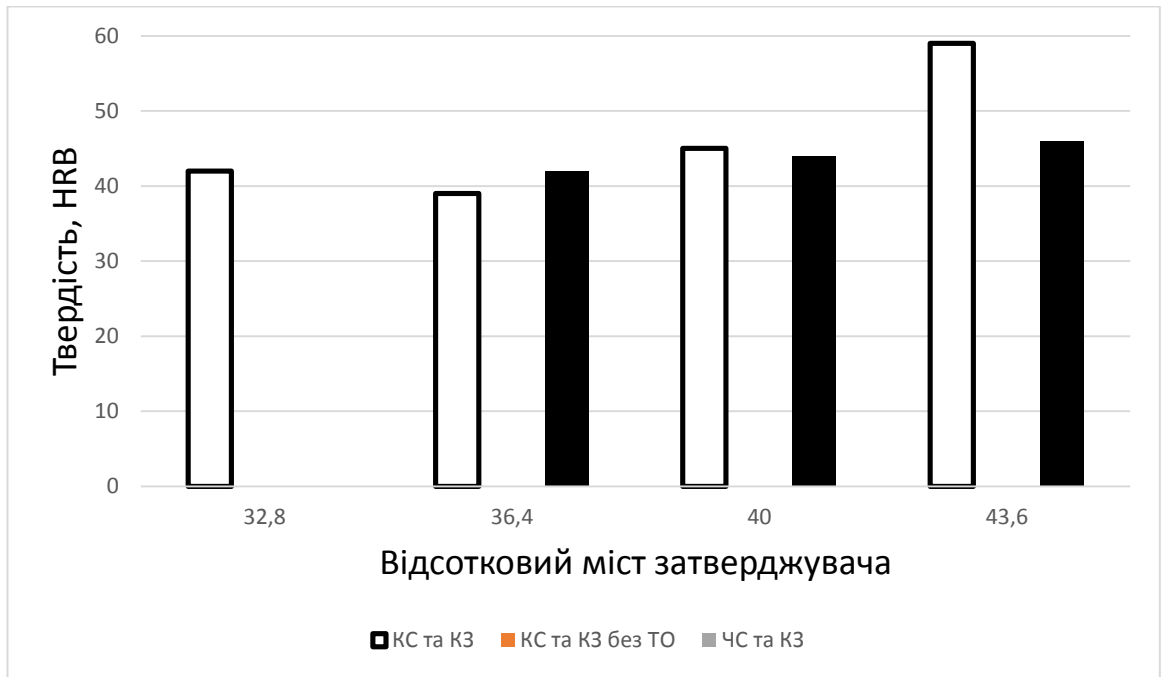


Рисунок 3.10 – Вплив китайського затверджувача ТС-601 на твердість полімерної матриці

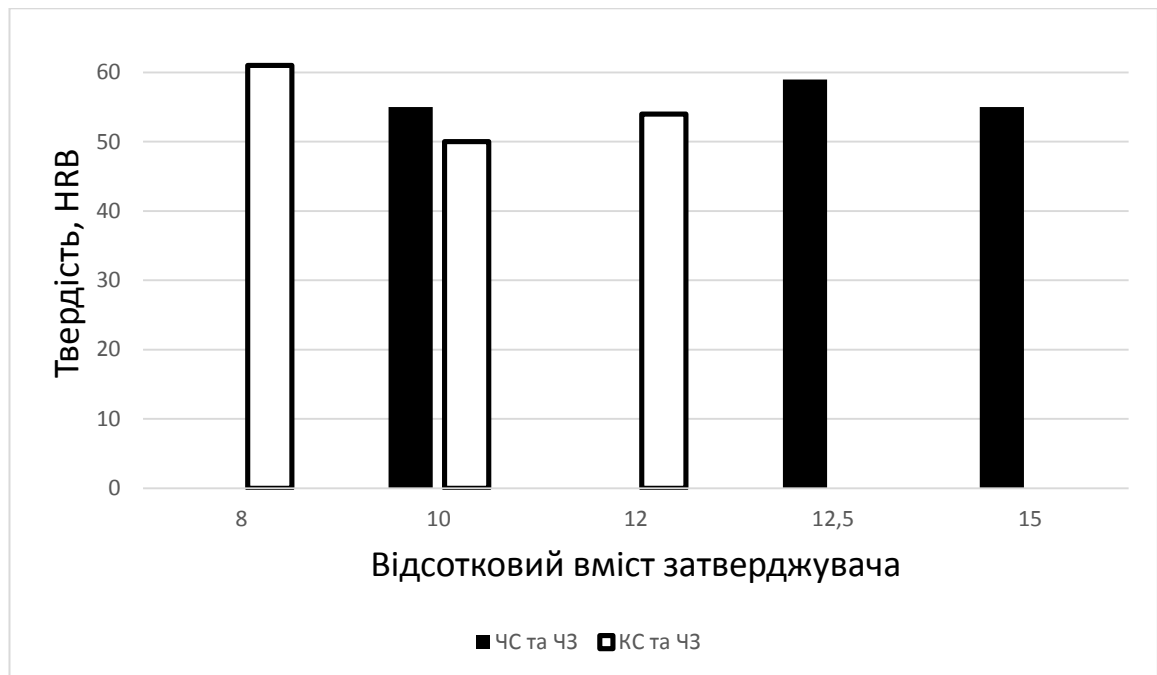


Рисунок 3.11 – Вплив чеського затверджувача Р-1 на твердість полімерної матриці без ТО

Результати показали, що при використанні затверджувачів різного типу МТГФА та ПЕПА вони по-різному впливають на твердість. У випадку з використанням затверджувача ТС-601 збільшення його вмісту призводить до

підвищення твердості полімерної матриці. Найвища твердість свідчить про вищий ступінь міцності зв'язків, що робить матеріал більш гнучким та потребує більшої сили для проникнення. Але у цьому випадку також необхідно оптимізувати кількість затверджувача, щоб його надлишок не призвів до зменшення твердості. У випадку з використанням затверджувача P-11 було отримано гарні показники на всіх ділянках, але найвищий показник був отриманий при змішуванні саме з китайською смолою, та у невеликій кількості. Це зумовлено реакцією приєднання амінів, що домінує при процесі утворення зв'язків та призводить до утворення міцнішого матеріалу, який має кращу твердість. Ці результати добре узгоджуються з дослідженнями у роботах [47, 48].

3.3 Вплив кількості пластифікатору на властивості полімерної матриці

Одним з методів модифікації полімерної матриці є пластифікація. Це зміна властивостей полімеру шляхом додавання до композиції низькомолекулярної добавки – пластифікатора. Згідно роботи [43] пластифікатори можуть змінювати в'язкість системи, гнучкість та підвищувати рухомість молекулярних структур. Багато пластифікаторів дозволяють підвищувати ударну в'язкість полімеру без втрати міцності та модулю пружності.

На основі досліджень був обраний найкращий за властивостями зразок, та вже до нього вводили пластифікатор у різній кількості (табл. 3.2). У роботі [49] досліджувався вплив кількості пластифікатора на властивості полімерної матриці. Дослідження проводилися при вмісті 3, 5, 7, 11, 16 та 25% від ваги епоксидної смоли. Результати досліджень показали, що найкращий варіант вмісту пластифікатору для покращення властивостей був вміст 5...7 %. Тож

для вибору кількості пластифікатора, що буде вводиться у зразки, що досліджувалися, була обрана оптимальна кількість (5...10 %).

Таблиця 3.2 – Співвідношення компонентів (смола-пластифікатор-затверджувач) у полімерній матриці

№	Марка смоли	Кількість смоли, %	Марка затверджувача	Кількість затверджувача, %	Марка пластифікатора	Кількість пластифікатора, %
1п	EP-520	87,5	P-11	12,5	S-7106	5,5
2п						7
3п						8,5
4п						10

Примітка: п – пластифіковані.

Аналогічно зразкам з дослідженням впливу співвідношення затверджувача, проводимо такі ж випробування на механічні властивості, а саме: міцність при розтягуванні (рис. 3.12), ударну в'язкість (рис. 3.13) та твердість (рис. 3.14).

Результати отримані при випробуваннях міцності на розтягування показали, що найкращий опір руйнуванню показав другий зразок, з вмістом пластифікатора 7%, після цього при збільшенні вмісту пластифікатора міцність при розтягуванні зменшується. Це може бути обумовлено тим, що при введенні 7% пластифікатора ми отримуємо найкращі умови для формуванню матеріалу зі значною щільністю просторової сітки. Під дією навантаження, макромолекули, що входять у склад надмолекулярних утворень, змінюють свою форму (відбувається скручування, подовження, розтягнення та ін.). Таким чином за рахунок гнучкості полімерної ланки забезпечується висока пружність полімерної матриці в цілому. Завдяки цьому матеріал характеризується здатністю чинити опір деформації під дією навантажень. Результати випробувань схожі з [45], та підтверджують теорію.

