

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2021 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження впливу технології виготовлення, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерної, композитної пластинчастої пружини»

Студент МТ.м-01

Верещага Б.А.

Керівник

Дегула А.І.

Консультант
з економічної частини

Берладір Х. В.

Консультант
з охорони праці

Говорун Т. П.

Нормоконтроль

Дегула А. І.

Суми
2021

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
«__» _____ 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Верещазі Богдану Анатолійовичу

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження впливу технології виготовлення, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерної, композитної пластинчастої пружини», затверджена наказом по університету від «24» листопада 2021 р. № 0917-VI

2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

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

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Верещага Богдан Анатолійович. Дослідження впливу технології виготовлення, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерної, композитної пластинчастої пружини.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр за спеціальністю 132.00.02 – Прикладне матеріалознавство. – Сумський державний університет, 2021р.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню впливу технології виготовлення, фізико-механічних властивостей, складу ламінату, термічної обробки на фізико-механічні властивості полімерної, композитної пластинчастої пружини.

За результатами досліджень системно досліджено існуючі технології виготовлення, фізико-механічні властивості, склад ламінату, та фізико-механічні властивості полімерної, композитної пластинчастої пружини.

Ключові слова: ПКМ, ВУГЛЕЦЕВЕ ВОЛОКНА, ВУГЛЕТКАНИНА, ЕПОКСИДНА СМОЛА, МІЦНІСТЬ, КОМПОЗИТНА ПЛАСТИНЧАСТА ПРУЖИНА.

SUMMARY

Vereshchaga Bogdan Anatoliyovych. Investigation of the influence of manufacturing technology, laminate composition, heat treatment on the physical and mechanical properties of a polymer, composite leaf spring.

Qualification work for a master's degree in specialty 132.00.02 - Applied Materials Science. - Sumy State University, 2021.

Qualification work is devoted to the study of the influence of manufacturing technology, physical and mechanical properties, laminate composition, heat treatment on the physical and mechanical properties of polymer, composite plate spring.

According to the research results, the existing manufacturing technologies, physical and mechanical properties, laminate composition, and physical and mechanical properties of polymer, composite plate spring were systematically studied.

Key words: PKM, CARBON FIBERS, CARBON FABRIC, EPOXY RESIN, STRENGTH, COMPOSITE PLASTIC SPRING.

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ПКМ – полімерні композиційні матеріали;

ВВ – вуглецеві волокна;

HV – твердість за Віккерсом;

τ год. – час;

H_{μ} , ГПа – мікротвердість;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

$\sigma_{\text{в}}$, МПа – поріг міцності;

$\sigma_{\text{т}}$, МПа – поріг текучості;

ψ , % – відносне подовження;

δ , % – відносне звуження;

СУММДУ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає в себе 87 сторінок (1 книга), у тому числі 14 таблиць, 18 рисунків, бібліографії із 35 літературних джерел.

Мета роботи – створення полімерного композитного матеріалу – вуглепластика з заданими фізико-механічними властивостями для виготовлення полімерної, композитної пластинчастої пружини.

Завдання дослідження – провести аналіз сучасних технологій отримання вуглепластиків, дослідження впливу складу вуглепластика на фізико-механічні властивості полімерної, композитної пластинчастої пружини. Проаналізувати вплив термічної обробки на властивості деталі. На основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації.

Об'єкт дослідження – полімерний композитний матеріал вуглепластик.

Предмет дослідження – фізико-механічні властивості, структура полімерного композитного матеріалу - вуглепластика.

Методи досліджень – визначення межі міцності при згині зразків, визначення максимального прогину зразків, мікроструктурний аналіз; при вирішенні поставленого завдання використовувалися стандартні методи дослідження.

Наукова новизна: встановлено вплив зміни складу вуглепластика та його термообробки на фізико-механічні властивості.

Ключові слова: ПКМ, ВУГЛЕЦЕВЕ ВОЛОКНА, ВУГЛЕТКАНИНА, ЕПОКСИДНА СМОЛА, МІЦНІСТЬ, КОМПОЗИТНА ПЛАСТИНЧАСТА ПРУЖИНА.

ЗМІСТ	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
Реферат.....	7
Вступ.....	10
РОЗДІЛ 1.....	12
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Пружини. Загальні відомості.....	12
1.2 Аналіз сфер застосування композитних пружин.....	14
1.3 ПКМ, що використовуються для виготовлення пластинчастих пружин..	18
1.4 Застосування склопластиків.....	19
1.5 Вуглепластики.....	21
1.6 Органічні волокна.....	23
1.7 Виробництво склопластику та вуглепластику.....	26
1.8 Властивості полімерної матриці.....	27
1.9 Механічні та фізичні властивості матеріалу для виготовлення пластинчастих пружин.....	29 36
1.10 Об'єднання зміцнювальних елементів.....	37
Висновки до розділу 1.....	39
РОЗДІЛ 2.....	39
МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ	39
2.1 Матеріали дослідження.....	39
2.1.1 Епоксидна смола LH 289.....	42
2.1.2 Склотканина.....	44
2.2 Метод механічних випробувань композиційних матеріалів на вигин.....	52 52
2.3 Визначення щільності зразків.....	47
2.4 Макро- і мікроаналіз пластмас.....	56
	57

	9
Висновки до розділу 2.....	57
РОЗДІЛ 3.....	57
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	62
3.1 Вибір технології та виготовлення зразків ламінату.....	63
3.2 Термічна обробка зразків.....	64
3.3 Визначення щільності зразків.....	65
3.4 Випробування на вигин.....	66
3.5 Мікроаналіз зразка вуглепластику.....	68
Висновки до розділу 3.....	68
РОЗДІЛ 4.....	68
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	69
4.1 Загальні теоретичні відомості.....	72
4.2 Методика розрахунку витрат	73
Висновки до розділу 4.....	
РОЗДІЛ 5.....	73
ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА	73
ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	73
5.1 Заходи проти отруєння.....	74
5.2 Заходи проти вдихання пилу і шкідливих газів.....	57
5.3 Заходи проти пошкодження очей.....	76
5.4 Правила зберігання отруйних речовин.....	78
5.5 Порядок забезпечення робітників засобами захисту.....	79
5.6 Надання першої допомоги при нещасних випадках.....	80
5.7 Правила громадської безпеки.....	81
5.8 Протипожежні заходи.....	83
5.9 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	84
Висновки до розділу 5.....	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

ВСТУП

Серед композитних пружних елементів найбільшого поширення на сьогоднішній день отримали композитні ресори. Відомо, що на сьогоднішній день склопластикові ресори встановлюються серійно як на легкові, так і комерційні автомобілі. При створенні ресори, виконаної із застосуванням полімерних композиційних матеріалів перед розробниками мають бути сформульовані вимоги, яким має задовольняти така ресора [1].

Ресора з ПКМ має бути: легкою, досить міцною та довговічною; мати низьку собівартість виготовлення; корозійностійкою до впливу зовнішніх атмосферних факторів. До того ж, ресора, повинна відповідати критерію рівномірності, тобто, напруги в такій ресорі повинні бути розподілені поступово за її довжиною [2].

Отже, для того щоб ресора, що розробляється, задовольняла поставленим вимогам, був розроблений новий матеріал. Цей матеріал являє собою композит, в якому в якості армуючого матеріалу використовувалися безперервні скляні волокна, а як матриця була обрана епоксидна смола.

Актуальність теми – створення полімерних композитних ламінатів з заданими фізико-механічними властивостями є актуальним сучасним завданням при проектуванні і виробництві ресор, пружин і т.д.

Мета роботи – створення полімерного композитного матеріалу – вуглепластика з заданими фізико-механічними властивостями для виготовлення полімерної, композитної пластинчастої пружини.

Завдання дослідження – провести літературний аналіз матеріалів, що застосовуються для виготовлення пружини, та сучасних технологій отримання вуглепластика. Дослідити вплив зміни складу вуглепластика на фізико-механічні властивості деталі. Проаналізувати вплив термічної обробки на властивості ламінату. На основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації.

Об'єкт дослідження – полімерний композитний матеріал вуглепластик.

Предмет дослідження – фізико-механічні властивості, структура полімерного композитного матеріалу - вуглепластика.

Методи досліджень – визначення щільності, міцності при розриві, міцності при стисканні, мікроструктурний аналіз; при вирішенні поставленого завдання використовувалися стандартні методи дослідження.

Обладнання: обладнання для вакуумної формовки матеріалів, розривна машина, аналітичні ваги, металографічний мікроскоп.

Наукова новизна: встановлено вплив зміни складу вуглепластика та його термообробки на фізико-механічні властивості.

