

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладного матеріалознавства і ТКМ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Оксана ГАПОНОВА

« ___ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності _____ 132 Матеріалознавство _____

освітньо-професійної програми _____ «Прикладне матеріалознавство» _____

на тему: «Підвищення механічних характеристик полімерних композиційних матеріалів»

Здобувача групи _____ МТ.м-21/1 _____ Гончарова Богдана Сергійовича _____

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Богдан ГОНЧАРОВ

Керівник _____ доцент кафедри ПМ і ТКМ _____
к.т.н., доц. Станіслав МАРЧЕНКО _____

Нормоконтроль _____ доцент кафедри ПМ і ТКМ _____
к.т.н., доц. Андрій ДЕГУЛА _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладного матеріалознавства і ТКМ

Завідувач кафедри
_____ Оксана ГАПОНОВА

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Гончаров Богдан Сергійович

Тема роботи : «Підвищення механічних характеристик полімерних композиційних матеріалів»

Затверджена Наказом по університету від «_11_» листопада 2023р. № 1429-VI

1. Термін здавання студентом закінченої роботи _15.12.2023 р. _____
2. Вихідні данні до роботи : аналіз літературних джерел
3. Зміст Розрахунково-пояснювальної записки : огляд літературних джерел; методика дослідження; проведення експериментальних досліджень; економічна частина; охорони праці; навколишнього середовища та техніка безпеки; висновки; список використаної літератури.
4. Перелік графічного матеріалу креслення у роботі немає так, як робота дослідницького характеру.

5. Консультанти з роботи , із значенням розділів проекту , що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис , дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т. П.	06.11.2023	08.12.2023
Економічна частина	Берладір Х. В.	06.11.2023	11.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямків дослідження	10.11.2023 р.	виконано
2	Розділ 2. Загальна методика та основні методи дослідження	20.11.2023 р.	виконано
3	Розділ 3. Експериментальні дослідження та загальні результати	10.12.2023 р.	виконано
4	Розділ 4. Економічна частина	15.12.2023 р.	виконано
5	Розділ 5. Охорона праці, довкілля та техніки безпеки	15.12.2023 р.	виконано

6. Дата видачу завдання : 09.11.2023

Студент _____ Гончаров Б.С.

Керівник роботи _____ Марченко С.В.

АНОТАЦІЯ

Гончаров Богдан Сергійович. Підвищення механічних характеристик полімерних композиційних матеріалів.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр за спеціальністю 132. – Прикладне матеріалознавство. – Сумський державний університет, 2023р

Кваліфікаційна робота містить аналіз сучасних технологій отримання вуглепластиків і склопластиків, дослідження впливу складу вуглепластика і склопластика на фізико-механічні властивості. Визначено вплив вмісту, розташування, довжини волокна на ударну міцність зразків. На основі отриманих результатів зроблено висновки та рекомендації.

Аналіз включав оцінку технологічних прийомів SMC, BMC та прямого пресування з визначенням їх переваг та недоліків. Було встановлено, що технологія BMC має великий потенціал для масового виробництва деталей ПКМ, хоча характеристики продукції часто занижено через низький вміст армувального. Було використано кілька методів для дослідження властивостей полімерного композитного матеріалу, включаючи випробування на ударну міцність, визначення вмісту наповнювача та вимірювання розмірів філаменту. Було розроблено та використано для отримання зразків гібридний технологічний підхід, що поєднує принципи BMC із преміксом. Показано, як геометрія і кількість зміцнювального наповнювача вплинула на характеристики отриманого армованого пластику.

Ключові слова: ПКМ, СКЛОВОЛОКНО, ВУГЛЕВОЛОКНО, ВУГЛЕТКАНИНА, СКЛОТКАНИНА, ЕПОКСИДНА СМОЛА, УДАРНА МІЦНІСТЬ, ПРЕМІКС, ПРЕПРЕГ.

ABSTRACT

Bohdan Serhiovych Honcharov. Improvement of the Mechanical Characteristics of Polymer Composites. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 132. – Applied materials science. – Sumy State University, 2023

The qualification work includes an analysis of modern technologies for the production of carbon fiber and fiberglass, a study of the influence of the composition of carbon fiber and fiberglass on physical and mechanical properties. The influence of fiber content, location, and length on the impact strength of the samples was determined. Based on the obtained results, conclusions and recommendations are made.

The analysis included an assessment of SMC, BMC and direct pressing technology techniques with the determination of their advantages and disadvantages. It was found that BMC technology has great potential for mass production of PCM parts, although product characteristics are often underestimated due to the low content of reinforcement. Several methods were used to investigate the properties of the polymer composite material, including impact testing, filler content determination, and filament size measurements. A hybrid technological approach combining the principles of BMC with premix was developed and used for sample preparation. It is shown how the geometry and amount of reinforcing filler affected the characteristics of the obtained reinforced plastic.

Key words: PCM, GLASS FIBER, CARBON FIBER, CARBON FIBER, GLASS FIBER, EPOXY RESIN, IMPACT STRENGTH, PREMIX, PREPREG.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає в себе 77 сторінок, у тому числі 11 таблиць, 40 рисунків, бібліографії із 44 літературних джерел.

Мета роботи – дослідження впливу армувальних наповнювачів (вуглецевого волокна та скловолокна) на механічні властивості ПКМ для розроблення рекомендацій щодо покращення властивостей і удосконалення технології отримання досліджуваних матеріалів.

Завдання дослідження:

- провести аналіз сучасних технологій отримання вуглепластиків і склопластиків;
- дослідити вплив армувального наповнювача скловолокна на фізико-механічні властивості;
- проаналізувати вплив вмісту, геометрію розташування, довжини армуючого волокна на ударну міцність зразків;
- розробити технологічні рекомендації для заміни препрегу на премікс.
- **Об’єкт дослідження** – полімерний композитний матеріал склопластик і вуглепластик.

Предмет дослідження – фізико-механічні властивості, структура полімерного композитного матеріалу – склопластика та вуглепластику.

Методи досліджень – визначення ударної вязкості, визначення наповненості ПКМ, визначення геометрії армувального.

Наукова новизна: розроблено покращену технологію отримання високих механічних характеристик склопластику із застосуванням армувального волокна із обґрунтованими геометричними характеристиками.

Зміст

АНОТАЦІЯ.....	4
ABSTRACT.....	5
РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	11
1.1 Класифікація полімерних композитів.....	11
1.2 Поняття та класифікація склопластику.....	12
1.3 Особливості виробництва препрегів	13
1.4 Механічні властивості полімерних композитних матеріалів.....	16
1.5 Класифікація та застосування епоксидної смоли	19
Висновок до розділу.....	21
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛОПЛАСТИКА ТА ВУГЛЕПЛАСТИКА.....	22
2.1 Методи визначення механічних властивостей та визначення кількості наповнювача ПКМ	22
2.2. Методика отримання зразків для випробування на ударну в'язкість	24
Висновки до розділу	29
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ І ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНОГО АРМОВАНОВОГО ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ	30
3.1 Теоретичні передумови покращення технологій	30
3.2 Властивості на розтяг.....	31
3.3 Визначення твердості і ударної міцності	33
3.4 Згинальні властивості.....	35
3.5 Вплив армувальних наповнювачів і орієнтація волокна на властивості ПКМ	36
3.6 Порівняння склопластика з вуглепластиком за механічними властивостями	38
3.7 Аналіз технології smc, bmc і прямого пресування	40

Висновки до розділу	46
4.1 Визначення характеристик скловолокна та вуглеволокна	48
4.2 Аналіз зразків	53
4.3 Аналіз відношення довжини і кількості наповнювача відповідно до КСУ..	58
Висновки до розділу	61
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	63
5.1 Теоретична частина.....	63
5.2 Методика розрахунку витрат.....	64
Висновки до розділу	67
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	68
6.1 Оцінка ризику та безпеки праці при роботі з вугле- і склопластиком	68
6.2 Засоби захисту та стандарти при роботі з вугле- та скловолокном.....	69
6.3 Інструктажі та навчання при роботі з вуглепластиком та склопластиком....	71
6.4 Вплив виробництва вуглепластику та склопластику на навколишнє середовище і екологію	72
Висновки до розділу	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

ВСТУП

Комбінуючи речовини з різними властивостями, можна створити новий композиційний матеріал. Найвідомішим прикладом цього типу матеріалу є бетонна арматура. Це композиційний матеріал, до складу якого входять металеві стійки та бетон, без яких неможливо будувати висотні будівлі. Наповнювач - металеві стрижні - має більш високий модуль пружності, ніж бетон, що підвищує міцність матеріалу на розрив, тобто він може витримувати більш інтенсивні навантаження і протистояти впливу різних сил. Міцність на розрив бетону, посиленого армуванням, значно більше, ніж у бетону без армування. Можна створювати відносно стрункі та високі конструкції, які не будуть порушувати свою стабільність і не падати під вагою власних чи зовнішніх сил. Інші структурні композити дотримуються цього принципу.

Усі композиційні матеріали складаються з матриці та міцного наповнювача, стійкого до руйнування. Як правило, армуючим компонентом у полімерних композитах є вуглецеві або скляні волокна, матрицею зазвичай є синтетична смола або інший полімерний матеріал. Найчастіше використовуються термореактивні смоли. При нагріванні вони створюють мережу полімерів, завдяки чому матриця стає твердою та хімічно потужною. Ці речовини можна використовувати для створення легких компонентів, потужніших за металеві.

Їх використання доречно в будь-якому місці, де потрібна легкість і міцність, зокрема в авіації, споживання палива залежить від ваги літака, а довговічність конструкцій залежить від їх міцності та ремонтпридатності. надійність і безпека руху. В автомобілебудуванні з вуглецевого волокна виробляють автомобілі зі спортивною атрибутикою, в тому числі спортивні та елітні автомобілі для пасажирів.

Актуальність дослідження полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), особливо з вуглецевим волокном та скловолокном, актуально для сучасного розвитку технологій.

Повне розуміння різних типів ПКМ і специфічного складу вуглецевого волокна має вирішальне значення для покращення їхніх технічних характеристик. Механічні властивості ПКМ істотно впливають на їх придатність для різних цілей у складних умовах. Унікальні особливості виробництва, технологія використання вуглецевого волокна та скловолокна, а також спосіб отримання та затвердіння епоксидної смоли безпосередньо впливають на властивості матеріалу та забезпечують максимально можливу гнучкість у конкретних сферах застосування.

Метою цієї магістерської роботи є всебічне дослідження та покращення механічних властивостей вуглецевого волокна та скловолокна. Дослідження включає аналіз ПКМ, дослідження механічних властивостей, порівняння вуглецевого волокна та скловолокна, а також створення методу для оцінки їхніх механічних властивостей.

Під час процесу будуть використовуватися різні методи вимірювання механічних властивостей ПКМ, зокрема вуглецевого волокна та скловолокна. Увагу буде приділено впливу армуючих волокон на механічні властивості, а також порівнянню цих двох типів композиційних матеріалів.

Результати спроб, включаючи аналіз механічних властивостей, експериментальні дані та порівняльний аналіз властивостей вуглецевого волокна та скловолокна, будуть використані для визначення відповідних умов для створення та застосування цих матеріалів у конкретних галузях промисловості.

Крім того, у магістерській роботі будуть розглянуті методи вимірювання механічних властивостей, вплив армуючих волокон, порівняння скловолокна та вуглецевих волокон з точки зору механічних властивостей, а також результати експериментальної частини та фінансові вигоди від використання цих матеріалів. У підсумковій частині магістратури також буде висновок з охорони праці, екологічної безпеки та виробів з вуглецевого волокна та склопластику.

РОЗДІЛ 1

ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Класифікація полімерних композитів

Полімери поділяються на два основні класи: термореактивні та термопласти. Перші зазвичай являють собою легкоплавкі рідини, які обробляються при температурі, що цікавить. Після просочення матеріалом, який підвищує міцність матриці, ці рідини перетворюються на тверду полімерну матрицю завдяки хімічним реакціям. Ця процедура відома як полімеризація. Другий клас складається з лінійних полімерів, які можуть переходити в рідкий стан, який розплавляється при підвищенні температури.

Армувальні компоненти називаються листами або волокнами, цими компонентами є, відповідно, плівки і волокна з певного матеріалу. Композити з наповнювачами, розмір яких становить менше $0,1 \cdot 10^{-6}$ мм окремої частинки, вважаються нанокомпозитами, і їхні властивості можуть бути змінені, навіть якщо склад матеріалів незначно змінюється [44].

Існують різні способи комбінування матриці та наповнювача. Найпоширенішою зміною є створення *препрегів*. Тканина (препрег), попередньо просочена спеціальним зв'язуючим матеріалом і розкладена в кілька шарів, потім поміщається в автоклав, де на тканину діє високий тиск і температура.

Скlorпластик - це недорогі матеріали, які мають високі властивості і складаються з полімерної матриці та армувального склoволокна. Склoволокно - компонент, який може становити до 80% складу. Результатом є матеріал, який має переваги скла, включаючи хімічну інертність і міцність, але позбавлений недоліків скла, включаючи його надмірну крихкість і вагу. Склопластики крихкі, їх складніше зруйнувати, вони навіть прозорі.

Вуглепластик - як наповнювач в цій композиції є вуглець: від вуглеводнів до целюлози. Вуглецеві компоненти можуть бути реалізовані у вигляді ниток, тканин або волокон. Вихідний матеріал проходить три етапи підготовки, які призводять до

випаровування всіх його побічних компонентів: окислення, карбонізацію та графітізацію. У кінцевому складі до 99,5% вуглецю. Цей вуглець поєднується з полімером, утворюючи вуглепластик - щільну речовину чорного кольору, що перевершує метал за рядом характеристик. Вуглепластики витримують великі навантаження, проводять електричний струм і мають унікальний показник міцності, що робить їх вагомим компонентом у зниженні ваги конструкцій.

1.2 Поняття та класифікація склопластику

Скловолокно є одним з найпопулярніших видів волокон композиційні матеріали. Зокрема, труби складаються зі скловолокна, це матеріал витримують високий тиск води та стійкі до корозії в корпусах твердопаливні ракетні двигуни, радіонепроникні куполи та протектори різні антени, човни, невеликі судна, які оснащені антенами, а також багато іншого.

Є метод виготовлення труб та трубчасті конструкції шляхом намотування скловолокна на оправку, яка обертається (часто сталеву), а потім затвердіння та пресування намотаної структури (на відміну від видалення її зі сталеві оправки). Якщо діаметр труби значний, то це і технологічно, і економічно вигідно. використовувати каркас зі скловолокна.

Листи скловолокна фабричного виготовлення називають склопластиком і широко використовують в електротехніці як основу для друкованих плат. Особливий сорт склопластику, який використовується як частина композитного матеріалу броня для танків та іншої військової техніки[6].

Вуглецеве волокно (карбон, вуглепластик, від англ. Carbon-вуглець) - полімерний композитний матеріал, що складається з переплетених ниток вуглецевого волокна в полімерній (наприклад, епоксидної) смоляної матриці. Щільність - від 1450 кг/м³ до 2000 кг/м³. Ці матеріали характеризуються високою міцністю, жорсткістю та малою вагою, і, як правило, міцніші за сталь, але набагато легші. За специфічними властивостями вони перевершують високоміцні сталі, наприклад леговану конструкційну 25ХСА. Тому цей матеріал використовують як

арматуру при економії коштів і відсутності потреби в отриманні максимальних властивостей в доповнення до основних будівельних матеріалів.

Слід зазначити, що основним компонентом вуглепластика є нитки вуглецевого волокна, які в основному складаються з атомів вуглецю. Цей вид ниток дуже тонкий і його легко зламати, але досить важко порвати. Вони можуть мати різні візерунки плетіння (ялинка, рогожа тощо). Щоб надати тканині більшої міцності, карбонові нитки укладають шарами, щоразу змінюючи кут напрямку плетіння. Ці шари фіксуються за допомогою епоксидної смоли. Тому вуглецеві нитки зазвичай отримують шляхом термічної обробки хімічних волокон або природних органічних волокон, при цьому волокна залишаються в основному у вигляді атомів вуглецю в матеріалі.

Тому вартість вуглепластику є високою, перш за все тому, що процес виробництва є більш складним, а вартість похідних матеріалів вища. Наприклад, для склеювального шару використовується більш дорога і якісна смола, ніж при використанні тальку, а для виготовлення деталей потрібно більш дороге обладнання. Отже, недоліком вуглепластиків є те, що під час їх виробництва необхідно суворо дотримуватися параметрів процесу, при порушенні яких міцнісні властивості виробу різко знижуються. Необхідні складні та дорогі заходи контролю якості продукції. Однак ще одним серйозним недоліком вуглепластиків є їх низька стійкість до ударних навантажень. Пошкодження конструкції, спричинені сторонніми предметами, наприклад внутрішні тріщини та розшарування, невидимі неозброєним оком, але призведуть до зниження міцності; коли відносна деформація дорівнює 0,5%, відбудеться пошкодження конструкції від удару.