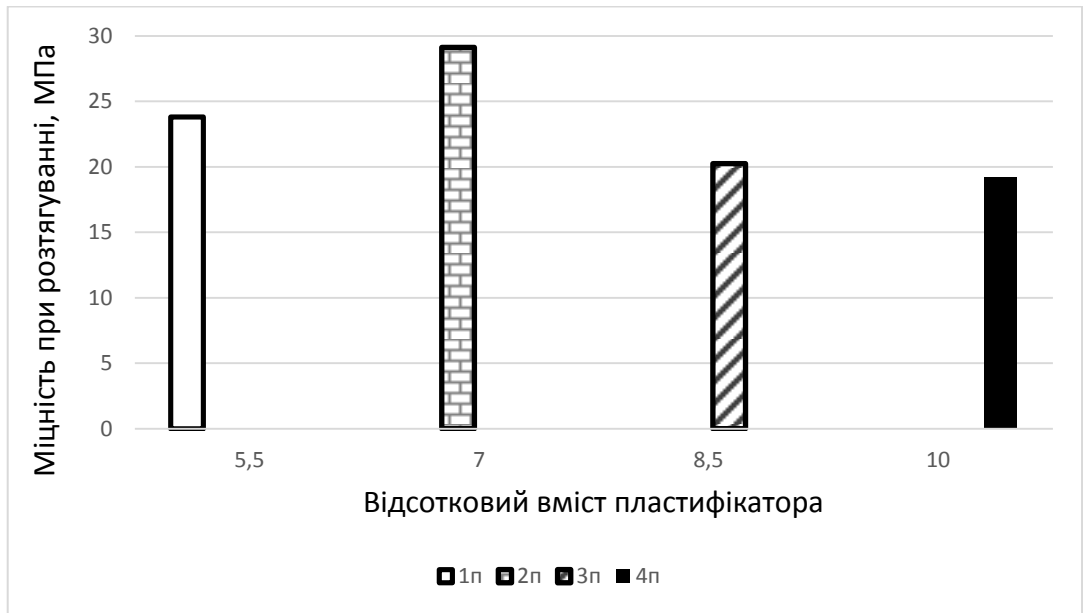


Рисунок 3.12 – Вплив вмісту пластифікатора на міцність композиції

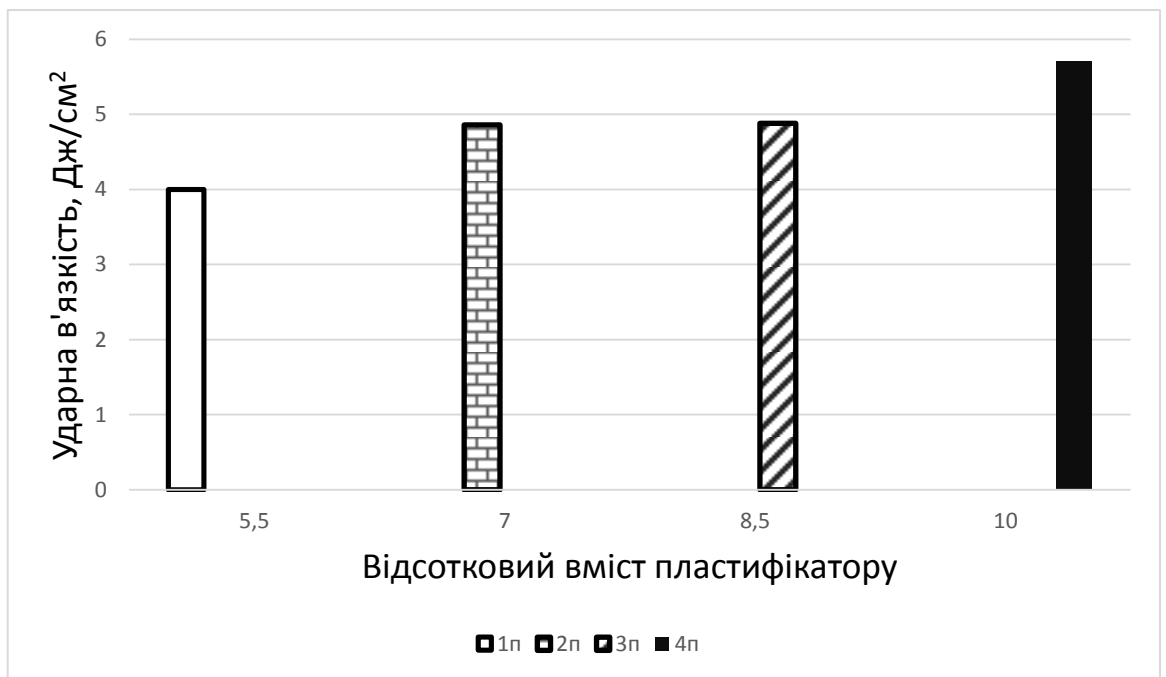


Рисунок 3.13 – Вплив вмісту пластифікатора на ударну в'язкість матеріалу

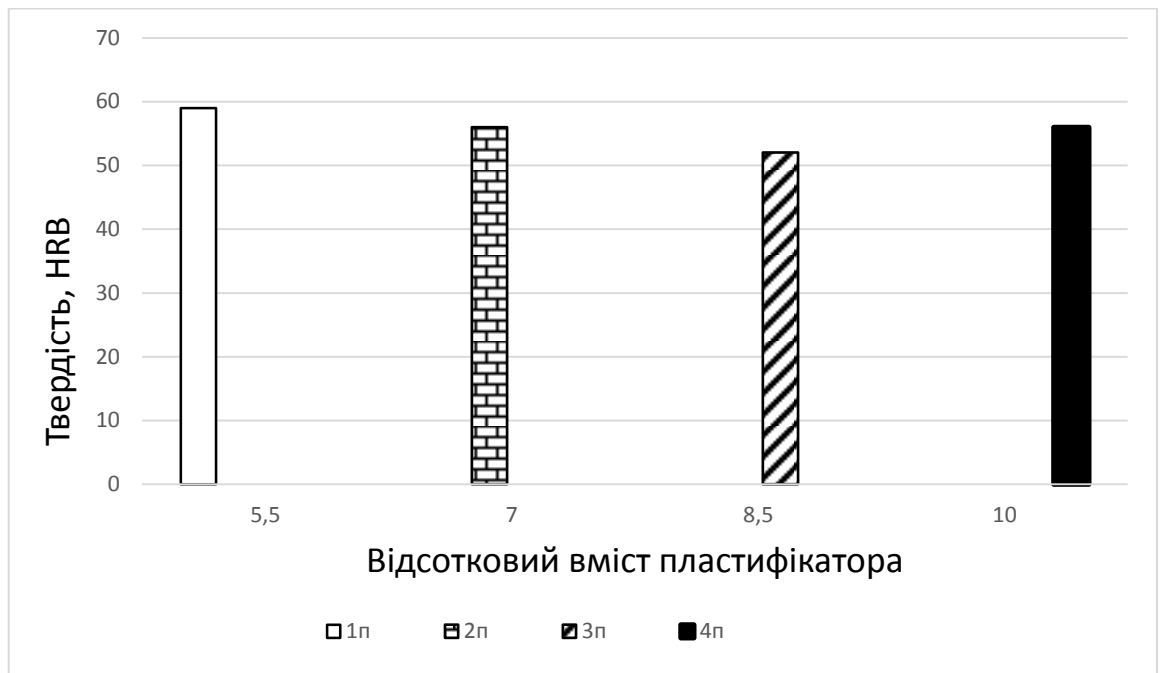


Рисунок 3.14 – Вплив вмісту пластифікатору на твердість матеріалу

Результати, що отримані при випробуваннях зразків на ударну в'язкість показали незначну тенденцію до зростання ударної в'язкості зі збільшенням вмісту пластифікатору. Це також є результатом отримання матеріалу з щільною просторовою сіткою. Згідно роботі [45] можна отримати ще більш високі показники ударної в'язкості, якщо збільшити вміст пластифікатора. Але збільшення вмісту пластифікатора можна проводити лише до певного % від маси смоли, бо подальше збільшення пластифікатору буде знижувати ударну в'язкість і буде відбуватися міграція пластифікатора на поверхню затвердженого зразка та подовження часу склування, що негативно може сказатися на якості виробів з полімерів.. Це свідчить про перенасичення епоксікомполімерів пластифікатором, а також про збільшення золь-фракції в них. У свою чергу це обумовлює інтенсивне утворення тріщин при ударі. Результати випробувань на твердість показали, що при підвищенні вмісту пластифікатора твердість матеріалу знижується. Також були виготовлені мікрошліфи зразків (рис. 3.15) з пластифікатором для дослідження їх мікроструктури.