Практичне значення отриманих результатів. Досліджено вплив зміни складу вуглепластика на його фізико-механічні властивості, що дозволяє розробляти і виробляти матеріали із заданими 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 87 сторінок (1 книга), у тому числі 14 таблиць, 18 рисунків, бібліографії із 35 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Пружини. Загальні відомості

Пружина – пружний елемент машин та різних механізмів, що накопичує та віддає, або поглинає механічну енергію. Історично першими пружними елементами, що застосовуються людиною, вважаються різні побутові пінцети і прищіпки-затискачі, луки і вудки. З погляду класичної фізики, пружину можна розглядати як пристрій, що накопичує потенційну енергію шляхом зміни відстані між атомами еластичного матеріалу [1].

Теоретично законом Гука встановлено, що розтягнення еластичного стрижня пропорційно доданій щодо нього силі, спрямованій вздовж його осі. Насправді цей закон виконується не точно, а лише за малих розтягувань і стисків. Якщо напруга перевищує певну межу (межа плинності) у матеріалі настають незворотні порушення його структури, і деталь руйнується або отримує незворотну деформацію. Слід зазначити, що багато реальних матеріалів не має чітко позначеної межі плинності, і закон Гука до них не можна застосовувати. У такому випадку для матеріалу встановлюється умовна межа плинності [2].

Отже, виті металеві пружини перетворюють деформацію стиснення-розтягування пружини в деформацію кручення матеріалу з якого вона виготовлена, і навпаки, деформацію кручення пружини в деформацію розтягування та вигину металу, багаторазово підсилюючи коефіцієнт пружності за рахунок збільшення довжини дроту, що протистоїть зовнішньому впливу. Хвильові пружини стиснення подібні до безлічі послідовно-паралельно з'єднаних ресор, що працюють на вигин [1].

По виду навантаження пружини поділяють на:

- пружини стиснення;
- пружини розтягування;

- пружини крутіння;
- пружини вигину.

Пружини розтягування - розраховані на збільшення довжини під навантаженням. У ненавантаженому стані зазвичай мають витки, що зімкнулися. На кінцях для закріплення пружини на конструкції є гачки або кільця [3].

Пружини стиснення розраховані на зменшення довжини під навантаженням. Витки таких пружин без навантаження не торкаються один одного. Кінцеві витки підтискують до сусідніх та торці пружини шліфують. Довгі пружини стиснення, щоб уникнути втрати стійкості, ставлять на оправки або верстати, або використовують менш габаритні хвильові пружини.

Отже, у пружин розтягування-стиснення під дією постійної за величиною сили витки сприймають напруження двох видів: вигину та кручення.

Пружина вигину - застосовується для передачі пружних деформацій при незначних змінах геометричних розмірів пружини або пакета пружин (ресори, тарілчасті пружини). Вони мають різноманітну просту форму (торсіони, стопорні кільця та шайби, пружні затискачі, елементи реле тощо) [2].

Таким чином, пружини кручення можуть бути двох видів:

- торсіонні - стрижень, що працює на кручення (має більшу довжину, ніж кручена пружина)
- виті пружини, що працюють на кручення (як у прищіпках для білизни, в мишоловках і в канцелярських дироколах).

У приладобудуванні відома пружина Бурдона - трубчаста пружина в манометрах для вимірювання тиску, що грає роль чутливого елемента [1].

За конструкцією пружини поділяють на:

- кручені циліндричні (гвинтові);
- кручені конічні (амортизатори);
- спіральні (у балансі годинника);
- пласкі;
- пластинчасті (наприклад, ресори);

- тарілчасті;
- хвильові
- торсійні;
- рідинні;
- газові.

Основні параметри для кручених циліндричних і конічних пружин:

- кількість витків;
- крок витка;
- діаметр дроту;
- гранично сприймане навантаження;
- лінійна залежність між деформацією (осадою) пружини та навантаженням, доданим до неї;

Основні параметри для хвильових пружин:

- перетин стрічки;
- кількість витків;
- кількість хвиль на виток;
- коефіцієнт жорсткості;
- граничне навантаження;
- втомні характеристики матеріалів.

1.2 Аналіз сфер застосування композитних пружин

Отже, серед композитних пружних елементів найбільшого поширення на сьогоднішній день отримали композитні ресори [4]. Перша така ресора, встановлена в задній підвісці легкового автомобіля Chevrolet «Corvette» у 1981 році, дозволила знизити безпружинну масу на 15 кг. Ця ресора зображена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Ресора Chevrolet Corvette 1981 року.

Відомо, що на сьогоднішній день склопластикові ресори встановлюються серійно як на легкові, так і комерційні автомобілі, серед них автомобілі марок: Chevrolet, Volvo, Mercedes-Benz. Крім того, у 2014 році на виставці комерційних автомобілів – Міжнародному автомобільному салоні в Німеччині [3], була продемонстрована композитна ресора, яка була розроблена для 40-тонного вантажного автомобіля. Volvo XC90 (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Підвіска зі склопластиковою ресорою автомобіля Volvo XC90.

Як наслідок, у 1960-ті роки почали проводитися різні роботи [1, 2, 3] по вивченню якостей і запровадження ресор з ПКМ в систему колісних машин. Перший патент на такі пружні елементи з'явився 1969 року у США [4]. При створенні ресори, виконаної із застосуванням полімерних композиційних матеріалів перед розробниками були сформульовані вимоги, яким має задовольняти така ресора.

Отже, ресора з ПКМ мала бути:

- легкою, досить міцною та довговічною (при цьому ресора має мати високу потенційну енергію деформації);

- мати низьку собівартість виготовлення;

- корозійностійкою до впливу зовнішніх атмосферних факторів.

До того ж, ресора, що розробляється, повинна відповідати критерію рівномірності, тобто, напруги в такій ресорі повинні бути розподілені поступово за її довжиною.

Отже, для того щоб ресора, що розробляється, задовольняла поставленим вимогам, був розроблений новий матеріал Liteflex. Цей матеріал являє собою композит, в якому в якості армуючого матеріалу використовувалися безперервні скляні волокна, а як матриця була обрана епоксидна смола [1].

Таким чином, при розробці даного матеріалу були проаналізовані різні поєднання сполучних складів та матеріалів армуючих волокон, серед них як арматури були розглянуті скляні, вуглецеві, арамідні, борні та інші види волокон, а як матриця – поліефірні смоли, фенолформальдегідні смоли, різні епоксидні смоли, що твердіють при дії високих температур.

У 1981 році ресора, зображена на рис. 1.1, була виготовлена з цього матеріалу і встановлена на задню підвіску автомобіля Chevrolet Corvette.

Отже, завдяки цьому металева ресора, яка використовувалася раніше і складалася з пакета металевих пластин з десяти листів, була замінена на однолистову композитну ресору. Таке рішення дозволило суттєво знизити масу з 18,6 кг до 3,6 кг. Така ресора використовується на сучасних автомобілях Chevrolet Corvette C7 і досі. На рисунку 1.3 зображено загальний вигляд склопластикової ресори автомобіля Volvo 960.



Рисунок 1.3 – Склопластикова ресора автомобіля Volvo 960

Окрім перелічених вище виробників автомобілів ресора з ПКМ застосовувалася або застосовується в автомобілях інших виробників. З аналізу досліджень, проведених у цій галузі дослідниками: Панкай Сайні, Ашиш Гоель, Душант Кумар, Дабасахед Гайквард, Рахі Санкусар, Самер Вах [5, 6, 7] у різних країнах (США, Німеччина, Англія, Франція, Японія, СРСР та ін) можна виділити ряд переваг пружних елементів, виконаних із застосуванням ПКМ, перед рештою [3]:

- значне зниження маси на 50...80 %;
- виробництво композитного пружного елемента істотно дешевше при масовому виробництві;
- висока корозійна стійкість до впливу атмосферних факторів;
- підвищення комфорту під час руху і зниження шуму через відсутність міжлистового тертя, у зв'язку з цим також підвищується безпека;
- підвищення довговічності в 3-5 разів за рахунок повільної руйнації пружного елемента через поступове руйнування армуючих волокон (а миттєве руйнування, що відбувається з металевою ресорою) або при руйнуванні сполучного армуючого волокна такий що зберігає свою працездатність [4];
- пружний композитний елемент має велику міцність по відношенню до його щільності.

До недоліків пружних елементів, виконаних з ПКМ, можна віднести наступне:

- висока вартість при штучному виробництві;
- можливість виходу з ладу через розшарування матеріалу (у разі ресор) та через неправильну технологію виготовлення;
- нестабільність механічних властивостей при виготовленні, через неоднорідності матеріалу, а також при використанні примітивних технологій виготовлення.