1.3 Особливості виробництва препрегів

При виробництві препрег-тканини на основі тканини або скла, сітки і т.д. матеріал виводиться з механізму розмотування, розгладжується, пропускається через ванну ПЗ, а потім сушиться в спеціальних сушарках, потім змотується в рулон або сортується за розміром. на листи.

Проміжним етапом приготування препрегів є технологічний процес просочування односпрямованих або виготовлених ВН розчинами ПЗ (див. рис.1.1). Залежно від призначення отриманих препрегів тканину просочують спеціальними сполучними речовинами, що складаються з фенолу і формальдегіду, змішують їх з ацетоном, спиртом або іншими розчинниками.

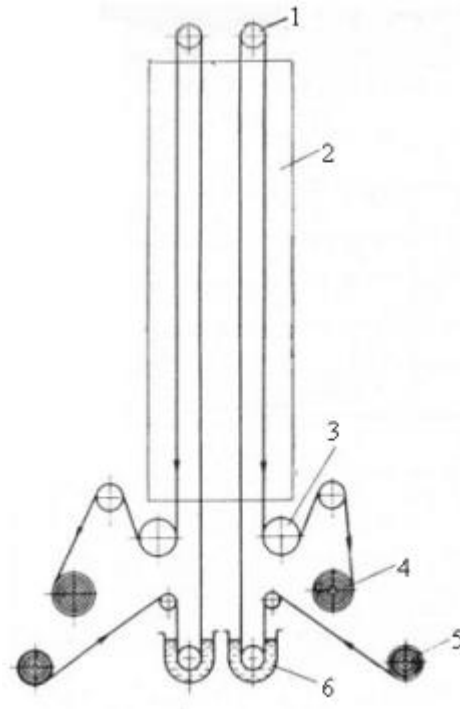


Рисунок 1.1 Принципова схема процесу просочення волокнистих тканих компонентів

Інфільтрація здійснюється на машинах, які є безперервними або періодичними. З 5 п'ятого валка подається приводним валом 3 з певною швидкістю в просочувальну ванну 6, в рідину в камері періодично або безперервно подається розчинник, призначений для зниження в'язкості рідини. Після виходу з ванни, просоченої 6, арматурний ВН 5 зі специфічним шаром ПЗ підніметься до частини, що висихає[12].

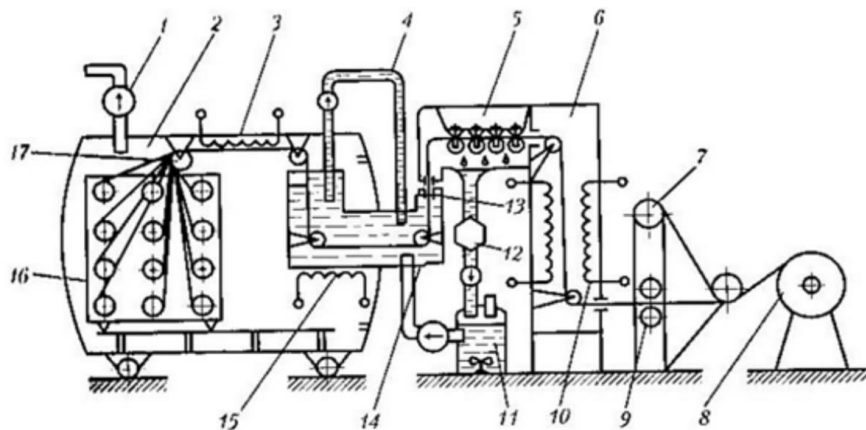


Рисунок 1.2 Схема просочувальної установки для отримання препрега:
 1-вакуумний насос; 2 – вакуумна камера; 3 – нагрівач; 4 - компенсатор рівня
 сполучного; 5 - віджимний пристрій; 6 – сушильна піч; 7 - бобіна з
 розділювальною плівкою; 8 – рулон з готовою препрегою; 9 - калібруючий
 пристрій; 10 – нагрівач; 11 – ресивер; 12 – фільтр; 13 - вакуумний затвор; 14 -
 ванна зі сполучною; 15 – нагрівач; 16 - шпулярник з нитковим наповнювачем; 17 -
 розподільний барабан

Після проходження верхнього передавального механізму 1 зміцнювальний ВН 5 знову відвідує сушильну частину 2 машини, яка просочує сушарки. Потім він подається через приводний механізм 3 до приймального механізму 4. Тут готовий наповнювач ущільнюється в щільний рулон для остаточного створення.

Технологічна спроба дозування спрямована на досягнення конкретного значення речовини ПЗ в імпрегнованому векторі. Хід цього процесу залежить від властивостей ВН, а також від розчину, який використовується для просочування, конструкції залучених пристроїв і перебігу процесу.

Останні в першу чергу визначають вплив розчинів на вагітну жінку та їх рух всередині наповнювача.

Дуже важливо мати певну кількість ПЗ у наповнювачі, що просочується, а також рівномірний розподіл по довжині та ширині наповнювача. Досягти цього можливо точним віджимом наповнювача, який заливається просочувальним

розчином. Однак ефект, якого можна досягти віджимом, обмежений, перша причина - ємність вузла, друга - насиченість ВН.

Необхідний вміст ПЗ в наповнювачі також може бути досягнуто шляхом точного контролю в'язкості розчину в поєднанні з конкретною швидкістю проходження наповнювача через пристрій.

Під час технологічних процесів тиснення та сушіння тканини сильно обмежені консистенція та об'єм використовуваного ПЗ, натяг тканини, температура та тривалість сушіння, кількість летких речовин та ін. параметри[2] .

Точне дотримання заданої швидкості руху просочуваного БН і температури в частині машини, що сушить, дозволяє стабільно отримувати препреги, попередньо підібрані з конкретним, заданим співвідношенням летючих компонентів до розчинної частини СП [12].

Отримані препреги потім піддають плоскому або формуванню. Однак, коли вироби сформовані, їх об'єм зменшиться в результаті процесу охолодження та процесу кристалізації, особливо це стосується реактивних пластмас, які призначені для твердіння. Незавершені процеси можуть призвести до додаткового зменшення розміру та деформації готових продуктів ПКМ.

Отже, створення препрегу є доволі складним технологічним процесом і вимагає високовартісного обладнання та матеріалів.

1.4 Механічні властивості полімерних композитних матеріалів

Полімерно-матричні композити — це матеріали, у яких як матричний матеріал використовується полімерна смола та містять волокна, вбудовані в нього як зміцнення. В якості матричного матеріалу можна використовувати як терморективні, так і термопластичні полімери.

Композит з вуглецевого волокна в 5 разів потужніший за сталь 1020, але його вага лише в 1,5 рази перевищує початкову вагу матеріалу. Алюміній (марка 6061) має приблизно таку саму вагу, що й композит з вуглецевого волокна (але все ще важчий за це), композит може мати вищий модуль і міцність у 7 разів.

Матриця захищає міцні, жорсткі волокна, а композит покращує властивості матеріалу матриці та самих волокон. Основним рушієм розвитку композиційних матеріалів є виробництво матеріалів з покращеними питомими механічними властивостями порівняно з існуючими матеріалами.

Полімерні композити можуть бути розроблені для забезпечення чудової корозійної стійкості до специфічних агресивних середовищ. При проектуванні для корозійних хімічних середовищ велику увагу слід приділяти вибору відповідної системи смол. Однак зауважте

Композитні матеріали дуже анізотропні, що призводить до базових властивостей, які потребують більш базових механічних властивостей. Крім того, їх висока анізотропія ускладнює методи випробувань і забезпечує різні властивості на розтяг, стиск і зсув[2]

До полімерів додають антистатиками, щоб зменшити їх схильність притягувати електричні заряди. Контроль статичної електрики важливий для певних операцій з обробки та транспортування пластмас, а також для готової продукції. Статичні заряди на пластику можуть спричинити ураження електричним струмом, спалахнути та притягнути пил. Наприклад, вплив електростатичних зарядів у комп'ютерних програмах/додатках обробки даних є особливо шкідливим

Коефіцієнт теплового розширення сильно залежить від напрямку, причому КТР у напрямку волокон набагато менший, ніж КТР смоли. Вуглецеве волокно може мати негативний КТР.

Більшість композитних матеріалів не проводять електричний струм. Певного ступеня провідності можна досягти шляхом додавання металу, вуглецевих частинок або провідних волокон. Екранування від електромагнітних перешкод можна досягти шляхом додавання провідних матеріалів.

Питома жорсткість може бути визначена як жорсткість матеріалу, поділена на щільність матеріалу, а питома міцність може бути визначена як міцність матеріалу, поділена на щільність матеріалу. Саме ці сприятливі властивості композиційних матеріалів дозволяють створювати ефективні конструкційні компоненти.

Конструкції, виготовлені з полімерних композитів, також можуть бути розроблені таким чином, щоб орієнтація арматури відповідала навантаженню на Конструкції, виготовлені з полімерних композитів, також можуть бути розроблені таким чином, щоб орієнтація арматури відповідала навантаженню на компонент або конструкцію. Крім того, полімерні композити можна використовувати там, де інші матеріали були б екологічно небезпечними. Матриця утримує волокна разом. Пучки волокон не приносять великої користі. Крім того, хоча волокна міцні, вони можуть бути крихкими. Матриця може поглинати енергію і деформуватися під тиском. Матриця додає міцності композиту. Ці волокна мають гарну міцність на розрив. Зазвичай вони мають високу міцність на стиск. Матриця надає композиту міцність на стиск. Властивості односпрямованих композитів істотно відрізняються від ізотропних матеріалів. Односпрямовані матеріали є високоанізотропними, з відмінними властивостями в напрямку волокон і посередніми властивостями в напрямку, перпендикулярному до волокон[3].

У певних випадках композитні матеріали використовуються лише в односпрямованих конфігураціях. У більшості застосувань певна форма навантаження буде спрямована від волокна. В цьому випадку протистояти цьому навантаженню може тільки смола, а не арматура. Тому композитні конструкції виготовляються шляхом поєднання односпрямованих ламінатів різної орієнтації, щоб протистояти цим навантаженням. Ці ламінати називаються багатоспрямованими ламінатами.

Граничне подовження - це максимальне подовження, яке може витримати полімер до розколу або розриву. Пружне подовження - це відсоток подовження, якого полімер може досягти без кінцевої деформації. Тобто він розтягується, але має таку кількість зразка, яка повертається до початкової довжини після зняття натягу. Це важливо для таких матеріалів, як еластомери. Еластомери повинні мати можливість розтягуватися на великі відстані, одночасно відскакуючи. Більшість із них можуть розтягуватися від подовження від 500% до 1000% і без проблем повертатися до початкової довжини.

1.5 Класифікація та застосування епоксидної смоли

Епоксидна матриця забезпечує низьку усадку (менше 2%), високу адгезію і високу стійкість до води та радіації.

Терморективні композиції реакційноздатних олігомерів, що містять кінцеві епоксидні групи або проміжні групи, які можуть тверднути під дією різних сполук, називаються епоксидними клеями. Серед епоксидних олігомерів найбільшого поширення набули олігомери, синтезовані на основі епіхлоргідрину.

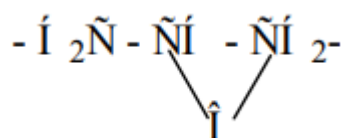


Рисунок 1.3 Епоксидна група гліцидилова

Епоксидні олігомери, що містять в молекулі гліцидильні групи, синтезують з епіхлоргідрину і сполук з активними атомами водню (спирти, феноли, тіоли, тіофеноли, кислоти, аміни, амідні, похідні гідразину та ін.). Найбільшого поширення набули епоксидні олігомери на основі диметилпропану (бісфенолу А) - бінарні епоксиди. У загальному випуску епоксидної смоли вихід бінарних олігомерів становить понад 90%. Це олігомерні продукти з молекулярною масою від 300 до 800 і їх структурною формулою:

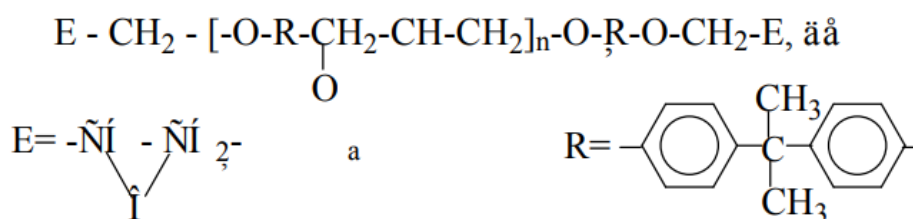


Рисунок 1.4 Структура епоксидної смоли

В даний час існує безліч бінарних епоксидних смол і їх аналогів, які відповідають різним експлуатаційним і технічним вимогам (ЕД-24; ЕД-22; ЕД-20; ЕД-2 (СНД); ЕР-332; DER-652 (США) ; Epicote 834 (Великобританія), топологія,

супрамолекулярна), яка, у свою чергу, залежить від хімічної природи та структури молекул олігомеру та затверджувача, пропорцій компонентів та умов реакції затвердіння.

Затвердіння епоксидних смол (переведення їх у нерозплавлений, нерозчинний стан) — це процес утворення полімеру, в якому беруть участь епоксидні та гідроксильні групи смоли, а також затверджувач. Затверджувачі загалом поділяються на: «зшиваючої» дії та каталізатори процесу твердіння.

«Зшиваючі» затверджувачі є двофункціональними або багатофункціональними сполуками, здатними здійснювати міграційну кополімеризацію або адитивну полімеризацію епоксидних або гідроксильних груп епоксидних смол. Каталізатори затвердіння - це сполуки, які можуть прискорити міграційну кополімеризацію епоксидних і гідроксильних груп в епоксидній смолі за певних умов. Затверджувачі епоксидної смоли можуть бути різними типами монофункціональних, біфункціональних і багатофункціональних сполук. Існує два типи затверджувачів: холодне затвердіння та термічне затвердіння, які викликають тривимірну полімеризацію епоксидної смоли без нагрівання або нагрівання відповідно.

Всі численні затверджувачі - зшивачі - можна розділити на дві категорії:

1) Підтверджені нуклеофільні типи (первинні аміни, вторинні аміни, 13-гідразин, карбонові кислоти та їх похідні - ефіри, амідни, ангідриди кислот, спирти, феноли)

2) Електрофільний (кислотний) затверджувач (іони H^+ , Me^+). ХН - сполука з рухомими атомами водню.

Для затвердіння епоксидних смол також можна використовувати різні смоли, такі як фенолформальдегідні, аміноформальдегідні. Затверджувач змішується з епоксидною смолою в розплаві. Якщо в'язкість розплаву дуже висока або один із компонентів має дуже високу температуру плавлення, використовуйте для змішування інертний розчинник (наприклад, ацетон), а потім обережно видаліть його, або використовуйте реакційноздатний розріджувач.

Кількість затверджувача розраховують:

$$x = k E M / 43n$$

де:

E — вміст епоксидних груп у смолі, %,

43 — молекулярна маса епоксидної групи;

M - молекулярна маса затверджувача;

n—кількість реакційноздатних груп у молекулі затверджувача;

k - коефіцієнт 1,2...1,4 - для амінних затверджувачів, 0,8...1,2 - для ангідридних затверджувачів [6]

Висновок до розділу

Як видно, дослідження полімерних композиційних матеріалів є важливим напрямком науково-технічних досліджень. Класифікація полімерних композитів дозволяє систематизувати цей різний клас матеріалів за різними критеріями. Зокрема, досліджено класифікацію вуглецевих волокон і скляних волокон та визначено їх основні властивості.

Механічні властивості полімерних композитів вважаються важливими аспектами для їх застосування в різних областях. Отримані знання про механічні властивості допомагають зрозуміти, як ці матеріали витримують навантаження та виконують певні функції в конкретних умовах експлуатації.

Класифікація та застосування епоксидної смоли також є важливим кроком у дослідженні полімерних композиційних матеріалів. Ця смола відіграє ключову роль у формуванні структури та властивостей багатьох композитних матеріалів.

Загалом вивчення полімерних композитів є актуальним і важливим для розвитку сучасних технологій у багатьох галузях, від промисловості до медицини, і зробить вагомий внесок у подальший науковий прогрес.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛОПЛАСТИКА ТА ВУГЛЕПЛАСТИКА

2.1 Методи визначення механічних властивостей та визначення кількості наповнювача ПКМ

Вивчення механічних властивостей композитів на основі полімерів має вирішальне значення для характеристики та визначення ефективності цих матеріалів у різних сферах застосування. Щоб створити всеосяжну карту властивостей цих матеріалів, необхідно використовувати кілька методів вимірювання, які дозволяють отримати інформацію щодо їх міцності, консистенції, ударостійкості та інших властивостей див табл. 2.1 .