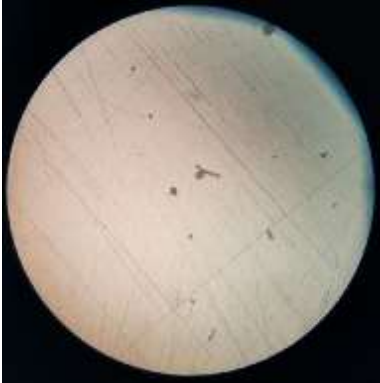





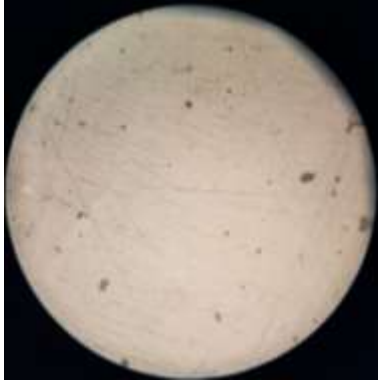

№ зразка	Збільшення x100	Збільшення x400
1п		
2п		
3п		
4п		

Рисунок 3.15 – Мікроструктура зразків

За результатами дослідження мікроструктури можна зробити висновок, що зі зміною кількості пластифікатору твердість полімерної матриці зменшується, що призводило до викришування мікрочасточок полімеру під час шліфування та заповнення їх поліуретановою масою (див. рис. 3.15)

3.4 Вплив співвідношення компонентів на композицію зі скловолокна

На основі даних з вище наведених досліджень було обрано два склади з найбільш оптимальними властивостями, а саме це були зразок № 2п (див. табл. 3.2) та зразок №11 (див. табл. 3.1). Основою для їх вибору стали їх властивості, а саме показники міцності (15,07 МПа у зразка № 11) та 29,1 МПа (у зразка № 2п), що є найвищими серед інших випробуваних зразків. Показники ударної в'язкості також перевищують середнє значення серед випробуваних зразків 2,83 Дж/см² (для зразка № 11) та 4,86 Дж/см² (для зразка № 2п). Показники твердості також перевищували середнє значення по групі випробуваних зразків – 50 HRB (зразок № 11) та 52 HRB (зразок № 2п). Для дослідження впливу оптимізованого складу полімерної матриці на властивості полімерного композиційного матеріалу проводили дослідження на визначення міцності та ударної в'язкості зразків наповнених склотканиною на 47 % (на основі зразка №11) та 44 % (на основі зразка 2п).

Для прогнозування властивостей склопластику використали формулу суміші:

$$\sigma_B = \sigma_{BM} \cdot V_M + \sigma_{BB} \cdot V_B \quad (3.1)$$

За допомогою формули 3.1 визначили розрахункову міцність композиту на основі скловолокна. Для зразка на основі № 11:

$$\sigma_B = 15,07 \times 0,53 + 524 \times 0,47 = 254,6 \text{ МПа} \quad (3.2)$$

Для зразка на основі № 2п:

$$\sigma_B = 29,1 \times 0,56 + 524 \times 0,44 = 246,85 \text{ МПа} \quad (3.3)$$

Для того щоб дослідити правильність розрахунків були проведені натурні дослідження зразків виготовлених з полімерної матриці та склотканини. Результати цих досліджень наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати випробувань

№ зразка	σ_v , МПа	КС, Дж/см ²
11 (див. табл. 3.1)	228,5	106
2п(див. табл. 3.2)	246,8	93

Результати досліджень показали, що формулу прогнозування властивостей можна використовувати для розрахунків міцності. Але у нашому випадку вона дала більшу похибку при розрахунку міцності композиції на основі зразка № 11, бо під час виготовлення композиції на основі склопластику також було додано пластифікатор, що підвищив властивості отриманої композиції.

3.5 Висновки

1. Проаналізувавши літературні данні було обрано матеріал для досліджень, а саме епоксидну смолу та затверджувачі різних виробників за стандартною технологіями змішування та після проведення оптимізації їх складу.

2. Результати досліджень показали, що оптимальним складом для китайської смоли є 54,4% КС + 43,6 % КЗ + 1,9 % КП, що відповідає стандартній технології; для чеської 87,5 % ЧС + 12,5 ЧЗ, для сумісного 90% КС + 10% ЧЗ.

3. Найкращі властивості полімерної матриці в результаті досліджень було отримано при використанні пластифікатора у кількості 7 %, що призвело до підвищення міцності на 59 %, ударної в'язкості на 105 %, але до зменшення твердості на 10%.

4. У порівнянні зі стандартною технологією було отримано зразок з покращеними властивостями, а саме вдалося підвищити міцність на 68%, ударну в'язкість на 48%, але це призвело до зменшення твердості на 11%.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при виготовленні, обробці та дослідженні полімерних композитних матеріалів.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Не виконання вимог ергономіки при плануванні робочого місця, що може призвести до зниження працездатності працівників.

б) Можливість ураження електричним струмом. Одна з основних причин порушення правил з електробезпеки є допуск до виконання робіт осіб, які не пройшли необхідне навчання та перевірку знань з електробезпеки та невиконання правил з техніки безпеки. Також несправність енергоспоживального обладнання. Що може призвести до електричних травм

в) Можливість отримання механічних травм при отриманні полімерного матеріалу, наприклад при використанні допоміжних інструментів.

г) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків до їх випробування на механічні та експлуатаційні властивості.

д) Небезпеки які пов'язані з обробкою результатів дослідження з використанням комп'ютерної техніки.

е) Незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну.

ж) Незадовільне освітлення робочих місць в дослідницьких лабораторіях та виробничих приміщеннях, що може виникнути внаслідок

виходу з ладу освітлювальних пристроїв або хибного розрахунку їх характеристик.

з) Можливість загоряння внаслідок порушення правил з пожежної безпеки, що може призвести до пожежі.

і) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях.

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) Для створення комфортних та безпечних умов праці, згідно з ГОСТ 12.2.032-78 «Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги», передбачено: конструкція елементів робочого місця та їх розташування повинні відповідати фізіологічним та антропологічним характеристикам робітника.

Також при проектуванні робочого місця слід враховувати зручність розташування необхідних для роботи елементів та пристроїв (дисплею, клавіатури та ін.). Робочі стіл та стілець повинні бути зручними для роботи, наприклад висота робочого столу розраховується за зростом та вагою дослідника. При організації робочого місця повинні бути створення умови для попередження неправильних дій оператора.

б) Основними заходами з електробезпеки відповідно до ПУЕ-2017 [46] є:

Організаційні:

До виконання робіт треба допускати осіб не молодше 18-ти років, які при цьому пройшли навчання з електробезпеки, та отримали допуск відповідно групи (2 чи 3). Ремонт та експлуатація електрообладнання здійснює тільки спеціально підготовлений персонал, згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-200 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів» [47].

Також повинні бути складені схеми для кожного виду обладнання по нормуванню робіт в аварійних ситуаціях.

Технічні:

Всі струмопровідні елементи електрообладнання, що не ізольовані, повинні бути надійно огорожені, та їх зняття або відкриття можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв; Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000В - не менше 3,5м, при напрузі більше 1000В - не менше 6м); Також необхідне захисне заземлення.

в) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку.

Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками; використання абразивних кіл з дефектами заборонено; абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування; біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину; при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами; підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу.

Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм; заборонено працювати без підручника,

захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилю. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом»

Для запобігання механічних травм при використанні допоміжних інструментів (наприклад ріжучий інструмент) для виготовлення полімерного матеріалу існують наступні основні вимоги, які забезпечують безпеку роботи:

- Під час різання слід підтримувати матеріал рукою, але так, щоб пальці були на безпечній відстані від ножиць.
- Працювати тупими ножицями або/та ножем забороняється.
- Будь-який інструмент має використовуватись тільки за призначенням.
- Користуванням канцелярськими ножицями ГОСТ Р 51268-99 із заокругленими кінцями та заокругленим лезом на ножі.
- Тримати ножиці лезом угору, або ніж лезом угору забороняється.
- Залишати ножиці у відкритому виді забороняється.
- Робоче місце повинне утримуватися у чистоті та порядку.

Обов'язкове використання засобів індивідуального захисту: халат ГОСТ 12.4.131-83.

г) Для запобігання механічних травм в процесі випробування зразків на механічні властивості ГОСТ Р 56785-2015 передбачено виконання наступних інструкцій з техніки безпеки, які стосуються саме дослідницького обладнання.

Для запобігання механічних травм в процесі механічних випробувань на розтяг на інсталяції РС-1 передбачено триступеневу систему захисту;

- центруючі та вирівнюючі втулки передбачені для запобігання зриву зразка внаслідок перекосив або зношування захватів;
- для уникнення допуску максимального навантаження на конструкцію інсталяції, що може призвести до руйнування та аварійної

ситуації та для виключення похибок, встановлена електронна система управління та гідравлічний привід;

- для уникнення ураження електричним струмом усі електричні кабелі екрановані спеціальними кожухами (ПТБЕ).

Виконання техніки безпеки є обов'язковим при зачищенні кромek зразку.

Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно замінювати деталі, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; також передбачено використання захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень твердих тіл, що летять знизу/зверху/збоку/попереду. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

д) Персонал, що використовує комп'ютерну техніку зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт» [48], а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є :

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- локальне стомлення, загальна втома;

Режими праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності. Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А - робота із зчитуванням інформації з екрану комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б - робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу;

За основну роботу з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50 % роботи протягом часу роботи комп'ютера.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

е) Для задовільного забезпечення наступних параметрів повітряного середовища робочого простору (швидкість переміщення повітряних мас, температура, вологість) обов'язковими умовами є наявність природної вентиляції, загальнообмінної вентиляції та кондиціонування приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудования для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [49], ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральные общего назначения. Общие технические условия», ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Для забезпечення санітарних норм мікроклімату розробляються заходи відповідно до вимог ДСН 3.36-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [50].

В роботі передбачено визначення повітряобміну з урахуванням типу виробничого приміщення та виду виробництва.

Для нормалізації мікроклімату як у невиробничих так і у виробничих приміщеннях без виділення шкідливих речовин використовується природна вентиляція.

Якщо тепловиділення у приміщенні недостатньо для постійного використання природної вентиляції, або коли кількість чи токсичність

речовин, що виділилися у повітря приміщення викликали необхідність постійного повітряобміну незалежно від метеорологічних умов навколо середовища використовується штучна механічна вентиляція.

Загальнообмінна вентиляція забезпечується створенням необхідного мікроклімату та чистоти повітряного середовища у всьому об'ємі робочої зони приміщення.

Місцева витяжна механічна вентиляція забезпечує вловлювання шкідливих виділень безпосередньо в місцях їх виділення, що запобігає поширення цих речовин в приміщенні.

Продуктивність природної вентиляції в приміщенні дослідницької лабораторії, визначається за формулою:

$$L = K * V_n = 2 * (15 * 6 * 3) = 540 \text{ м}^3/\text{год}, (4.1)$$

де K - кратність повітрообміну (відповідно до галузевих норм, кратність повітрообміну в цеху становить $k=2$);

V_n - об'єм приміщення, м^3 .

Об'єм повітря, що відсмоктується витяжним зонтом при травленні зразків, визначається за формулою:

$$L = a * b * V * 3600 = 0,60 * 0,60 * 1 * 3600 = 1296 \text{ м}^3/\text{год}, (4.2)$$

де, a та b – розміри зонта в плані, м ;

V – швидкість руху повітря, яке відсмоктується в площині перерізу по комірці зонта. Значення V приймається від 0,5 до 1,5 $\text{м}/\text{с}$ в залежності від конструкції зонта.

Об'єм повітря, що видаляються від витяжних шаф розраховується за формулою:

$$L = F * V * 3600 = 6,9 * 0,6 * 3600 = 14904 \text{ м}^3 / \text{год}, (4.3)$$

де, F – площа робочого отвору (відкритих проїомів та нещільностей), м^2 ;

V – швидкість руху вилученого повітря через відкриті робочі отвори, $\text{м}/\text{с}$. Приймається від 0,5 до 1,7 $\text{м}/\text{с}$ в залежності від токсичності та леткості газів та парів, що видаляються.

За результатами розрахунків можна побачити, що продуктивність природної вентиляції складає 540 м³ /год, об'єм повітря, що відсмоктується витяжним зонтом - 1296 м³ /год, а об'єм повітря, що видалається від витяжних шаф — 14904 м³ /год.

ж) Система освітлення визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [51], ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые» та залежить від типу зорових робіт. Але існує вимога, що при виконанні робіт у приміщеннях типу І-ІІІ, ІVа, ІVб, ІVв, Vа застосовується система комбінованого освітлення.

Систему загального освітлення слід використовувати при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення і це необхідно узгоджувати при з органами державного санітарного нагляду. Доля загального освітлення повинна складати не менше 10% при комбінованому.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

з) «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [52]. Розробку заходів з пожежної безпеки починається з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В. 1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та

пожежною безпекою» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» [53].

Необхідно указати до якої категорії виробництва з пожежної безпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо). Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [54], також необхідно указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо), передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). А також указати максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» [53].

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно з вимог НПА ОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [55]. Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [56]: - автоматичних сигналізаторів про пожежу; - системи пожежної сигналізації.

З огляду на пожежну безпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 №25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за №225/31677. Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001 -2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [52].

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів (їх агрегатного стану й особливостей горіння), які використовуються при роботі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК і ВДТ:

-згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів - А (пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

Отже відповідно до методики визначення категорій приміщень та будівель за вибухонебезпечністю та пожежною безпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки — простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали, наявність незаймистих речовин і матеріали в холодному стані.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної безпеки, тому відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [54] воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єкти будівництва. Загальні вимоги» [54] передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого - вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» [53] відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближче евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до 74 вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [55], та мають ступінь захисту ізоляції обладнання 1Р44 яка відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па1 до якої належить приміщення. З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи.

На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання. Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [56], в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 №25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за №225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення).

Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника

- ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м

4.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

і) Аварії технічних систем представляють найбільшу небезпеку для життєдіяльності виробничого персоналу. Спричиняти аварії на виробництві можуть такі речі як, порушення режиму технологічного процесу або порушення правил експлуатації електричного, виробничого, та ін. обладнання, а також правил техніки безпеки, стихійні лиха. З характерних особливостей небезпечних аварій слідує: з надзвичайною оперативністю слід проводити захисні заходи, а також, оповіщення персоналу та контроль, прогнозування та виявлення змін обстановки.

Локалізація джерела надходження СДОР в навколишнє середовище має вирішальну роль в попередженні масової поразки людей. Якщо швидко здійснити цю задачу, то можна направити аварійну ситуацію в контрольоване русло, та знизити збитки, при цьому зменшити викиди СДОР. Для захисту від СДОР застосовують комплекс заходів, який використовують для виключення або максимального послаблення поразки персоналу та збереження працездатності. Комплекс заходів по захисту від СДОР включає:

- Локалізацію та ліквідацію наслідків аварії.
- Пошук постраждалих та надання їм медичної допомоги;
- Тимчасову евакуацію з районів аварії;
- Підготовку людей та засобів для ліквідації хімічно небезпечних аварій;
- Навчання людей порядку і правилам поведінки при виникненні аварій;
- Інженерно-технічні заходи на тему зберігання і використання СДОР;
- Оповіщення щодо безпосередньої загрози СДОР;
- Хімічну розвідку районів аварії; [57]

Загальна характеристика двох найпоширеніших СДОР наведена нижче:

Хлор (ступінь токсичності 2)

Основні властивості : зеленувато - жовтий газ з характерним запахом, важче повітря, мало розчиняється у воді, при виході в атмосферу димить. Накопичується в низьких ділянках поверхні, підвалах, тунелях і т. п. [57].

Вибухо - і пожежонебезпечність: негорюч. Ємкості можуть вибухати при нагріванні. Небезпечність для людини: можливий летальний випадок при вдиханні. Пари впливають на слизову оболонку та шкіру, викликаючи опіки слизової дихальних шляхів, шкіри та очей [57].

При враженні проявляються різкий за грудний біль, сухий кашель, віддишка, різь в очах. Засоби захисту : ізолюючий протигаз, фільтруючий протигаз марки В, захистний одяг. Дегазация : Місце розливу залити водою, вапняковим молоком, розчином соди або каустика [57].

Щоб запобігти глибині розповсюдження слід використовувати водяні завіси за допомогою пожежних машин, мотопом та ін.

Міри першої допомоги:

а) До лікарська : винести на свіже повітря, дати зволожений кисень. При відсутності дихання зробити штучне дихання за методом "рот в рот". Слизову та шкіру промити 2 % розчином соди не менш ніж 15 хвилин [57].

б) Лікарська : в очі преднізолонову мазь; при кашелі - внутрь кодеїн 0,015 або дикопін 0,02; при віддишці : п/ш 0,1% - ий розчин атропіна 1 мл., 1 % - ий розчин дімедрола 1 мл., знеболуючі засоби. Сечегонні засоби в/в 2 % - ий розчин лазікса 2 - 4 мл, а також госпіталізація [57].

Аміак (ступінь токсичності 4)

Основні властивості : безцвітний газ з різким запахом. Легше повітря, розчинний у воді. При виході у атмосферу димить.

Вибухо - і пожежонебезпечність : Горючий газ. Горить при існуванні відкритого джерела вогню. Ємкості можуть вибухати при нагріванні. Пари утворюють з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Небезпечність для людини : Небезпечний при вдиханні, при високих концентраціях можливий летальний випадок. Викликає сильний кашель та

задуха. Пари діють дуже подразливо на слизові оболонки та шкіряний покрів, дотик викликає обмороження шкіри.

При враженні проявляються серцебиття, порушення частоти пульса, “приливи”, насморк, кашель, затруднення дихання, почервоніння та зуд шкіри, різь в очах.

Засоби захисту : ізолюючий протигаз, фільтруючий протигаз марки КД, респіратор РПГ - 67 - КД, захистний одяг(гумові чоботи, перчатки).

Дегазація : Знешкодити джерело відкритого вогня. Для запобігання глибини розповсюдження використовують постановку водяних завіс за допомогою пожежних машин, мотопомп і т. п. Пошкоджені балони опрокинути в ємність з водою.