1.3 ПКМ, що використовуються для виготовлення пластинчастих пружин

Таким чином, в якості матеріалу для виготовлення пластинчастих пружин використовують склопластик та вуглепластик [5].

Склопластик – вид композиційних матеріалів – пластичні матеріали, що складаються зі скловолокнистого наповнювача (скляне волокно, волокно з кварцу та ін.) і сполучної речовини (терморективні та термопластичні полімери).

Вуглепластик – полімерний композитний матеріал з епоксидною матрицею та наповнювачем у вигляді тканого вуглеволокна та ровінгу.

Склопластик – матеріал з малою питомою вагою та заданими властивостями, що має широкий спектр застосування. Склопластики мають дуже низьку теплопровідність (приблизно, як у дерева), міцність як у сталі, біологічну стійкість, і атмосферостійкість. Схильний до вологонасичення і водонасичення, стирання [6].

Отже, склопластики поступаються сталі за абсолютними значеннями межі міцності, але в 3,5 рази легше її і перевершують сталь за питомою міцністю. При виготовленні рівномісних конструкцій зі сталі та склопластику склопластикова конструкція буде у кілька разів легшою. Коефіцієнт лінійного розширення склокомпозиту близький до скла (становить $11-13 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$), що робить його найбільш придатним матеріалом для світлопроникних конструкцій. Щільність склопластику, отриманого шляхом пресування або намотування, становить 1,8-2,0 г/см³.

Донедавна склопластики використовувалися переважно в літакобудуванні, кораблебудуванні та космічній техніці. Широке застосування склопластиків стримувалося, в основному, через відсутність промислової технології, яка дозволила б налагодити масовий випуск профілів складної конфігурації з необхідною точністю розмірів [5]. Це завдання успішно вирішено із створенням пултрузійної технології. Існує досить багато методів, що дозволяють масово

виробляти склопластикові вироби різної конфігурації, необов'язково профілі - наприклад, RTM, вакуумне формування.

Таким чином, склопластики є одним із найдоступніших і недорогих композиційних матеріалів. Основні витрати при виробництві виробів зі склопластику припадають на технологічне обладнання та робочу силу, витрати на яку великі за рахунок трудомісткості та великих тимчасових витрат на виробництво [7].

Відповідно, на даний момент вироби зі склопластику програють за ціною виробами з металу через трудомісткий і тривалий процес виклеювання склопластикових деталей, що викликає великі труднощі при масовому виробництві. Найбільш вигідне використання склопластику при дрібносерійному виробництві. Великосерійне виробництво стає вигіднішим при використанні вакуумного формування. Також вигідним може бути і контактне формування, якщо ціна робочої сили невелика.

Отже, склопластик фарбується, декорується, покривається плівками ПВХ і натурального шпону, чудово піддається всім видам механічної обробки (свердлиться, пилиться і т. п. - проте при цьому утворюється вкрай канцерогенний пил, що легко в'їдається в шкіру, що вимагає ретельного захисту задіяного персоналу). Склопластик має задовільну атмосферостійкість за умови наявності захисного покриття, проте погано переносить абразивний знос (наприклад, від піску, що летить з дороги), досить крихкий і з роками може деформуватися [8].

1.4 Застосування склопластиків

Відомо, що зі склопластиків виготовляють такі вироби: дверні, віконні та інші профілі, басейни, купелі, водні атракціони, водні велосипеди, човни, рибальські вудилища, таксофонні кабінки, кузовні панелі та обважування для вантажних та легкових автомобілів, корпуси планерів та легкомоторних літаків, діелектричні сходи та штанги для робіт у небезпечній близькості від

конструкцій під напругою. Дуже зручно, що склопластик можна виробляти будь-якої форми, кольору та товщини [7].

Склопластик - один з найбільш широко застосовуваних видів композиційних матеріалів. Зі склопластиків зокрема виготовляють труби, що витримують великий гідравлічний тиск і корозії, що не піддаються, корпуси ракетних двигунів твердого палива (РДТТ), радіопрозорі куполи і обтічники різних антен, човни, корпуси маломірних суден і багато іншого. У початку широкого застосування конструкційних склопластиків було ініційовано здійсненням програми «Поларис» у другій половині 1950-х років — програми створення першої твердопаливної ракети ВМФ США для підводного старту.

Таким чином труби і трубчасті конструкції отримують намотуванням просоченого сполучним (смола + затверджувач + модифікуючі добавки) скловолокна, на оправку, що обертається (найчастіше сталеву) з подальшим затвердінням і розпресуванням (зняттям намотаної труби зі сталеві оправки). Якщо діаметр труби великий, то технічно та економічно доцільно використовувати склопластикові оправлення [9].

Отже, стійкість до дії хімікатів та експлуатаційні показники склопластику продемонстровані за минулі 60 років успішним використанням різноманітних виробів із композитів у сотнях різних хімічних середовищ. Практичний досвід був доповнений систематичною оцінкою сполук, що зазнали впливу великої кількості хімічних середовищ у лабораторних умовах.

Склопластикові корпуси моделей суден, літаків, машин тощо можна вручну виготовляти з епоксидного клею та склотканини в умовах гуртка або дитячої майстерні, що досить часто практикується в будинках дитячої творчості.

Саме листовий склопластик заводського виготовлення відомий як склотекстоліт, він широко використовується в електротехніці як основа для друкованих плат [8].

Склопластики спеціальних сортів застосовуються у складі композитної броні танків та іншої військової техніки.

1.5 Вуглепластики

Отже, вуглепластик (карбон, карбонопластики, від англ. Carbon – вуглець) – полімерні композитні матеріали з переплетених ниток вуглецевого волокна, розташованих у матриці з полімерних (наприклад, епоксидних) смол. Щільність - від 1450 кг/м³ до 2000 кг/м³.

Ці матеріали відрізняються високою міцністю, жорсткістю і малою масою, часто міцніше за сталі, але набагато легше [10]. За питомими характеристиками перевершують високоміцну сталь, наприклад, леговану сталь конструкційну 25ХГСА.

Таким чином, при економії коштів та відсутності необхідності отримання максимальних характеристик, цей матеріал застосовують як посилюючий доповнення в основному матеріалі конструкції.

Слід зазначити, що основна складова частина вуглепластику – це нитки вуглецевого волокна, що складається в основному з атомів вуглецю. Такі нитки дуже тонкі (приблизно 0,005-0,010 мм у діаметрі), зламати їх дуже просто, а ось розірвати досить важко. З цих ниток сплітаються тканини. Вони можуть мати різний малюнок плетіння (ялинка, рогожа та ін.).

Відомо, що для надання ще більшої міцності тканині, нитки вуглецю кладуть шарами, щоразу змінюючи кут напряду плетіння. Шари скріплюються за допомогою епоксидних смол [11].

Отже, нитки вуглецю зазвичай отримують термічною обробкою хімічних чи природних органічних волокон, коли у матеріалі волокна залишаються головним чином у вигляді атомів вуглецю.

Термічна обробка складається з кількох етапів:

1. Першим з них є окислення вихідного (поліакрилонітрильного, віскозного) волокна на повітрі при температурі 250 °С протягом 24 годин. Внаслідок окислення утворюються сходові структури.

2. Після окислення слідує стадія карбонізації – нагрівання волокна в середовищі азоту чи аргону при температурах від 800 до 1500 °С. Внаслідок карбонізації відбувається утворення графітоподібних структур.

3. Процес термічної обробки закінчується графітизацією при температурі 1600-3000 °С, яка також відбувається в інертному середовищі. В результаті графітизації кількість вуглецю у волокні доводиться до 99 %.

Крім звичайних органічних волокон (найчастіше віскозних та поліакрилонітрильних), для отримання ниток вуглецю можуть бути використані спеціальні волокна з фенольних смол, лігніну, кам'яновугільних та нафтових пеків. Крім того, деталі з карбону перевершують по міцності деталі зі скловолокна, але при цьому обходяться значно дорожче [12].

Отже, дорожня карбону викликана, насамперед, більш складною технологією виробництва та більшою вартістю похідних матеріалів. Наприклад, для проклейки шарів використовуються більш дорогі та якісні смоли, ніж при роботі зі склониткою, а для виробництва деталей потрібне дорожче обладнання (наприклад, таке як автоклав).

Таким чином, недоліки вуглепластиків полягають у тому, що при їх виробництві необхідно дуже суворо витримувати технологічні параметри, у разі порушення яких, міцнісні властивості виробів різко знижуються. Необхідні складні та дорогі заходи контролю якості виробів (у тому числі ультразвукова дефектоскопія, рентгенівська, оптична голографія і навіть акустичний контроль) [13].