Таблиця 2.1

Методи визначення механічних властивостей ПКМ

Назва методу	Опис	Процедура	Результат
Розтягування	Метод визначення міцності матеріалу при розтягуванні.	Зразок матеріалу розтягується до того часу, поки він не поламається.	Дає інформацію про міцність, модуль пружності, і деформації при розтягуванні.
Згинання	Визначення міцності матеріалу при згині.	Зразок підданий згинанню, і вимірюються зусилля та відгини.	Дає інформацію про модуль пружності в згині.
Ударний тест	Визначення стійкості матеріалу до ударних навантажень	Зразок підданий удару, і вимірюється здатність матеріалу поглиблювати ударну енергію.	Вказує на стійкість матеріалу до ударних навантажень.
Жорсткість та пружність	Визначення жорсткості та пружності матеріалу.	Засіб, такий як твердість по Віккерсу чи Брінелю, може використовуватися для визначення жорсткості.	Вказує на жорсткість та тружність матеріалу

Метод визначення ударної в'язкості за методом Шарпа ГОСТ 4647-2015.

Цей стандарт поширюється на пластмаси та встановлює метод визначення ударної міцності за Шарпі зразків із надрізами та без них. Суть цього методу полягає в проведенні випробування маятниковим ударом зразка, розміщеного на двох опорах. Для зразка з насічкою лінія удару розташована посередині опори навпроти насічки. Випробування на удар відповідно до цього методу використовуються для оцінки поведінки зразків, зазначених у цьому стандарті, під впливом ударної напруги та для оцінки крихкості або в'язкості зразків у межах, визначених умовами випробувань.

Цей стандарт вимагає, щоб зразки типу Менаж мали призначену форму та розмір показано на рис 2.1 .

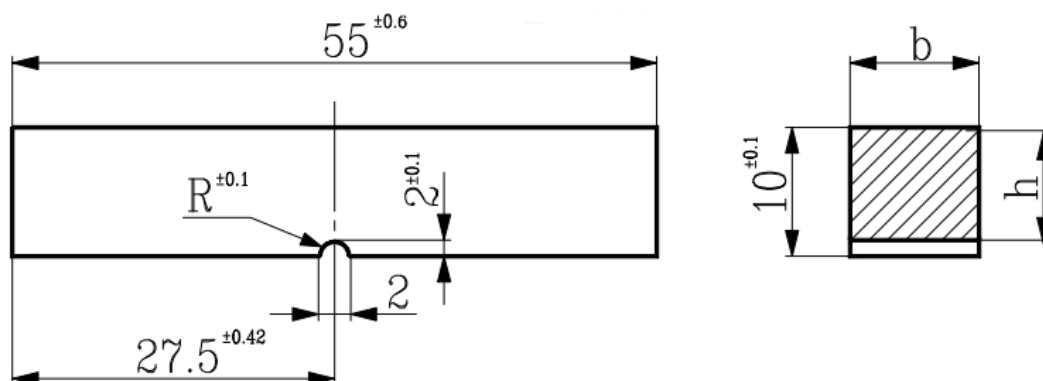


Рисунок 2.1 Зразок типу Менаже і його розміри

Копер — це прилад, який перевіряє ударну міцність матеріалів див рис. 2.2.

Маятниковий зонд призначений для вимірювання енергії руйнування зразка під час випробування на вигин. Призначений для випробувань на двоотвірний згин (метод Шарпі) зразків металів і сплавів відповідно до ISO148-2-1998, ASTM-E23-98, GB/T3808-22-002 і ГОСТ 4647-2015. Маятниковий зонд JB-500В призначений для визначення максимального опору високоміцних матеріалів і чорних металів.

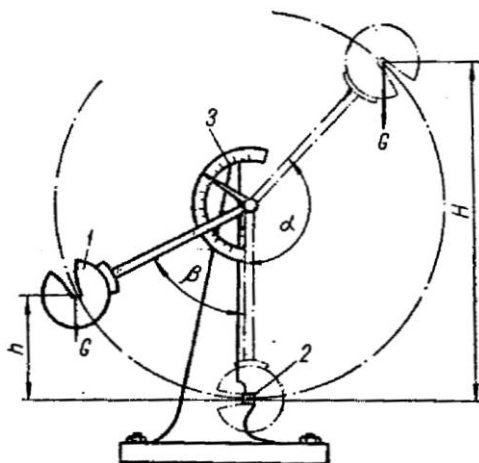


Рисунок 2.2 Схема зображення копру

Висота копру має певну кількість потенційної енергії, зарезервованої для неї. Випущений маятник, віддає частину енергії зразку і піднімається на певну висоту. Роботу A_k , витрачену на удар, можна визначити за відповідними таблицями, які створені на основі кута β відпуску маятника після удару. Середнє напруження удару матеріалу зразка визначається за формулою :

$$KC = \frac{A_k}{F_0} \quad (\text{Дж} / \text{м}^2)$$

де F_0 – загальна площа зразка в зоні розрізу.

2.2. Методика отримання зразків для випробування на ударну в'язкість

Зразки для випробування на удар композитних матеріалів, таких як вуглецеве волокно та скловолокно, можна отримати різними методами.

Отримання зразків відбувається за допомогою використання епоксидних смол, затверджувача, скло та вугле волокон при різному їх розташуванні, а саме виготовлення преміксу або рівномірно покладених волокон.

Таким чином після отримання маси ми можемо закрити форму, в результаті чого матеріал, який використовується для виготовлення процесу формування, приймає певну конфігурацію із затвердінням у самій формі. За допомогою спеціальної матриці ми формували зразки після вакуумування ставили їх в камерну піч для пришвидшеної полімеризації при 100 градусах Цельсія.

Камерна піч - це електропіч, робочий простір якої має форму камери приблизно однакової довжини, ширини і висоти, в якій продукт залишається нерухомим відносно печі протягом усього періоду нагріву. Температура практично однакова у всіх точках робочого простору такої печі. Якщо в ящиківій печі одночасно знаходиться кілька виробів, які завантажуються і видаються по одному, температура печі постійна. У складних режимах обробки, коли продукт потрібно нагріти (або охолодити) з певною швидкістю, температура печі буде змінюватися.



Рисунок 2.3 Камерна піч

2.3. Методика визначення розмірів філаменту

Діаметр філаменту можна визначити за допомогою мікроскопу МБІ-1 призначений для дослідження видимих об'єктів у світлі, що проходить через світлове поле - рис.2.4.

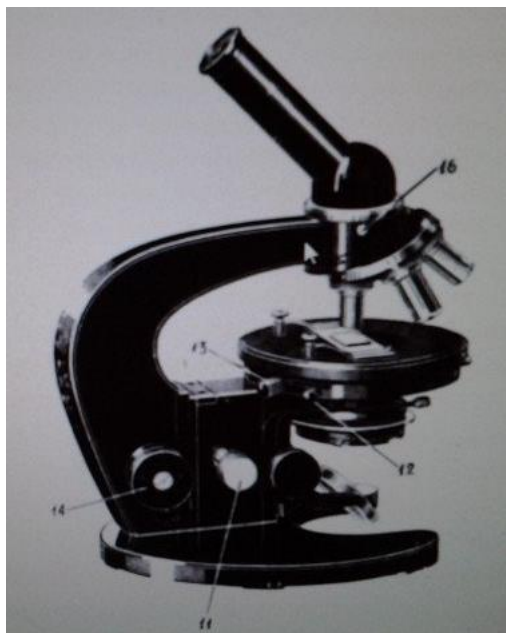


Рисунок 2.4 Мікроскоп МБІ-1.

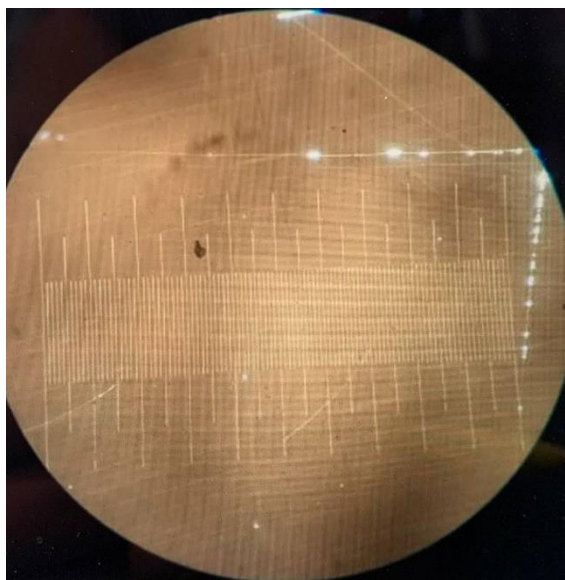


Рисунок 2.5 Об'єкт-мікрометр з ціною поділки 0,01 мм

Після отримання зразків їх оводили до розміру в поперечному перерізі 10x8 мм на плоскошліфувальну верстаті.

Плоскошліфувальний верстат ЗГ71, призначений для шліфування поверхонь з периферійною площею кола. У межах певного діапазону можна звертатися до поверхонь, розташованих під кутом 90 градусів від настільного дзеркала. На замовлення машина буде оснащена рядом додаткових пристроїв, які підвищать

технологічність машини. За допомогою різних верстатів можна виконувати профільне шліфування різних деталей. Точність профілю залежить від способу заповнення профілю колеса та пристрою, що використовується для кріплення деталей рис.2.7.



Рисунок 2.7 Плоскошліфувальний верстат 3Г71

За допомогою фрези зробили однаковий U-подібний паз проріз на всіх заготовках, відповідно до методики проведення нашого експерименту .



Рисунок 2.8 Фреза та переріз на заготовці

2.4. Методика визначення вмісту наповнювача.

Метод «загальної маси та об'єму» для визначення об'ємної частки волокон у композиційних матеріалах, таких як вуглецеве та скло волокно, зазвичай включає кілька етапів.

Підготовлені зразки вуглецевого скловолокна вимірювали геометрично та зважили за допомогою аналітичних вагів із точністю до 0,01 г.

Аналітичні ваги – це пристрої, які використовуються для точного вимірювання маси об'єктів, як правило, у межах підсистеми грамів або міліграмів. Ці ваги мають особливі властивості, які роблять їх ідеальними для наукових досліджень і аналітичних лабораторій, які хочуть вимірювати точність і надійність.



Рисунок 2.9 Аналітичні ваги

Метод розрахунку вмісту додаткового матеріалу в полімерних композитах (ПКМ) за допомогою високотемпературного випалювання 700^oC є одним із методів розрахунку складу композитного матеріалу. Ця процедура є похідною від звичайного горіння полімерів при високих температурах, залишаючи твердий залишок, який містить армуючий матеріал.

Коли ми вставили матеріал у прес-форму та почали його пресувати, ми зіткнулися з великою кількістю залишків, ми спалили цей залишок поки не

залишився армуючий компонент. Після спікання потрібно зважити лише стійкий до горіння матеріал. Різниця в масі до і після горіння дозволяє визначити відсоток армуючого матеріалу, який був присутній у початковому ПКМ. Далі ми можемо зробити висновок про вміст додаткового матеріалу за формулою :

Вміст армувального матеріалу (%) = (маса армуючого матеріалу/початкова маса зразка)×100%.

Висновки до розділу

При вивченні методів визначення механічних властивостей і вмісту наповнювача полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) встановлено, що використання різних методів вимірювання дозволяє отримати більш точні та достовірні результати.

Зокрема, було обрано методики для отримання зразків, визначення розмірів та кількості армувального наповнювачу, ударної міцності.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ І ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНОГО АРМОВАНОГО ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

3.1 Теоретичні передумови покращення технологій

Важливою подією, яка відбулася в автомобільній промисловості за останні шість років, є відповідність новим вимогам щодо енергоефективності, безпеки та контролю забруднення. Пластикові матеріали, армовані чи неармовані, можуть добре відповідати цим новим вимогам, але вартість і продуктивність пластикових деталей залежать від міцності та використовуваного процесу. Армовані вуглецевим волокном термопластики є передовими матеріалами для майбутніх високоефективних композитів. Властивості матеріалу, такі як легка вага, стійкість до корозії, низька або середня вартість, висока термічна стабільність і легкість обробки, роблять його привабливим для багатьох застосувань, особливо в автомобільній промисловості [20]. Висока міцність, жорсткість і міцність, а також легкість є найважливішими властивостями ідеального технічного матеріалу. Традиційні конструкційні матеріали, а саме метали та їх сплави, є міцними та жорсткими, але не легкими.

Деякі пластикові матеріали легкі, але недостатньо міцні. Армовані вуглецевим волокном композити володіють усіма бажаними властивостями, які призвели до їх швидкого розвитку за останнє десятиліття та їх успішного використання в багатьох сферах застосування. Наша незмінна увага до викидів CO₂ і запасів нафти демонструє наш інтерес до технологій, які зменшують споживання палива в легкових транспортних засобах. У сфері дизайну транспортного засобу вага кузова є найважливішою метою вдосконалення. Термопластичні композити виявилися реальним вибором для горизонтальних компонентів у легкових автомобілях [21-28].

Хорошим прикладом є витяжка, в якій традиційно використовується сталевий корпус. Матеріали, необхідні для цього застосування, повинні підлягати

повторній переробці, мати хорошу ударну міцність, бути легкими та мати високу жорсткість. Він також вимагає надзвичайно низького коефіцієнта теплового розширення (КТР) і здатності з'єднуватися зі сталлю [29]. Більше використання матеріалів з низькою щільністю, таких як полімери

Композитні матеріали є необхідною умовою для майбутніх легких автомобілів. З усіх товарних полімерів поліпропілен (ПП) є найбільш привабливим для автомобільної промисловості. У цій роботі композити з поліпропілену (PP), армованого коротким вуглецевим волокном (SCF), були виготовлені за допомогою методів композитного та гарячого пресування.

Матеріалами, використаними в цьому дослідженні, були поліпропілен (поліпропіленовий сополімер Titanpro SM950) як матриця [30] і вуглецеве волокно (Composite Oracle™, Torayca T700S 12K) як армуючі волокна [31]. Механічні та фізичні властивості цих матеріалів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Механічні властивості

Матеріал	Модуль міцності розтягування МПа	Модуль міцності розтягування ГПа	Щільність	Діаметр
Вуглецеве волокно	4900	230	1,8	6,8671
Поліпропілен	18,35	1,47	0,9	-

3.2 Властивості на розтяг

Крива розтягування напруження-деформація матриці чистого ПП показана на рисунку 3.1. Можна побачити, що ПП представляє пластичну криву з деформацією руйнування приблизно 487%, але композиційний матеріал SCF/PP демонструє крихке руйнування та низьку ступінь лінійної деформації. Напруження та нелінійна деформація при вищих напруженнях. На малюнку 3.2 показано граничну міцність на

розрив CF різних розмірів у композитах SCF/PP як функцію масової частки CF (мас.%). На малюнку 3.3 показано модуль пружності при розтягуванні SCF/PP композитів. Додавання вуглецевого волокна ефективно підвищує кінцеву міцність чистого ПП. Можна побачити, що міцність і модуль SCF/PP зростають зі збільшенням товщини.

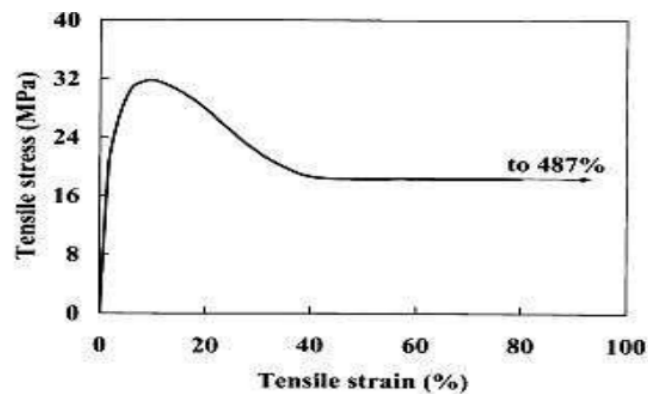


Рисунок 3.1 Типова крива розтягування напруга-деформація для чистого PP матричного матеріалу.

На рисунку 3.2 показано міцність на розрив композитів SCF/PP з різними розмірами CF як функцію масової частки CF (мас.%). Як і очікувалося, міцність на розрив SCF/PP зростала зі збільшенням навантаження CF. Це вказує на те, що навантаження волокон відіграє важливу роль у міцності CF композитів. Це пояснюється тим, що вуглецеве волокно набагато міцніше, ніж PP матриця. Коли деформація прикладається до зразків на розтяг, сильний міжфазний зв'язок між наповнювачем і матрицею призводить до ефективної передачі напруги [32].

