

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: «Дослідження впливу процесу вакуумування на міцність композитного полімерного матеріалу з епоксидною матрицею».

Здобувача групи _____ МТ.м-21/1 _____ Куліша Дмитра Володимировича

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

_____ Дмитро КУЛІШ

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

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

Суми – 2023

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Куліш Дмитро Володимирович

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження впливу процесу вакуумування на міцність композитного полімерного матеріалу з епоксидною матрицею», затверджена наказом по університету від від “09” листопада 2023 р. № 1254-VI.
2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) 15.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) склад полімерного композитного матеріалу, його фізичні та механічні властивості
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити). В пояснювальній записці належить опрацювати наступні питання:
 - літературний огляд, аналіз проблеми на сьогоднішній день;
 - розробити методiku проведення експерименту, вибір матеріалів та обладнання;
 - провести експериментальні дослідження: виготовлення зразків, визначення ударної в'язкості, мікроструктурний аналіз;
 - в економічній частині розкрити питання теоретичних відомостей та методики розрахунку витрат, провести розрахунки;
 - в п'ятому розділі розкрити питання охорони праці, охорони довкілля та техніки безпеки;
 - зробити загальні висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Результати роботи та літературний огляд слід доповнювати рисунками і таблицями. Обов'язковими є таблиці з фізико-механічними властивостями матеріалів, макро- і мікроструктури, зображення основного і допоміжного обладнання, яке використовували під час проведення експериментів

6. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.	10.11.2023 р.	
Економічна частина	Берладір Х.В.	16.11.2023 р.	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямів дослідження	10.11.2023 р.	виконано
2	Загальна методика та основні методи дослідження	20.11.2023 р.	виконано
3	Експериментальні дослідження та загальні результати	10.12.2023 р.	виконано
4	Економічна частина	15.12.2023 р.	виконано
5	Охорона праці, довкілля, та техніка безпеки	15.12.2023 р.	виконано

7. Дата видачі завдання 09.11.2023 р.

Студент Д.В. Куліш

(підпис)

Керівник проекту А.І. Дегула

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Куліш Дмитро Володимирович. Дослідження впливу процесу вакуумування на міцність композитного полімерного матеріалу з епоксидною матрицею.

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

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню впливу процесу вакуумування на міцність композитного полімерного матеріалу – ламінат з епоксидною матрицею.

У якості наповнювача використовували вуглецеву тканину. У якості матриці використовували епоксидну смолу.

Зразки ламінату отримували методом ручного формування, вакуумного формування та вакуумно-автоклавного формування препрега.

Визначено щільність отриманих зразків і проведено випробування на ударну міцність. Проведено структурний аналіз зразків ламінату. Зроблені висновки та рекомендації щодо застосування розробленого ламінату.

Ключові слова: ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТИЙ МАТЕРІАЛ, КАРБОН, ЕПОКСИДНА СМОЛА, ПРЕПРЕГ.

ABSTRACT

Kulish Dmytro. Study of the influence of the vacuum process on the strength of a polymer composite material with an epoxy matrix.. – The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty 132 – Materials Science. – Sumy State University, Sumy, 2023.

The qualification work is devoted to the study of the effect of the vacuuming process on the strength of the composite polymer material - laminate with an epoxy matrix.

Carbon cloth was used as a filler. Epoxy resin was used as a matrix.

Laminate samples were obtained by the method of manual forming, vacuum forming, and vacuum-autoclave forming of prepreg.

The density of the obtained samples was determined and the impact strength test was carried out. Structural analysis of laminate samples was carried out. Conclusions and recommendations regarding the use of the developed laminate have been made.

Keywords: POLYMER COMPOSITE MATERIAL, CARBON, EPOXY RESIN, ADDITIVE.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра включає в себе 68 сторінок, у тому числі: 9 таблиць, 16 рисунків, бібліографії із 28 літературних джерел.

Мета роботи – аналіз структури полімерного композитного ламінату з матрицею епоксидної смоли і наповнювача у вигляді вуглетканини та дослідження його фізико-механічних властивостей залежно від різних технологій вакуумування.

Завдання дослідження:

- провести аналіз сучасних технологій отримання полімерних композитних ламінатів з використанням вакуумування;
- дослідження впливу процесу вакуумування на фізико-механічні властивості композитного полімерного матеріалу з епоксидною матрицею;
- на основі отриманих результатів розробити рекомендації для впровадження у виробництво.

Об'єкт дослідження – полімерний композитний ламінат з матрицею епоксидної смоли і наповнювача у вигляді вуглетканини, отриманий з використанням різних технологій вакуумування.

Предмет дослідження – процес дослідження структури і фізико-механічних властивостей полімерного композитного ламінату.

Методи досліджень – металографічний аналіз, стандартні методи визначення фізико-механічних властивостей.

Наукова новизна: встановлено вплив технологічного процесу вакуумування при формовці полімерного композитного ламінату на його структуру і фізико-механічні властивості.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

КМ – композиційні матеріали;

ЕС – епоксидні смоли;

ВВ – вуглецеві волокна;

HV – твердість за Віккерсом;

τ , год – час;

H_{μ} , ГПа – мікротвердість;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

σ_b , МПа – поріг міцності;

σ_t , МПа – поріг текучості;

ψ , % – відносне подовження;

δ , % – відносне звуження.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	4
Реферат.....	7
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1	12
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1 Сучасні композитні матеріали.....	12
1.2 Класифікація матричних КМ по схемі армування (конструкційний принцип)	13
1.3 Технологія виробництва вуглепластику.....	14
1.3.1 Ручне (контактне) формування виробів з вуглепластику.....	14
1.3.2 Вакуумна інфузія.....	16
1.3.3 RTM — методи.....	18
1.3.4 Препрег технологія.....	19
1.4 Склад ламінату та властивості полімерної матриці.....	21
1.5 Властивості вуглецевих волокон.....	25
1.6 Об'єднання зміцнюючих елементів.....	27
Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2	30
МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ.....	30
2.1 Матеріали дослідження. Епоксидна смола LH 289	30
2.2 Випробування на удар ГОСТ 4647-80.....	32
2.3 Макро і мікроаналіз пластмас.....	39
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3.....	43
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	43
3.1 Виготовлення зразків	43

3.1.1 Ручне формування ламінату.	43
3.1.2 Гібридне формування ламінату.....	43
3.1.3 Технологія формування ламінату - препрег технологія.....	46
3.1.4 Механічна обробка зразків.....	46
3.2 Визначення щільності зразків.....	46
3.3 Випробування з визначення ударної в'язкості.....	47
3.4 Мікроструктурний аналіз зразків ламінату.....	50
Висновки до розділу 3	52
РОЗДІЛ 4.....	54
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	54
4.1 Загальні теоретичні відомості	54
4.2 Методика розрахунку витрат	55
Висновки до розділу 4	59
РОЗДІЛ 5.....	60
ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	60
5.1 Правила зберігання отруйних речовин	60
5.2 Заходи проти отруєння	60
5.3 Протипожежні заходи	61
5.4 Заходи з охорони довкілля.....	62
Висновки до розділу 5	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66

ВСТУП

Широке використання полімерних матеріалів визначається їх механічними властивостями і високою міцністю в поєднанні із здатністю до великих зворотніх деформацій. Створення нових полімерних матеріалів з наперед заданими функціональними властивостями є однією з головних проблем сучасної полімерної науки.

Виконання цього завдання вимагає знання фундаментальних закономірностей, що пов'язують фізико-хімічні властивості полімерних матеріалів з їх молекулярною структурою, а також розробки на цій основі методів керування властивостями композиційних систем.

Застосування вакуумування у процесі формування полімерного композитного матеріалу суттєво впливає на зміну фізико-механічних властивостей ПКМ ламінату.

Актуальність теми – створення полімерних композитних ламінатів з заданими фізико-механічними властивостями є актуальним сучасним завданням при проектуванні і виробництві деталей автомобілів, а також у літакобудуванні, суднобудуванні, космонавтиці, вітроенергетиці і т.д.

Мета роботи – аналіз структури полімерного композитного ламінату з матрицею епоксидної смоли і наповнювача у вигляді вуглетканини та дослідження його фізико-механічних властивостей залежно від різних технологій вакуумування.

Завдання дослідження:

- провести аналіз сучасних технологій отримання полімерних композитних ламінатів з використанням вакуумування;
- дослідження впливу процесу вакуумування на фізико-механічні властивості композитного полімерного матеріалу з епоксидною матрицею;
- на основі отриманих результатів розробити рекомендації для впровадження у виробництво.

Об’єкт дослідження – полімерний композитний ламінат з матрицею епоксидної смоли і наповнювача у вигляді вуглетканини, отриманий з використанням різних технологій вакуумування.

Предмет дослідження – процес дослідження структури і фізико-механічних властивостей полімерного композитного ламінату.

Методи досліджень – металографічний аналіз, стандартні методи визначення фізико-механічних властивостей.

Обладнання: маятниковий копер, аналітичні ваги, металографічний мікроскоп.

Наукова новизна: встановлено вплив технологічного процесу вакуумування при формовці полімерного композитного ламінату на його фізико-механічні властивості.

Практичне значення отриманих результатів. Досліджено вплив технологічного процесу вакуумування на фізико-механічні властивості полімерного композитного матеріалу, що дозволяє розробляти і виробляти матеріали із заданими експлуатаційними властивостями.

Особистий внесок. Автору належить аналіз літературних даних, визначення мети та постановки завдання дослідження, виготовлення зразків, проведення випробувань та оформлення роботи.

Дипломна робота магістра включає в себе 68 сторінок, у тому числі: 9 таблиць, 16 рисунків, бібліографії із 28 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Сучасні композитні матеріали

Композити - це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів, конструктивні елементи яких мають властивості, відмінні від сумарних властивостей компонентів. При цьому передбачається, що компоненти, що входять до складу композита, повинні бути добре сумісними і не розчинятися тим чи іншим способом і не поглинати один одного.

У широкому сенсі, композиційний матеріал - це будь-який матеріал з гетерогенною структурою, тобто зі структурою, що складається мінімум з двох фаз [1].

Таке визначення дозволяє віднести до композиційних матеріалів абсолютну більшість металевих матеріалів, оскільки вони або навмисно створюються багатофазними, або вважаються однофазними, але в них є неметалеві включення. Полімерні матеріали також можна віднести до композитів, оскільки крім основного компонента (полімеру) в них присутні різні наповнювачі, барвники та інші матеріали природного походження. Кістки людини і тварин, деревина - також можна віднести до композиційних матеріалів [1-2].

Наприклад, деревина є композицією з пучків целюлозного волокна трубчастої будови, скріплених матрицею з органічної речовини - лігніну.

До композитів відносять матеріали, що володіють рядом ознак:

- склад, форма і розподіл компонентів матеріалу «проектовані заздалегідь»;
- матеріал не зустрічається в природі, а створений людиною;
- матеріал складається з двох або більше компонентів, які розрізняються за хімічним складом і розділені вираженою межею;

- властивості матеріалу визначаються кожним з його компонентів, які повинні бути присутні в матеріалі у досить великій кількості (більше певного критичного вмісту);
- матеріал має такі властивості, яких не мають його компоненти, взяті окремо;
- матеріал неоднорідний в мікромасштабі і однорідний в макромасштабі [3].

Першими прикладами наукового підходу до створення штучних композиційних матеріалів вважають появу залізобетону і склопластиків. Залізобетон складається зі сталевих арматур і бетону, відмінно сприймає стискаючі навантаження.

Перший патент на полімерний композиційний матеріал, що містить армовану природними волокнами синтетичну смолу, виданий у 1909 р..

1.2 Класифікація матричних КМ по схемі армування (конструкційний принцип)

За орієнтації і типом арматури всі КМ можна розділити на дві групи - ізотропні і анізотропні.

Ізотропними називають матеріали, які мають однакові властивості в усіх напрямках. Властивості анізотропних матеріалів залежать від напрямку волокна в об'єкті. КМ з матричної структурою діляться на хаотично-армовані і впорядковано-армовані [1-3].

Хаотично-армовані КМ містять армуючі елементи у вигляді дисперсних включень, дискретних або безперервних волокон. Ці матеріали є ізотропними або квазіізотропними.

Термін «квазіізотропний» означає, що КМ є анізотропним в мікрообсязі, але ізотропним в обсязі всього виробу.

Впорядковано-армовані КМ підрозділяються на односпрямовані, тобто, одноармовані, двоармовані і триармовані [2].