Проте, іншим серйозним недоліком вуглепластиків є їхня низька стійкість по відношенню до ударних навантажень. Ушкодження конструкцій при ударах сторонніми предметами (навіть при падінні інструменту на неї) у вигляді внутрішніх тріщин та розшарування можуть бути невидимі оку, але призводять до зниження міцності; руйнування пошкодженої ударами конструкції може статися вже за відносної деформації, що дорівнює 0,5 %.

1.6 Органічні волокна

Органічні арамідні та поліетиленові волокна в основному використовуються для виробництва полімерних композиційних матеріалів [14].

Арамідні волокна відносяться до класу ароматичних поліамідних матеріалів:

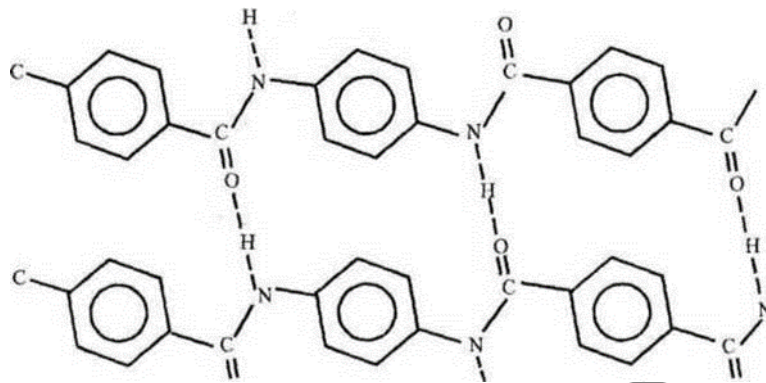


Рисунок 1.4 – Будова арамідних волокон

Вперше вони з'явилися 1971 р. під торговою маркою «Кевлар» (фірма «Дюпон»). Волокна «Кевлар-29» випускається у вигляді технічних ниток різного призначення і використовуються переважно при виробництві кабелів і канатів, для виготовлення корду автомобільних шин.

Волокна «Кевлар-49» виробляють у вигляді пряжі, ровінгу та тканин і використовують для виготовлення підлог, дверей, переборів літаків та вертольотів. Ці матеріали знаходять застосування при виготовленні корпусів ракетних двигунів, захисних касок, куленепробивних жилетів, човнів, хокейних ключок та іншого спортивного спорядження. При виробництві полімерних композиційних матеріалів як матричний матеріал частіше використовуються епоксидні або поліефірні сполучні [13].

Перевагами цих волокон є високі механічні властивості у широкому діапазоні температур і хороша хімічна стійкість.

Ароматичні кільця сприяють переважної орієнтації макромолекул поліаміду вздовж однієї осі, що збігається з осями волокон «Кевлар». У поперечному напрямку взаємодія здійснюється за допомогою водневих зв'язків, а в поздовжньому напрямку реалізуються ковалентні зв'язки макромолекули. Таким чином, волокна мають високу анізотропію механічних властивостей: високою поздовжньою і низькою поперечною міцністю [14].

Хімічний склад та структура арамідних волокон визначають їх унікальні властивості. Вони мають найвищі серед органічних волокон значення міцнісних властивостей і модуля пружності: при щільності волокон ~ 1440 кг/м межа міцності при розтягуванні становить 2700-3300 МПа, максимальний модуль пружності 96,5 ДПа (Кевлар-29) і ~ 128 ДПа (Кевлар-49).

Порівняно зі скляними та вуглецевими волокнами арамідні волокна є більш пластичними. Їх подовження при розтягуванні становить $\sim 2-4\%$. Недоліком арамідних волокон є сорбування вологи, внаслідок чого властивості знижуються на 15-20% [15].

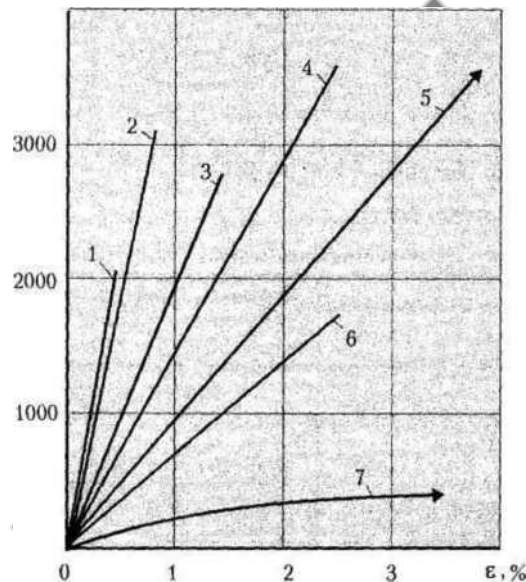


Рисунок 1.5 – Графік залежності «напруга, що розтягує - деформація» для різних армуючих волокон: 1 - високомодульна пряжа з вуглецевих волокон (E, 414 ДПа); 2 - бороволокно (E, 379 ГПа), 3 - високоміцна пряжа з вуглецевих волокон (E, 262 ГПа); 4 - ровінг з волокна «Кевлар-49» (E, 131 ГПа), 5 - ровінг зі скловолокна (E, 82,7 ДПа), 6 - ровінг зі скловолокна (E, 68,9 ДПа), 7 - волокно «Номекс».

Отримання арамідних ниток здійснюють «сухо-вологим» способом. Розчин очищеного волокноутворюючого полімеру в сильній кислоті при 50-100 °С екструдуються через фільтру прядильної головки і потрапляє в повітряний

прошарок товщиною 5-19 мм. Діаметр одиночного волокна становить ~ 12 мкм. Далі волокна проходять через осаджувальну ванну з холодною водою (температура нижче 4 °С). Інша органічна волокна, що використовуються у виробництві ПКМ, є поліетиленові, перевагою яких є низький рівень щільності (970 кг/м³).

При цьому волокна типу «Спектра» (США), «Дайнема» (Нідерланди), «Текмілон» (Японія) мають пружнопластичні властивості на рівні арамідних волокон [16].

Співвідношення між властивостями різних типів армуючих волокон, що застосовуються для виробництва композиційних матеріалів, показані на рис. 1.5 і порівняно з металевими волокнами – у таблиці 1.1.

Міцні властивості волокон «Кевлар-49» у повздовжньому напрямку унікальні навіть у порівнянні з неорганічними армуючими волокнами.

Таблиця 1.1

Властивості різних армуючих волокон

Марка волокна	Міцність, ГПа	Модуль пружності, ГПа	Щільність, г/см ³	Діаметр волокна, мкм
Сталь	2-3	200	7,8	3-25
Скло	3,5-4,6	72-110	2,5-2,9	80
Ароматичний	3,8-5,5	120-185	1,43-1,47	10-12
Полібензтіазол	3,0-3,3	335	1,5	—
Полиетилен	2-3,5(7)	50-125(200)	<1	30-35
Вуглецеве ви- сокоміцне	3,6-7,2	300	1,8	5-10
Вуглецеве ви- сокомодульне	2,5-3,25	500-800	1,8-2,2	5-10
Оксид алюмінію	2,2-2,4	385420	3,95	10-25
Карбид кремнія	3,1-4,0	410-450	2,7-3,4	100-140
Бор	3,45	400	2,6	100-200

Таким чином, властивості високоміцних і високомодульних вуглецевих і деяких полімерних волокон перевершують характеристики сталевих. Для вуглецевих і органічних полімерних волокон характерні низька щільність, висока питома міцність при розтягуванні і високий опір динамічним навантаженням [15].

1.7 Виробництво склопластику та вуглепластику

Вакуумна інфузія. На підготовлену матрицю викладається вуглецева тканина (без просочення), далі викладаються технологічні шари для рівномірного поширення епоксидної смоли. Під технологічний пакет подається розрідження. Після цього відкривається клапан подачі епоксидної смоли і вона під дією вакууму заповнює порожнечі і просочує вуглецеву тканину [18].

Вакуумне формування. Це зміна форми плоских заготовок (аркушів або плівок) з термопластичного полімерного матеріалу при підвищених температурах та вплив вакууму в об'ємні формовані вироби. За рахунок відносно невисокої вартості технологічного оснащення дана технологія виявляється вкрай привабливою при виготовленні партій виробів від 10 до 5000 шт., а іноді і до 30.000 шт.

RTM (ResinTransferMolding). Сухий армуючий матеріал укладається між двома частинами герметично закритої жорсткої оснастки. Епоксидна смола низької в'язкості подається під тиском в прес-форму, витісняючи повітря у бік дренажних каналів до тих пір, поки форма не буде повністю заповнена. Прес-форми для цієї технології, як правило, виготовляються з металу з низьким КЛТР. Дана технологія добре підходить для дрібносерійного та серій середніх обсягів від 500 до 2 0000 виробів на рік [15].