Міри першої допомоги :

а) Долікарська : винести на свіже повітря. Забезпечити тепло та спокій. Дати зволожений кисень. Шкіру, слизові та очі промити водою або 2 % -им розчином борної кислоти не менш ніж 15 хвилин.

б) Лікарська : при затрудненому диханні - п/ш 0,1 % ий розчин сіркокислого атропіна 1 мл., 1 % ий розчин дімедрола 1 мл. На шкіру примочки 2 % розчину уксусної кислоти [57].

Обстановка в результаті аварії, а також наявність часу, сил і засобів для здійснення заходів з захисту та інші фактори впливають на обсяг та порядок здійснення щодо захисту. Завчасно розробляється план захисту об’єкта, в якому відображаються всі заходи щодо захисту. План розробляється, як правило, текстуально з додатком необхідних схем, ще вказують розміщення об’єкту, сил і засобів ліквідації наслідків аварії, п організацію і т.д. Він складається з декількох розділів і визначає підготовку об’єкту до захисту та порядок ліквідації наслідків аварії згідно «Кодексу цивільного захисту України.» [58].

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Тема магістерської роботи «Дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці».

Використання композитів на основі полімерної матриці з епоксидних смол зростає з кожним днем, вони охоплюють все більше та більше сфер у нашому житті та є гідними аналогами металевим конструкційним матеріалам. Одним з таких затребуваних матеріалів є композитна арматура з скловолокна. (рис. 5.1).

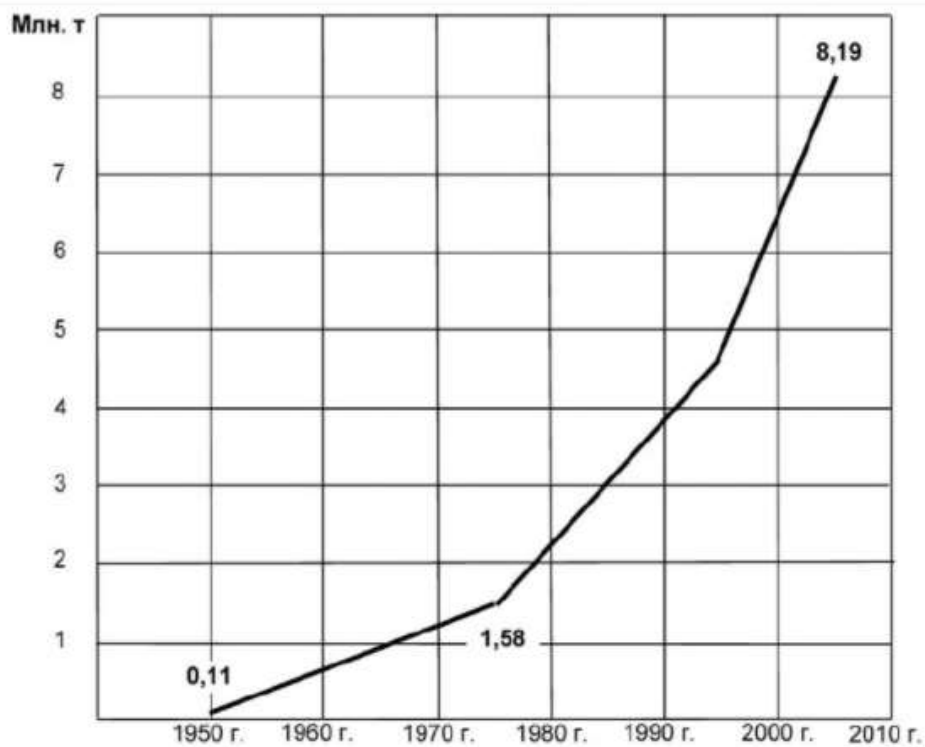


Рисунок 5.1 – Світові потреби у ПКМ з додаванням скловолокна [60]

Зростання потреби у ПКМ є скоріш реакцією на зростання вимог до сучасної техніки та конструкційних матеріалів. Практика показує, що шляхом підбору вмісту полімерної матриці (основи, затверджувача, пластифікатора, прискорювача) можна забезпечити отримання практично будь-якої матриці з заздалегідь заданим поєднанням властивостей.

5.1 Опис ідеї

Ідея роботи (табл. 5.1) є досить актуальною, кількість виробництв, які виготовляють композитні матеріали на основі полімерної матриці є дуже великою не тільки в нашій країні, але й у світі. Концепція реалізації проекту полягає в застосуванні розробленого співвідношення компонентів для виробництва та проектування композитної арматури та ПКМ.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів
Дослідження впливу компонентів на властивості полімерної матриці та вибір найкращого поєднання для виробництва композитної арматури	Будівництво	Отримання композитної арматури з покращеними властивостями
	Виробництво ПКМ на основі епоксидної смоли	Підвищена якість та властивості ПКМ
	Наукові дослідження	Розробка нових, покращених ПКМ на основі нашого співвідношення компонентів

Таблиця 5.2 - Попередня характеристика ринку

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Головні конкуренти	Науково-дослідницький центр при ІХВС
2	Динаміка ринку	зростає
3	Наявність обмежень для входу	Явних обмежень для входу до ринку не має
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Ринок ПКМ вимагає 100% відповідність властивостей, які зазначені у ГОСТах. Відношення компонентів повинно бути максимально точним, як у процентах так і у грамах.

Ринкові можливості запуску реалізації ідеї є досить привабливими. Сфера будівництва в Україні зростає, що породжує попит на конструкційні ПКМ, в особливості композитну арматуру. Не тільки заводи по виробництву композитної арматури та ПКМ хочуть отримати вироби з покращеними

механічними властивостями, багато університетів також розробляють нові ПКМ і також мають попит на нашу технологію.

Але при отриманні композитної арматури на основі полімерної матриці з нашим запропонованим співвідношенням компонентів вона повинна відповідати деяким вимогам, наприклад:

1. По показникам зовнішнього виду не повинна мати таких дефектів, як сколи, тріщини, раковини, вм'ятини від механічного впливу з пошкодженням волокон;
2. Межа міцності при розтягуванні, МПа, не менше 800;
3. Модуль пружності при розтягуванні, ГПа, не менше 50;
4. Межа міцності при стисненні, МПа, не менше 300;
5. Межа міцності при поперечному зрізі, МПа, не менше 150;

Також важливо, щоб отримана композитна арматура 100% відповідала заявленому співвідношенню компонентів як у грамах, так і у відсотках.

Конкурентами є науково дослідницький центр при інституті хімії високомолекулярних сполук НАН України (ІХВС). Вони мають більший досвід у розробці та проектуванні нових полімерних матриць, а також мають більшу дослідницьку базу з більш оснащеною та потужною лабораторією.

Є гарна ідея об'єднання зусиль в напрямку проектування полімерних матриць та композиційних матеріалів на їх основі.

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Полімерні композитні матеріали з підвищеними властивостями	Ринок полімерних композитних матеріалів	відсутні	Одержати якісний конструкційний матеріал
2	Результати впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці для виготовлення	Завод композитної арматури «Імперіал»	відсутні	Одержати результати досліджень щодо впливу компонентів на властивості полімерної матриці

	композитної арматури			
--	----------------------	--	--	--

Потенційними клієнтами проекту є виробники композитної арматури, які зацікавлені в дослідженні впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці, яке потім можна використовувати як основу для виготовлення композитної арматури з покращеними властивостями. На основі покращеної полімерної матриці можна виготовлювати дешевші ПКМ, ринок цих товарів також зацікавлений у такій потребі.

5.2 SWOT-аналіз

З метою вивчення середовища реалізації проекту здійснено SWOT-аналіз, основною метою якого є формування структурованого опису ситуації, відносно якої необхідно прийняти будь-яке рішення [61]

SWOT-аналіз включає у себе 4 ключові елементи: сильні (S) та слабкі (W) сторони, можливості (O) та загрози (T). [61]

SWOT-аналіз дозволяє зробити висновок про те, в якому напрямку має розвиватися проект і, в кінцевому підсумку, як здійснювати розподіл ресурсів по сегментах. Результатом аналізу є розробка маркетингової стратегії проекту. За інших рівних можливостях і ресурсах, стратегія проекту повинна будуватися так, щоб максимально ефективно використовувати свої сильні сторони, а також ринкові можливості, компенсувати слабкі сторони, уникати або знижувати негативний вплив загроз.

На основі проведеного аналізу гарним рішенням буде :

1. Розробка техніко-економічного обґрунтування використання композитних матеріалів для кінцевих користувачів - замовників і інвесторів проектів; –
2. Просування бренду продукції на регіональному рівні.

Для забезпечення зростаючої потреби в кадрах необхідна розробка нових навчальних програм і реалізація нового проекту підготовки кадрів в рамках системного підходу.