1.3 Технологія виробництва вуглепластику

Основна особливість виготовлення конструкцій з вуглепластику полягає в тому, що сам матеріал і виріб, що виготовляється з нього створюються одночасно. Ця обставина істотно змінює роль і значення методів виготовлення конструкцій з вуглепластику. З цього випливає, що на самих ранніх стадіях проектування конструкцій необхідно враховувати можливі методи їх виготовлення і їх технологічні особливості [4].

Значне збільшення обсягів застосування вуглепластику в різних галузях техніки призвело до вдосконалення багатьох технологічних прийомів і розробці нових методів, спрямованих в першу чергу, на:

- скорочення частки ручної праці і максимально можливе застосування обладнання та засобів механізації;
- зниження трудомісткості виготовлення, і як наслідок, зниження вартості виробу;
- підвищення технологічності, стабільності виробничого процесу і якості виготовлення;
- покращення санітарно-гігієнічних умов праці.

До числа цих методів відносяться, в першу чергу, метод інфузії і RTM-методи.

При виготовленні вуглепластикових конструкцій, також застосовуються методи контактного формування (ручного формування) і напилення [4-5].

1.3.1 Ручне (контактне) формування виробів з вуглепластику

Метод контактного формування вуглепластику полягає в пошаровому укладанні армуючого матеріалу (тканини, мату) в матрицю на поверхню якої попередньо нанесене антиадгезійне покриття і декоративно-захисний шар гелькоут. Далі армуючий матеріал просочується смолою і накочується жорстким валиком або шпателем для видалення повітряних включень (рис. 1.1), тиск на ламінат при використанні цього методу відсутній. Після

полімеризації смоли, виріб піддається термообробці, вилученню з матриці і механічній обробці [6].

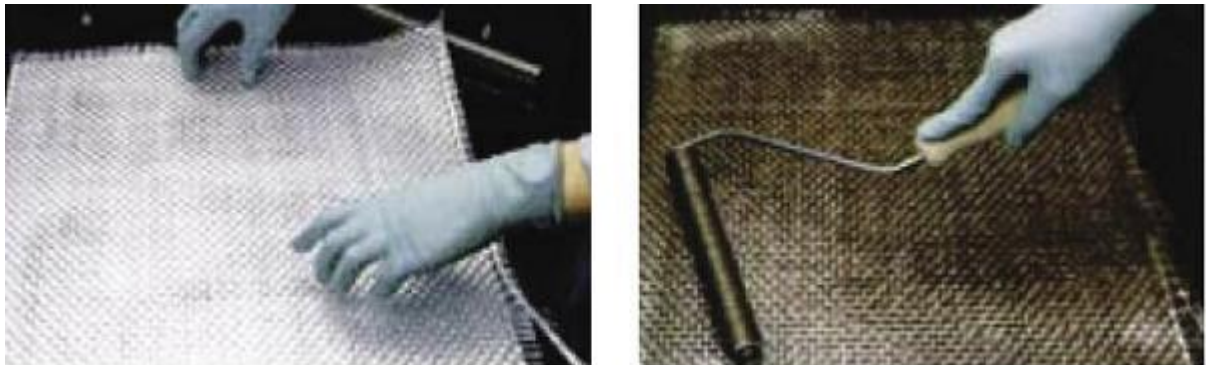


Рисунок 1.1 - Укладка склоармуючого матеріалу.

Прикатка склоармуючого матеріалу

Сьогодні ручне або "контактне" формування виробів з вуглепластиків популярне серед замовників, так як є якісним і простим способом отримання деталі. Незважаючи на те, що вуглепластик один з найпопулярніших композитних матеріалів, для ручного формування потрібна висока кваліфікація. Також грає роль такий важливий чинник, як майстерність виконавця, яка визначається досвідом. Цим способом виробляється різна продукція, від простих побутових виробів до складних промислових деталей: міцні і легкі корпуси. Ручна формовка не підходить для виробництва серійних екземплярів. Для виробництва серійних деталей потрібні інші методи. Тому цим методом виготовляють тільки одиничні екземпляри або малі партії [6].

У всі часи ручна праця особливо цінувалася і славилася охайністю і точністю. Тому виготовлення деталі своїми руками, майстром високої кваліфікації, за визначенням є якісною.

Майстерність досвідченого фахівця ніколи не замінить навіть професійне обладнання.

Переваги контактного формування [7]:

- Відсутність обмежень за розмірами і формою дозволяє виготовляти будь-які вироби: нестандартні та ексклюзивні деталі (оснащення може виготовлятися індивідуально).

- Відносна простота виготовлення конструкції змінної товщини.
- Порівняно низька вартість оснастки для формування конструкції.
- Можливість використання робітників-формуваньників низької кваліфікації і простота їх навчання.

- Мінімальні капіталовкладення у запуск виробництва, так як відпадає необхідність купувати, встановлювати і використовувати дорогу техніку.

Однак, велика частка ручної праці обумовлює наявність недоліків [7]:

- Нестабільність якості виготовлення, яка в значній мірі залежить від кваліфікації формуваньників;

- Низька продуктивність;

- Неможливість досягнення високої щільності укладки армуючого матеріалу;

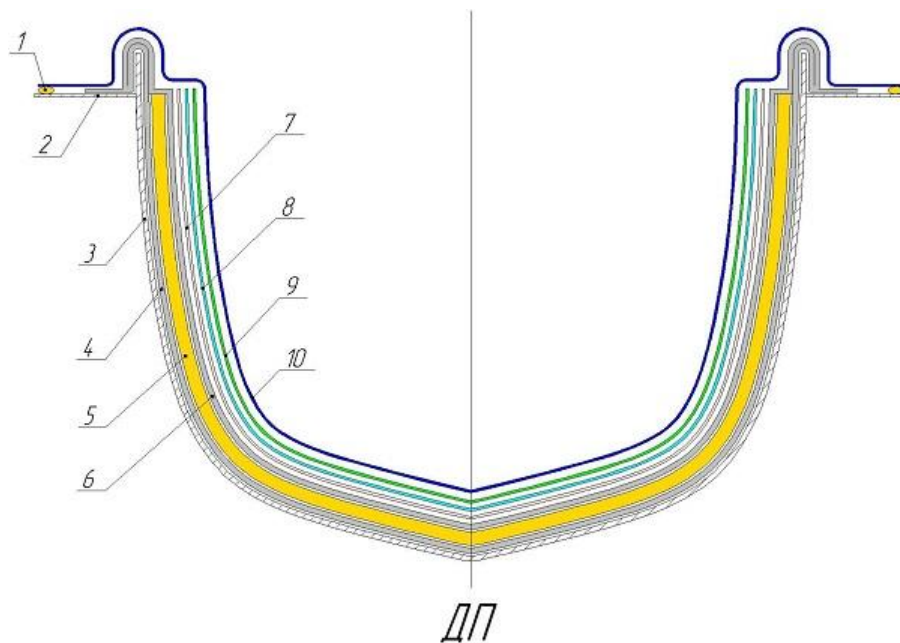
- Більш висока кількість відходів;

- Необхідність в індивідуальних засобах захисту та в потужній вентиляційній системі для видалення з відкритої поверхні виробу, що формується, стиролу та інших шкідливих речовин.

1.3.2 Вакуумна інфузія

Метод вакуумної інфузії - це метод формування вуглепластикових виробів, при якому за рахунок герметичної плівки, що прилягає до матриці, створюється робоча порожнина з укладеним арміруючим матеріалом (вакуумний мішок). У порожнині створюється вакуум, і за рахунок цього вакууму, смола втягується в робочу порожнину і просочує армуючий матеріал [4]. Тиск, що створюється при такому способі формування, становить 0.5 – 0.8 кг/см². У порівнянні з методом контактного формування метод інфузії, як і RTM - метод, дозволяє:

- Частково механізувати процес за рахунок виключення операції просочення, накочення і ущільнення армуючого матеріалу, зменшивши, тим самим, вплив людського фактору;
- Підвищити якість виготовлення за рахунок автоматизованого контролю кількості сполучного і досягнення більш високої щільності укладки шарів армуючого матеріалу;
- Поліпшити умови праці, істотно знизивши викид шкідливих речовин в навколишнє середовище [6];
- Знизити трудомісткість, скоротити тривалість виробничого циклу.



1. Герметизуючий джгут	6. Внутрішній несучий шар
2. Фланець матриці	7. Роздільна тканина
3. Матриця	8. Перфорована плівка
4. Зовнішній несучий шар	9. Смолопровідна сітка
5. Заповнювач (ПВХ пінопласт)	10. Вакуумна плівка

Рисунок 1.2 - Схема укладки вакуумного мішка в матриці корпусу.

Перебіг процесу інфузії залежать від розмірів і форми конструкції, що виготовляється, від армуючих матеріалів і сполучного. Перш ніж запустити цей процес, як правило, проводиться його чисельне моделювання, в результаті

якого розробляється стратегія інфузії, тобто визначаються точки подачі сполучного, розташування каналів, за якими воно буде поширюватися, місця розподілу вакууму і т.д [5].

Метод інфузії широко застосовується для виготовлення великих кузовних деталей автомобілів, автобусів, вагонів, деталей літаків, суден і енергетичних агрегатів.

1.3.3 RTM - методи

Метод RTM (Resin Transfer Molding) полягає в тому, що смола вводиться в герметичну порожнину між матрицею і пуансоном, форма якої повторює форму передбачуваного до виготовлення виробу, в якій попередньо викладений сухий армуючий матеріал [8].

Ця особливість RTM-методів забезпечує їх наступні переваги:

- Широкі можливості при конструюванні структури склопластику;
- Можливість отримання виробу з високою якістю поверхні на обох сторонах, покритих гелькоутом;
- Висока продуктивність в порівнянні з контактним формуванням;
- Економія робочої сили;
- Точні допуски і висока відтворюваність виробів;
- Мала кількість відходів;
- Можливість отримання високого ступеня склонаповнювача;
- Зниження шкідливих викидів, і отже, зменшення витрат на вентиляцію, і мінімальне забруднення навколишнього середовища;
- • Зниження впливу «людського фактора» [8].

При виробництві виробів зі склопластику застосовують три різновиди RTM- методу [9]:

RTM - стандарт

У цьому методі інжектування сполучного відбувається за рахунок тиску, створюваного спеціальною установкою. Щоб витримати тиск сполучного,

матриця і пуансон повинні бути досить жорсткими, тому їх часто виготовляють з металу або із застосуванням металевих профілів [9].

RTM - MIT

Є різновидом RTM - стандарт, який відрізняється тим, що для підвищення продуктивності оснащення, між матрицею і пуансоном використовуються змінні вкладиші, в яких безпосередньо і формується виріб.

RTM - light

У цьому методі інжектування сполучного відбувається як за рахунок тиску, створюваного установкою, так і за допомогою вакууму, який утворюється в робочій порожнині.

Якщо вдатися до методу експертних оцінок, то закордонні фахівці оцінюють переваги того чи іншого методу RTM за 10-ти бальною шкалою (10 - найкращий результат, 1 найгірший) наступним чином [9]:

Таблиця 1.1

Шкала оцінювання переваги того чи іншого методу RTM

Метод	Продуктивність	Точність відтворення	Можливість виготовляти вироби площею понад 15 кв.м.	Вартість оснащення та обладнання	Термін служби оснащення	Термін служби оснащення
RTM – стандарт	7	10	6	5	8	5
RTM – MIT	10	10	5	3	10	3
RTM – light	3	7	10	10	3	10

1.3.4 Препрег технологія

Препрегова технологія протягом багатьох років є основою виробництва багатьох матеріалів, виробів та конструкцій.

Препрег – це напівфабрикат композиційного матеріалу, що складається з волокнистого армуючого наповнювача та нанесеного з двох сторін

сполучного. Використовують насамперед армуючий наповнювач зі скляних та вуглецевих волокон [10].

Сполучне може мати епоксидну основу (або інший реактопласт, наприклад, фенольне сполучне), може бути виготовлено на основі термопластів - поліетилену або ПЕТФ. Залежно від сполучного, препрег може бути м'яким та липким (епоксидна основа) або жорстким та слизьким (ПЕТФ).

Існує кілька методів виготовлення препрега. Найпереводовіший і зручний - це метод просочування волокнистого матеріалу розплавом сполучного або розплавний метод. Таким чином на даний момент виготовляють більшу частину препрегів. Ще один метод - просочування розчином сполучного та подальше сушіння. Незважаючи на застарілу та низькоєкологічну технологію, таким чином все ще виготовляється значна частина препрегів. Існують інші технології виготовлення препрегів [11].