При виробництві виробів зі склопластику застосовують три різновиди RTM- методу [19]:

1. RTM – стандарт. У цьому методі інжектірованіє 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.

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

3. RTM – light. У цьому методі інжектированіє 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 перевага того чи іншого методу RTM за 10-ти бальною шкалою (10 - найкращий результат, 1 найгірший) наступним чином (табл. 1.2):

Таблиця 1.2

Шкала оцінювання переваг того чи іншого методу RTM [19]

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

1.8 Властивості полімерної матриці

Полімерну матрицю для композиційних матеріалів обирають з огляду на умови експлуатації виробів. Від матеріалу матриці значно залежать властивості композиту: міцність, тепло- і вологостійкість, стійкість до дії агресивних середовищ, методу отримання виробу.

Полімери як матриця використовують або в чистому вигляді (порошки, гранули, листи, плівки), або у вигляді сполучних [18].

Сполучне являє собою дво- або багатокомпонентну систему із синтетичного полімеру та затверджувачів, ініціаторів або каталізаторів,

прискорювачів затвердіння. У сполучне з метою надання необхідних технологічних та експлуатаційних властивостей можуть бути додані розчинники, барвники, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти.

При виробництві армованих пластиків найчастіше застосовують термореактивні сполучні, при нагріванні яких відбуваються незворотні структурні та хімічні перетворення; безперервно розширюється використання термопластичних полімерів та еластомерів [19].

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

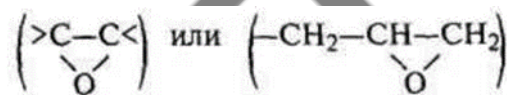


Рисунок 1.6 – Будова молекули епоксидної смоли.

Одержання ЕС проводиться при конденсації в лужному середовищі епіхлоргідрину або дихлоргідрину гліцерину зі сполуками, що містять рухомі атоми водню (фенолами, амінами, гліколями, кислотами), а також при прямому епоксидуванні ненасичених сполук органічними пероксикислотами [20].

Реакція між епіхлоргідрином та дифенілпропаном призводить до отримання дианової ЕС:

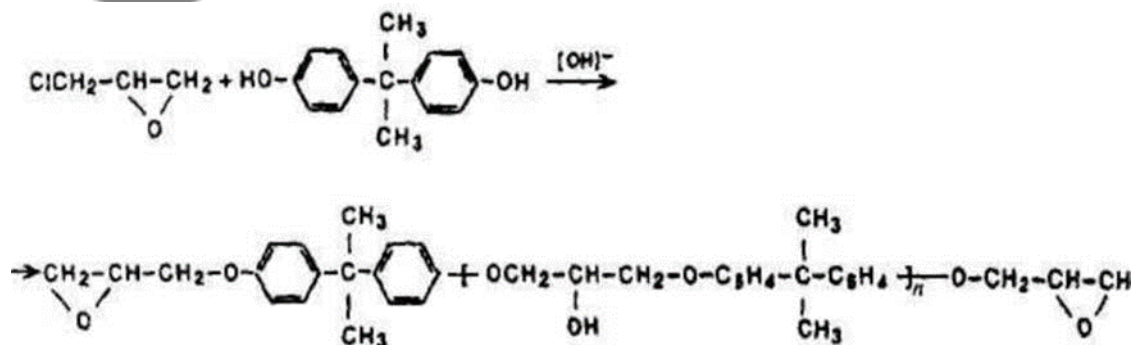


Рисунок 1.7 – Будова молекули дианової епоксидної смоли

Незатверджені смоли є термопластичними в'язкими рідинами або крихкими твердими речовинами [20].

У молекулах дианових смол є функціональні групи двох типів - епоксидні та гідроксильні. Тому отверджувачами цих смол можуть бути з'єднання різних класів, а режими затвердіння варіюються в широкому діапазоні: як без підведення тепла, при нагріванні у воді.

Дианові ЕС з молекулярною масою нижче 600-1000 °С є рідкими продуктами, вище 1000 °С - склоподібними продуктами. Смоли розчиняються в кетонах, ефірах, ароматичних вуглеводнях; мають високу стійкість до дії лугів, солей, окислювачів, органічних розчинників. Полімерні композиційні матеріали, виготовлені на основі епоксидних смол, володіють високими механічними властивостями [21].

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

1.9 Механічні та фізичні властивості матеріалу для виготовлення пластинчастих пружин

Отже, властивості вуглепластиків залежать від характеристик армуючих матеріалів, виду та текстури волокна, ступеня наповнення, властивостей полімерної матриці тощо [20]. Оптимальний вміст вуглецевих армуючих матеріалів у вуглепластику становить 52-60% за масою залежно від його виду.

Відомо, що відмінні риси вуглепластиків, якими вони володіють завдяки вуглецевим волокнам – висока міцність при надзвичайно високому модулі пружності та низьких щільності та повзучості. Крім того, у них дуже висока теплостійкість та стійкість до термічного старіння. Вони довго (500-1000 год) витримують механічні напруження при одночасному впливі температур до 200 °С. Ці матеріали мають у 2-3 рази більш високу втомну міцність, ніж

склопластики. Характерною особливістю вуглепластиків є висока анізотропія всіх механічних та електрофізичних властивостей, яка в 2-3 рази вища за анізотропію властивостей склопластиків (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Анізотропія властивостей вуглепластиків [2]

Найменування показника	Одиниця виміру	Напрямок навантаження	Значення показника
Міцність при розтягуванні	МПа	Уздовж волокон	1500
		Поперек волокон	32
Міцність при стисканні	МПа	Уздовж волокон	1200
		Поперек волокон	140
Модуль пружності при розтягуванні	ГПа	Уздовж волокон	140
		Поперек волокон	9

Саме тому при проектуванні структури вуглепластиків та виробів з них необхідно враховувати напрямок (вектор) дії навантажень під час експлуатації.

Отже, серед недоліків вуглепластиків – менша, порівняно з іншими армованими пластиками, питома ударна в'язкість, недостатня тріщиностійкість та більш висока чутливість до концентрації напруги. Чергування у структурі матеріалу армуючих наповнювачів різної хімічної природи дозволяє усунути ці недоліки. З цією метою виробляють комбіновані тканини на основі сумішей скляних та вуглецевих волокон [21].

Таким чином, конструкційні вуглепластики містять як наповнювач високомодульні ($E = 342 - 540$ ГПа) та високоміцні ($\sigma = 2,5$ ГПа) вуглецеві волокна. Для конструкційних вуглепластиків характерні низькі щільність та коефіцієнт лінійного розширення та високі модуль пружності, міцність, термостійкість, тепло- та електропровідність.

Відомо, що властивості вуглепластиків визначаються маркою епоксидної смоли, властивостями, концентрацією та орієнтацією волокон. Вуглепластики на основі епоксидних смол мають високі характеристики міцності за температури нижче 200 °С (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Властивості високомодульних та високоміцних епоксидних
вуглепластиків [21]

Показники	Епоксидні вуглепластики	
	високомодульні	високоміцні
Щільність, кг/м ³	1500	1500
Міцність, МПа, при стисканні	1000	1500
розтягуванні та згині	80	90
міжшаровому зрушенні	5	8
Модуль пружності при розтягуванні та згинанні, ДПа	180	110
Втомна міцність при згині на базі 10 ⁷ циклів, ДПа	-	0,8

Насамперед, вуглепластики відрізняє високий опір втомним навантаженням. За величиною межі витривалості на одиницю маси вуглепластики значно перевершують склопластики та метали. Одна з причин цього – менша (ніж, наприклад, у склопластиків) деформація при однаковому рівні напруг, що знижує розтріскування полімерної матриці. Крім того, висока теплопровідність вуглецевих волокон сприяє розсіюванню енергії коливань, що знижує саморозігрів матеріалу за рахунок сил внутрішнього тертя [20].

Таким чином, цінна властивість вуглепластиків – їх висока демпфуюча здатність та віброміцність. За цими показниками вуглепластики перевершують метали та деякі інші конструкційні матеріали. Регулювати демпфуючу здатність можна, змінюючи кут між напрямками армування та застосування навантаження [22].

Відомо, що коефіцієнт лінійного розширення високомодульних односпрямованих вуглепластиків у поздовжньому напрямку близький до нуля,

а в інтервалі 120 – 200°C навіть негативний (-0,5 10⁻⁶ 1/°C). Тому розміри виробів із вуглепластиків при нагріванні та охолодженні змінюються дуже мало.