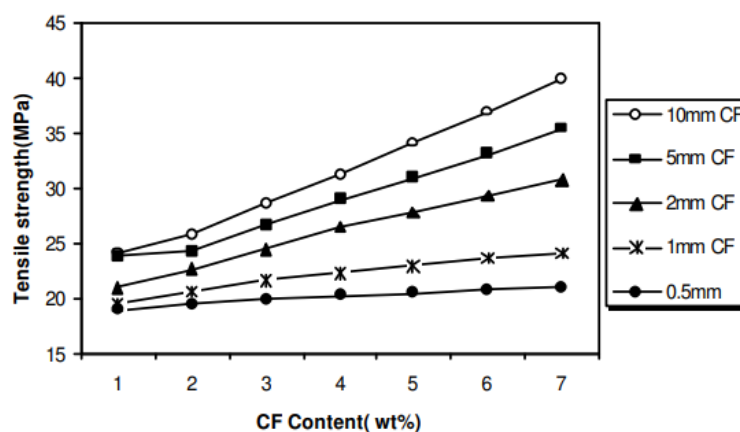


Рисунок 3.2 Міцність на розрив від масової частки волокна для SCF/PP
КОМПОЗИТІВ

Було також помічено, що зі збільшенням довжини волокна міцність на розрив композиту також зростає. Довші волокна несуть більше навантаження, ніж коротші, тому вони мають вищу міцність на розрив. На малюнку 3.3 показано модуль пружності при розтягуванні SCF/PP композитів. Введення CF збільшило модуль міцності композитів SC/PP (1459 МПа) порівняно з ненаповненим PP. Крім того, подібне покращення модуля розтягування спостерігалось зі збільшенням довжини волокна.

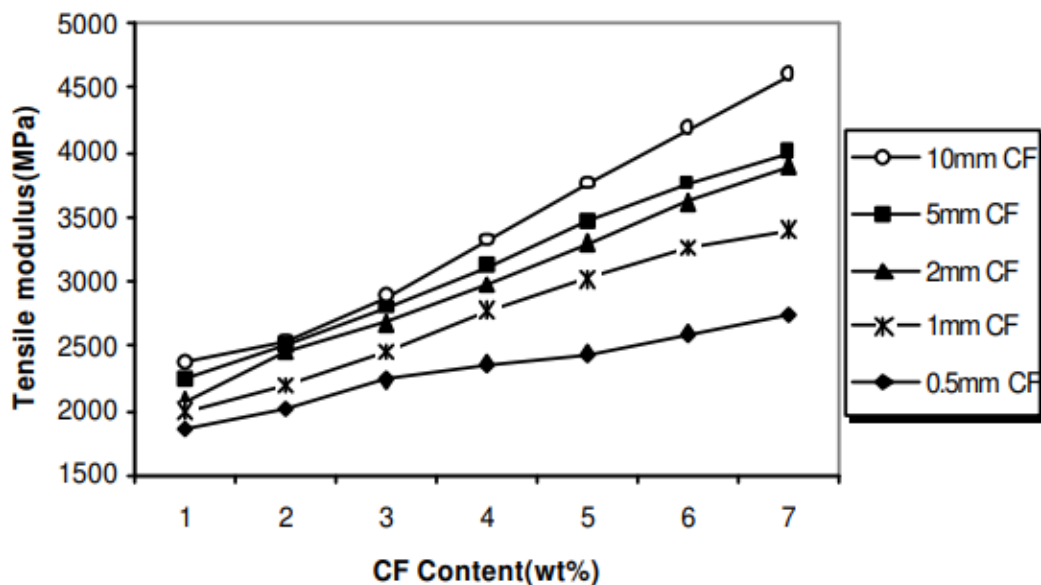


Рисунок 3.3 Залежність модуля міцності на розтяг від масової частки волокна для композитів SCF/PP

3.3 Визначення твердості і ударної міцності

Результати випробувань на твердість за Роквеллом показані на малюнку 3.4 як функція вмісту CF (мас.%). Жорсткість є функцією відносного навантаження на волокна та композитного модуля [33]. Волокна, які збільшують модуль пружності композиту, повинні також підвищувати жорсткість термопластичного композиту. Зі збільшенням відносної частки CF у композиті підвищується і твердість

композиту. З іншого боку, зі збільшенням розміру вуглецевого волокна індекс твердості також збільшується

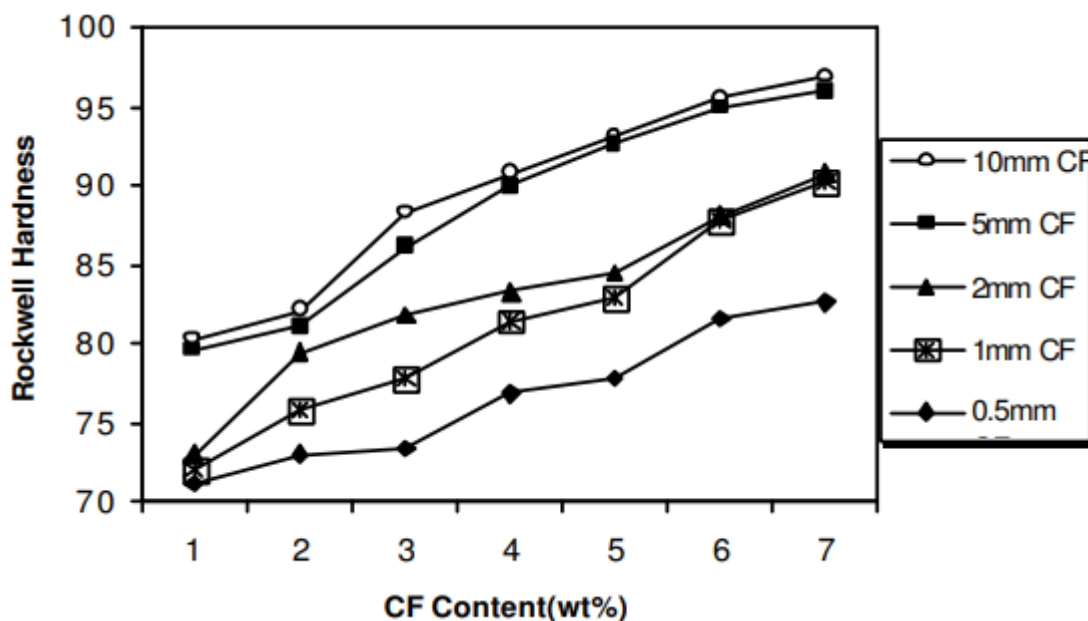


Рисунок 3.4 Залежність твердості від ваги волокна для композитів SCF/PP

Ударні властивості по Ізод

WOF композитів SCF/PP на основі випробування на удар без надрізів за Ізодом показано на малюнку 3.5, показуючи, що енергія удару без надрізів збільшується з додаванням вуглецевих волокон у PP. Це вказує на те, що волокна відіграють домінуючу роль в енергії руйнування. З іншого боку, композитна енергія удару зростатиме зі збільшенням середньої довжини волокна. Довгі волокна можуть витримувати більш високі напруження в PP матриці перед розривом під час застосування навантаження порівняно з коротшими волокнами [34]. Довгі волокна також виявляють більший опір поширенню тріщин у матриці порівняно з короткими волокнами. Низька ударна міцність композитів з короткими волокнами також може бути наслідком наявності в композиті занадто великої кількості кінців волокон, що може призвести до розтріскування, тим самим збільшуючи ймовірність руйнування композиту. Напруження зосереджена в областях навколо кінців волокон, погано з'єднаних ділянках, пустотах, тріщинах, порізах та інших областях, де волокна контактують одне з одним.

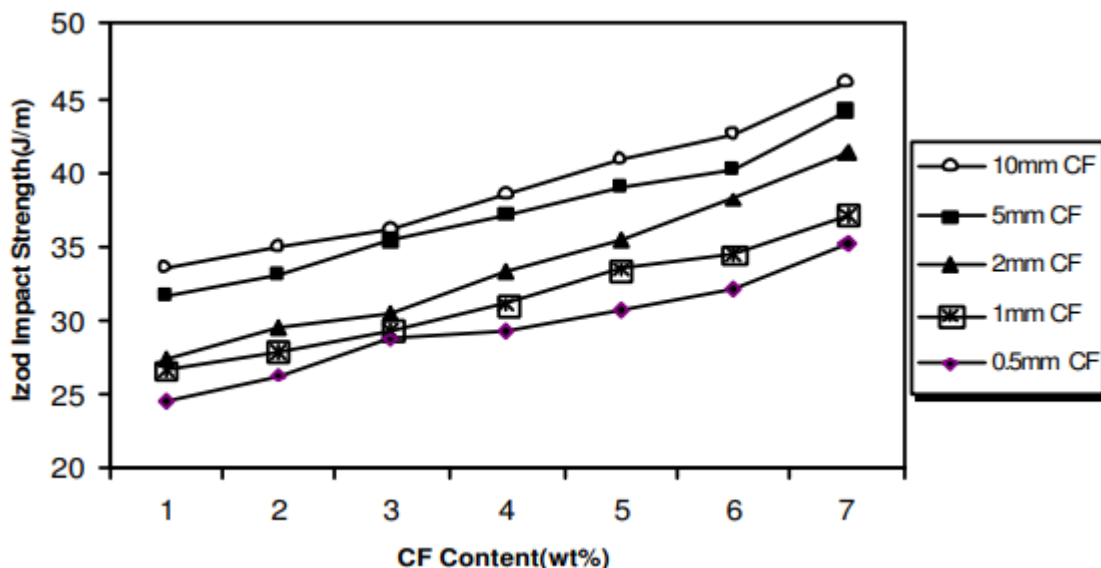


Рисунок 3.5 Енергія удару за Ізодом без надрізу проти масової частки волокна для композиту SCF/PP

3.4 Згинальні властивості

Варіація властивостей SCF/PP на вигин із вмістом вуглецевого волокна показана на малюнках 3.6 і 3.7. Міцність при вигині та модуль пружності при вигині зростають із збільшенням масової частки вуглецевого волокна. Крім того, міцність при вигині та модуль пружності при вигині збільшуються зі збільшенням розміру вуглецевого волокна в композиті. Це вказує на те, що окрім навантаження на волокно, довжина волокна також впливає на характеристики CF композитів. SCF/PP композити з довшими вуглецевими волокнами можуть витримувати високі навантаження, оскільки довші вуглецеві волокна можуть витримувати більше навантажень, ніж коротші вуглецеві волокна, що призводить до більшої міцності на вигин і модуля пружності. Для композиту SCF/PP з довжиною CF 10 мм і навантаженням 7 % найвищі показники міцності при вигині та модуля пружності становили 79,1 МПа та 8375 МПа відповідно.

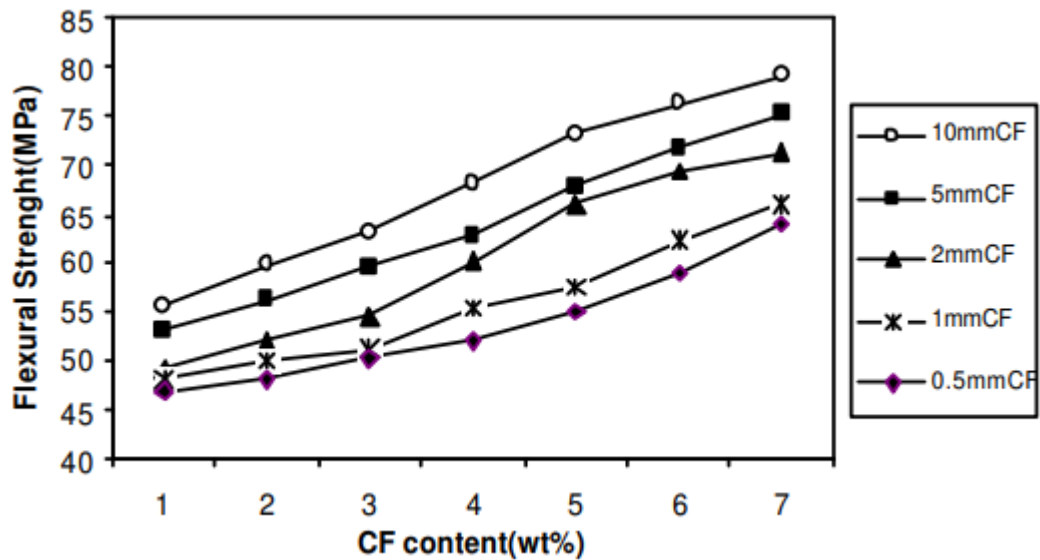


Рисунок 3.6 Міцність на вигин від масової частки волокон для SCF/PP композитів

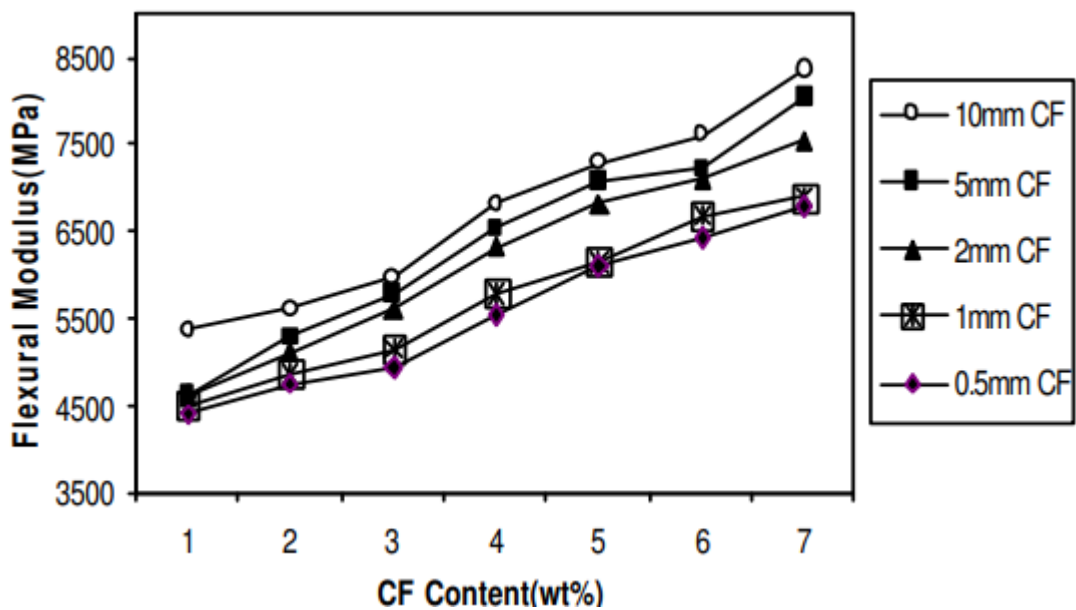


Рисунок 3.7 Залежність модуля пружності при вигині від масової частки волокна для композитів SCF/PP

3.5 Вплив армувальних наповнювачів і орієнтація волокна на властивості ПКМ

Традиційно армувальні наповнювачі вважаються підсилювачами. Термін «армувальна речовина» вперше був використаний для опису несучільних добавок, які були модифіковані для підвищення механічних властивостей полімеру, зокрема міцності. Неорганічні армуючі наповнювачі більш жорсткі, ніж матриця, і мають

меншу тенденцію до деформації, що призводить до зниження загального ступеня деформації матриці, особливо поблизу поверхні розділу частинок з матрицею.

Скловолокно – це синтетичне волокно сферичної форми з гладкою поверхнею, яке створюється шляхом витягування або поділу розплавленого скла [8]. У такому стані скло демонструє незвичайну властивість скла: воно не розбивається і не розбивається, натомість легко згинається, не розбиваючись. Це дозволяє виготовляти з цього матеріалу скло, створювати світлопровідні гнучкі труби та використовувати його в інших галузях техніки рис. 3.8.



Рисунок 3.8 Склотканина

Ровінг має вигляд джгута, який складається зі звичайних скловолокон. Це скловолокно здатне виробляти скловолокно. Склоровінг підходить для використання в трубах, посудинах високого тиску, решітках і профілях, а також для суднобудівної промисловості рис. 3.9



Рисунок 3.9 Скляний ровінг

Ровін складається із окремих волокон – філаментів – розмір і кількість яких визначає властивості ровінгу. Часто ровінг просочується речовинами для забезпечення можливості тримання волокон разом. Просочувач має бути сумісним (розчинним) у відповідній матриці (епоксі чи іншій).