Найбільшого поширення мають препреги з урахуванням високов'язких епоксидних смол, виготовлені методом просочення розплавом. Такий матеріал має вигляд двосторонньої клейкої стрічки із захисними плівками з однієї або двох сторін. Інші види препрегів зазвичай застосовують у спеціалізованих галузях.

Процес виготовлення деталі з препрега зводиться до викроювання шару заданої конфігурації препрега за шаблоном або на ріжучому плотері з подальшим викладенням препрега на оснастку шар за шаром. Після набору необхідної товщини деталь піддається безпосередньому формуванню в пресі, або проводиться збір вакуумного мішка і подальше формування у термошафі або автоклаві при тиску пресування ($5 - 25 \text{ кгс/см}^2$) [12].

Існує кілька технологій, суміжних із препреговою технологією. Аналогічний препрегову матеріал - семипрег - або препрег з одностороннім просоченням. Також спорідненими технологіями є технологія RFI та застосування препрега, виготовленого «дублюванням» («Sprint»). При виробництві препрега методом розплавного просочення, на першому етапі процесу виробляється плівка сполучного із заданої поверхневої щільністю .

В ході процесу волокнистий матеріал у вигляді тканин або ровінгу міститься між двома плівками сполучного і прикочується гарячими валками.

У разі виробництва семипрегу плівка сполучного прикочується гарячими валками тільки з одного боку. А у разі виготовлення дубльованого препрега – плівка сполучного приклеюється безпосередньо до тканини та прикочується холодними валками, внаслідок чого просочення не відбувається [13].

Відмінною рисою процесу RFI є метод складання деталі, коли викладка здійснюється шляхом чергування окремих шарів волокнистого матеріалу та окремих шарів плівки сполучного.

Застосування дубльованого препрега та процес RFI дозволяють отримувати вироби з низькою пористістю навіть для товстостінних конструкцій у зв'язку з легкістю вакуумування викладки – шари тканини досить добре проводять повітря, і при плавленні плівки сполучного відбувається інфузія розплаву в волокнистий матеріал [11-12].

Схема вакуумного мішка для формування препрега містить по порядку: препрег, жертвну тканину, перфоровану розділювальну плівку, вбираючий шар, плівку вакуумного мішка.

Схема може змінюватися з урахуванням виду препрега, і навіть з урахуванням кількості смоли, що міститься у препрезі. При значному газоутворенні застосовують паропроникні мембрани. При повній відсутності газоутворення та початкової пористості, безпосередньо, поверх препрега може бути укладена неперфорована розділова плівка [13].

1.4 Склад ламінату та властивості полімерної матриці

Полімерну матрицю для композиційних матеріалів вибирають, враховуючи умови експлуатації виробів. Від матеріалу матриці значно залежать властивості композиту: міцність, тепло- і вологостійкість, стійкість до дії агресивних середовищ, а також метод отримання виробів [14].

Полімери в якості матриці використовують або в чистому вигляді (порошки, гранули, листи, плівки), або у вигляді сполучних.

Сполучені представляють собою дво- або багатокомпонентну систему з синтетичного полімеру і затверджувачів, ініціаторів, каталізаторів і прискорювачів затвердіння. У сполучного з метою надання необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей можуть бути додані розчинники, барвники, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти.

При виробництві армованих пластиків найбільш часто застосовують терморективні сполучні, при нагріванні яких відбуваються незворотні структурні і хімічні перетворення; безперервно розширюється використання термопластичних полімерів і еластомерів [16].

Епоксидні смоли (ЕС) - мономерні, олігомерні або полімерні розчинні сполуки, до складу молекул яких входить не менше двох епоксидних або гліциділових груп.

Отримання ЕС проводиться при конденсації в лужному середовищі епіхлоргідріна або діхлоргідріна гліцерину з сполуками, що тримають рухливі атоми водню (фенолами, амінами, глико-лями, кислотами) [11].

Реакція між епіхлоргідрином і діфенілолпропаном призводить до отримання діанової ЕС:

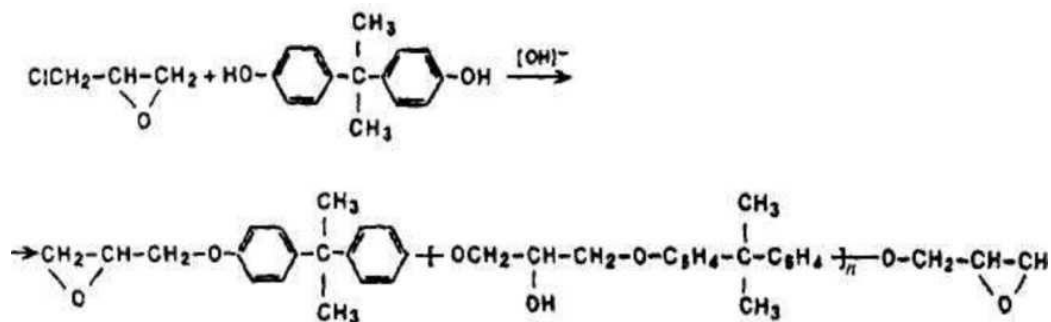


Рисунок 1.3 - Реакція між епіхлоргідрином і діфенілолпропаном.

У молекулах діанової смоли є функціональні групи двох типів - епоксидні і гідроксильні (рис. 1.3). Тому затверджувачами цих смол можуть бути сполуки різних класів, а режими затвердіння варіюються в широкому діапазоні: без підведення тепла, при нагріванні, у воді [11].

Діанові ЕС з молекулярної масою нижче 600-1000 є рідкими продуктами, понад 1000 - склоподібними продуктами. Смоли розчинні в кетонах, ефірах, ароматичних вуглеводнях; мають високу стійкість до дії лугів, солей, окислювачів, органічних розчинників. Полімерні композиційні матеріали, виготовлені на основі епоксидних смол, мають високі механічні властивості [11-12].

Технологія отримання матеріалів на основі епоксидних смол полягає у просочуванні волокон, тканин, паперу; затвердінні і обробці методами прямого пресування, контактного формування, вакуумного формування та ін. Температура переробки становить 20 ... 180°C.

Листові наповнювачі

Волокнисті наповнювачі можна зафіксувати плетінням, склеюванням та іншими методами. Листові (плівкові) наповнювачі із заданою структурою у вигляді тканин різного плетіння (сатинова, саржеве, полотняне) з паперу, деревного шпону, стрічок, полотен, тканих ровінг, сіток і нетканих матеріалів використовують для отримання шаруватих пластиків [14].

З шаруватих пластиків найбільшого поширення набули текстоліти. Для виготовлення текстолітів застосовують легкі (маса 1м - до 150г), середні (до 300 г) і важкі (понад 300 г) тканини різного плетіння і неткані волокнисті матеріали масою до 820 г. Широко використовуються бавовняні (бязь, міткаль, бельтинг, шифон) і синтетичні тканини (віскозне, ацетатні, поліамідні, поліефірні).

Найпоширенішими наповнювачами є скло - вуглецеві тканини і матеріали на їх основі - склотекстоліти і карботекстоліти. У порівнянні зі склотекстолітом (густиною 1600 -2100 кг / м³) органотекстоліти мають меншу щільність (1300-1400 кг / м³) і теплопровідність, краще піддаються механічній обробці, але поступаються їм по міцності, тепло - і хімічній стійкості [14].

Наповнювачі у вигляді сіток використовують для армування полімерних матеріалів в двох напрямках, а також отримання антифрикційних стрічкових

матеріалів. Матеріалом для виготовлення сіток найчастіше є металеві, скляні, вуглецеві і полімерні волокна [14].

Властивості наповнювачів

Основне механічне навантаження в армованих пластиках несуть волокна, і вони, головним чином, визначають міцність і жорсткість матеріалу. Порівняльна характеристика волокон приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристика волокон

Властивості	Волокно			
	Скляне	Борне	Вуглецеве	Арамідне
Механічні властивості				
Питома міцність	Дуже висока	Висока	Середня	Висока
Питомий модуль	Низький	Високий	Середній	Високий
Опір удару	Задовільне	Високе	Погане	Високе
Подовження при розриві	Високе	Низьке	Середнє	Середнє
Теплофізичні				
Стабільність	Відмінно	Відмінно	Середня	Відмінна
Теплопровідність	Низька	Середня	Висока	Низька
Коефіцієнт лінійного температурного розширення	Дуже низька	Дуже низька	Середній	Середній
Демпфуюча здатність	Задовільно	Висока	Добра	Відмінна
Виробничо-технологічні				
Найменший радіус вигину	Дуже великий	Малий	Малий	Малий
Чутливість до пошкоджень при переробці	Середня	Середня	Висока	Низька
Можливість переробки в стрічки, тканини	Добра	Погана	Добра	Добра
Вартість	Низька	Висока	Помірна	Помірна

Для виробництва полімерних композиційних матеріалів найчастіше застосовують скляні, вуглецеві, борні і органічні волокна.

1.5 Властивості вуглецевих волокон

Унікальним видом зміцнюючих волокон є вуглецеві волокна (ВВ). Обсяг застосування вуглецевих волокон при виготовленні композиційних матеріалів постійно зростає, що пояснюється високим рівнем їх властивостей [11]:

- за питомими показниками вуглецеві волокна перевершують всі жаростійкі волокна;
- межа міцності високомодульних волокон становить 2,5-3,5 ГПа;
- модуль пружності дорівнює 200-700 ГПа;
- щільність вуглецевих волокон (1600-1800) кг/м³ нижче щільності графіту (2260 кг/м³), що пов'язано з великою пористістю волокон і їх менш досконалою структурою;
- висока хімічна стійкість до дії більшості агресивних середовищ характерна для ВВ [10].

Залежно від умов обробки вуглецеві волокна діляться на карбонізовані і графітизовані.

Температура термічної обробки карбонізованого волокна складає 900-2000°C, вміст вуглецю в них - 80-99%.

При отриманні графітизованих волокон температура термообробки досягає 3000°C. Вуглецю в них міститься більше 99%. Для проведення графітизації, як правило, використовують карбонізовані волокна.

Виробництво вуглецевих волокон засноване на нагріванні полімерів в інертному середовищі та їх термічної деструкції [10-11].

Карбонізація і графітизація проводяться в вакуумі, в різних контрольованих середовищах (метан, азот, аргон та ін.), А також у вугільній, коксовій і графітовій засипках.

Під час розкладання полімерів утворюються летючі продукти і залишається твердий коксовий залишок. Перетворення органічних волокон в

вуглецеві волокна пов'язано з протіканням складних реакцій: кардинальною зміною структури при збереженні елементів первісного полімерного скелета.

Для отримання ВВ використовують тільки волокнисті полімери, що не плавляться при термічній обробці і забезпечують в кінцевому продукті високий вихід по вуглецю і високі механічні властивості [8].

До таких полімерів відносять поліакрилонітрильні волокна (ПАН-В), гідратцелюлозні волокна (віскозні, ГЦ-В) і органічні волокна, отримані з фенольних смол. З них основними видами сировини при отриманні вуглецевих волокон є ПАН-В і ГЦ-В.

З поліакрилонітрильних волокон отримують високоміцні високомодульні ВВ. Перевагами цього виду сировини є великий вихід по вуглецю і більш проста технологія (нижча температура нагріву матеріалу).

Недолік їх використання полягає у виділенні отруйної речовини - синільної кислоти. Гідратцелюлозні волокна позбавлені цього недоліку, крім того вони дешевше ПАН-В, тому широко використовуються для виробництва вуглецевих волокон [10].

Технологічний процес отримання волокон з гідратцелюлозних ниток включає стадії текстильної підготовки матеріалу, окислення, карбонізації, графітизації.

Текстильна підготовка розчинниками або поверхневими речовинами необхідна для видалення вологи, неорганічних домішок і органічних речовин, в тому числі і замаслювачів.

Після сушіння целюлози на стадії окислення при температурі 350-400 °С спостерігаються великі втрати маси матеріалу і в результаті в залишку міститься не більше 60-70% вуглецю. Далі при температурі 900-1500 °С здійснюється карбонізація волокон. Матеріал ще більшою мірою збагачується вуглецем [10].

Остаточна стадія термічної обробки волокон - графітизація - реалізується в середовищі аргону і триває всього лише кілька хвилин. Початкова температура цієї стадії визначається кінцевою температурою

карбонізації, а кінцева температура становить $\sim 2600-2800^{\circ}\text{C}$. Вміст вуглецю у волокні після закінчення графітизації перевищує 99%. При поєднанні процесу перетворення ГЦ-В в вуглецеві з операцією їх витягування отримують волокна з поліпшеними міцністними і пружними властивостями.