Отже, вуглепластики мають досить високу електропровідність, що дозволяє застосовувати їх як антистатичні та електрообігрівуючі матеріали.

Саме хімічна стійкість вуглепластиків дозволяє використовувати їх у виробництві кислотостійких насосів, ущільнень. Вуглецеві волокна мають низький коефіцієнт тертя. Це дає можливість використовувати їх як наповнювач для різних зв'язуючих, з яких роблять підшипники, прокладки, втулки, шестірні [23].

У таблиці 1.3 представлені для порівняння характеристики деяких металевих, полімерних матеріалів конструкційного призначення та вуглепластиків.

Таблиця 1.3

Властивості деяких конструкційних матеріалів [23]

Матеріал	Щільність, кг/м ³	Міцність при розтягуванні, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Питома міцність, $e \cdot 10^3$, км	Питомий модуль, $E \cdot$ 10^6 , км
Вуглепластик	1450–1600	780–1800	120–130	53–112	9–20
Склопластик	2120	1920	69	91	3,2
Високоміцна сталь	7800	1400	210	18	2,7
Алюмінієвий сплав	2700	500	75	18	2,7
Титановий сплав	4400	1000	110	28	2,5
Поліамід 6,6	1140	82,6	28	7,24	0,24

Поліамід 6,6+40 мас. % скловолокна	1460	217	112	8,87	0,77
Поліамід 6,6+40 мас. % вуглецевого волокна	1340	280	238	21,0	1,92

Як видно з табл. 1.3, за показниками питомої міцності та жорсткості вуглепластики перевершують практично всі найбільш широко використовувані конструкційні полімерні та металеві матеріали. Цікаво відзначити, що такий порівняно неміцний полімерний конструкційний матеріал, як поліамід, при введенні в нього вуглецевих волокон за показниками питомої міцності і жорсткості наближається до металевих конструкційних матеріалів [21].

Слід зазначити, що економічна доцільність використання вуглепластиків замість металів визначається також порівняно низькими питомими витратами енергії (в кВт·год) на виробництво конструкційних матеріалів та виробів з них (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4

Витрати енергії (в кВт·год) на виробництво конструкційних матеріалів та виробів з вуглепластиків [21]

Матеріал	На 1 кг матеріала	На 1 кг готового виробу
Епоксидний вуглепластик	33,0	72,7
Сталь	35,2	220,4
Алюміній	48,5	392,4
Титан	189,5	1543,2

Таким чином, у перерахунку на 1 кг готових виробів з епоксивуглепластика енергії витрачається у 3 рази менше, ніж на вироби зі сталі, у 5,5 рази менше, ніж на вироби з алюмінію та його сплавів та у 20 разів менше, ніж на вироби з титану.

Отже, вуглецеві волокна мають високу хімічну стійкість до всіх агресивних середовищ за винятком сильних окислювачів. Висока хімічна стійкість вуглецевих волокон визначила розробку хімічно стійких вуглепластиків замість нержавіючих сталей, сплавів та кольорових металів для виготовлення різної апаратури та вузлів машин, що працюють в умовах впливу агресивних середовищ: корозійностійких насосів, ємностей та трубопроводів [23].

Проте, поряд з високими механічними властивостями і хімічною стійкістю вуглепластики мають хороші антифрикційні характеристики, порівняно низький коефіцієнт тертя і підвищену зносостійкість. Коефіцієнт тертя вуглепластиків коливається від 0,1 до 0,17 в залежності від умов випробування, а за зносостійкістю вони в 5-10 разів перевершують антифрикційні марки бронзи, що використовуються для виготовлення підшипників ковзання [24].

Таблиця 1.5

Властивості вуглецевих волокон [24]

Тип волокна	d, мкм	ρ , кг/м ³	σ , МПа	E_x , ГПа
Високомодульне	8,3	2000	2100	413
Високоміцне	7,7	1800	2400...3200	240...290
З підвищеним подовженням	6,9...7,4	1750	2300...2900	170...200

Таблиця 1.6

Коефіцієнти армування структур на основі прямолінійних елементів [24]

Число напрямів армування	Укладання волокон	$\mu_{пр}$
1	Гексагональне	0,97
1	Прямокутне	0,785
2	Шарувате (довільне)	0,785
3	Прямокутне у трьох площинах	0,589
4	Гексагональне трансверсально-ізотропне	0,563
4	Косокутне у двох ортогональних площинах	0,680 ($\alpha = 35 \dots 26^\circ$)
		0,383 ($\alpha = 0 \dots 90^\circ$)
5	Косокутне у двох ортогональних площинах з прошивкою	0,536 ($\alpha = 35 \dots 26^\circ$)
		0,907...0,393 ($\alpha = 0 \dots 90^\circ$)

1.10 Об'єднання зміцнювальних елементів

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

Пряжею називається нитка з волокон, з'єднаних за допомогою кручення. Пряжа буває однорідною, тобто 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 композитів як ниток, а також у вигляді тканин [25].

Тканини, отримані при ткацькій переробці ниток і волокон, є результатом закономірного переплетення поздовжньо розташованих елементів (основа) і елементів поперечного розташування (качка). За конструктивною ознакою розрізняють матеріали з полотняним, ситцевим, сатиновим, саржевим та трикотажним типом переплетення (рис. 1.8).

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

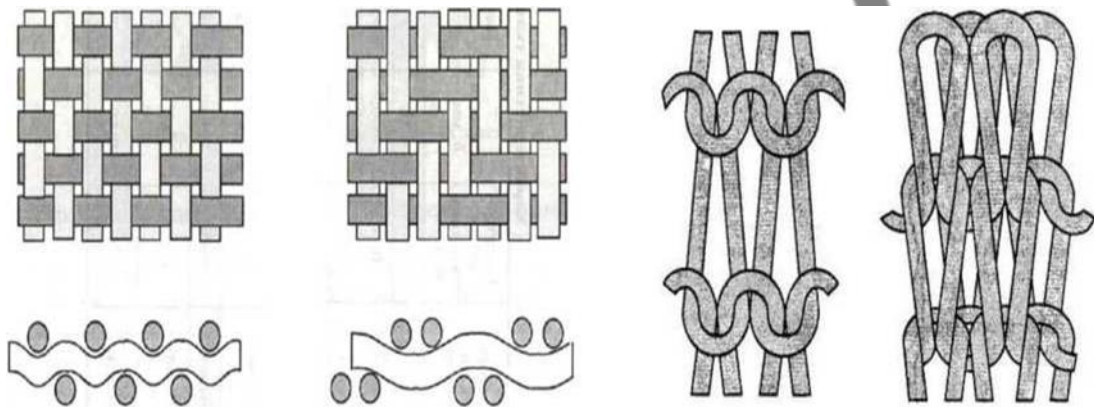


Рисунок 1.8 – Схеми плетіння: полотняне (а), саржеве (б), трикотажне (в).

Недоліком матеріалів (тканин і сіток), одержуваних способом ткацької переробки, є необхідність застосування лише пластичних волокон і пряжі. У місцях контакту елементів основи та качка відбувається деформація матеріалу, утворюються дефекти, що знижують механічні властивості композиційних матеріалів. Більш широкі можливості використання волокон та пряжі реалізуються при отриманні в'язаних трикотажних сіток [22].

Зміцнюючі волокна можуть бути об'єднані також і в неткані матеріали (типу повсті), в яких відсутня їх закономірна орієнтація. Розроблено методи рідинного, повітряного, гравітаційного, вакуумного повстяного. Наприклад, основою для отримання повсті методом рідинного войлокування 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 печі.

Висновок до розділу 1

Отже, для того, щоб ці вироби відмінно справлялися зі своєю роботою, вони повинні мати низку особливих властивостей.

Таким чином, висока релаксаційна стійкість - це стійкість проти перерозподілу напруги шляхом мікропластичних зрушень в умовах тривалого навантаження. Проба на релаксаційну стійкість – невдоволення, тобто. стиск до дотику витків і витримка у цьому стані певний час. Після зняття навантаження пружина має змінювати свої розміри. Як правило, вимоги щодо часу витримки у заневільненому стані регламентуються галузевими стандартами.

Насамперед, опір мікропластичним і малим пластичним деформаціям - найважливіша характеристика якості пружинних матеріалів, тому що чим вище цей опір, тим менше при даному доданому напрузі непружні та залишкові деформації і, отже, нижче всі непружні ефекти, що визначають властивості пружини. Як показує практика, для отримання високого опору малим пластичним деформаціям матеріали повинні мати певну мікроструктуру.