Таблиця 5.4 - SWOT-аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> – високі експлуатаційні властивості продукції – висока конкурентоспроможність продукції – варіабельність продукції – можливість впровадження додаткових наукових розробок 	<ul style="list-style-type: none"> – низький рівень знань о можливостях продукції у цільової аудиторії – відсутність уніфікації продукції – брак кваліфікованих кадрів – слабка організація маркетингової системи
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> – потенційно великі об'єми ринків – можливість залучення державного фінансування – державний курс на імпортозаміщення 	<ul style="list-style-type: none"> – використання імпоротної сировини – ризик конкуренції зі сторони постачальників імпоротної продукції – брак кваліфікованих кадрів

5.3 Взаємодія зі стейкхолдерами

Інтеграція України в європейський та світовий бізнес-простір вимагає адаптації вітчизняних реалій до правил господарювання та імплементації основоположних принципів діяльності в практику українського підприємництва. Зокрема, ратифікація Україною стандартів AA1000SES, ISO 26000:2010, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (2013 p.), Business Analysis for Practitioners: A practice Guide (2014 p.) та Requirements Management: A Practice Guide (2016 p.) потребує на

прийняття рішень за проектами за ціннісно-орієнтованим підходом, тобто за цінністю для стейкхолдерів.

За визначенням стандарту AA1000SES стейкхолдерами вважається група осіб, що може впливати на реалізацію проекту або, навпаки, здатна відчувати на собі вплив від його реалізації та продукції або послуг, пов'язаних з ним. Особливо вказується на те, що стейкхолдерами не є ті, хто просто може бути знайомий з організацією або мати думку про неї. Водночас згідно зі стандартом ISO 26000:2010 стейкхолдери це особа або група осіб, заінтересованих у будь-яких рішеннях або діяльності, пов'язаній з реалізацією проекту.

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті
1	Ринок ПКМ	Споживачі готові прийняти результати досліджень для подальшої розробки на їх основі покращених ПКМ	Великий попит на ідею по зміні технології виготовлення	науково дослідницький центр при інституті хімії високомолекулярних сполук НАН України (ІХВС)
2	Завод «Імперіал»			

З метою вивчення інтересів стейкхолдерів та їх впливу на успішність реалізації проекту, здійснено ідентифікацію та пріоритизацію стейкхолдерів, зацікавлених в успішності реалізації даного проекту, результати яких візуалізовано шляхом побудови карти стейкхолдерів (рис.5.1).

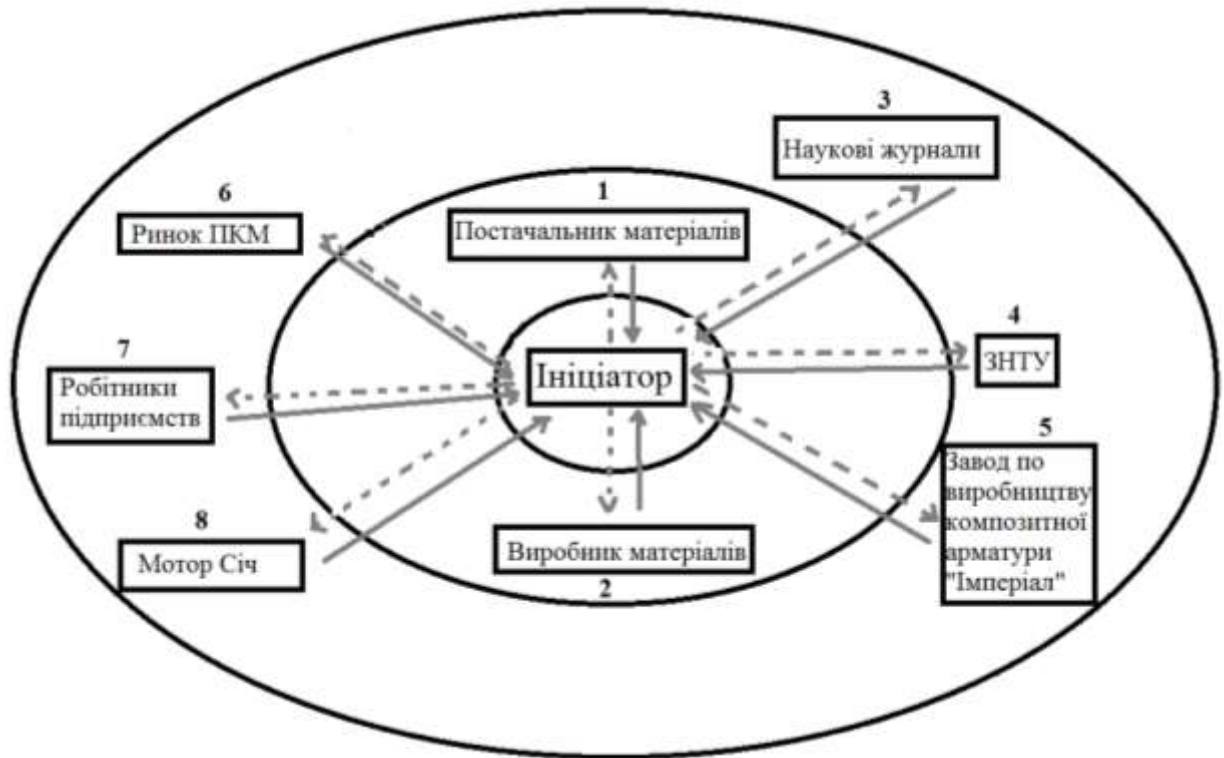


Рисунок 5.1 – Карта стейхолдерів

Загальна кількість виділених стейкхолдерів складає 8. Основні шляхи взаємодії між ініціатором ідеї та стейкхолдерами наведені нижче.

1. **Постачальник матеріалів.** Основний інтерес стейкхолдеру є використання саме їх фірми для постачання товару/послуг, що призведе до підвищення їх доходів та зростання клієнтської бази.

2. **Виробник матеріалів.** Основний інтерес стейкхолдеру – збільшити реалізацію його продукції за допомогою нових клієнтів. Використання матеріалів саме їх фірми призведе до підвищення репутації виробника та збільшення його доходів.

3. **Наукові журнали.** Основний інтерес стейкхолдеру – пошук нових наукових досліджень, які можуть стати інноваційними. Використання результатів наших досліджень у журналах може залучити нових читачів.

4. **ЗНТУ.** Основний інтерес стейкхолдеру – випуск нових спеціалістів та їх науково-дослідницька робота. Розробка нових ідей в університеті, що

стають популярними може підвищити авторитет стейкхолдеру та залучити нових абітурієнтів.

5. Завод «Імперіал». Ми використовуємо базову технологію підприємства та на її основі робимо дослідження. Результати досліджень можуть позитивно вплинути на технологію виробництва основної продукції заводу. Зробити її дешевшою та отримати покращений матеріал. Це призведе до підвищення продаж продукції, а також доходів.

6. Ринок ПКМ. Основний інтерес – отримання нових покращених матеріалів на основі полімерної матриці. Це можливо при використанні результатів нашого дослідження.

7. Робітники підприємств. При використанні результатів нашого дослідження умови роботи на підприємстві підвищуються, завдяки виділенню меншої кількості пилу

8. Мотор Січ. Основний інтерес стейкхолдеру – отримання нових ідей для проектування виробів з ПКМ. Використовуючи наші дослідження можна зробити полімерну матрицю з покращеними властивостями за менші кошти.

Підводячи підсумок вивченню інтересів стейкхолдерів, наголосимо, що серед існуючих інтересів стейкхолдерів, пріоритетними варто визнати технологічні.

Успішність реалізації проекту насамперед визначається вірно сформованою командою та вірно визначеною потребою в інвестиціях.

5.4 Життєвий цикл проекту та заробітна плата

Вважаємо, що впродовж життєвого циклу проекту (табл.5.6) для виконання поставлених задач та досліджень достатньо однієї людини – ініціатора проекту (інженера першої категорії).

Таблиця 5.6 – Схема життєвого циклу інноваційного проекту

Характеристика періоду	Час, затрачений на виконання; t, календарних днів
Пошук інноваційної ідеї на основі досліджень наукових робіт, статей та книжок	10
Складання плану проекту та розробка задач	3
Проектування складу полімерної матриці	1
Виготовлення зразків для випробувань	3
Дослідження властивостей полімерної матриці за допомогою проведення випробувань на механічні властивості	2
Оформлення висновків на основі досліджень	1
Поширення ідеї на виробництва за допомогою інструментів маркетингу	10
Сумарна кількість днів	30

Для виконання роботи проекту, на яку відведено 30 календарних, що дорівнює 22 робочим дням

ЄСВ складає 22%.

Таблиця 5.7 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників за повний життєвий цикл проекту

Кількість та категорія працівників	Тарифна ставка, грн	Ефективний фонд робочого часу, год	Тарифний заробіток, грн	Прем. відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн	Фонд заробітної плати за період, грн	ЄСВ, грн
Інженер 1 кат.	88,8	176	15628,8	10	1562,8	17191.6	3782,15

5.5 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріали для виготовлення зразків для досліджень закупаються працівником через сайт в інтернеті.

Так я темою нашого проекту є «Дослідження впливу співвідношення компонентів на властивості полімерної матриці», то для кожного зразку ми

використовуємо різну кількість матеріалів, тому буде зручно розраховувати матеріальні витрати за наступними таблицями (табл. 5.8, табл. 5.9).