1.6 Об'єднання зміцнюючих елементів

Моноволокна, отримані різними методами, можуть бути безпосередньо використані для зміцнення композиційних матеріалів. Однак часто волокна об'єднуються в пряжу [13].

Пряжею називається нитка з волокон, з'єднаних за допомогою крутіння. Пряжа буває однорідною - отриманою з однакових волокон, і змішаною з суміші різних волокон. Для оцінки лінійної щільності волокон або ниток часто використовують позаштатну одиницю - текс (мг/м) - відношення маси нитки (волокна) до довжини.

Пряжа може бути використана для армування композиційних матеріалів у вигляді ниток, а також у вигляді тканин [13].

Тканини, отримані при ткацькій переробці ниток і волокон, є результатом закономірного переплетіння поздовжньо розташованих елементів і елементів поперечного розташування. За конструктивною ознакою розрізняють матеріали з полотняним, ситцевим, сатиновим, саржевим і трикотажним типом переплетення (рис.1.4).

Основними технічними характеристиками тканин є склад волокна, вид переплетення, спосіб обробки, ширина, товщина, маса квадратного метра, щільність тканини, подовження при розриві [14].

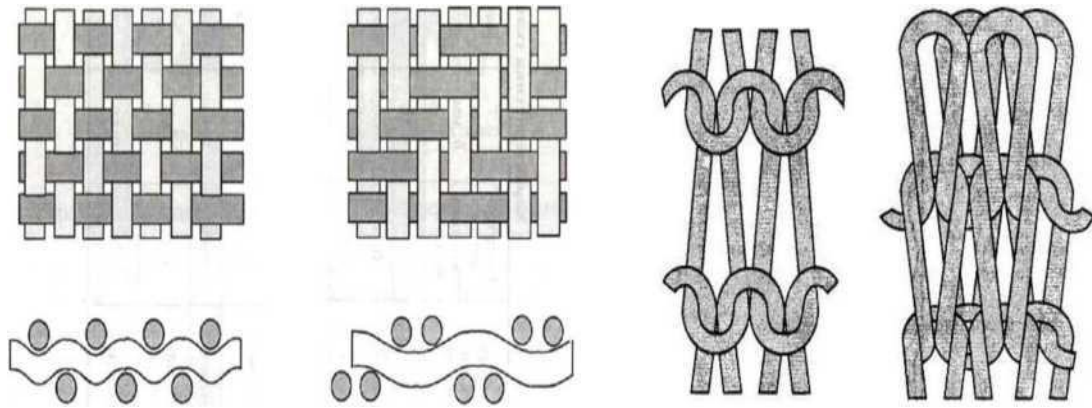


Рисунок 1.4 - Схеми плетіння: полотняне (а), саржеве (б), трикотажне (в).

Недоліком матеріалів (тканин і сіток), отримуваних способом ткацької переробки, є необхідність застосування тільки достатньо пластичних волокон і пряжі [13].

У місцях контакту елементів основи і гачка відбувається деформація матеріалу, утворюються дефекти, що знижують механічні властивості композиційних матеріалів.

Ширші можливості використання волокон і пряжі реалізуються при отриманні трикотажних сіток [14].

Зміцнюючі волокна можуть бути об'єднані також і в неткані матеріали (типу - мат), в яких відсутня їх закономірна орієнтація.

Розроблено методи рідинного, повітряного, гравітаційного і вакуумного формування [14].

Наприклад, основою для отримання матів методом рідинного формування служить суспензія коротких волокон, залита в бак, з якого вона надходить на сітку, покриту фільтрувальним папером.

Далі з об'єму матеріалу видаляється рідина, лист обжимається валками і при необхідності спікається в печі.

Висновки до розділу 1

Провівши літературний огляд по темі дипломного проєкту були розглянуті питання виготовлення вуглепластикового ламінату із застосуванням різних технологій.

Проаналізовано переваги та недоліки технологій. Вивчено класифікацію матеріалів, способи отримання, фізико-механічні властивості, переваги і недоліки, галузі застосування.

Відзначено «мізерність» інформації про вплив тиску стискання шарів (при вакуумуванні) на фізико-механічні властивості ламінату при застосуванні різних технологій формування.

Визначено, що подальші дослідження будуть проведені для зразків отриманих із застосуванням технологій:

- ручне формування вуглепластика (зовнішній тиск на ламінат відсутній);
- технологія RTM – light (тиск створюваний за такого способу формування складає $0.5 - 0.8 \text{ кг/см}^2$);
- препрегова технологія (тиск, що створюється при такому способі формування, складає $5 - 25 \text{ кгс/см}^2$).

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

2.1 Матеріали для дослідження. Епоксидна смола LH 289

Використовуються епоксидна смола в електротехніці, радіоелектронній промисловості, авіа-, судо- і машинобудуванні, може бути застосована в будівництві як компонент заливних і просочувальних компаундів, клеїв, герметиків, зв'язуючих для армованих пластиків, в лакофарбових матеріалах, для виготовлення наливних підлог.

Також використовуються епоксидно-діанові смоли у виробництві епоксидного клею, пропиточного матеріалу разом зі склотканиною для виготовлення та ремонту різних корпусів: «вугле-» і «склопластикові», «карбонові» корпуси і деталі кузова автомобіля, при виготовленні гідроізоляції приміщень: підлога і стіни підвальних приміщень, басейни [4].

А також використовується для виготовлення емалей, лаків, шпаклівок і як напівфабрикат для виробництва інших епоксидних смол і добавок до них. LH 289 Епоксидна смола має дуже низьку в'язкість. Вона підходить для виробництва композитів, а також верхнього шару штучного каменю. При нормальних температурах зберігання кристалізація не відбувається [4].

Перевагою сумішей смоли і закріплювача є її прозорість. Особливості: смола при 0-10°C ясна, без помутніння. Термостійкість: від 50 до 100 °C.

Забороняється змішувати відразу велику кількість епоксидної смоли LH 289 з затверджувачем без використання спеціальних апаратів для змішування з метою уникнення закипіння. Акрилову смолу техноаркіл можна змішувати із затверджувачем без спеціальних апаратів за умови дотримання точної пропорції, зазначеної в інструкції по застосуванню [4].

Те, якими властивостями буде володіти кінцевий виріб на основі епоксидної смоли залежить від того, якими затверджувачами, добавками і пластифікаторами вони модифікуються. Епоксидно-діанові смоли LH 289

забезпечують найбільші технологічні зручності при переробці в виробі і дозволяють створити на основі цих смол найрізноманітніші матеріали [6].

Таблиця 2.1

Фізико-механічні властивості смоли LH 289 [4]

Показник	Епоксидна смола LH 289
Зовнішній вигляд	Медоподібна жовтувата рідина. легко забарвлюється
Щільність при 20 ° С, кг / м ³	1,16-1,25
Міцність при розтягуванні, МПа	40-90
Міцність при згині, МПа	80-140
Міцність при стисканні, МПа	100-200
Температура полімеризації, ° С	від 20
Середнє рекомендований співвідношення затверджував-смола	7: 1
Час полімеризації	1,5 години
Час повної полімеризації 24 години	24 години
Водопоглинання за 24 год,%	0,01-0,1
Ударна в'язкість, кДж / м ²	5-25
Теплостійкість, ° С	55-170
В'язкість при 20 ° С, МПа, ° С	4000
Ударна в'язкість, кДж / м ² 19	19
Гарантійний термін зберігання епоксидної смоли , року затверджувача, року	1,5 2

2.2 Випробування на удар

Цей стандарт поширюється на пластмаси і встановлює метод визначення ударної в'язкості на зразках з надрізом і без надрізу.

Суть методу полягає у випробуванні, при якому зразок, що лежить на двох опорах, піддається удару маятника, причому лінія удару знаходиться посередині між опорами і безпосередньо навпроти надрізу у зразків з надрізом [16].

Випробування на удар по цьому методу служить для оцінки поведінки зразків, передбачених цим стандартом, під дією ударних напруг і для оцінки крихкості або в'язкості зразків в межах, встановлених умовами випробування.

Відбір зразків

Для випробування застосовують зразки трьох типів, розміри яких наведені в таблиці 2.2.

Зразки виготовляють без надрізу і з надрізами, типи яких наведені на рисунку 6, 7, а розміри в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Тип зразка	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм	Відстань між опорами, мм
1	120±2	15,0±0,5	10,0±0,5	70
2	80±2	10,0±0,5	4,0±0,2	60
3	50±1	6,0±0,2	4,0±0,2	40

Надріз типу А

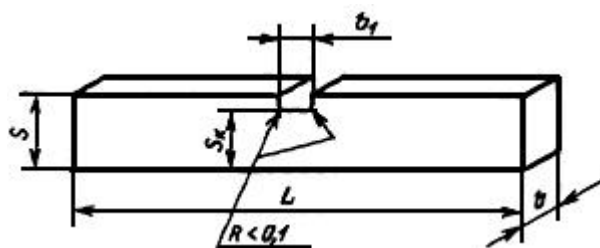


Рисунок 2.1 - Надріз типу А.

Надріз типу В

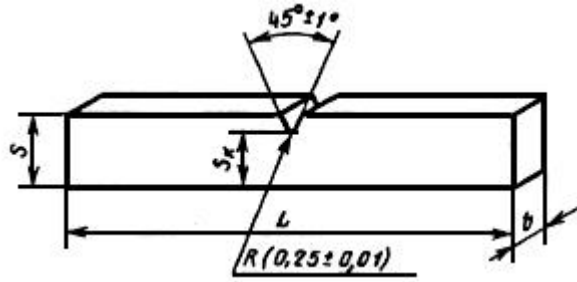


Рисунок 2.2 - Надріз типу В.

Таблиця 2.3

Розміри зразків без надрізу і з надрізами

Тип зразка	Тип надрізу, мм	Товщина під надрізом, мм	Ширина надрізу, мм
1	А	6,7±0,3	2,0±0,2
	В	8,0±0,3	-
2	А	2,7±0,2	2,0±0,2
	В	3,2±0,2	-
3	А	2,7±0,2	0,8±0,1
	В	3,2±0,2	-

Примітка: Товщина зразка під надрізом повинна становити для типу А – 2/3 від товщини і для типу В – 0,8 від товщини.

Тип зразка і надрізу прописують в нормативно-технічній документації на матеріал. Якщо така вказівка відсутня, рекомендується використовувати зразок типу 2, надріз типу В [16].

Допускається використовувати зразки шириною 4 мм, товщиною 10 мм, довжиною 80 мм, при відстані між опорами 70 мм. Для поліамідів допускається випробовувати зразки типу 2 при відстані між опорами 40 мм, якщо це зазначено в нормативно-технічній документації на матеріал [17].

Надріз типу А повинен мати радіус заокруглення не більше 0,1 мм, типу В - (0,25 ± 0,01) мм.

Допускається використовувати зразок з надрізом типу А з радіусом не більше 0,2 мм, якщо це передбачено в нормативно-технічній документації на матеріал. При цьому радіус надрізу вказують в протоколі випробування.

Результати, отримані на зразках різних розмірів, виготовлених за різною технологією, не можна порівнювати [17].

Спосіб нанесення, контроль форми і розмірів надрізу передбачаються в нормативно-технічній документації на матеріал. Абразивні ріжучі інструменти для нанесення надрізу застосовувати не можна.

Апаратура

Для випробування використовують маятникові копри по ГОСТ 10708, що забезпечують вимір енергії удару, витраченої на руйнування зразка і визначається як різниця між початковим запасом потенційної енергії маятника і енергією, що залишилася у маятника після руйнування випробуваного зразка.

Вимірювання ширини і товщини зразків проводять приладом з похибкою вимірювання не більше 0,02 мм [16].

Підготовка до випробування

Перед випробуванням зразки кондиціонують в стандартній атмосфері по ГОСТ 12423, якщо в нормативно-технічній документації на матеріал немає інших вказівок.

Перед випробуванням вимірюють ширину і товщину зразка в його середині приладом з похибкою вимірювання не більше 0,02 мм. При випробуванні зразків, виготовлених литтям під тиском, допускається вимірювати розміри одного зразка і підлягають випробуванню [16].

У зразків з надрізом вимірюють товщину в місці надрізу, використовуючи мікрометри з наконечником профілю, відповідного профілю надрізу у кожного зразка.

Для контролю якості надрізу вимірюють товщину зразка на обох кінцях надрізу і обчислюють середнє арифметичне [16].