Отже, матеріал для виготовлення пружинних виробів повинен мати достатню циклічну стійкість. Циклічна стійкість - здатність матеріалу чинити опір дії знакозмінних циклічних навантажень. Характеристикою цієї величини є межа витривалості, під яким розуміють максимальну напругу, яка не викликає руйнування зразка за будь-якого числа циклів (фізична межа витривалості) або заданого числа циклів (обмежена межа витривалості). Межа витривалості при симетричному числі циклів позначається $\sigma-1$.

Таким чином, визначений комплекс стандартних механічних властивостей за умов статичного навантаження, при випробуваннях на розтяг, кручення, вигин. Повинна забезпечуватися висока міцність, твердість і одночасно достатня в'язкість, щоб уникнути тендітного руйнування. Необхідні властивості забезпечуються певною мікроструктурою та субструктурою.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

2.1 Матеріали дослідження

2.1.1 Епоксидна смола LH 289

LH 289 Епоксидна смола з дуже низькою в'язкістю. Він підходить для виробництва композитів, а також верхнього шару штучного каменю. При нормальних температурах зберігання кристалізація не відбувається. Перевагою сумішей смоли і закріплювача є її прозорість [25].

Особливості: смола при 0-10 °C ясна, без помутніння, наприклад, деякі епоксидні смоли. Створює систему низької в'язкості, яка дозволяє добре змочувати. Поточні бульбашки зміщуються з поверхні ламінату. Технологія приблизно від 15 хвилин до близько 5 годин в залежності від затвердіння агента. Термостійкість продукту без істотних змін їх параметрів: від 50 до 100 °C.

Обробка: при температурах від 10 градусів °C до 50 градусів °C, всі звичні способи переробки системи ламінування шкіри при кімнатній температурі Для затвердіння при кімнатній температурі 10-30 °C можна наносити на різні комбінації ламінування і затвердіння. Термостійкість 40-60°C може бути досягнута шляхом затвердіння при температурі навколишнього середовища, температура затвердіння становить 30 °C, максимальна термостійкість [24].

Термостійкість цих систем може бути підвищена приблизно до 90 °C поступове спалювання тепла при 50-70 °C.

Використання: обмерзання каменю, кам'яні доріжки, композитні запчастини до човнів, спортивні товари та ін. Рекомендованою системою для створення кам'яної доріжки LH 289 є затверджувач H 536 (коефіцієнт суміші: 35 за вагою, життєздатність 50-70min). Суміш змішують з сухим агрегатом так, щоб утворилося суцільне покриття на кам'яній поверхні, а потім наноситься шпателем на поверхню бетону [25].

Таблиця 2.1

Фізико-механічні властивості смоли LH 289 [25]

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 рекомендоване співвідношення затверджувач-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
Призначення	Епоксидна смола LH 289 призначена для: виготовлення та ремонту деталей корпусів човнів, яхт, літаків, автомобілів і т. д. в меблевій, електротехнічній та радіотехнічній промисловості; як компонент заливальних і просочувальних компаундів, клеїв, герметиків, зв'язуючих для армованих склопластиків.
Умови зберігання епоксидної смоли LH 289	слід зберігати в щільно закритій тарі при температурі навколишнього середовища від 15 до 40 °С.

При відсутності ознак желатинізації і загустіння можливе використання технакріла і епоксидної смоли LH 289 після закінчення гарантійного терміну. Забороняється змішувати відразу велику кількість епоксидної смоли LH 289 з затверджувачем без використання спеціальних апаратів для змішування з метою уникнення закипання. Акрилову смолу технаркіл можна змішувати з

затверджувачем без спеціальних апаратів за умови дотримання точної пропорції, зазначеної в інструкції по застосуванню [26].

Застосування епоксидно-діанових смол, основні замінники використовуються в електротехнічній, радіоелектронній промисловості, авіа, судо- і машинобудуванні, в будівництві як компонент заливальних і просочувальних компаундів, клеїв, герметиків, зв'язуючих для армованих пластиків, в лакофарбових матеріалах, склопластику, 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» корпусу і деталі кузова автомобіля), при виготовленні гідроізоляції приміщень (підлога і стіни підвальних приміщень, басейни). А також використовується для виготовлення емалей, лаків, шпаклівок і як напівфабрикат для виробництва інших епоксидних смол і добавок до них [25].

Те, якими властивостями буде володіти кінцевий виріб на основі епоксидної смоли залежить від того, якими затверджувачами, добавками і пластифікаторами вони модифікуються. Епоксидно-діанові смоли LN 289 забезпечують найбільші технологічні зручності при переробці у вироби і дозволяють створити на основі цих смол найрізноманітніші матеріали.

2.1.2 Склотканина

Склотканина Aeroglass Glass Filament Fabric 110 г/м² полотно склотканина AEROGLOSS fiberglass 110 г/м² (plain) є тканиною, що складається з тонких волокон скла і просочується різними полімерами, які забезпечують їй унікальні властивості: скловолокно володіє підвищеною теплостійкістю, високими показниками механічної міцності, не горючістю, корозійною стійкістю. Ця тканина має туге переплетення, низьке поглинання смоли [22].

Області застосування: авіаційна галузь, космічна галузь, суднобудування, вітроенергетика, спортивний інвентар тощо.

Технічні характеристики:

Щільність тканини – 110 г/м²

Плетіння - полотно (plain) 16x15

Ширина тканини – 100 см

Товщина – 0.1 мм

Країна виробництва: Китай

Склотканина для епоксидної смоли AEROGLASS fiberglass 163г/м.кв. плетіння саржа [23].

Досить часто використовують типові тканини для побудови моделей корпусів, фюзеляжів, спортивного обладнання, для укладання на головні частини, ремонту, армування. Має високо драпіровані властивості, має гарне просочення і хорошу прозорість.

Розрахункові дані для ручного ламінування з 35% об'ємним вмістом волокон:

Області застосування: авіаційна галузь, космічна галузь, суднобудування, вітроенергетика, спортивний інвентар тощо.

Технічні характеристики:

Щільність тканини – 163 г/м²

Переплетення - полотно саржа

Витрата смоли – 128 г/м²

Ширина тканини – 100 см

Товщина ламінату - 0.179 мм.

Вага ламінату: 291 г/м².

Країна виробництва: Китай

Вуглеткань односпрямована біоксальна щільність 200 г/м².

Ця біоаксіальна вуглеткань NCF має 2 однонаправлені шари, укладені під кутом $\pm 45^\circ$ і з'єднані рядком один з одним.

Волокно: TORAYCA® T700SC 800 tex (12k)

Ширина: 127 см

Конструкція: $\pm 45^\circ$

Поверхнева густина (г/м): 100/100 Структура: $\pm 45^\circ$

Прошивка: Текстуrowаний поліестер, 76 дтекс.

Застосування:

Мотоспорт, суднобудування, спортивне спорядження та модельне будівництво [24].

Драпірованість покращена в порівнянні зі звичайними NCF тканинами з пластиковим напленням. Укладання без переплетення дозволяє краще реалізувати армуючі властивості вуглецевих волокон. Особлива перевага: шари, що працюють на кручення (торсіонні), можуть бути укладені без зайвих відходів.

Розрахункові дані для ручних ламінатів з 35 загальним обсягом волокон:

Споживання смоли: 251 г/м^2 , товщина ламінату: $0,350 \text{ мм}$, маса ламінату: 451 г/м^2

Кевлар 173 г/м^2

Кевлар щільністю 173 грамів на метр квадратний, ширина 1,2 метра, плетіння полотно, виробник G. Angeloni (Італія).

2.2 Метод механічних випробувань композиційних матеріалів на вигин

1. ПРИЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ

1.1. Метод випробувань зразків з композиційного матеріалу на вигин складається з визначення: межі міцності при згині - відношення максимального згинального моменту в момент руйнування зразка на момент опору перерізу при згині; модуля пружності при навантаженні зразка в межах пропорційності прогину від навантаження; залежності прогину від навантаження при навантаженні зразка до руйнування [26].

2. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ

2.1. Випробування проводять на будь-якій випробувальній машині, що забезпечує: навантаження на вигин із заданою постійною швидкістю переміщення активного захоплення, вимірювання навантаження з похибкою не більше 1% вимірюваної величини, можливість регулювання швидкості навантаження зразка.

2.2. Машина (рис. 2.1) повинна бути забезпечена траверсою, якою можуть переміщатися дві опори, і наконечником, що створює навантаження у разі випробування на поперечний вигин (рис. 2.2). При випробуванні на чистий вигин машина має бути забезпечена двома траверсами, на кожній з яких можуть переміщатися дві опори (рис. 2.3).



Рисунок 2.1 – Випробувальна машина МПП-100.