3.6 Порівняння склопластика з вуглепластиком за механічними властивостями

Склопластикові матеріали бувають різних комбінацій. Порошкоподібний B_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO або CaO [9]. Потім суміш розплавляють і нагрівають безпосередньо до приблизно 1300 градусів за Цельсієм, перш ніж скляні волокна екструдують у нитки діаметром від 9 до 17 мікрон за допомогою різних фільтрів. Нитки скловолокна потім перетворюються на більші нитки та намотуються на котушки для подальшого транспортування та подальшої обробки.

У минулому скловолокно було найпопулярнішим матеріалом у світі завдяки використанню в пластиковій арматурі, і тому займало дуже хороше місце у виробничому процесі. У порівнянні з іншими волокнистими матеріалами, такими як вуглецеве волокно та арамідне волокно, він набагато дешевший і легкодоступний.

Єдиним недоліком скловолокна є те, що воно не може витримувати більш високі температури, ніж вуглецеве волокно. Процес прядіння ниток у нитки

більшого діаметру називається процесом ровингу, і скловолоконні нитки зазвичай використовуються для напилення та виготовлення тканого армування зі скловолокна.

Армована склотканина - це сітчастий армуючий матеріал із напрямком деформації та качка. Склопластикові мати - це неткані матеріали та сітчасті скловолокнисті мати. Скловолоконний мат виготовлений із безперервного скловолокна як суцільний мат, а також із нарізаного скловолокна менших розмірів. Зазвичай для надбудови судна потрібен суцільний мат із суцільного скловолокна. Рубаний скловолоконний мат використовується в найпоширенішому процесі формування, коли нитки скловолокна доступні довжиною від 3 до 26 мм.

Таблиця 3.2

Механічні властивості скловолокна [15].

Назва	Показники
Модуль Юнга в Н/мм	24
Коефіцієнт Пуассона	0,1
Модуль зсуву в Н/мм	3,50
Об'ємна частка клітковини в %	50

Матеріал з вуглецевого волокна утворюється карбонізацією поліакрилонітрильного волокна або смоли або віскози при вищих температурах. За допомогою подальших процесів графітизації або витягування міцність або еластичність волокна може бути відповідно збільшена. Вуглецеві волокна виготовляються з діаметрами, подібними до скляних, від 9 до 17 мікрон. Ці волокна змотуються у більші нитки для транспортування та подальших виробничих процесів.

Механічні властивості вуглепластику [15]

Назва	Показники
Модуль Юнга в Н/мм	24
Коефіцієнт Пуассона	0,1
Модуль зсуву в Н/мм	3,50
Об'ємна частка клітковини в %	50

Потім матеріал з вуглецевого волокна йде на подальшу обробку, включаючи плетіння або плетіння для формування тканин з вуглецевого волокна, тканин і матів, а також матеріалу зі скловолокна, який використовується як фактичне армування.

Економічні переваги скловолокна відносно високі. Виробництво довгих вуглецевих волокон є більш трудомістким і складним процесом, що, природно, робить вуглецеве волокно дорожчим.

Подібним чином ширший діапазон використання скловолокна, включно з невідомими продуктами, допомагає забезпечити більш конкурентоспроможні ціни.

3.7 Аналіз технології smc, bmc і прямого пресування

SMC — це екструдований поліефірний матеріал (препрег), покритий з обох боків спеціальною бар'єрною плівкою, що складається з ненасиченої поліефірної смоли, наповнювачів, добавок і скловолокна [16]. З нього виготовляють вироби, основними властивостями яких є механічна міцність і висока якість поверхні. Компаунди SMC використовуються в техніці стиснення.

Склад SMC[16] :

- 1) Скловолокно – до 30%
- 2) Наповнювач(мікротальк) – 40%
- 3) Смола -25%
- 4) Функційні добавки – 5%.

Процес пресування передбачає попередній нагрів форми до необхідної робочої температури. Потім суміш SMC розрізають відповідно до протоколу

різання. Наприклад, якщо конструкцією передбачена різьба, встановіть металеві вставки. Завантаження матеріалів. Вирішальне значення має правильне розміщення готового виробу, що висить в опалубці. Опустіть ковзний прес і закрийте форму. Пресований матеріал у прес-формі нагрівається до робочої температури і піддається високому тиску. Час витримки коливається від 15 до 1 хвилини на 1 мм товщини деталі в залежності від рецептурних властивостей використовуваного пресового матеріалу.

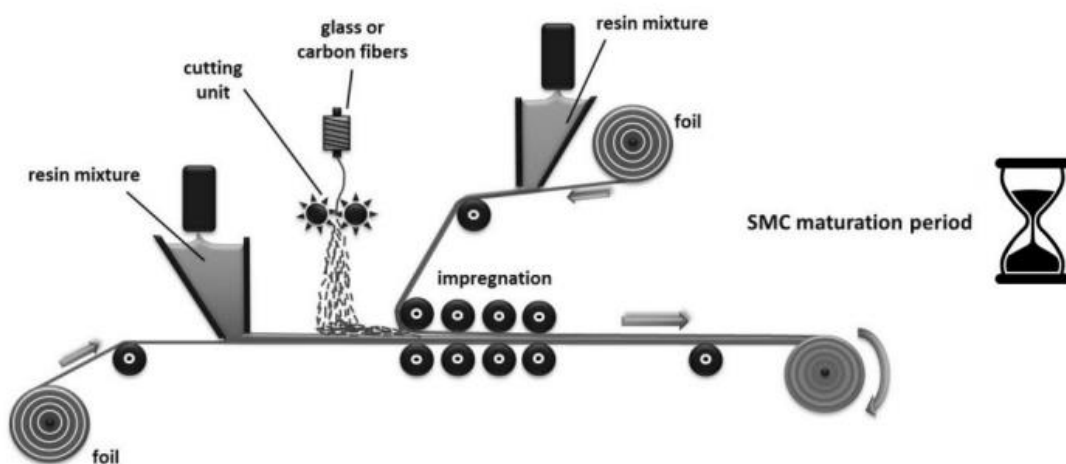


Рисунок 3.10 Схема технології SMC [16]

ВМС - це сипучий аморфний блоковий матеріал, до складу якого входять: ненасичена поліефірна смола, наповнювачі, добавки та скловолокно. Використовується для виготовлення виробів складної конструкції.

Склад ВМС :

- 5) Скловолокно – до 20%
- 6) Наповнювач(мікротальк) – 45%
- 7) Смола -30%
- 8) Функційні добавки – 5%.

Компаунди ВМС використовуються в технології стиснення. Процес пресування передбачає попередній нагрів форми до необхідної робочої температури. Кількість пресованого матеріалу. Готується необхідна суспензія. Наприклад, якщо конструкцією передбачена різьба, встановіть металеві вставки.

Вирішальне значення має правильне розміщення готового виробу, що висить в формі. Опустіть ковзний прес і закрийте форму. Пресований матеріал у прес-формі нагрівається до робочої температури і піддається високому тиску. Час витримки коливається від 15 до 1 хвилини на 1 мм товщини деталі в залежності від рецептурних властивостей використовуваного пресового матеріалу. Відкрийте форму, вийміть деталі та очистіть форму далі.

Після виймання деталі з форми надлишок матеріалу, що залишився на деталі після пресування, видаляється, і деталь готова до подальших вторинних операцій: складання, фарбування, складання.

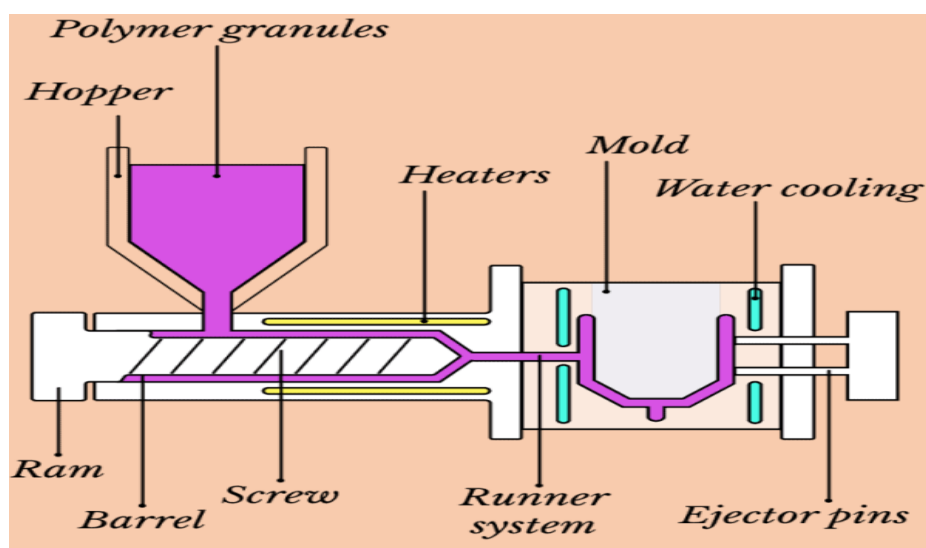


Рисунок 3.11 Схема технології ВМС [16]

Пряме пресування — Цей спосіб є одним з найпоширеніших у виробництві пресованих конструкцій. Спосіб безпосереднього пресування армуючої композиції мало чим відрізняється від методу формування пластику. Основна відмінність полягає в характері матеріалу, з якого спресована деталь. Для формування використовуються в'язкі волокна, листи РСМ, просочені мати, тканини або попередньо сформовані РСМ заготовки чи премікси, а не сипуча смола чи порошок.

Премікс являє собою армовану волокном термореактивну композицію, яка не потребує подальшого затвердіння після приготування та надається формі під час

застосування тиску, достатнього для того, щоб матеріал міг текти та ущільнюватися.

Пряме пресування (рис. 3.12) — це змішування того чи іншого пресувального матеріалу в нагріту до температури формування матрицю, на яку діє тиск R_{zv} верхньої частини форми (пуансона, нагрітого до температури формування). Така сама температура. Під впливом температури матеріал набуває необхідної пластичності і під тиском розподіляється по утвореній порожнині і заповнює її. Повне змикання (закриття) форми відбувається при остаточному проектуванні деталі. Форма закривається з меншою швидкістю, щоб дати повітряним краплинам час покинути порожнину. Формований виріб утримується у прес-формі протягом періоду часу під тиском, необхідним для охолодження термопластичного композиту або нагрівання термореактивного матеріалу, а потім форму відкривають і виріб видаляють за допомогою ежектора з силою P_v .

При неправильно підібраній прес-формі або пресуванні неякісними матеріалами виріб може мати такі дефекти: бульбашки повітря навколо виступаючих частин поверхні деталі, недостатня кількість зв'язуючого через надлишок армуючих наповнювачів, розрив зв'язок та їх надлишкових частин. Матове покриття для плям на виробі.

Кожна несправність має свої причини, рекомендації щодо заходів щодо їх усунення, як правило, даються в таких документах, як технічний регламент.

Методом прямого пресування можна виготовляти вироби з будь-яких матеріалів - термопластичних і термореактивних матеріалів. Власне цим способом виготовляють в основному деталі з термореактивних КМ. Використовувати його для формування деталей з термопластів недоцільно, оскільки в цьому випадку під час кожного циклу формування необхідно поперемінно нагрівати й охолоджувати форму, що значно збільшує тривалість процесу.

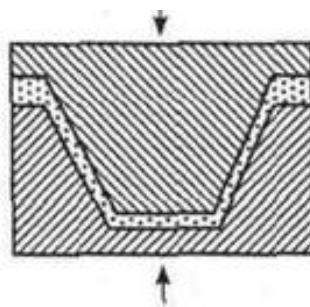


Рисунок 3.12 Схема прямого пресування

Таблиця 3.4

Переваги і недоліки технологій [25]

Тип пресування	Переваги	Недоліки
Пряме пресування	Процес пресування може бути відносно швидким, що забезпечує ефективне масове виробництво. Композитні матеріали, виготовлені прямим пресуванням, мають високу міцність і стабільність, і цей метод дозволяє виготовляти вироби зі складною геометрією.	Порівняно з іншими методами виробництва композитів, методи прямого стиснення можуть бути менш придатними для використання кількох матеріалів. Процес пресування потребує багато енергії, особливо при великомасштабному виробництві, що впливає на собівартість продукції. Хоча метод прямого пресування має високу продуктивність, він обмежує можливість створення виробів зі складною геометрією порівняно з іншими методами.

Продовження таблиці 3.4

ВМС	Вироби з цього матеріалу в 7 разів легші за метал. Виріб хімічно стійкий, міцний, стійкий до УФ-випромінювання, морозостійкий, вогнестійкий. Вироби не потребують додаткової механічної обробки і	Вони мають обмежену гнучкість під час формування.
SMC	можуть бути представлені в різних кольорах, що забезпечується додаванням пігментів. Може вироблятися у великих кількостях. Поверхня виробу однорідна, гладка і блискуча. Різні конструктивні елементи можна об'єднати в окремі вузли і реалізувати будь-яке дизайнерське рішення. Легко обробляти та вибирати.	Обидва способи вимагають використання високоякісних форм для пресування або лиття. Це збільшує витрати на виробництво через високу вартість форми. Сировина для цих технологій може бути дорогою, особливо враховуючи використання волокон і спеціальних смол, а композити, такі як SMC і ВМС, мають обмежені властивості розсіювання тепла, що робить їх менш придатними для деяких застосувань, які вимагають високого розсіювання тепла.

Механічні властивості композитів, виготовлених за допомогою листової формувальної суміші (SMC), масової формовочної суміші (ВМС) і методів прямого стиснення, значною мірою залежать від властивостей використовуваних матеріалів, таких як смоли, армуючі волокна та наповнювачі. Проте загальні тенденції можна визначити для кожної технології див табл.3.5

Таблиця 3.5

Механічні властивості технологій [25]

Назва	SMC	ВМС	Пряме пресування
Міцність на стиснення	50...50 МПа	50...200 МПа	80...300 МПа
Міцність на згин	70...250 МПа	80...250 МПа	100...350 МПа
Модуль пружності	7...25 ГПа	8...30 ГПа	8...30 ГПа

Продовження таблиці 3.5

Додатковий показник стійкості	Відмінна корозійна стійкість та стійкість до впливів середовищ.	Добра стійкість до термічних впливів	Висока міцність та витривалість
-------------------------------	-----------------------------------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------

Варто зазначити, що листові формувальна маса (SMC), блокова формувальна маса (BMC) і технологія прямого стиснення є важливими методами виробництва композитних матеріалів з високими механічними властивостями. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати при виборі технології для конкретного застосування.

SMC і BMC можуть виробляти високоміцні великі деталі і підходять для масового виробництва в різних галузях промисловості. Однак їх гнучкість формування може бути обмеженою, а витрати на матеріали та інструменти високі.

Метод прямого штампування має високу продуктивність і дозволяє виготовляти великі та складні деталі. Тим не менш, його обмежена різноманітність матеріалів і висока вартість енергії можуть бути важливими факторами [25].

Остаточний вибір цих методів має базуватися на конкретних виробничих вимогах, собівартості виробництва, геометрії продукту та інших факторах. У кожному випадку переваги та недоліки слід ретельно розглянути, щоб забезпечити вибір найкращої технології для конкретного застосування.

Висновки до розділу

Аналіз технологій виробництва, особливо SMC, BMC та прямого пресування, виявляє їх важливість для досягнення оптимальних результатів у виробництві армованих полімерних композитів.

Водночас, технології SMC, прямого пресування з препрегу, вимагають попереднього створення або листового матеріалу або, відповідно, препрегу. Створення цих напівфабрикатів - це окрема складна технологія, котра вимагає обладнання, контролю властивостей отриманого матеріалу.

Використання преміксу (технологія ВМС) - ефективна тим, що в якості вхідного напівфабрикату використовується попередньо змішана в простий спосіб суміш – премікс – це суттєво здешевшує підготовку напівфабрикату-матеріалу для подальшого виробництва. Натомість, базова ВМС не дозволяє отримати вміст волокна в матеріалі більш ніж 20 % що, в свою чергу, робить достатньо низькою міцність готового виробу бо волокно, насамперед, визначає показники міцності в полімерному композитному матеріалі.

Використання комбінації гібридної технології ВМС із правильно підібраним за своїми властивостями преміксу дозволить викреслити отримання складних напівфабрикатів і підвищити властивості виробу.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення характеристик скловолокна та вуглеволокна

Метод визначення ударної в'язкості за методом Шарпа ГОСТ 4647-2015

Для випробування ми застосували такі зразки 65 мм довжиною, ширина 10 мм, висота 8 мм. Виготовляли за допомогою епоксидної смоли Ероху 510.

Для виготовлення нам потрібно буде затверджувач TVRDIDLO T0492. Нарізана тканина скловолокна і ровінгу на різні клаптики довжиною 10 мм, 30 мм, 65 мм, в деяких зразків був премікс, а в інших не перемішувались.