Проведення випробування

Випробування проводять при температурі (23 ± 2) °С і відносній вологості (50 ± 5) %, якщо в нормативно-технічній документації на матеріал немає інших вказівок.

Вибирають маятниковий копер з відповідним запасом енергії і швидкістю маятника, щоб на руйнування зразка було витрачено не менше 10% і не більше 80% запасу енергії [15-16].

Якщо цій вимозі задовольняють характеристики декількох копрів, вибирають копер з найбільшим запасом енергії. Результати, отримані на копрах з різним запасом енергії, зіставляти не рекомендується.

Слід виконати кілька контрольних випробувань без зразків, щоб переконатися, що загальні втрати на тертя не перевищують значень, передбачених ГОСТ 10708.

Зразок без надрізу розміщують на опорах маятничого копра так, щоб удар ножа маятника припадав на середину зразка. Зразок з надрізом розміщують на опорах маятничого копра так, щоб удар ножа маятника припадав на не надрізану площину зразка [16].

Піднімають і закріплюють маятник і встановлюють показчик на шкалі енергії та обережно (без ривка) відпускають маятник.

Відраховують за шкалою значення енергії, витраченої на руйнування зразка. Якщо передбачено в нормативно-технічній документації на матеріал, враховують поправку на витрати на тертя.

У розрахунку беруть результати, отримані на зразках, що зруйнувалися повністю, з поділом на частини або утримуються на тонкій плівці (нитці).

Якщо зразок без надрізу не руйнується, а прослизає між опорами маятничого копра, визначають показник "Опір удару" [16].

Обробка результатів

Ударну в'язкість зразків без надрізів в кДж / м (кгс • см / см²) обчислюють за формулою

$$\alpha_n = \frac{A_n}{b \cdot s} \cdot 10^3 \quad (2.1)$$

де:

- A_n - енергія удару, витрачена на руйнування зразка без надрізу, Дж (кгс • см);
- b - ширина зразка по середині, мм (см);
- s - товщина зразка по середині, мм (см).

Ударну в'язкість зразка з надрізом в кДж / м (кгс • см / см) обчислюють за формулою

$$a_k = \frac{A_k}{b \cdot s_k} \cdot 10^3 \quad (2.2)$$

де:

- A_k - енергія удару, витрачена на руйнування зразка з надрізом, Дж (кгс • см);
- b - ширина зразка по середині, мм (см);
- s_k - товщина зразка по середині, мм (см).

Обчислюють середнє арифметичне результатів випробування i , при необхідності, середньоквадратичне відхилення [16].

Відносну ударну в'язкість у відсотках, якщо це передбачено в нормативно-технічній документації на матеріал, обчислюють за формулою:

$$KZ = \frac{a_k}{a_n} \quad (2.3)$$

де:

- a_k - ударна в'язкість зразка з надрізом, кДж/м (кгс•см/см²);
- a_n - ударна в'язкість зразку такого ж розміру без надрізу, кДж/м (кгс•см/см²)

Всі обчислені значення округлюють до двох значущих цифр.

Обробка результатів визначення показника "Опір удару" - по нормативно-технічній документації на матеріал [16].

Протокол випробування повинен містити наступні дані:

- а) тип і позначення випробуваного матеріалу;
- б) дату і метод виготовлення зразків;
- в) умови кондиціонування;
- г) тип і розміри зразка;

- д) тип надрізу;
 - е) атмосферні умови в приміщенні випробування;
 - ж) кількість випробуваних зразків;
 - з) тип маятникового копра [16];
 - і) швидкість удару;
 - к) місце і напрям вирізки зразків з анізотропних пластмас;
 - л) при випробуванні зразків шаруватих пластиків - положення надрізу і напрямок удару щодо розташування шарів ;
 - м) при випробуванні зразків, вирізаних з напівфабрикатів або готових виробів - положення зразка у виробі, з якого він вирізаний;
 - н) при випробуванні зразків з анізотропних пластмас - положення надрізу і напрямок удару щодо напрямлення при виготовленні випробуваного матеріалу;
 - о) зовнішній вигляд зразків після випробування із зазначенням, руйнується зразок чи ні [16];
 - п) значення визначається показника кожного зразка;
 - р) середнє арифметичне значення визначається показника і середньоквадратичне відхилення при його обчисленні, або результат визначення показника "Опір удару" при його визначенні.
 - с) дату випробування і позначення цього стандарту.
- Для пористих пластмас має бути вказаний напрямок удару щодо напрямлення спінювання матеріалу [17].

Терміни та визначення

Терміни та визначення подані у вигляді таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Типи і схеми руйнувань для матеріалів, які руйнуються з міжшаровим зрушенням

Позначення методу по ІСО	Тип зразка		Тип руйнування	Схема
ІСО 179-1/2 * або *	2	20	розтягування стиснення випинання	
ІСО 179-1/3 * або *	3	6 або 8	зрушення множинне зрушення Зрушення з подальшим розтягуванням	

Таблиця 2.5

Середнє значення ударної в'язкості (удар по Шарпі при швидкості маятника 2,9 м / с) В кДж /м.

День випробування	Найменування матеріалу	Середнє значення ударної в'язкості
1	АВС	13,48
	склоповнений ПБТ	8,52
	поліпропілен	10,48
2	АВС	13,44
	склоповнений ПБТ	8,54
	поліпропілен	10,80

2.3 Макро- і мікроаналіз пластмас

При макроаналізі вивчають структуру матеріалу, видиму без збільшення або при невеликому збільшенні, за допомогою лупи. При мікроаналізі вивчають будову матеріалу за допомогою мікроскопа, тобто при відносно

великих збільшеннях. Обидва методи дослідження спрямовані на те, щоб встановити зв'язок між структурою матеріалу і його властивостями.

За даними макро- і мікроаналізу можна не тільки вказати в якому напрямку будуть змінюватися механічні, фізичні та інші властивості матеріалу в залежності від його складу і структури, а й пояснити причини цих змін. Це дозволяє вказувати шляхи найбільш ефективного поліпшення структури і властивостей матеріалів, в даному випадку пластмас, і на цій основі прогнозувати експлуатаційні якості і надійність роботи виробів в приладах, пристроях і машинах [18].

Технологія виготовлення мікрошліфа пластмаси

Перша операція - відрізка зразка - виконується з використанням звичайного устаткування і ріжучого інструменту для механічного різання. Інструмент вибирається залежно від фізико-механічних властивостей пластмаси і вимог, що пред'являються до якості зони різання. З метою виключення механічних руйнувань (розшарувань, сколів і т.п.) і впливу температурного чинника (припикання матеріалу) не рекомендується застосовувати швидкісне різання. Вирізку зразків рекомендується робити вручну [7-9].

Пластмаси товщиною менше 1,5 мм розрізають полотнами з нерозведеними зубами. Хороша якість поверхні розрізу шаруватих армованих реактопластів виходить і при використанні пил, призначених для різання деревини. Для тонких шліфів при механічній обробці з метою зручності та безпеки в роботі, а також для збереження країв від руйнування і завалювання слід застосовувати оправлення з механічним затисненням, які виготовляються з двох прямокутних пластин, з'єднаних між собою шурупами або болтами [18].

Між пластинами оправлення розміщують пластину з пластмаси для вирізки з неї зразка [18].

Друга операція - шліфування - є найбільш відповідальною операцією при виготовленні мікрошліфів. Труднощі шліфування армованих пластиків пов'язані з різко вираженою структурною неоднорідністю шліфа (різна

твердість полімерної основи-матриці і наповнювача). Відрізаний зразок шліфується на шліфувальному папері до повного видалення рисок з поступовим переходом від паперу з абразивом більшого розміру, наприклад, з шліфзерно 25, до паперу з меншим розміром абразивних частинок-16, 10, 6 (числа вказують найбільший розмір зерен в сотих частках міліметра). Шліфування виконують вручну, поклавши шліфувальний папір на рівну поверхню (наприклад, на скляну пластину. З метою видалення рисок від попередньої ступені шліфування зразок повинен бути повернений на 90 ° при переході до абразивного матеріалу з більш дрібним розміром частинок [7].

Закінчують шліфування на папері M28, M20 або M14 (числа показують найбільший розмір в мікрометрах зерен основної фракції). Зразок промивають водою і піддають поліруванню.

Заключна операція - полірування, здійснюється на диску діаметром 200-250 мм полірувального верстата, що обертається зі швидкістю 400 - 600 оборотів в хвилину, обтягнутому високоякісним сукном або м'яким фетром. Поверхня диска зволожується водяною суспензією порошку окису хрому. Мікрошліф притискається до диска з зусиллям, достатньому для його утримання в контакті з поверхнею фетру. Слід уникати великих тисків на зразок, так як це може привести до сильного нагрівання зразка і зниження якості його поверхні [9].

Особливістю пластмас є те, що при дуже тривалому полірованні може проявитися особливий рельєф, який ускладнює вивчення структури при великих збільшеннях. Тому під час полірування пластмас необхідно вибирати оптимальний момент її закінчення. Якщо за проміжок часу 6-10 хвилин не вдалося усунути сліди попереднього шліфування, але почав з'являтися рельєф, полірування слід припинити і знову повторити процес шліфування. При визначенні розподілу кінця полірування зразка орієнтуються на момент зникнення рисок від шліфування. У деяких випадках полірування зразків пластмас проводять за допомогою спеціальних паст [18].

Для точних досліджень операції шліфування та полірування пластмас проводять в затискачах з прокладками, як було зазначено вище. Стійкість матеріалу прокладки проти стирання повинна бути рівною або близькою до матеріалу зразка. В іншому випадку неминуче завалювання зразка. Можна прокладки виготовити з тієї ж пластмаси, яка досліджується. У тих випадках, коли необхідно досліджувати край шліфа під мікроскопом при великих збільшеннях, тобто коли необхідно уникнути навіть незначного завалювання, рекомендується застосовувати оправлення з в'язкими речовинами. В цьому випадку можна рекомендувати для заливки оправок клей холодного затвердіння на основі епоксидних смол [7-9].

Мікроструктурний аналіз пластмаси

Мікроструктурний аналіз пластмас здійснюють оптичними металографічними мікроскопами, які дозволяють проводити вивчення будови матеріалів у відбитому світлі при корисних збільшеннях 325 - 650 (при об'єктиві 40x0,65) або 200 - 400 (при об'єктиві 21x0,40).

При роботі з композиційними пластмасами слід враховувати необхідність забезпечення високої контрастності зображення. Для цього застосовують косе освітлення, яке досягається зміщенням апертурної діафрагми або джерела світла щодо оптичної осі. Іншим методом посилення контрастності є темнопольне освітлення. У цьому випадку застосовують спеціальні об'єктиви, які мають навколо оправки з лінзами параболічне дзеркало, на яку падають тільки крайові промені від джерела світла. Таким чином, освітлення тут буде здійснюватися не через об'єктив, а за допомогою параболічного дзеркала. У цьому випадку від поверхні шліфа в об'єктив відіб'ється тільки частина променів від деяких фаз, зазвичай виступають над рештою поверхні об'єкта, і тому їх можна детально вивчити [10].

Таким чином, дослідження в темному полі зазвичай не дає повної характеристики структури і його слід розглядати як доповнює основне в світлому полі, тобто при вертикальному освітленні, коли світлові промені

потрапляють на мікрошліф через об'єктив, який збирає їх на поверхності шліфа [10].

При вивченні забарвлених структур важливе значення мають світлофільтри. Для отримання найбільшої контрастності будь-якої структурної складової необхідно застосовувати світлофільтр того ж кольору, що і колір складової. Вибір фільтрів додаткового кольору, дозволяє отримати мінімальну контрастність даної фази. Додатковими називають ті кольори, які при змішуванні дають білий колір, наприклад, помаранчевий і блакитний, зеленувато-жовтий і фіолетовий, червоний і зеленувато-блакитний і т. д. Це дозволяє за допомогою світлофільтрів здійснювати роздільне вивчення окремих забарвлених фаз [10].

Висновки до розділу 2

У другому розділі, ґрунтуючись на літературно-патентному пошуці нами був обраний матеріал матриці і наповнювач для виготовлення експериментальних зразків полімерного композитного матеріалу. В якості матриці - епоксидна смола LH 289, наповнювача: вуглеволокно.

У розділі представлені дані про фізико-механічні властивості, вибраний матеріал, і рекомендації за технологією їх застосування.

Визначено методи проведення випробування дослідницьких полімерних композитних ламінатів.