Таблиця 5.8 – Розрахунок матеріальних витрат, грам

Зразок №	Кількість матеріалу, грам						
	КС	КЗ	КП	ЧС	ЧЗ	ЧП	Скловлокно
1	54,5	43,6	1,9	-	-	-	-
2	58,1	40	1,9	-	-	-	-
3	61,7	36,4	1,9	-	-	-	-
4	65,3	32,8	1,9	-	-	-	-
5	-	-	-	90	10	-	-
6	-	-	-	87,5	12,5	-	-
7	-	-	-	85	15	-	-
8	69	-	1,9	-	6	-	--
9	67,5	-	1,9	-	7,5	-	-
10	66	-	1,9	-	9	-	-
11	-	32,7	1,9	40,8	-	-	-
12	-	30	1,9	43,5	-	-	-
13	-	27,3	1,9	46,2	-	-	-
14	-	-	-	43,7	5,76	2,4	-
15	-	-	-	43,7	5,84	3,0	-
16	-	-	-	43,7	5,93	3,7	-
17	-	-	-	43,7	6,00	4,3	-
18	-	-	-	43,7	5,84	3,0	15,03
19	44	-	0,99	-	5,84	3,0	14,79
Разом	487,1	242,8	19,99	567,8	95,21	19,4	29,82

Таблиця 5.9 – Ціна матеріалів

Матеріали	Марка	Ціна, грн за кг	Кількість, кг	Вартість, грн
Чеська смола (ЧС)	Ероху-520	160	0,6	96
Китайська смола (КС)	YD-128	250	0,5	125
Чеський затверджувач (ЧЗ)	P-11	250	0,1	25
Китайський затверджувач (КЗ)	TC-601	248	0,250	62
Чеський пластифікатор (ЧП)	S-7106	250	0,1	25
Китайський прискорювач (КП)	DMP-30	400	0,1	40
Скловлокно	TCP-120	950	0,1	95

Для виготовлення зразків необхідно використовувати піч (2 кВт) , також при проведенні досліджень на механічні властивості ми використовували обладнання, що також використовує електроенергію. Для комфортної роботи дослідника необхідно створити відповідні умови роботи, які потребують тепло- та водопостачання лабораторії.

Таблиця 5.10 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Обсяг послуг	Тарифи, грн	Сума, грн
Електропостачання	1008	1,9	1915,2
Водопостачання	1 м ³	12,5	12,5
Теплопостачання	25 м ²	34,5	862,5
Разом			2790,2

Окрім перелічених витрат при визначенні потреби в інвестиціях, необхідних для реалізації даного проекту, також визначено амортизацію.

Для термообробки зразків використовуємо піч МП-60, зі строком експлуатації 5 років. Розраховуємо річну норму амортизації:

$$НА = \frac{1}{T} \times 100 = \frac{1}{5} \times 100 = 20 \%$$

Розраховуємо річну амортизацію:

$$НА \text{ річ} = 44\,815 \times 0,20 = 8963 \text{ грн}$$

Але ми використовуємо піч лише впродовж життєвого циклу нашого проекту, тобто 22 робочих днів

$$\frac{8963}{365} \times 20 = 540,23$$

Таблиця 5.11 - Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість ОЗ на 01.01	Сума, грн
Муфельна піч МП-60 1 шт.	20	44 815	540,23

5.6 Розрахунок необхідних інвестицій

Таким чином, потреба в інвестиціях, необхідних для реалізації даного проекту складе (табл.5.12).

Таблиця 5.12 – Розрахунок потреби в інвестиціях

Витрати за елементами	Витрати, грн
Матеріальні витрати, разом	3163,2
в т.ч. матеріали	373
електропостачання	1915,2
водопостачання	12,5
теплопостачання	862,5
інші	
Витрати на оплату праці	17191,6
Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ)	3782,15
Амортизація	540,23
Інші операційні витрати	210
Разом потреба в інвестиціях	24887,15

В результаті виконання економічного розділу нами розраховано витрати за елементами, визначеними національними та міжнародними стандартами з обліку витрат. А отже, визначено потребу в інвестиціях, необхідних для реалізації даного проекту. Наразі вони складають 24887,15 грн.

Оскільки проект є некомерційного характеру, то розрахунок очікуваного доходу не здійснювався. Проте оцінювання ефективності запровадження даного проекту за стейкхолдер-підходом, свідчить, що реалізація даного проекту забезпечить збалансованість технічних інтересів стейкхолдерів, а отже, успішність реалізації даного проекту гарантована.

ВИСНОВКИ

Дослідження змінення співвідношення компонентів полімерної матриці – це перспективна та актуальна задача матеріалознавства полімерних композиційних матеріалів, які досить широко використовуються в будівництві авіабудуванні. За результатами даної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізувавши літературні дані було обрано матеріал для досліджень, а саме епоксидну смолу та затверджувачі різних виробників за стандартною технологіями змішування та після проведення оптимізації їх складу.

2. Результати досліджень показали, що оптимальним складом для китайської смоли є 54,4% КС + 43,6 % КЗ + 1,9 % КП, що відповідає стандартній технології; для чеської 87,5 % ЧС + 12,5 ЧЗ, для сумісного 90% КС + 10% ЧЗ.

3. Найкращі властивості полімерної матриці в результаті досліджень було отримано при використанні пластифікатора у кількості 7 %, що призвело до підвищення міцності на 59 %, ударної в'язкості на 105 %, але до зменшення твердості на 10%.

4. У порівнянні зі стандартною технологією було отримано зразок з покращеними властивостями, а саме вдалося підвищити міцність на 68%, ударну в'язкість на 48%, але це призвело до зменшення твердості на 11%

5. Використання оптимізованого складу для виготовлення композитної арматури призведе до малого зростання ціни через додавання додаткового матеріалу – пластифікатору, але при цьому можна отримати матеріал, що буде мати набагато кращі механічні властивості.

6. Оскільки проект є некомерційного характеру, то розрахунок очікуваного доходу не здійснювався. Проте оцінювання ефективності запровадження даного проекту за стейкхолдер-підходом, свідчить, що

реалізація даного проекту забезпечить збалансованість технічних інтересів стейкхолдерів, а отже, успішність реалізації даного проекту гарантована.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Composite materials Web-based Course, Електронний ресурс [режим доступу https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/105108124/pdf/Lecture_Notes/LNm1.pdf]
2. Трудове навчання (технічні види праці). Автор: Гащак В.М., Терещук Б.М., Дятленко С.М., Тименко В.П. Видавництво: Київ, Генеза, 2017
3. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. Б. Н. Арзамасов, И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др.; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова.— 2-е изд., испр. и доп.— М.: Машиностроение, 1986.— 384 с.
4. Полимерні композиційні матеріали: структура, властивості, технологія/ М.Л Кербер, В.М Виноградов, Г.С Головкин та ін. – СПб.; Професія, 2008. – 560 с.
5. Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении : учебник для среднего профессионального образования / С. Г. Ярушин. — Москва : Издательство Юрайт, 2017. — 564 с.
6. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5-1. – С. 245-256;
7. Берлин А.А. Современные полимерные композиционные материалы. – Соросовский Образовательный Журнал. 1995, № 1
8. Електронний ресурс [режим доступу <https://seventools.ru/izdeliya/steklovolokonnaya-armatura-primenenie.html>]
9. Чипурной Д.Е. Прочностные свойства углепластиковых материалов: бакалаврская работа/ Чипурной Д.Е – ЭБС АлтГУ, 2019 – 61 с.

10. Конструкционные функциональные волокнистые композиты, Микрюков К.В. [режим доступа <https://ppt-online.org/341202>]
11. Электроний ресурс [режим доступа <https://pslc.ws/russian/eposyn.html>]
12. Электроний ресурс [режим доступа <http://um.co.ua/11/11-1/11-17152>]
13. М.Ю Яблокова / Полімерні композиційні матеріали: методи отримання – Москва, 2011, - 54 с.
14. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
15. Геворкян Е.С., Семченко Г.Д., Тимофеева Л.А., Нерубацкий В.П. Нові матеріали та технології їх отримання: Підручник. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 341 с.
16. А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова Связующие для полимерных композиционных материалов Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы»/ Москва: 2010, - 70 с.;
17. Кардашов Д.А Епоксидні клеї/ Мсква. 1973.
18. Еселев А.Д, Бобилев В.А Затверджувачі для клеїв на основі епоксидних смол// Клеї. Герметики. Технології. 2005
19. Хананашвили Л.М., Андрианов К.А. Технология элементоорганических мономеров и полимеров. М., 1983
20. Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. и др. Основы технологии переработки пластмасс. // М., «Химия», 2004
21. Электронный ресурс [режим доступа http://www.polymer.ru/letter.php?n_id=3819&cat_id=3&page_id=2]
22. Неметалева композитна склопластиковая арматура як будівельний матеріал майбутнього, Олех В.В., аспірант (Луцький національний технічний університет) (режим доступа