Можемо подивитись на рисунку діаметри такнини скловолокна і ровінгу вони є однакові за допомогою цієї фото можемо проаналізувати це.

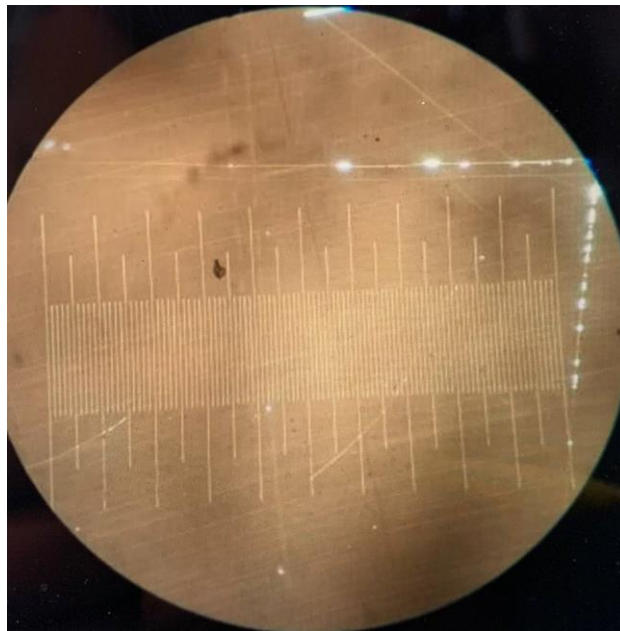


Рисунок 4.1 Мікрометр для вимірювання діаметру філаменту.

Як ми можемо побачити діаметр філаменту скловолокна див. рис. 4.2

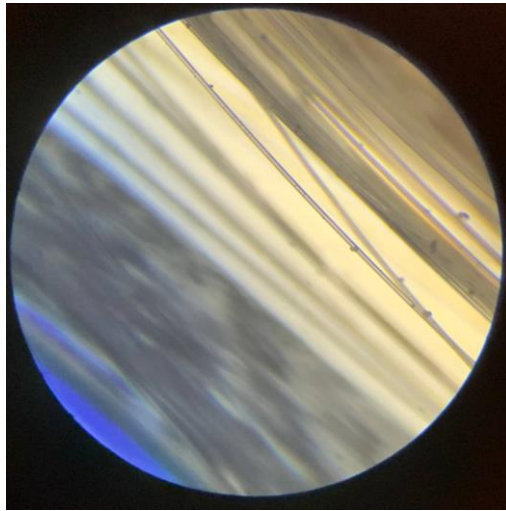


Рисунок 4.2 Феломент скловокна, збільшення 10х

Дивлячись на рисунок 4.3 можна побачити діаметр феламенту ровінгу

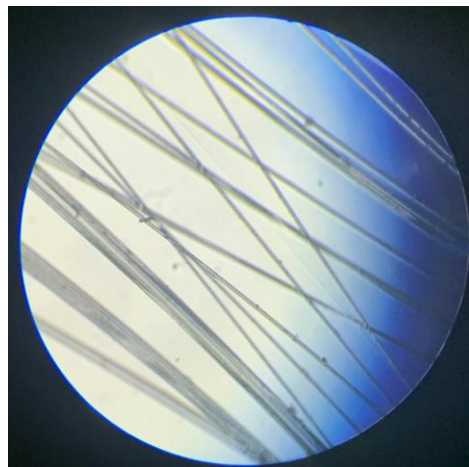


Рисунок 4.3 Феломент ровінгу , збільшення 10х

Ми проаналізували данні за допомогою мікроскопу – діаметри філаменту тканини і склоровінгу становлять 0,01 мм.

Використовувались як попердньо створений премікс із різною довжиною волокна і із різною орієнтацією – для отримання анізотропного і ізотропного склопластику.

За допомогою спеціально створеної форми, що має певні елементи в конструкції, створювали зразки. Під пресом певна кількість матеріалу вичавлювалась.

Залишки збиралися, спалювалися у відповідності із методикою, і порахували вміст наповнювача в зразках, див табл.4.2.

Після вакуумування цієї ставили їх в камерну піч для їх випікання при 100 °С

Після випікання дані зразки ставили на плоскошліфувальну верстат де вивели зразки до норми 10*8 мм.

За допомогою фрези зробили однаковий проріз U-подібний на всіх заготовках, відповідно до методики проведення нашого експерименту.

Коли всі заготовки готові переходимо до визначення ударної міцності кожного зразка:

- Маса молотка 2,5 кг (250 Н) ,
- площа перерізу всіх ,крім 24 зразка, буде $8*8,7=69,6 \text{ мм}^2$ а 24=87 мм^2 ,
- кут з якого відбувався удар $157,5^\circ$, відповідно кут відбивання і ударна міцність див таб. 4.1, 4.2

За формулою можемо визначити ударну міцність наших зарків :

$$KC = \frac{A_k}{F_0} \quad (\text{Дж} / \text{м}^2)$$

Для визначення A_k потрібно зайти висоту падіння відняти висоту відбивання і потім помножити на масу молотка . F_0 – проща перерізу = $69,6 \text{ мм}^2$

Висоту падіння можна визначити за допомогою формули

$$h = 430 * \sqrt{2(1 - \cos\beta)} * \sin\left(90 - \left(\frac{180 - \beta}{2}\right)\right)$$

Таблиця 4.1

Визначення кута і висоти відбивання заготовок при тесті на ударну міцність

№ Зразка	Кут відбивання	Висота відбивання мм	Висота падіння мм	A_k Дж
0	122°	657,8	833,8	4,4
1	130°	706,3	833,8	3,18
2	106°	548,5	833,8	7,13
3.1	103°	526,7	833,8	7,67

Продовження таблиці 4.1

3.2	133 ⁰	723,2	833,8	2,76
3.3	114 ⁰	604,8	833,8	5,72
3.4	106 ⁰	548,5	833,8	7,13
4	128 ⁰	694,7	833,8	3,47
5	131 ⁰	712,1	833,8	3,04
	131 ⁰	712,1	833,8	3,04
	131 ⁰	712,1	833,8	3,04
15	152 ⁰	809,6	833,8	0,6
	153 ⁰	813,1	833,8	0,51
	153 ⁰	813,1	833,8	0,51
	152 ⁰	809,6	833,8	0,60
23	76 ⁰	325,9	833,8	12,69
	23 ⁰	34,1	833,8	19,99
	39 ⁰	95,8	833,8	18,45
24	98 ⁰	489,8	833,8	8,6
	107 ⁰	555,7	833,8	6,95
	99 ⁰	497,2	833,8	8,41
25	72 ⁰	297,1	833,8	13,41
26	52 ⁰	165,2	833,8	16,71
	51 ⁰	159,3	833,8	16,86
	50 ⁰	153,6	833,8	17

Для розрахунку процентного вмісту скловолокна в зразках використовується метод розрахунку масового вмісту заповнювача в зразку. Зразки скловолокна, які містять заповнювач, повинні бути належним чином підготовлені. Зазвичай їх подають у вигляді тарілок або інших страв. Зразки вимірюють до і після експерименту. Об'єм зразків із певним заповнювальним складом і без заповнювача дозволяє розрахувати масовий відсоток заповнювача див таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Визначення відсотка заповнювача склопластику та вуглепластику і ударна
в'язкість зразків

№ зразку	Склад	Вага зразку	Вміст наповнювач а %	КСУ кДж/м ²
0	Клаптики такнини по довжині зразку , заливання смоли, закладання скла.	7,69	-	63,2
1	Премікс: 8 г Ероху510, 2,6 г затверджувач Т0492 , 6,3г скловолокно.	9,12	69	45,8
2	Без преміксу заливання смоли, закладання волокна- зразок не просочився	10,88	79	102,5
3.1	Премікс: 8 г Ероху510, 2,1 г затверджувач Т0492, 10г скловолокна (довжина 10 мм)	11,52	86	110,3
3.2	Премікс: 8 г Ероху510, 2,1 г затверджувач Т0492, 10г скловолокна (довжина 10 мм)	9,57	73	39,7
3.3	Премікс: 8 г Ероху510, 2,1 г затверджувач Т0492, 10г скловолокна (довжина 10 мм)	9,24	81	82,3
3.4	Премікс: 8 г Ероху510, 2,1 г затверджувач Т0492, 10г скловолокна (довжина 10 мм)	10,12	74	102,5
4	Премікс: 8 г Ероху510, 2,1 г затверджувач Т0492 , 10г скловолокно полімерізація 15 ⁰ С	10,75	93	50
5	Премікс: 8 г Ероху510, 2,1 г затверджувач Т0492, 5г вуглеволокно №2	8,6	58	43,7
		8,73	57	43,7
		8,93	56	43,7
15	Ероху510 8 г, 2,1 г затверджувач Т0492.	7,03	-	8,7
		7,07	-	7,4
		7,12	-	7,4
		6,55	-	7,4
23	Закладання до форми ровінгу ,порізаного на довжину 65мм , Ероху510 8 г, 2,1г затвержувача Т0492 , 5г. волокна , без преміксу – заливання смоли , закладання волокна	8,81	56	182,4
		9,15	54	287,3
		9,38	53	265,1

Продовження таблиці 4.2

24	Закладання до форми преміксу із волокон ровінгу порізаного на 30мм, 5 г волокна	8,11	61	98,9
		7,88	63	79,9
		8,04	62	96,7
25	Премікс : 10 г Ероху510, 2,6г затвержувача Т0492, 5г. скловолокна	8,37	59	192,8
26	Премікс : 10г Ероху510, 2,6г затверджувач Т0492 , 8г склоровінг (порізаний на довжину зразку 65 мм і перемішаний)	9,75	82	240,2
		10,01	79	242,3
		9,25	86	244,3

4.2 Аналіз зразків

Відповідно до проведених експериментів маємо такі результати по зразкам .



Рисунок 4.4. Зразок №2

Як можемо побачити що зразок не просочився , КСУ – $102,5 \text{ кДж/м}^2$ і зламався не по середині прорізу , що свідчить про слабкі місця по всій заготовці з відсотковим вмістом 79% .



Рисунок 4.5 Зразок №3/4

Це премікс з довжиною волокна в цьому зразку 10 мм ,КСУ – 102,5 кДж/м² , злам по середині , вказує що рівномірно розташовані були волокна , якщо дивити ударну міцність , різниці не має між 2 і 3/4 зразком , вміст волокна 74%.



Рисунок 4.5 Зразок №3

Цей зразок з перміксу , з довжиною також 10мм , КСУ – 83,7 кДж/м² , злам однаковий , більша ударна міцність характеризує що зразок більше вміст наповнювача 86% .



Рисунок 4.6 Зразок № 15

В зразку не має армуючого наповнювача ,епоксидна смола і її КСУ – 7,6 кДж/м² , Покажує що вона майже не має ударної міцності і її потрібно рамувати чи вуглеволокном чи скловолокном.



Рисунок 4.7 Зразок №5

Цей зразок включає в себе армуючий елемент вуглеволокно , за своїми характеристиками він легший що показує масу 8,7 грами і повинен бути міцнішим , але як ми бачимо КСУ – 43,7 кДж/м² , що каже на про те що короткі волонна не тримаються потрібно використовувати довгі , тоді міцність буде вищою.



Рисунок 4.8 Зразок №0

Тут присутні клаптики тканини по довжині зразку , відповідно до не великої ваги він показує гарний результат в КСУ – $63,2 \text{ кДж/м}^2$.



Рисунок 4.9 Зразок № 24

У формі був премікс з волокон ровінгу порізаного на 30мм , кількість наповнювача 62% , КСУ – $92,3 \text{ кДж/м}^2$ бачимо що довжина волокна збільшилась і відповідно зросла ударна вязкість .



Рисунок 4.10 Зразок № 23

Волокна розташовані повздовж зразка , що показує відшарування , вміст армуючого елемента 54%, і не має зламу поперек , КСУ – $244,9 \text{ кДж/м}^2$, дуже гарний показник відповідно до попередніх зразків .

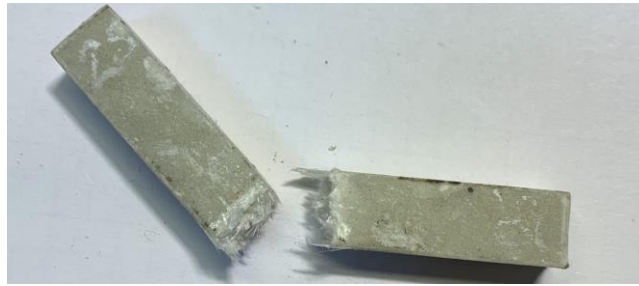


Рисунок 4.11 Зразок №25

Вміст наповнювача 59%, КСУ – $192,8 \text{ кДж/м}^2$, Премікс показує гарний результат на ударну вязкість .



Рисунок 4.12 Зразок №26

В цьому зразку вміст армуючого елемента 82% , КСУ – $242,2 \text{ кДж/м}^2$, волокна довжиною 65 мм переміщані і вкладені у форму , видно з результатів що має гарну ударну міцність .



Рисунок 4.13 Зразок № 1

Вміст наповнювача 69 % КСУ – 45,8 кДж/м² . Переміс з короткими волокнами показує не дуже гарні результати по ударній міцності. Тому для того щоб замінити препрег потрібно використовувати волокна по всій довжині зразка.

4.3 Аналіз відношення довжини і кількості наповнювача відповідно до КСУ.

Дослідження залежності довжини волокна від вмісту наповнювача набуває актуальності в контексті пошуку оптимальних рішень різноманітних технічних завдань. Це відкриває перспективу вдосконалення конструкції теплообмінних систем, здатних забезпечити оптимальні умови теплообміну в різних технічних процесах.

Таблиця 4.3

Данні для побудови графіків порівняння зразків

Зразок №	Направлення волокна	Довжина волокна, мм	Кількість волокна, %	Переріз	Ак, Дж	КСУ, кДж/м ²	відносне КСУ
27	направлено	65	74			3,52	47,5
26	хаотично	65	74	8x8,7	1670	1,91	25,8
25	хаотично	10	56	8x8,7		1,04	14,0
24	хаотично	30	57	10x8,7	850,8	1,22	16,4
23	направлено	65	52	8x8,7		2,76	37,2
3	хаотично	10	73	8x8,7	740	1,92	26,0
3/1	хаотично	10	82		767	0,96	12,9
0 тканина	направлено	65	30	8x8,7	440	0,63	8,5
15	чиста епоксі	0	0			0,07	1,0
4	хаотично	10	80			0,49	6,7
1	хаотично	10	54			0,85	11,5

Тенденція на графіку показує, що збільшення вмісту волокна призводить до збільшення міцності матеріалу, вираженого через КСУ та його відносну величину. Зокрема, зразок 3/1 із вмістом клітковини 82% продемонстрував нижче відносне значення КСУ порівняно з іншими зразками, що може бути наслідком надмірної концентрації клітковини.

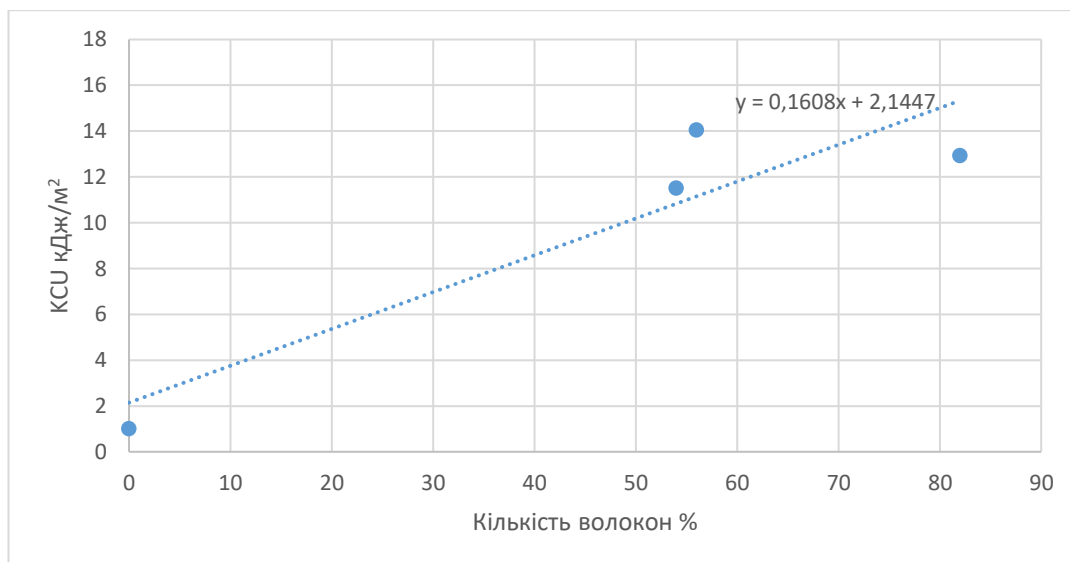


Рисунок 4.14 Залежність ударної вязкості від зразків 1, 25, 3/1 - по збільшенню % волокна на міцність для ізотропних матеріалів.