Розглянули методи випробування:

- визначення ударної в'язкості;
- мікро- і макроаналіз структури полімеру.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Виготовлення зразків

Під час проведення літературного огляду було обрано три технології виготовлення зразків полімерного композитного матеріалу з епоксидною матрицею та вуглеволокнистого наповнювача – ламінату:

- ручне формування ламінату, тиск на ламінат при використанні цього методу відсутній;
- гібридне формування ламінату (ручне просочування та укладання матеріалу з подальшим вакуумуванням), тиск за такого способу формування складає $0.5 - 0.8 \text{ кг/см}^2$;
- технологія формування препрегу у вакуумному мішку та автоклаві, тиск створюваний за цим методом формування складає $5 - 25 \text{ кг/см}^2$.

3.1.1 Ручне формування ламінату

Тканий матеріал - вуглеткань була попередньо розкrojена і просочена епоксидним сполучним (рис. 3.1 а, б). Просочення матеріалу епоксидною смолою з наведеним ініціатором здійснювали паралоновим валиком. Просочений матеріал укладали на скло з попередньо нанесеною на нього розділюючим шаром воску для запобігання склеювання зразків і скла. Сушіння сформованого ламінату проводили в сушильній шафі при 45°C .

3.1.2 Гібридне формування ламінату

Тканий матеріал - вуглеткань і витратні матеріали: жертвна тканина, вакуумопровідна мембрана, вакуумно провідний шар, були попередньо розкrojені (рис.3.2). Складання вакуумного пакета проводили на склі з попередньо нанесеним шаром воскового роздільника для запобігання прилипання епоксидного сполучного. Герметизацію пакету забезпечували

приклеюванням вакуумно провідного шланга і поліетиленової плівки до скла ізобутиловим скотчем (рис 3.3).

Вакуумування проводили за допомогою вакуумної установки що складається з вакуумного насоса роторного типу і вакуумного ресивера-уловлювача (рис. 3.4).



Рисунок 3.1 – Приготування зразків: а) розкроєні зразки тканого матеріалу; б) просочення матеріалу епоксидною смолою паралоновим валиком.



Рисунок 3.2 – Розкроєні зразки тканого матеріалу.



Рисунок 3.3 – Зібраний вакуумний пакет.

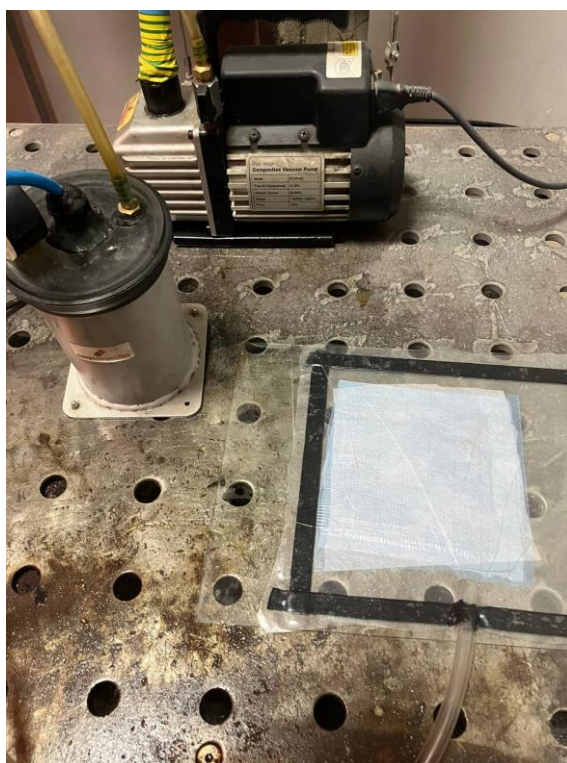


Рисунок 3.4 – Вакуумний насос і ресивер.

Тиск вакууму в системі контролювали за допомогою манометра стрілочного типу, встановленого на ресивері-уловлювачі (тиск у системі -1Ба). Сушіння ламінату проводили в сушильній шафі при 45°C.

3.1.3 Технологія формування ламінату - препрег технологія

Виготовити зразки ламінату за технологією виготовлення препрега самотужки, через відсутність на кафедрі необхідного обладнання, неможливо. Для виготовлення зразків використовували готову (набуту) пластину вуглепластикового ламінату виготовленого за технологією автоклавного формування припрегу.

3.1.4 Механічна обробка зразків

Зразки матеріалу - пластини вуглепластика отримані з застосуванням різних технологій формування, після сушки були розпилені за допомогою алмазного диска на заготовки, розмір яких відповідав вимогам госту для проведення подальших випробувань.

Остаточні заготовки для випробувань пройшли слюсарну обробку та були промарковані водостійким маркером.

3.2. Визначення щільності зразків

Щільність отриманих зразків ρ (г / м³) визначали згідно ГОСТ 19440-74. Зважування проводили на аналітичних вагах ВЛА-200 точністю 0,0002 г. Щільність розраховували за формулою:

$$\rho = m/V \quad (3.1)$$

де m - маса зразку (кг);

V - об'єм (м³).

Значення щільності зразків ламінату наведені в таблиці 3.1

Значення щільності зразків ламінату

№	Технологія виготовлення зразків	Тиск формування зразків	Щільність ρ , кг/м ³ (середнє значення, 4 виміри)
1.	Ручне формування ламінату.	-	935
2.	Гібридне формування ламінату.	0.5 – 0.8 кг/см ²	1016
3.	Технологія формування ламінату - припрег технологія.	5 – 25кг/см ²	1132

3.3 Випробування з визначення ударної в'язкості

Випробування по визначенню ударної в'язкості виконували на маятниковому копрі КМ-0,5 (Рис 5.).

Копер маятниковий зі змінним запасом енергії призначений для випробувань на ударний вигин пластичних мас за ГОСТ 14703-69.

Основна мета випробувань - визначення ударної в'язкості, питомої роботи ударного руйнування та коефіцієнту ослаблення за методами, викладеними у ГОСТ 4647-69 "Пластичні маси. Методи випробувань на ударний вигин".

Основними характеристиками копра є: запас енергії, який визначається як добуток ваги маятника на відстань від осі його гойдання до центра ваги, і центр удару, який визначається за періодом коливання маятника.

Технічні характеристики

Запас енергії копра:

- при куті зарядки маятника 94 градуси 25, 50 кгс * см
- при куті зарядки маятника 116 градусів 34, 68 кгс * см.

Швидкість руху маятника у момент удару:

- при куті зарядки маятника 94 градуси $(2,9 + 0,1)$ м / сек
- при куті зарядки маятника 116 градусів $(3,5 \pm 0,1)$ м / сек.

Кількість змінних молотів 2 шт.

Допустима втрата енергії при вільному польоті маятника, в тому числі змінних молотів, за половину повного коливання, прийнята від найбільшого запасу потенційної енергії копра, не більше 1,0%.

Відстань від осі хитання маятника до центру удару $(430 - 3)$ мм.

Відстань між опорами 4 ... 100 мм.

Радіус заокруглення опор 1 мм.

Радіус заокруглення бойка $2 \pm 0,5$ мм.

Габаритні розміри 790 x 303 x 880 мм.

Маса 92 кг.



Рисунок 3.5 - Маятниковий копер КМ-0,5.

Проведення випробування

Підготовка: з отриманого полімерного композитного ламінату були вироблені зразки с надрізом типу-А (рис. 3.6 а) для проведення випробувань, розміри випробуваних зразків - 60 x 6,0 x 4 мм. Для випробувань були

представлені по чотири представника кожного зразка. Зовнішній вигляд зразків ламінату (рис. 3.6 б).



Рисунок 3.6 - Зразок з надрізом типу–А для проведення випробувань з визначення ударної в'язкості.

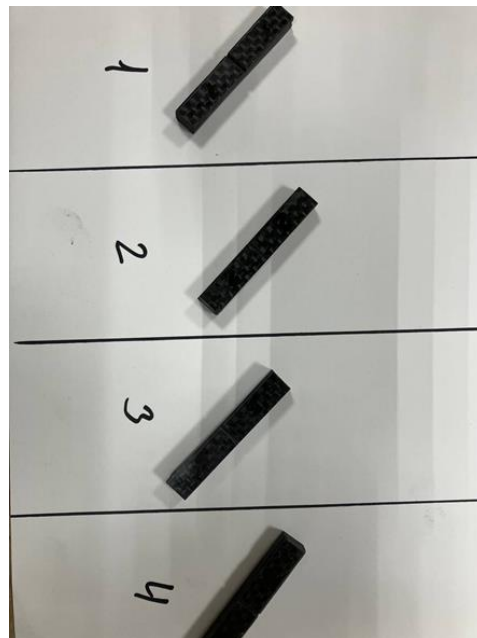


Рисунок 3.7 - Зразки для проведення випробувань з визначення ударної в'язкості ламінату.

Всі випробування проводили при постійній температурі повітря $t = 22^{\circ}\text{C} \pm 0,5$. Результати проведення випробувань наведені у таблиці 3.2. P – вага маятника 5 кг, відстань між опорами 40мм.

Таблиця 3.2

Результати випробувань по визначенню ударної в'язкості

№ зразка	Площина зразку F , cm^2	Кут зарядки маятника α , (градус.)	Кут відскоку маятника β , (градус.)	Середнє значення кута $\beta(c)$, (градус)	Ударна в'язкість, відносне значення, $(\beta(c)/F)/10$
1.1	0,162	90	144	147,25	90,8
1.2	0,162	90	151		
1.3	0,162	90	148		
1.4	0,162	90	146		
2.1	0,162	90	151	152,75	94,2
2.2	0,162	90	149		
2.3	0,162	90	154		
2.4	0,162	90	157		
3.1	0,162	90	178	176	108,6
3.2	0,162	90	176		
3.3	0,162	90	174		
3.4	0,162	90	176		

3.4 Мікроструктурний аналіз зразків ламінату

Зразки для проведення мікроструктурного аналізу були підготовлені згідно з рекомендаціями, описаними в пункті 2.4 даної роботи.

Дослідження проводили на трьох зразках, отриманих при різних технологіях формування ламінату (при різному тиску).

Дослідження мікроструктури проводили за допомогою модернізованого мікроскопа МБУ-4 із можливістю отримання фотографій структури матеріалу.

Результати досліджень представлені у вигляді фотогафій (рис. 3.8, 3.9, 3.10).

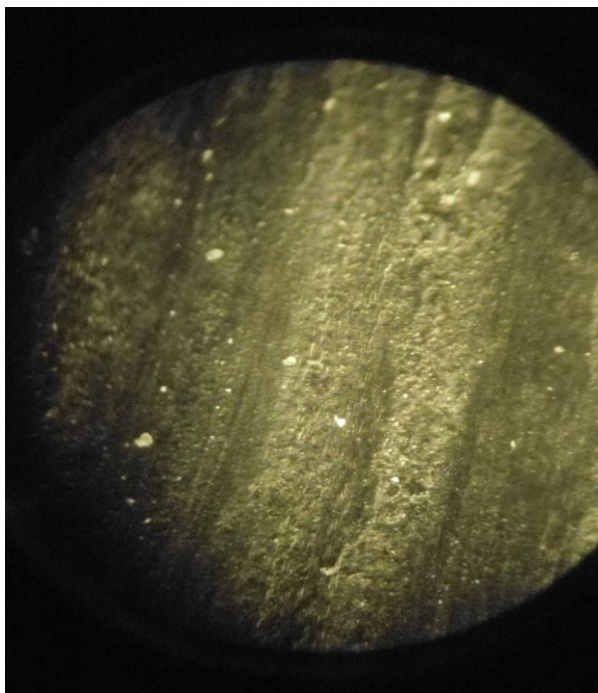


Рисунок 3.8 - Структура вуглепластикового ламінату отриманого ручним формуванням, x200

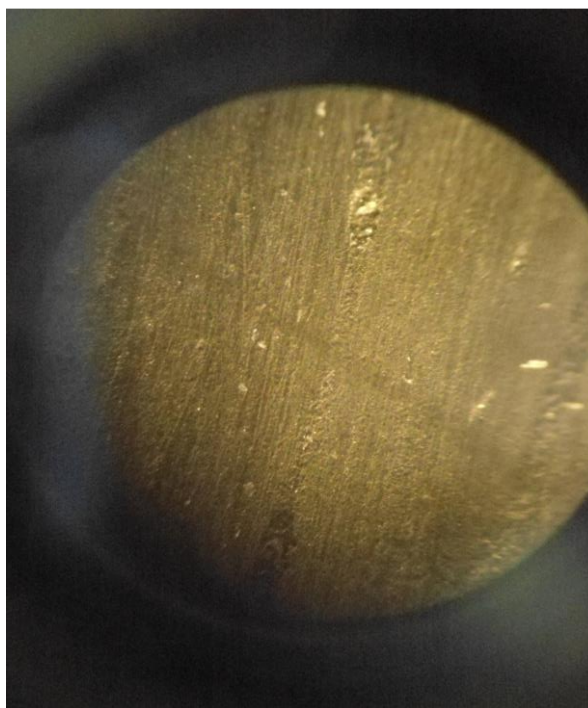


Рисунок 3.9 - Структура вуглепластикового ламінату, отриманого гібридним формуванням, x200