23. Технология производства стеклопластиковой арматуры. Электронный ресурс [режим доступа <https://armoplast.ru/2020/01/21/tehnologija-proizvodstva-stekloplastikovoj-armatury/>]
24. Технологические особенности изготовления стеклопластиковой арматуры. Электронный ресурс [режим доступа <https://promzn.ru/drugoe-proizvodstvo/izgotovlenie-stekloplastikovoj-armatury.html>]
25. Дослідження впливу компонентів композиційного матеріалу на основи епоксиполіефірних смол на його властивості/ М.І Михайлов, А.А Карпов, Ю.М Плєскачевський [режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-komponentov-kompozitsionnogo-materiala-na-osnove-epoksipoliefirnyh-smol-na-ego-svoystva/viewer>]
26. Характеристика отвердживача Р-11 Электронный ресурс [режим доступа <http://dafna.com.ua/otverditeli/138-otverditel-telalit-r-11.html>]
27. Характеристика епоксидної смоли Электронный ресурс [режим доступа <https://www.polyester.com.ua/ru/catalog/product/421>]
28. Характеристика отвердживача ТС-601 Электронный ресурс [режим доступа <https://russian.alibaba.com/product-detail/liquid-mthpa-methyl-tetrahydrophthalic-anhydride--294905369.html>]
29. ГОСТ Р 56785-2015 Комозити полімерні [режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200131389>]
30. ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования» [режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200131389>]
31. ГОСТ 57948 – 2017 «Композиты полимерные. Метод определения ударной вязкости образцов без надреза». [режим доступа <https://files.stroyinf.ru/Data/659/65910.pdf>]

32. ГОСТ 24622-91 (ИСО 2039/2-87) «Пластмассы. Определение твердости. Твердость по Роквеллу» [режим доступу <http://docs.cntd.ru/document/1200018709>]
33. Lee, H., & Neville, K. (1982). Handbook of epoxy resins. New York: McGraw-Hill.[режим доступу <https://www.bcin.ca/bcin/detail.app?id=61857>]
34. Groß, A., Kollek, H., Schormann, A., & Brockmann, H. (1988). Spectroscopical contributions to the regioselectivity of nucleophilic curing reactions in epoxy resins. International Journal of Adhesion and Adhesives, 8(3), 147-158. [режим доступу [http://dx.doi.org/10.1016/0143-7496\(88\)90093-0](http://dx.doi.org/10.1016/0143-7496(88)90093-0)]
35. Jiang, S., Zha, S., Xia, L., & Guan, R. (2015). Synthesis and characterization of diphenylsilanediol modified epoxy resin and curing agent. Journal of Adhesion Science and Technology, 29(7), 641-656. [режим доступу <http://dx.doi.org/10.1080/01694243.2014.1003177>]
36. Morgan, R. J., & Mones, E. T. (1987). The cure reactions, network structure, and mechanical response of diaminodiphenyl sulfone-cured tetraglycidyl 4,4'-diaminodiphenyl methane epoxies. Journal of Applied Polymer Science, 33(4), 999-1020.[режим доступу <http://dx.doi.org/10.1002/app.1987.070330401>]
37. Thomas, R., Yumei, D., Yuelong, H., Le, Y., Moldenaers, P., Weimin, Y., Czigany, T., & Thomas, S. (2008). Miscibility, morphology, thermal, and mechanical properties of a DGEBA based epoxy resin toughened with a liquid rubber. Polymer, 49(1), 278-294. [режим доступу <http://dx.doi.org/10.1016>]
38. d'Almeida, J. R. M., & Monteiro, S. N. (1996). Analysis of the fracture surface morphology of an epoxy system as a function of the resin/hardener ratio. Journal of Materials Science Letters, 15, 955-958. [режим доступу <http://dx.doi.org/10.1007/BF00241436>]
39. d'Almeida, J. R. M., & Monteiro, S. N. (1998). The influence of the amount of hardener on the tensile mechanical behavior of an epoxy system. Polymers for Advanced Technologies, 9(3), 216-221. [режим доступу [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1581\(199803\)9:3<216::AID-PAT746>3.0.CO;2-S](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-1581(199803)9:3<216::AID-PAT746>3.0.CO;2-S)]

40. d'Almeida, J. R. M., Cella, N., Monteiro, S. N., & Miranda, L. C. M. (1998). Thermal diffusivity of an epoxy system as a function of the hardener content. *Journal of Applied Polymer Science*, 69(7), 1335-1341. [режим доступу [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19980815\)69:7<1335::AID-APP8>3.0.CO;2-F](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19980815)69:7<1335::AID-APP8>3.0.CO;2-F)]

41. Effect of Resin/Hardener Stoichiometry on Electrical Behavior of Epoxy Networks F. N. Alhabill, R. Ayoob, T. Andritsch and A. S. Vaughan Tony Davies High Voltage Laboratory University of Southampton, Southampton, UK [режим доступу https://www.researchgate.net/publication/319811068_Effect_of_resinhardener_stoichiometry_on_electrical_behavior_of_epoxy_networks]

42. Effect of incorrect mix ratio on strength of two component adhesive Butt-Joints tested at elevated temperature, Jakub Szabelski [режим доступу https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/103/mateconf_itep2018_01019.pdf]

43. Cuddihy, E.; Moacanin, *Journal of Advanced Chemical Search*, v. 92, Chap.9, 1970.

44. Онучин Денис Вячеславович. Реологические и физико-механические свойства фосфазенсодержащих эпоксидных олигомеров: Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, 2018 – 122 с.

45. Исследование физико-механических свойств композитных материалов на основе эпоксидиановой смолы, отвержденной полиэтиленполиамином, с добавлением пластификатораантипирена ... Авторы АВ Букетов, ОВ Акімов, АВ Акимов, ДО Зінченко, ДА Зинченко Дата публікації 2015. Видавець: Хмельницький національний університет. [режим доступу <https://www.dissercat.com/content/reologicheskie-i-fiziko-mekhanicheskie-svoistva-fosfazensoderzhashchikh-epoksidnykh-oligomer>]

46. Підковинська У.В. Дослідження впливу модифікування на міцність композитної полімерної матриці : магістерська робота / У.В. Підковинська. - Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 95 с.

[<http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/5324>]

47. A study on the effect of hardener on the mechanical properties of epoxy resin a thesis: Submitted to the Chemical Engineering Department of the University of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Chemical Engineering/Unit Operation, BY MARIAM EMAD AZIZ, (B.Sc. In Chemical Engineering, 2004) [режим доступу <https://www.uotechnology.edu.iq/dep-chem-eng/THESIS/maryam.pdf>]

48. Sulaiman, S., Yunus, R., Ibrahim, N. A., Rezaea, F., “Effect Of hardener On Mechanical Properties Of Carbon Fiber Reinforced Phenolic Resin Composites”, Journal of Engineering Science and Technology, v. 3, no. 1, p. 79-86, 2008

49. Правила улаштування електроустановок, 2017. - 700 с. [режим доступу https://dnaop.com/html/43827/doc-ДНАОП_11]

50. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам , персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы : Санитарные правила и нормы . — М .: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. — 64 с.

51. СНиП 2.04.05-91*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование (1671), [режим доступу https://dnaop.com/html/1671/doc-СНиП_2.04.05-91_У]

52. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (34094) [режим доступу https://dnaop.com/html/34094/doc-ДСН_3.3.6.042-99]

53. ДБН-В.2.5-28-2006 [режим доступу <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>]

54. Правила пожежної безпеки в Україні, наказ МВС України від 30.12.2014 [режим доступу <http://deos-release.com/image/catalog/img/pdf/NAPB%20A.01.001-2014.pdf>]
55. СНиП 2.09.02-85* Производственные здания [режим доступу <http://docs.cntd.ru/document/5200092>]
56. Пожежна безпека об'єктів будівництва, Загальні вимоги ДБН В.1.1-7:2016 [режим доступу <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1-7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf>]
57. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. (1692) [режим доступу https://dnaop.com/html/1692/doc-НПАОП_40.1-1.32-01]
58. Системи протипожежного захисту ДБН В.2.5-56:2014 [режим доступу <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/98.1.%20ДБН%20В.2.5-56~2014.%20Системи%20протипожежного%20захисту.pdf>]
59. Котельницька Наталія, Евакуаційні заходи при виникненні надзвичайних ситуацій: контрольна робота, Київ – 2009, 63 с. [режим доступу <http://millit.ru/referaty-voennoe-delo-i-grazhdanskaya-oborona/evakuacijni-zaxodi-pri-viniknenni-nadzvichajnix.php>]
60. Кодекс цивільного захисту України (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст.458) [режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>]
61. Методичні рекомендації щодо виконання економічного розділу дипломного проекту здобувачами вищої освіти технічних спеціальностей за освітнім ступенем «магістр». НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 18 с.
62. Схематичне зображення послідовності виконання економічного розділу дипломного проекту здобувачами вищої освіти за освітнім ступенем «магістр». НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 6 с.