На графіку наведено дані для зразків з різним вмістом волокна з урахуванням анізотропії матеріалу. На підставі наданих даних можна зробити такі висновки:

Серед зразків порівняння зразок №27 з орієнтованими волокнами (вміст 74%) мав найвищий КСУ та відносний КСУ.

Зразок №23 також містить орієнтовані волокна (вміст 52%) і має значно нижче відносне значення КСУ порівняно зі зразком №27.

Зразок «тканини 0» з орієнтованими волокнами (вміст 30%) мав нижчий відносний КСУ, що вказує на те, що зменшення вмісту волокна призводить до зниження міцності.

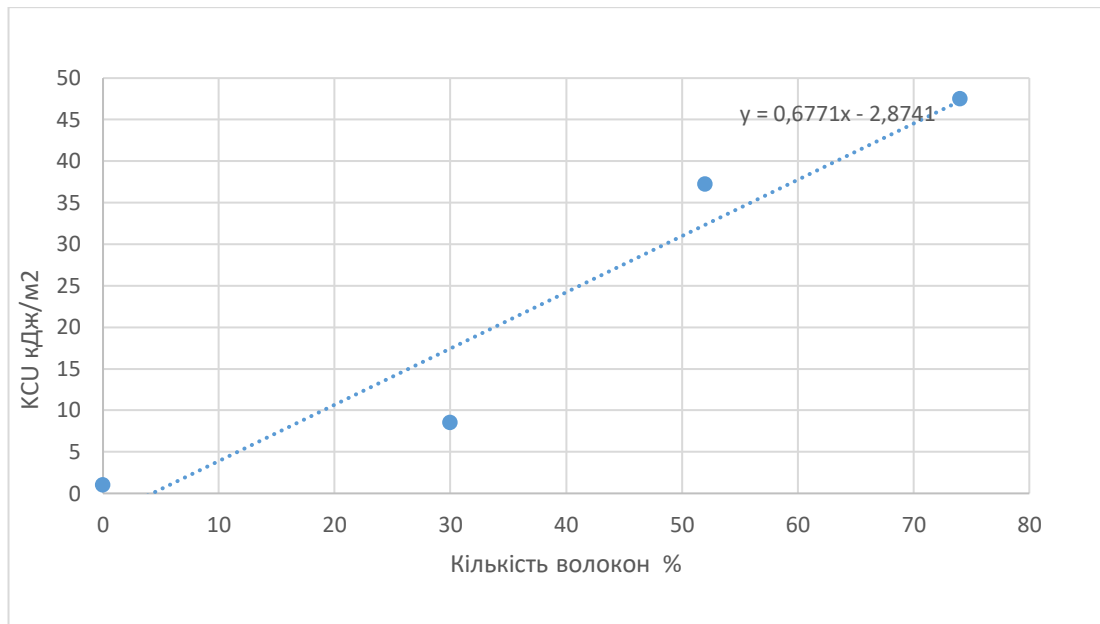


Рисунок 4.15 Залежність відсотка волокна від зразків 0, 23, 27 - по збільшенню міцності для анізотропних однонаправлених матеріалів.

На графіку наведено дані для зразків із різною довжиною волокна. На підставі наданих даних можна зробити такі висновки:

Зразок №1 з хаотично розташованими волокнами та довжиною 10 мм мав найнижчі значення КСУ та відносні значення КСУ серед зразків порівняння.

Зразок №24 з хаотично розташованими волокнами та довжиною 30 мм мав значно вищі значення КСУ та відносні значення КСУ порівняно зі зразком №1.

Зразок №26 із довільно розташованими волокнами та максимальною довжиною 65 мм мав більші значення КСУ та відносні значення КСУ, що вказує на те, що збільшення довжини волокна може мати позитивний вплив на міцність ізотропних матеріалів.

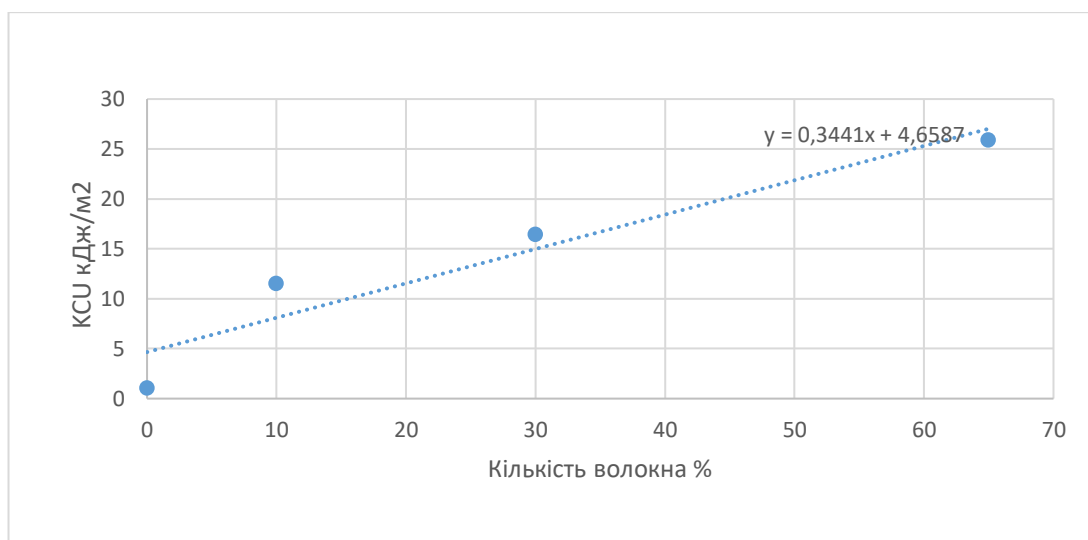


Рисунок 4.16 Залежність збільшення довжини армуючого волокна від зразків 1, 24, 26 - на міцність ізотропних матеріалів - зі збільшенням довжини має підвищуватись.

Графіки побудовані по відношенню до ненаповненої епоксидної смоли , бо при розрахунку абсолютних показників була системна помилка , пов'язана із відсутністю повіреного обладнання і не гостівських розмірів зразків.

Висновки до розділу

Проведено дослідження впливу армувального наповнювачу на властивості армованого скло та вугло матеріалами полімерного композиту.

Визначено, що діаметр філаменту в усіх використаних матеріалах однаковий і становить 0,01 мм.

Проаналізовано вплив збільшення кількості (відсотку) армувального наповнювача на ударну в'язкість ізотропного ПКМ. Визначено, що зі збільшенням вмісту склофіламенту, розташованого в матриці хаотично, отримуємо пряму залежність підвищення ударної в'язкості за лінійним рівнянням. По відношенню до ненаповненої епоксидної смоли ударна в'язкість зростає для зразку № 3 з 82% наповнювача в 12, 9 рази (96 кДж/м²).

Аналіз впливу збільшення кількості (відсотку) армувального наповнювача на ударну в'язкість анізотропного ПКМ показав, що зміцнення такого матеріалу із

правильно орієнтованим волокном відбувається набагато якісніше і досягає значення 47,5 рази ($352,6 \text{ кДж/м}^2$) при кількості волокна 74%. Довжина волокна при цьому становить 65 мм.

Також на показники ударної вязкості пряму дію чинить така досліджена характеристика волокна, як його довжина. В ізотропних ПКМ вдалось дослідити довжини волокон від 10 до 65 мм. Показано, що волокно в 65 мм дає найвищий приріст у ударній вязкості зі значенням 25,8 рази ($191,95 \text{ кДж/м}^2$).

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Теоретична частина.

Донедавна скловолокно використовувалося в основному в авіабудуванні, суднобудуванні та аерокосмічній техніці. Широкому застосуванню склопластику перешкоджало в основному відсутність промислової технології масового виробництва профілів складної конфігурації з необхідною точністю розмірів. З появою технології пултрузії це завдання було успішно вирішено. Існує багато способів масового виробництва виробів зі скловолокна в різних конфігураціях (не обов'язково профілів), таких як RTM, вакуумне формування. [12].

Тому скловолокно є одним з найдоступніших і найдешевших композитних матеріалів. Основними витратами на виробництво склопластикових виробів є технологічне обладнання та оплата праці. Через високу трудомісткість і великі тимчасові виробничі витрати, собівартість відносно висока.

Для проведення розрахунку економічної частини необхідно розкрити основні питання даної науково-дослідної роботи:

- Актуальність проблеми – Виготовлення полімерних композитних ламінатів із специфічними фізико-механічними властивостями є актуальною сучасною задачею проектування та виробництва деталей.

- Метою досліджень є створення полімерного композиту – вуглецевого волокна із заданими фізико-механічними властивостями для використання у виготовленні полімерних композитних листових ресор;

- Дослідницька місія полягала в дослідженні впливу зміни складу вуглецевого волокна на фізичні та механічні властивості деталі. Проаналізуйте вплив термічної обробки на пружинні властивості. Робити висновки та рекомендації за отриманими результатами;

- Майбутнє застосування результатів NDR в національній економіці та розподіл впливу на виробників і споживачів, а також результати досліджень щодо

впливу зміни складу вуглецевих волокон на їх фізико-механічні властивості, що дозволяє розробку та виробництво матеріалів зі специфічними властивостями.

- Тип НДР за класифікацією відповідає пошуковому дослідженню. Пошукові дослідження – дослідження, спрямовані на аналіз і розвиток фундаментальних досліджень для визначення можливості та необхідності їх практичного застосування в окремих галузях техніки і технології. Результати пошукових досліджень повинні бути рекомендаціями щодо створення нових продуктів і нових процесів.

- Немає зв'язку між цією NDR і попередньою роботою в подібному напрямку.

5.2 Методика розрахунку витрат.

1. Структура витрат на проведення НДР.

Витрати на дослідно-експериментальні роботи є підготовчими і складаються з таких складових:

- Витрати на постановку завдань дослідження (огляд літератури, патентне дослідження тощо);

- витрати на лабораторні дослідження;

- Витрати на дослідне виробництво (проекування та виготовлення дослідного обладнання), отримання та випробування партії дослідного продукту, вивчення відходів виробництва та техніко-економічну оцінку процесу;

- Витрати на промисловий дизайн.

2. Матеріальна вартість.

Вартість основних матеріалів, допоміжних матеріалів і реактивів, витрачених у процесі дослідження, розраховується за фактичною собівартістю та ціною і розраховується за такою формулою:

$$V_m = V \cdot C, \text{ грн} \quad (4.1)$$

У формулі V — витрата даного виду матеріальних ресурсів, од.виміру;

C – ціна одиниці виміру таких матеріальних ресурсів у гривнях. Результати розрахунків наведено в таблиці. 5.1.

Таблиця 5.1

Вартість матеріалів

Найменування матеріалу	Одиниця вимірювання	Ціна, грн. За одиницю виміру	Фактична кількість	Сума, грн
Вуглеволокно	м 2	3560,00	2	7120
Епоксидна смола	кг	950,00	0,5	475
Разом				7595

Вартість палива та електроенергії, витрачених під час дослідження, розраховували подібно до вартості матеріалів. Плата за електроенергію визначається виходячи з потужності обладнання, часу роботи та ціни електроенергії за 1 кіловат годину та розраховується за такою формулою:

$$Ve = M \cdot n \cdot T \cdot Ц, \text{ грн,}$$

де, M – потужність обладнання або електроприладу (за паспортом), кВт;

n – кількість застосованого обладнання, шт.;

T – час роботи обладнання, год.;

$Ц$ – ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 4.2.

Таблиця 5.2

Вартість електроенергії

Найменування матеріалу	Потужність, кВт	Час роботи обладнання, год	Ціна 1 кВт·год електроенергії грн.	Сума, грн.
Вакуумний насос	0,5	5	2,64	6,6
Плоскошліфувальний верстат	4	1	2,64	10,56
Камерна піч	10	6,5	2,64	171,6
Сушильна шафа	1	24	2,64	63,36
Разом				252,12

3. Оплата праці.

Витрати на заробітну плату включають заробітну плату виконавців, керівників, супутнього персоналу (лаборантів і теплотехніків). Витрати на оплату праці (Зв) особи, яка виконує роботу, визначають шляхом множення розміру місячного грошового утримання на кількість місяців, проведених у науково-дослідній практиці та кваліфікаційній магістерській роботі.

Для керівників і консультантів, а також науково-технічного персоналу (інженерів, лаборантів) - виходячи з посадового окладу та всіх надбавок і норм часу. Посадовий оклад керівника робіт (Зкер) визначається виходячи з погодинної оплати праці науково-педагогічних працівників, які ведуть навчальні курси, та норми робочого часу однієї випускної роботи для підготовки студентів за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр». Денна форма навчання (12 кредитних годин/особу).

Заробітна плата відповідного персоналу (теплотехніків і лаборантів) визначається виходячи з погодинного розміру мінімальної заробітної плати та вартості робочого часу при проведенні досліджень.

Витрати на заробітну плату 450,35

4. Інші витрати.

Інші витрати визначаються у розмірі 25% від суми прямих витрат. Це загальношкільні витрати на амортизацію та ремонт будівель та обладнання, опалення, освітлення, рахунки за воду, витрати на утримання педагогічного та адміністративного персоналу, придбання канцтоварів тощо.

Вартість спецобладнання, яке цього разу закупила Східна Німеччина, послуги сторонніх організацій (аналіз і тестування, комп'ютерне моделювання тощо), а також витрати на відрядження розраховуються на основі фактичного рівня.

Заключний кошторис НДР є сумою результатів розрахунку суми витрат за всіма статтями витрат під час її виконання та наведений у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Кошторис витрат на науково-дослідницьку розробку

Найменування статті витрат	Сума, грн
Вартість матеріалів	7595
Вартість електроенергії	252,12
Витрати на заробітну плату	450,35
Разом	8297,47

Висновки до розділу

Підсумковий кошторис витрат на НДР складається з суми результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання і складає для виконаної нами роботи 8297,47грн.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

6.1 Оцінка ризику та безпеки праці при роботі з вугле- і склопластиком

Робота з вуглецевим волокном і скловолокном може призвести до ряду потенційних небезпек для людей. Ось кілька ключових принципів, які слід враховувати під час взаємодії з цим матеріалом. Виробництво, нарізка або подрібнення вуглецевого волокна або скловолокна може призвести до утворення пилу та дрібніших частинок мікроскопічного розміру. Деякі виробничі процедури можуть вимагати використання токсичних речовин і хімічних розчинників. Вуглецеве волокно та скловолокно можуть стати джерелом вогню або тепла під час виробництва. Під час ручної роботи з великими або важкими деталями м'язи та суглоби можуть навантажуватися. Використання гострих інструментів і матеріалів може призвести до травм, порізів і осколків. Використання електроінструментів та іншого обладнання може призвести до потенційного ризику ураження електричним струмом.

Аналіз впливу технологічних процесів на безпеку працівників при роботі з вуглеволокном та скловолокном.

Зі зростанням розвитку технологій і поширенням нових матеріалів у сучасному виробництві поглиблене вивчення впливу технологічних процесів на безпеку працівників, зокрема щодо взаємодії вуглецевого волокна та скловолокна, стає важливим. Хоча ці ресурси відкривають нові можливості для промисловості, вони також можуть призвести до потенційної небезпеки для працівників через неправильне використання [38].

Одним із основних аспектів це доводиться мати справу з хімічними речовинами під час виробництва вуглецевого волокна та скловолокна. Ці речовини містять полімери, які можна змінити за допомогою хімічних сполук. Розуміння хімічного складу та впливу цих хімікатів на організм працівника має вирішальне значення для розробки ефективних стратегій безпеки. Необхідно вжити заходів для

мінімізації впливу, включаючи використання закритих систем і достатньої вентиляції.

Високотемпературні процедури, пов'язані зі створенням і обробкою цих речовин, становлять ще одну небезпеку для працівників. Дуже важливо надати працівникам відповідне обладнання, щоб захистити їх від впливу та опіків, пов'язаних із високими температурами, включаючи захисні костюми та окуляри, а також організувати робочий процес, щоб уникнути ймовірності контакту з високотемпературними поверхнями.

Механічна небезпека, пов'язана з обробкою вуглецевого волокна та скловолокна, полягає в потенційних травматичних подіях під час різання, формування та обробки матеріалів. Дуже важливо надати працівникам відповідні засоби індивідуального захисту та проінструктувати їх, як правильно ними користуватися.