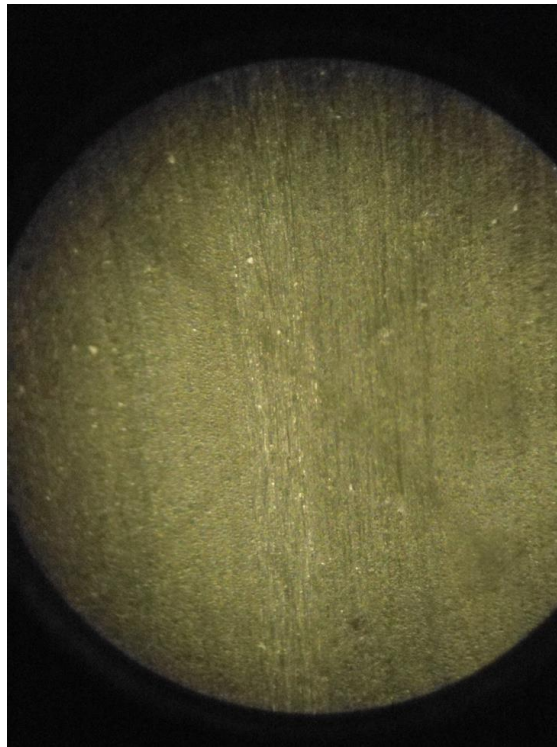


Рисунок 3.10 - Структура вуглепластикового ламінату отриманого препрег технологією, x200

Висновки до розділу 3

В ході проведення експерименту були вивчені технології формування полімерного композитного ламінату з епоксидною матрицею та вуглекнистим наповнювачем.

Отримані зразки у вигляді пластин ламінату з застосуванням технології: ручного формування (зовнішній тиск при формуванні ламінату відсутній), гібридного формування (тиск при такому способі формування складає 0.5 – 0.8 кг/см²), автоклавного формування препрегу (тиск створюваного при такому способі - 25кг/см²).

У ході проведення дослідження густини матеріалу ламінату було визначено, що густина матеріалу залежить від технології виготовлення: відсутності зовнішнього тиску; від тиску вакуумування; тиску вакуумування спільно з надлишковим тиском в автоклаві.

Зі збільшенням тиску на ламінат при його формуванні збільшується щільність отриманого вуглекомполімеру. Дані подано в таблиці 3.1.

При проведенні випробувань з визначення ударної в'язкості зразків матеріалу було визначено, що отриманий матеріал при більшому тиску при формуванні, має більшу міцність, ніж отримані без зовнішнього тиску. Результати випробувань наведено в таблиці 3.2.

Аналіз фотографій отриманих при проведенні мікроструктурних досліджень зразків ламінату показав:

- зменшення кількості газових порожнин у ламінаті зі збільшенням тиску вакуумування (зовнішнього тиску на ламінат);

- зменшення кількості матричного матеріалу (епоксидного сполучного) за рахунок витіснення його при вакуумуванні в жертвний шар. Як показує літатурний огляд, пропорція співвідношення мас матриці – наповнювача має бути 40%-50%. Матеріали з таким співвідношенням мають найкраще поєднання фізико-механічних властивостей. Результати мікроструктурних досліджень підтверджують дані проведених фізико-механічних випробувань.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Загальні теоретичні відомості

Композити - це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів, конструктивні елементи яких мають властивості, відмінні від сумарних властивостей компонентів. При цьому передбачається, що компоненти, що входять до складу композита, повинні бути добре сумісними і не розчинятися тим чи іншим способом і не поглинати один одного [7].

У широкому сенсі, композиційний матеріал - це будь-який матеріал з гетерогенною структурою, тобто зі структурою, що складається мінімум з двох фаз.

Основна особливість виготовлення конструкцій з вуглепластика полягає в тому, що сам матеріал і виріб, що виготовляється з нього створюються одночасно. Ця обставина істотно змінює роль і значення методів виготовлення конструкцій з вуглепластика. З цього випливає, що на самих ранніх стадіях проектування конструкцій необхідно враховувати можливі методи їх виготовлення і їх технологічні особливості [5].

Значне збільшення обсягів застосування вуглепластиків в різних галузях техніки призвело до вдосконалення багатьох технологічних прийомів і розробці нових методів, спрямованих в першу чергу, на:

- скорочення частки ручної праці і максимально можливе застосування обладнання та засобів механізації;
- зниження трудомісткості виготовлення, і як наслідок, зниження вартостей виробу;
- підвищення технологічності, стабільності виробничого процесу і якості виготовлення;
- покращення санітарно-гігієнічних умов праці.

До числа цих методів відносяться, в першу чергу, метод інфузії і RTM-методи.

При виготовленні вуглепластикових конструкцій, також застосовуються методи контактного формування (ручного формування) і напилення [11].

Актуальність теми – створення полімерних композитних ламінатів з заданими фізико-механічними властивостями є актуальним сучасним завданням при проектуванні і виробництві деталей автомобілів, а також у літакобудуванні, суднобудуванні, космонавтиці, вітроенергетиці і т.д.

Мета роботи – аналіз впливу процесу вакуумування на фізико-механічні властивості полімерного композитного ламінату.

Завдання дослідження. Провести аналіз сучасних технологій отримання полімерних композитних ламінатів з використанням вакуумування. Дослідження впливу процесу вакуумування на фізико-механічні властивості композитного полімерного матеріалу з епоксидною матрицею. На основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації.

Тип НДР відповідно до класифікації відповідає пошуковим дослідженням. Пошукові – це дослідження, спрямовані на аналіз і розвиток фундаментальних досліджень для встановлення можливості і необхідності їх практичного застосування в певних областях техніки і технології. Результатом пошукових досліджень повинні бути рекомендації по створенню нових продуктів і нових технологічних процесів [19].

Взаємозв'язок даної НДР з попередніми роботами подібного спрямування – немає.

4.2 Методика розрахунку витрат

1. Склад витрат на проведення НДР.

Витрати на проведення дослідних і експериментальних робіт є підготовчими і складаються з наступних складових: витрати на постановку задачі дослідження (літературний огляд, вивчення патентів тощо) [19];

- витрати на лабораторні дослідження;

- витрати на дослідне виробництво (проектування і спорудження дослідної установки), отримання і випробування дослідної партії продукту, вивчення відходів виробництва і техніко-економічна оцінка процесу;

- витрати на промислове проектування.

2. Матеріальні витрати.

Вартість витрачених в процесі дослідження основних і допоміжних матеріалів та реактивів розраховується, виходячи з їх фактичної витрати та цін за формулою [19]:

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

де, V – витрата даного виду матеріальних ресурсів, одиниць вимірювання;

C – ціна за одиницю вимірювання даного виду матеріальних ресурсів, грн.

Розрахунок представлений в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вартість матеріалів

Найменування матеріалу	Одиниця вимірювання	Ціна, грн. За одиницю виміру	Фактична кількість	Сума, грн.
Склотканина	м ²	2690,00	2	5 380,00
Епоксидна смола	кг	800,00	0,5	400,00
Разом				5 780,00

Вартість палива та електроенергії, витрачених в процесі дослідження, розраховується аналогічно витратам на матеріали. Витрати на електроенергію визначаються, виходячи з потужності обладнання, часу його роботи і ціни 1 кВт·год, за формулою:

$$V_e = M \cdot n \cdot T \cdot C, \text{ грн}, \quad (4.2)$$

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

n – кількість застосованого обладнання, шт.;

T – час роботи обладнання, год.;

C – ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Вартість електроенергії

Найменування матеріалу	Потужність, кВт	Час роботи обладнання, год.	Ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.	Сума, грн.
вакуумний насос	0,5	5	1,68	4,2
сушильна шафа	1	24	1,68	40,32
Разом				44,52

3. Оплата праці.

Витрати на заробітну плату складаються з заробітної плати виконавця, керівника, залучених осіб (лаборанта та терміста).

Витрати на заробітну плату виконавця (Зв) роботи визначаються множенням розміру місячної стипендії на число місяців, що були витрачені на виконання науково-дослідної практики та кваліфікаційної магістерської роботи.

Для керівника і консультантів, а також науково-технічного персоналу (інженери, лаборанти) – виходячи з посадових окладів з усіма надбавками і нормативів часу.

Заробітна плата керівника роботи (Зкер) визначена, виходячи зі ставок погодинної оплати праці науково-педагогічного персоналу за проведення навчальних занять і норми витрат його робочого часу на одну випускную роботу студента рівня підготовки «магістр» для денної форми навчання (12 год/чол.). Заробітна плата залучених осіб (терміста і лаборанта) визначається, виходячи з розміру мінімальної заробітної плати у погодинному вираженні і витрат їх робочого часу при проведенні досліджень.

Таблиця 4.3

Витрати на заробітну плату

Посада	Ставка погодинної оплати праці, грн.	Відпрацьований час, год.	Сума, грн.
Доцент	864,32	12	172,86
Разом			172,86

4. Інші витрати

Інші витрати визначаються в розмірі 25% від суми прямих витрат. До них відносяться загальноуніверситетські витрати на амортизацію і ремонт будівель та обладнання, опалення, освітлення, воду, витрати на утримання навчальнодопоміжного та адміністративно-управлінського персоналу, закупівлю канцелярського приладдя тощо.

Витрати на спеціальне обладнання, придбане для даної НДР, послуги сторонніх організацій (проведення аналізів і випробувань, комп'ютерне моделювання тощо), витрати на відрядження враховуються на фактичному рівні.

Таблиця 4.4

Кошторис витрат на науково-дослідницьку розробку

Найменування статті витрат	Сума, грн.	Частка даної статті у загальній сумі витрат, %
Вартість матеріалів	5 780,00	97
Вартість електроенергії	44,52	0,75
Витрати на заробітну плату	172,86	2,25
Разом	5 897,38	

Висновок до розділу 4

Композити - це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів, конструктивні елементи яких мають властивості, відмінні від сумарних властивостей компонентів. При цьому передбачається, що компоненти, що входять до складу композита, повинні бути добре сумісними і не розчинятися тим чи іншим способом і не поглинати один одного.

У широкому сенсі, композиційний матеріал - це будь-який матеріал з гетерогенною структурою, тобто зі структурою, що складається мінімум з двох фаз.

Основна особливість виготовлення конструкцій з вуглепластика полягає в тому, що сам матеріал і виріб, що виготовляється з нього створюються одночасно. Ця обставина істотно змінює роль і значення методів виготовлення конструкцій з вуглепластика. З цього випливає, що на самих ранніх стадіях проектування конструкцій необхідно враховувати можливі методи їх виготовлення і їх технологічні особливості.

Підсумковий кошторис витрат на НДР являє собою суму результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання та становить близько 5 897,38 гривень.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Правила зберігання отруйних речовин

Слід пам'ятати, що зберігання отруйних і легкозаймистих речовин на головному складі та в цехових приміщеннях проводиться за правила, встановленим відповідними інструкціями, так само як і їх відпуск і транспортування. Дотримання інструкцій є строго обов'язковим. Селітру дозволяється зберігати тільки в металевій тарі.

Для зберігання кислот краща металева тара з кислототривкої футеровкою. Кислоти також не допускаються роботи, пов'язані з утворенням іскор. Ціанисті солі, упаковані в жерстяні або залізні банки або барабани, зберігаються на особливому складі, ізольованому від загального складу, з вентиляцією, що включається поза складу [21].

Отже, на тарі повинен бути напис « ОТРУТА ». До роботи з ціанистими солями допускаються спеціально виділені особи. У приміщеннях складів куріння суворо заборонено. Обов'язковим є бездоганна чистота і порядок, відсутність захаращеності, наявність вентиляції, проходів шириною не менше 1 м в складі та 5 м зовні [22].

Горючі речовини зберігаються в забарвлених бочках з написами про вміст. Тара повинна бути ретельно промитої. Між рядами бочок слід залишати достатні проходи. Для зберігання масел відводяться окремі комори, зберігання в яких бензину, газу та інших горючих матеріалів забороняється.

5.2 Заходи проти отруєння

Кодексом законів про працю передбачається видача робітникам, робота яких пов'язана з небезпекою професійного отруєння, жирів, або нейтралізують коштів в якості протиотрути. В окремих, де проводиться робота з отруйними речовинами, забороняється приймати їжу і палити. Необхідно наявність

аптечки першої допомоги. Робота в умовах забрудненого середовища проводиться у відповідних міських, респіраторних, окулярах [21].

Отже, у відділеннях, відведених для робіт із шкідливими виділеннями (відділення цементної, цюанування, окислення та ін.), Перед початком роботи обов'язково включення припливно-витяжної вентиляції. Перед прийняттям їжі слід ретельно вмити руки і вичистити зуби. Не можна допускати миття рук у воді гартівних баків [23].

5.3 Протипожежні заходи

Отже, згідно ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять», протипожежні заходи в термічних цехах зводяться в основному до профілактичних заходів:

- регулярної очищення трубопроводів від сажі, підтримування в справності газопроводів і газорегуляторів, підтримці в справності масло охолоджуючої системи, особливо відведення циркулюючого гартувального масла, щоб уникнути його переливу через борти боки і розтікання по підлозі цеху [21];

- у цехах повинен знаходитися пожежний інструмент, пінні вогнегасники, кошма або листовий азбест для накривання гартувального бака з палаючим маслом, сухий пісок в разі пожежі в термічному цеху, особливо з утворенням вогнища загоряння, пов'язаного з надходженням (подачею) палива – нафти або газу, слід негайно перекрити кран біля печі і загальний кран на магістралі, не можна допускати установки баків з мазутом в приміщенні, де розташовані печі [22].

Таким чином, при загорянні мазуту ефективним для гасіння засобом виявляєте пінний вогнегасник, пісок, розпорошена вода, застосування якої базується переважно на освітлі водяної пари, при 30% якого в повітрі горіння не підтримується. Проходи і проїзди в цеху повинні бути вільними, доступними для дій при гасінні вогнищ загоряння [20].

Лабораторія знаходиться в будівлі, що відноситься до першого ступеня пожежної безпеки. Лабораторія будована з вогнетривкого будівельного матеріалу згідно вимогам.

За ступенем пожежної безпеки приміщення лабораторії відносяться до категорії В, оскільки в лабораторії знаходяться і використовуються горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини та матеріали, але при цьому приміщення не належать до категорій А і Б. Клас по вибухонебезпеці відсутній [23].

Отже, виникнення пожежі в лабораторії може бути викликано коротким замиканням електропроводки або перевантаженням електропроводів. Пожежі, які можуть виникати в лабораторіях з пічним обладнанням, представляють велику небезпеку, так як температура технологічних процесів становить 1000°C і більше [21].

Таким чином, при таких температурах відбувається миттєве займання багатьох органічних матеріалів. В таких лабораторіях для гасіння пожеж використовуються вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-2.

В кожній лабораторії для локалізації наслідків короткого замикання встановлені спеціальні вимикачі і плавкі запобіжники [20].

На випадок пожежі в лабораторії розроблений план евакуації. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії (теплові або димові повідомлювачі), а також встановлений ящик з піском [23].

Отже, основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; обережне відношення з легкоплавкими речовинами. Виконувати роботи необхідно лише на робочому місці [21].

5.4 Заходи з охорони довкілля

Отже, найбільшу шкоду атмосферному повітрю можуть нанести пари металу в процесі плавки та металічний пил, який утворюється при шліфуванні

зразків, пари ацетону і плавикової кислоти при знежирюванні та травленні зразків, згідно ДСТУ 3831-1998 «Охорона навколишнього природного середовища». В нашому випадку приготування металографічних шліфів та наступне їх знежирення та травлення відбувалося декілька разів, процес був короткочасним та відбувався в іншій лабораторії [20].

Таким чином для запобігання надходження шкідливих речовин в атмосферу система вентиляції всієї будівлі, до складу якої входить ця та інші лабораторії, комплектуються пиловловлювачем та абсорбером [21].

Всі стічні води спускаються в міську каналізаційну систему. Зливання в каналізаційну мережу відпрацьованих розчинів хімічних речовин допускається лише після їх нейтралізації та очищення [21].

На ділянках шліфування, полірування та при застосуванні мокрих засобів обробки пилових матеріалів, стічні води повинні надходити до системи загальної каналізації через відстійники.

Висновки до розділу 5

Проведений аналіз потенційної небезпеки і шкідливих факторів на виробництві. Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень та технологічних матеріалів застосовуваних для утворення багатокомпонентних функціональних матеріалів.

Прописані вимоги до розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва. Наведені вимоги, що висуваються до кваліфікаційної освіченості персоналу і до застосування засобів захисту для працівників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений огляд літератури щодо питання виготовлення вуглепластикового ламінату із застосуванням різних технологій. Проаналізовано їхні переваги та недоліки. Вивчено класифікацію ламінатів, способи отримання, фізико-механічні властивості, переваги і недоліки, галузі застосування. Визначено, що в літературі не достатня увага приділена питанню впливу параметрів вакуумування на фізико-механічні властивості ламінатів.

2. Обгрунтовані матеріали для дослідження. Обраний матеріал матриці і наповнювач для виготовлення експериментальних зразків полімерного композитного матеріалу. В якості матриці – епоксидна смола LH 289, наповнювача – вуглеволокно. Представлені дані про фізико-механічні властивості компонентів матеріалу, рекомендації щодо технологій формування ПКМ. Запропоновано дослідити зразки, отримані шляхом формування: ручне формування вуглепластика (зовнішній тиск на ламінат відсутній); технологія RTM – light (тиск формування $0.5 - 0.8 \text{ кг/см}^2$); препрегова технологія (тиск формування $5 - 25 \text{ кгс/см}^2$). Запропоновані методи дослідження зразків: металографічний аналіз і визначення ударної в'язкості.

3. В результаті проведених експериментальних досліджень вивчені технології формування полімерного композитного ламінату з епоксидною матрицею та вуглеволокнистим наповнювачем. Дослідження щільності ламінату показали, що ця властивість матеріалу залежить від технологічних параметрів формування: зовнішнього тиску; тиску вакуумування; тиску вакуумування спільно з надлишковим тиском в автоклаві. Найвища щільність ламінату оримується при збільшенні тиску вакуумування та наявності тиску в автоклаві. Найгірші показники за щільністю отримані при відсутності зовнішнього тиску при формуванні ламінатів. Подібний характер впливу умов формування на ударну в'язкість досліджуваних ламінатів. Найкращі показники мають ламінами, отримані при застосуванні тиску під час вакуумування та наявності тиску в автоклаві.

4. Металографічний аналіз показав, що за відсутності зовнішнього тиску при формуванні ламінату наявна значна кількість газових порожнин. Найвища якість ламінату оримується при збільшенні тиску вакуумування та наявності тиску в автоклаві. Показано, що зменшення кількості матричного матеріалу (епоксидного сполучного) за рахунок витіснення його при вакуумуванні в жертвний шар сприяє ущільненню матеріалу і зменшення пористості. Результати мікроструктурних досліджень підтверджують дані проведених фізико-механічних випробувань.

5. Підсумковий кошторис витрат на НДР являє собою суму результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання та становить близько 5 897,38 гривень.

6. Проведений аналіз потенційної небезпеки і шкідливих факторів на виробництві. Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень та технологічних матеріалів застосовуваних для утворення багатокомпонентних функціональних матеріалів. Зазначені вимоги до розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва. Подані вимоги, що висуваються до кваліфікації персоналу і до застосування засобів захисту працівників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рябцев, Г. Л. Полімерні пакувальні матеріали (стан та шляхи вдосконалення) / Г. Л. Рябцев, І. О. Мікульонок // Упаковка. — 2006. — № 1. — С. 42—47.
2. Світовий та європейський ринок пластмас // *Plastics Review (Ukraine Edition)*. — 2005. — С. 4—8.
3. Програма поводження з твердими побутовими відходами : затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 04.03.2004 р., № 265 // Урядовий кур'єр. — 2004. — 24 берез. (№ 55). — С. 8—9.
4. Рябцев, Г. Л. Ринок полімерів: чому не виправдовуються прогнози / Г. Л. Рябцев, С. В. Сапегін, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок // Упаковка. — 2007. — № 1. — С. 8—10.
5. Запропоновано нові пріоритети управління відходами // Євробюлетень : інформ. видання Представництва Європ. комісії в Україні. — 2008. — № 11. — С. 21.
6. Пахаренко, В. А. Переробка полімерних композиційних матеріалів : учеб. пособие [для вузов] / В. А. Пахаренко, Р. А. Яковлева, А. В. Пахаренко. — К. : Воля, 2006. — 552 с. 241.
7. Суберляк, О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. — Львів : Растр-7, 2007. — 376 с.
8. Rhein, L.D. Surfactants in personal care products and decorative cosmetics // E.3. 2006: Publisher CRC Press. P. 480.
9. Мікульонок, І. О. Переробка вторинної сировини екструзією : монографія / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. — К. : ІВЦ «Видавництво „Політехніка”», 2006. — 184 с.
10. Pankaj Saini, Ashish Goel, Dushyant Kumar Design and analysis of composite leaf spring for light vehicles // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013.

11. Dadasaheb Gaikwad, Rakhi Sonkusare, Sameer Wagh Composite Leaf Spring for Light Weight Vehicle- Materials, Manufacturing Process, Advantages & Limitations // International Journal of Engineering Science and Technology. 2012.

12. Automotive suspension systems benefit from composites // ReinforcedPlastics. 2003. №47(11). С. 18-21.

13. Мікульонок, І. О. Основні методи і шляхи використання полімервмісних відходів / І. О. Мікульонок, Г. Л. Рябцев // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2001. — № 2. — С. 135—147.

14. Мікульонок, І. О. Полімерні композитні матеріали й вироби з них. Одержання, перероблення та властивості : термінол. слов. / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. — К. : ІВЦ «Видавництво „Політехніка”», 2005. — 179 с.

15. Fiber-reinforced plastic market to cross 2.6 billion by 2007 // Polym. News. — 2002. — Vol. 27, N 11. — P. 388—389.

16. Мікульонок, І. О. Термопластичні композитні матеріали та їх наповнювачі. Класифікація та загальні відомості / І. О. Мікульонок // Хімічна промисловість України. — 2005. — № 5. — С. 30—39.

17. Yudasaka, M. Mechanism of the effect of NiCo, Ni and Co catalysts on the yield of single-wall carbon nanotubes formed by pulsed Nd:YAG laser ablation / M. Yudasaka et al. // Journal of Physical Chemistry. — 1999. — Vol. 103. — P. 6224 – 6229.

18. Haiyan, Li , Zhisheng Zhang , Xiaofei Ma. (2007) Synthesis and characterization of epoxy resin modified with nano-SiO₂ and γ -glycidoxypropyltrimethoxy silane. ScienceDirect., 201, pp. 5269-5272.

19. Maser, W.K. Production of high-density single-walled nanotube material by a simple laser-ablation method / W.K. Maser et al. // Chemical Physics Letters. — 1998. — Vol. 292. — P. 587 – 593.

20. Мікульонок І. О. Обладнання для механічного руйнування полімерта еластомервмісних відходів / І. О. Мікульонок // Вісник КНУТД. Напрямок «Хімія та хімічні технології». — 2003. — № 1. — С. 131—134.

21. Effect of CaCO₃/LiCO₃ on the HCl generation of PVC during combustion / S. Zhu, Y. Zhang, Y. Zhang, C. Zhang // Polym. Test. — 2003. — Vol. 22, N 5. — P. 539—543.
22. Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues / S. Th. Georgopoulos, P. A. Tarantili, E. Avgerinos [et al.] // Polym. Degrad. and Stab. — 2005. — Vol. 90, N 2. — P. 303—312.
23. Забашта, В. Ф. Полімерні композиційні матеріали конструкційного призначення / В. Ф. Забашта, Г. О. Кривов, В. Г. Бондар. — К. : Техніка, 1993. — 160 с.
24. Гальчинський, А.С. та інші Основи економічних знань: Навчальний посібник. // – К.: Вища школа, 1999. – 544 с.
25. ДСН 3.3.6.042-2013. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
26. ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять».
27. ДСТУ 3042-2005 «Устаткування технологічне для переробки полімерних матеріалів».
28. ДСТУ 3831-98 «Охорона навколишнього природного середовища».