Освіта та навчання також важливі для того, щоб запобігти безпечній кар'єрі працівників. Постійне навчання техніці безпеки, ознайомлення з ризиками роботи та правильне використання обладнання – усе це допомагає створити відповідальне робоче середовище [42].

Як правило, вплив технологічних процесів на безпеку працівників під час роботи з вуглецевим волокном або скловолокном є комплексним підходом, який потребує комплексного аналізу. Врахування всіх аспектів, включаючи безпеку хімічних речовин для організації робочого простору та індивідуального захисту, призведе до ефективного методу контролю ризиків та збереження здоров'я працівників у цьому інноваційному секторі виробництва.

6.2 Засоби захисту та стандарти при роботі з вугле- та скловолокном

Робота з вуглецем і скловолокном може спричинити ризики для здоров'я, які необхідно враховувати, матеріали можуть виділяти частинки, які можуть бути шкідливими для дихальної системи або шкіри. Тому життєво важливо дотримуватися встановлених протоколів і використовувати належне захисне обладнання.

Потрібно дотримуватися наступних стандартів:

EN 149:2001+A1:2009 - Цей європейський стандарт визначає вимоги до фільтруючих напівмасок, які призначені для захисту дихальної системи від частинок.

EN 166:2001 - Стандарт для захисних окулярів. Важливо пам'ятати, що волокна можуть викликати подразнення очей.

EN 388:2016 - Стандарт, який описує вимоги до захисних рукавичок від механічних пошкоджень. Робочі рукавички служать для захисту шкіри від шкідливих речовин.

EN 420:2003+A1:2009 - Стандарт, який описує загальні вимоги до захисних рукавичок [39].

Застосовують наступні методи захисту:

Респіратори: сформулюйте текст англійською мовою: EN 149 — це стандарт, який описує типи респіраторів, які підходять для використання. Вони повинні захистити себе від вуглецевих і скловолоконних волокон, щоб уникнути вдихання шкідливих частинок.

Захисні окуляри: захисні окуляри або маски для обличчя, вкриті частинками, запобігають забрудненню очей.

Рукавички: використовуйте рукавички, які відповідають стандартам EN 388 і EN 420, щоб захистити руки від механічних пошкоджень і впливу шкідливих речовин.

Одяг: Носіть захисний одяг, щоб запобігти потраплянню волокон у шкіру.

Вентиляція: якщо можливо, працюйте в приміщенні з достатньою вентиляцією або використовуйте витяжні системи, щоб зменшити кількість шкідливих частинок в атмосфері.

Освіта: навчайте працівників методам безпеки вуглецю та скловолокна. Запобігання впливу небезпечних матеріалів на працівників і забезпечення дотримання стандартів має вирішальне значення для безпеки цих працівників.

6.3 Інструктажі та навчання при роботі з вуглепластиком та склопластиком

Сьогодні технології виготовлення та обробки матеріалів постійно розвиваються, що відкриває нові можливості для створення легших, міцніших і ефективніших конструкцій. Вуглецеве волокно та скловолокно стали невід'ємною частиною цього еволюційного процесу, але їх використання є специфічним і вимагає знань та навичок. Процес навчання та навчання має вирішальне значення для забезпечення безпеки працівників і досягнення найвищої якості продукції.

Починаючи з основних принципів безпеки, робота з вуглецевим волокном і скловолокном вимагає суворого дотримання протоколів безпеки. Співробітники повинні мати засоби захисту, такі як окуляри, респіратори та рукавички, щоб запобігти потенційній небезпеці та шкідливим речовинам від потрапляння їхніх легенів. Робота повинна проводитися в приміщеннях з достатньою вентиляцією або на відкритому повітрі, щоб уникнути накопичення шкідливих запахів[40].

Крім того, життєво важливо дотримуватися правильних пропорцій і методу поєднання смоли та волокон, щоб досягти найефективніших результатів. Розподіл волокон має бути рівномірним, а нанесення матеріалу – точним і швидким. Після нанесення слід дотримуватися інструкцій щодо ущільнення та часу висихання, щоб забезпечити максимально можливу міцність і тривалість.

Особливу увагу слід приділити обробці та комплектації виробів. Використання відповідних інструментів і абразивів дозволяє виготовити виріб з високим ступенем точності та естетичної цінності.

Навчання та практика відіграють значну роль у розвитку навичок і знань щодо вуглецевого волокна та скловолокна. Перед початком роботи над великими проектами рекомендується спочатку отримати практичний досвід на менших зразках, щоб уникнути помилок і отримати якомога кращі результати.

Зрештою, надзвичайно важливо усвідомлювати важливість документування та відстеження під час процесу використання вуглецевого волокна та скловолокна. Прозоре представлення використаних матеріалів, процесів і результатів сприяє підвищенню ефективності та визначає потенціал для додаткового вдосконалення.

Загалом, інструкції та навчання мають вирішальне значення для використання вуглецевого волокна та скловолокна, це забезпечує безпеку, якість і високий ступінь майстерності у створенні цих сучасних матеріалів.

6.4 Вплив виробництва вуглепластику та склопластику на навколишнє середовище і екологію

Вплив виробництва вуглецю та скловолокна на навколишнє середовище: шляхи до сталого виробництва.

Останнім часом питання сталого розвитку та екологічної відповідальності набули більшого значення в контексті розробки нових матеріалів і методів. Вуглецеве волокно та скловолокно відомі своєю легкістю, міцністю та універсальністю, однак виникають питання щодо їх впливу на навколишнє середовище. Розуміння цих речовин з точки зору екології стає невід'ємною частиною процесу роботи та розвитку екологічно відповідального виробництва.

Одним з корисних аспектів вуглецевого волокна та скловолокна є їхня роль у зменшенні ваги транспортних засобів і конструкцій, що призводить до меншого викиду CO₂ під час експлуатації. Легкість цих речовин дозволяє створювати більш ефективні та енергоефективні конструкції, що зменшує споживання ресурсів [43].

Підтримання сталого розвитку та зменшення впливу на навколишнє середовище можна досягти за допомогою кількох важливих стратегій. По-перше, створення ефективних технологій вторинної утилізації та переробки вуглецевого волокна та скловолокна може значно скоротити витрати на створення нових матеріалів.

Крім того, використання біорозкладаних компонентів у виробництві може сприяти зменшенню впливу на навколишнє середовище. Створення екологічно чистих замінників і включення їх у виробничий процес може зменшити обсяг використовуваних шкідливих речовин.

Третій аспект – ефективне управління виробничим сміттям. Виробництво вуглецевого волокна та скловолокна часто супроводжується утворенням відходів.

Використання технологій переробки та створення програм переробки може пом'якшити негативний вплив навколишнього середовища.

Загалом робота з вуглецевим волокном і скловолокном пов'язана з екологічними проблемами. Шлях до сталого виробництва передбачає впровадження нових методів, покращення процесів переробки, використання екологічно чистих компонентів і відповідальну утилізацію відходів. Ці дії сприятимуть збереженню природних ресурсів і підвищать екологічну стійкість виробництва в майбутньому[43].

Висновки до розділу

Оцінка ризику та безпеки під час роботи з вуглецевим скловолокном може допомогти визначити основні причини проблем із здоров'ям та безпекою працівників. Захисне обладнання та стандарти при роботі з вугіллям і скловолокном забезпечують необхідний рівень безпеки для працівників і дозволяють дотримуватись нормативних вимог.

Під час використання вуглецевого волокна та скловолокна важливо інструктувати та навчати працівників щодо безпечного виконання їхніх обов'язків. Ці заняття полегшують розуміння небезпеки та інструктаж щодо відповідного захисного спорядження.

Вплив на навколишнє середовище вашої роботи з вуглецевим волокном і скловолокном можна проаналізувати, і можна зменшити або уникнути негативного впливу на навколишнє середовище.

В цілому правильна організація роботи з вуглепластиком, дотримання техніки безпеки та екологічності, а також проведення відповідного інструктажу та навчання позитивно впливає на безпеку умов праці та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У цій роботі було проведено дослідження впливу характеристик застосовуваних армувальних речовин на властивості отриманого полімерного композиційного матеріалу.

1. Проаналізовано можливості технологічних способів SMC, BMC, прямого пресування. Визначено переваги і недоліки зазначених способів. Показано, що технологія BMC має значну перспективу для серійного виробництва деталей із ПКМ, проте характеристики виробів занижені внаслідок низького вмісту армувальної речовини.

2. Обрані методики дослідження властивостей полімерного композиційного матеріалу: випробування на ударну вязкість, визначення вмісту наповнювача, визначення розмірів філаменту.

3. Запропоновано і реалізовано метод отримання зразків за допомогою гібридної технології із використанням принципів BMC з використанням преміксу.

4. Проведено випробування на ударну вязкість отриманих зразків.

5. Визначено вплив геометрії армувального склонаповнювача на характеристики отриманого армованого пластику.

6. Показано, що використання запропонованого методу дозволяє отримувати зразку склопластику із вмістом армувального волокна до 70...90% при досягненні таким матеріалом межі міцності більше за 350 кДж/м².

7. Проаналізовано небезпечні чинники при роботі із полімерними композиційними матеріалами. Зроблено попередній економічний розрахунок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boteler JM, Lindfors AJ. Shock loading studies of AP/HTPB based propellants. In Shock Compression of Condensed Matter 1995, edited by Schmidt SC, Tao WC, American Institute of Physics, Woodbury, New York, 1996, pp. 767-770
2. Bourne NK, Milne AM. Shock to detonation transition in a plastic bonded explosive. J. Appl. Phys., 2004; 95: 2379-2385
3. Millett JCF, Bourne NK, The shock Hugoniot of a plastic bonded explosive and inert simulants. J. Phys. D. Applied Physics, 2004; 37: 2613-2617.
4. Zhuk AZ, Kanel GI, Lash AA. Glass-epoxy composite behaviour under shock loading. J. Phys. IV France, 1994; 4: 403-407
5. Munson DE, Boade RR, Schuler KW. Stress-wave propagation in Al₂O₃ –epoxy mixtures. J. Appl. Phys., 1978; 49: 4797-4807
6. Setchell RE, Anderson MU. Shock compression response in an alumina-filled epoxy. J. Appl. Phys., 2005; 97: 083518
7. Millett JCF, Bourne NK, Deas D. the equation of state of two alumina-filled resins. J. Phys. D. Applied Physics, 2005; 38: 930-934
8. Davison L, Graham RA. Shock compression of solids Physics Reports, 1979; 55: 255-379
9. Dandekar DP, Hall CA, Chhabildas LC, Reinhart WD, Shock response of a glass-fiberreinforced polymer composite. Composite Structures. 2003; 61: 51-59
10. Marsh SP, LASL Shock Hugoniot data, University of California Press, Los Angeles, 1980
11. W. J. Carter and S. P. Marsh, "Hugoniot equation of state of polymers", LA-13006-MS, Los Alamos National Laboratory, (1995)
12. DE Munson, May RP. Dynamically determined high-pressure compressibilities of three epoxy resin systems. J. Appl. Phys., 1972; 43: 962-971
13. Millett JCF, Bourne NK, Barnes NR. The behaviour of an epoxy resin under onedimensional shock loading. J. Appl. Phys., 2002; 92: 6590-6594

14. Riedel W, Nahme H, Thoma K. Equation of state properties of modern composite materials: Modelling shock, release and spallation. In: Shock Compression of Condensed Matter - 2003, edited by Furnish MD, Gupta YM, Forbes JW American Institute of Physics, Melville, NY, 2004. pp. 701-704
15. Zaretsky E, deBotton G, Perl M. The response of a glass fibers reinforced epoxy composite to an impact loading. *Int. J. Solids Struct.*, 2004; 41: 569-584
16. Holmes BS, Tsou FK. Steady shock waves in composite materials. *J. Appl. Phys.*, 1972; 43: 957-961
17. Eden G, Carden MH, Collver AM, Smith CPM. Shock wave propagation in a 3-D quartz phenolic composite In: Shock Compression of Condensed Matter - 1989, edited by Schmidt SC, Johnson JN, Davison LW. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1990, pp. 217-220
18. Bordzilovsky SA, Karakhanov SM, Merzhievsky LA. Shock response of a unidirectional composite at various orientations of fibers. In: Shock Compression of Condensed Matter - 1997, edited by Schmidt SC, Dandekar DP, Forbes JW. AIP Press, Melville, NY, 1998. pp. 545-548
19. Hereil P-L, Allix O, Gratton M. Shock behaviour of 3D carbon-carbon composite. *J. Phys. IV*, 1997; 7: 529-534
20. L.A. Carlson, 1991. Thermoplastic composite materials. Florida Atlantic University
21. MG. Bader, JF. Collins, 1983. The effect of fibre-interface and processing variables on the mechanical properties of glass-fibre filled nylon 6. *Fibre Sci Technol* 18:217-31
22. H. Bijsterbosch, RJ. Gaymans, 1995. Polyamide 6-long glass fiber injection moldings. *Polym Compos* 16: 363-9
23. L. Biolzi, L. Castellani, I. Pitacco, 1994. On the mechanical response of short fiber reinforced polymer composites. *J Mater Sci* 29: 2507-12
24. PT. Curtis, MG. Bader, JE. Bailey, 1978. The stiffness and strength of a polyamide thermoplastic reinforced with glass and carbon fibers. *J Mater Sci*;13: 377-90

25. J. Denault, T. Vu-Khanh, B. Foster, 1989. Tensile properties of injection molded long fiber thermoplastic composites. *Polym Compos* 10: 313–21
26. S.-Y. Fua,, B. Laukeb, E. Ma`derb, C.-Y. Yuea, X. Hua, 2000. Tensile properties of short-glass-fiber- and shortcarbon-fiber-reinforced polypropylene composites *Composites: Part A* 31: 1117–1125
27. R. Weiss, 1991. Fabrication techniques for thermoplastic composites, *Cryogenics*, 319-322 F. Rezaei et al.: EFFECT OF FIBER LOADING AND FIBER LENGTH ON MECHANICAL AND 188
28. S.Y. Fua, B. Lauke, E. MaÈder, X. Hu , C.Y. Yue, 1999. Fracture resistance of short-glass-fiber-reinforced and shortcarbon-fiber-reinforced polypropylene under Charpy impact load and its dependence on processing; *Journal of Materials Processing Technology* 89-90:501-507
29. Reinforced Plastics© Copyright 2005, Elsevier Ltd, 2005. www.reinforcedplastics.com
30. Інтернет ресурс URL:
http://www.titangroup.com/Products/TITANPRO_English.asp
31. Інтернет ресурс URL: <http://www.composite-oracle.com/materials.asp?q=2>
32. Ferrigno, T. 1985. Principles of Filler Selection and Use. In *Handbook of Fillers for Plastics*, H. Katz and J. Milewski, ed.: Van Nostrand Reinhold Co. New York, pp 8-61.
33. Donnet, J. B., Wang, T. K., Rebouillat, S., Peng, J. C. M. eds. 1998. *Carbon fibers*, 3rd ed. Marcel Dekker, New York, p 463.
34. Strong, A. B. 2000. *Polymer Composites*. In *Plastics: Materials and processing* 2nd ed. prentice Hall. New Jersey. Pp 811.
35. Мікосянчик О. О., Литвиненко В. А., Жосан О. Ю., Педан Є. В. Оцінка якості виробів з композиційних матеріалів за характеристиками міцності. *Проблеми тертя та зношування*. 2022. №. 4(97). С. 36-43.
36. Du F., Wang J.A., Tan T. Study on Fracture of Fiber-Reinforced Polymeric Composites Using Spiral Notch Torsion Test. In: Abdel Wahab, M. (eds) *Proceedings of*

1st International Conference on Structural Damage Modelling and Assessment. Lecture Notes in Civil Engineering: Springer, Singapore, 2021. Vol. 110. P. 151-165.

36. Шевченко О.А., Рогожина Н.О. Параметри та релаксація пошкоджень від низькошвидкісного удару вуглепластиків з різними структурами наповнювача. Матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2023». К.: НАУ, 2023. С.1.70-1.74.

37. Lemanski S.L, Wang J., Sutcliffe M.P.F., Potter K.D., Wisnom M.R. Modelling failure of composite specimens with defects under compression loading. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2013. Vol. 48. P. 26-36.

38. ГОСТ 5159-2011. Санитарные правила при производстве эпоксидных смол и материалов на их основе.

39. ДСН 3.3.6.042-2013. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

40. ГОСТ12.1.030-2012. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – Дата введения с 01.07.2012.

41. ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять».

42. ДСТУ 3042-2005 «Устаткування технологічне для переробки полімерних матеріалів».

43. ДСТУ 3831-98 «Охорона навколишнього природного середовища».

44. 1. Углепластики и стеклопластики нового поколения /И. И. Соколов, А. Е. Раскутин // Труды ВИАМ: электронный журнал, 2013