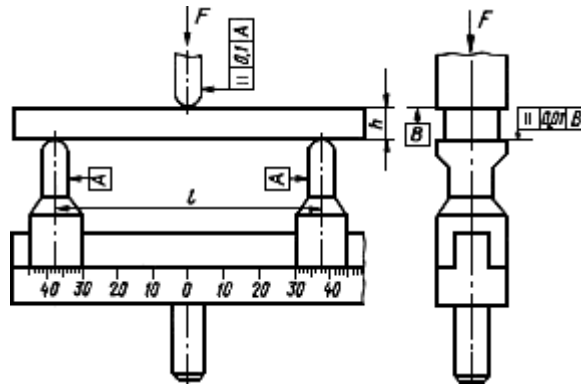


Рисунок 2.2 – Навантаження у разі випробування на поперечний вигин.

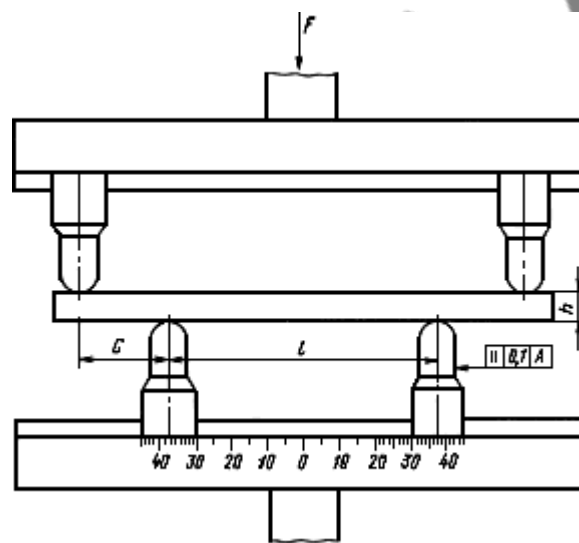


Рисунок 2.3 – Випробування на чистий вигин.

2.3. Радіус закруглення країв опор повинен становити $(2,0 \pm 1,0)$ мм, а наконечника – $(5 \pm 1,0)$ мм. Поверхні опор та наконечника повинні бути оброблені не грубіше 0,63 мкм (ГОСТ 2789-73) та загартовані. Їхня твердість повинна бути не менше 40 HRC.

2.4. Траверса повинна забезпечувати нерухомість опор при випробуваннях і ціну розподілу шкали 1 мм, що дозволяє встановлювати опори на заданій відстані.

2.5. Допустимі відхилення від паралельності поверхонь опор і опорної поверхні наконечника в горизонтальній площині - 0,05 мм.

2.6. Для вимірювання прогину зразка використовують прилади та пристрої з похибкою не більше $\pm 2\%$ вимірюваної величини [26].

2.7. Для вимірювання прогину зразка використовують прилади, що забезпечують автоматичний запис "навантаження-прогин", а також цифрові індикатори або перетворювачі деформацій, що представляють тонкі сталеві консольні балочки з наклеєними тензорезисторами, що працюють на вигин, та інші прилади.

2.8. Реєструюча апаратура – осцилографи, двокоординатні самопишучі потенціометри та інші прилади, що забезпечують реєстрацію прогину з точністю, зазначеною в п.2.6.

2.9. Перетворювачі деформацій перед випробуванням мають бути відградуєвані з похибкою не більше $\pm 1\%$ вимірюваної величини.

2.10. Для вимірювання розмірів зразка використовують прилади з похибкою не більше $\pm 0,05$ мм.

2.11. Випробування при підвищених (знижених) температурах проводять на машинах, обладнаних термокріокамерами, які забезпечують рівномірне прогрівання (охолодження) зразка до заданої температури та збереження останньої протягом усього часу випробування. Коливання температури, що допускаються, визначають відповідно до технічних умов або стандартів на матеріал, а за їх відсутності - по ГОСТ 14359-69.

2.12. Для охолодження камер використовують тверду вуглекислоту, рідкий азот або фреон 22 та інші речовини [26].

3. ЗРАЗКИ

3.1. Для визначення максимальної напруги при згині, модуля пружності та встановлення залежності прогину від навантаження при навантаженні зразка аж до руйнування використовують зразок у вигляді смуги прямокутного перерізу, форма та розміри зразка вказані на рис. 2.4.

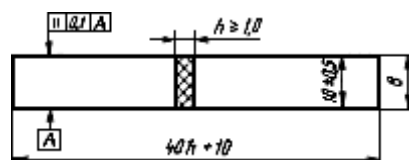


Рисунок 2.4 – Креслення зразка у вигляді смуги прямокутного перерізу.

3.2. Зразки формують або вирізають із плит у напрямку головних осей ортотропії матеріалу. Розташування арматури має бути симетрично щодо серединної площини зразка, що проходить через його вісь та паралельної площини укладання арматури. Спосіб та режим виготовлення зразків зазначаються у нормативно-технічній документації на матеріал [26].

3.3. Зразки повинні мати гладку рівну поверхню не грубіше 20 мкм за ГОСТ 2789-73, без здуття, сколів, тріщин, розшарування та інших дефектів, помітних неозброєним оком.

3.4. Відхилення зразків від номінальних розмірів за шириною та товщиною зразка не повинно перевищувати 0,05 мм.

4. ПІДГОТОВКА ДО ВИПРОБУВАННЯ

4.1. Перед випробуванням зразки кондиціонують за ГОСТ 12423-66, якщо нормативно-технічної документації на композиційні матеріали не зазначені особливі умови кондиціювання.

4.2. Час від закінчення виготовлення формованих зразків або композиційного матеріалу, з якого вони вирізаються, до випробування зразків, включаючи час на їх кондиціювання, повинен становити не менше 16 год.

4.3. Перед випробуванням проводять нумерацію зразків фарбою або м'яким олівцем. Вимірюють товщину зразка з похибкою до 0,05 мм та ширину до 0,10 мм у трьох місцях його робочої частини. Визначають середньоарифметичні значення товщини та ширини зразка та результати записують у протокол випробувань.

5. ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

5.1. Випробування при нормальній температурі проводять у приміщенні або закритому об'ємі при температурі та відносній вологості навколишнього повітря або іншого середовища, зазначених у технічних умовах на

випробуваний матеріал. Якщо таких вказівок немає, то випробування проводять за однієї зі стандартних атмосфер за ГОСТ 12423-66.

Випробування при підвищених та знижених температурах проводять у спеціально передбачених термодіафрамах. Температуру випробувань і її коливання визначають відповідно до технічних умов або стандартів на матеріал, а за їх відсутності - за ГОСТ 14359-69.

5.2. При проведенні випробувань в умовах підвищених та знижених температур час, необхідний для повного прогрівання або охолодження зразка до його випробування, повинен задаватись нормативно-технічною документацією на матеріал, що випробуваний. Якщо таких вказівок немає, час витримки зразка при заданій температурі встановлюють не менше 20 хв на 1 мм його товщини.

5.3. Перед випробуванням на поперечний вигин на випробувальній машині встановлюють наконечник з траверсою та опорами. На опори кладуть спеціально виготовлену сталеву балочку і регулюють опори і наконечник по ній так, щоб відхилення від паралельності поверхонь, що допускається, відповідало умовам п.2.5. Перед випробуванням на чистий вигин на випробувальній машині встановлюють траверси з опорами та вимагаються необхідної паралельності опорних поверхонь.

5.4. При визначенні модуля пружності, межі міцності та встановленні залежності прогину від навантаження у разі випробувань на поперечний вигин встановлюють відстань між опорами $40 \pm 1,0$ мм (див. рис.1).

5.5. При визначенні модуля пружності у разі випробувань на чистий вигин встановлюють (100 ± 1) мм, 20 мм (див. рис.2).

5.6. Відстань між опорами вимірюють з похибкою трохи більше 0,2 мм.

Встановлюють та закріплюють прилади для вимірювання прогину в середині прольоту.

5.7. Встановлюють зразок широкою стороною на опори і приводять дотику з його верхньою поверхнею наконечник. Визначають прилягання зразка до опор

поверхні наконечника. Якщо зазор між зразком і опорними поверхнями перевищує значення, зазначене у п.2.5, його замінюють іншим.

5.8. Встановлюють швидкість переміщення навантажувача згідно даних технічних умов на матеріал. При відсутності цих даних швидкість переміщення наконечника приймають 5- 20 мм/хв.

5.9. При визначенні модуля пружності навантажують зразок із заданою постійною швидкістю та записують значення прогинів та відповідних навантажень. При відхиленні діаграми від лінійного випробування припиняють та зразок розвантажують.

5.10. При встановленні залежності прогину від навантаження зразок навантажують із заданою постійною швидкістю, безперервно записуючи прогин і навантаження до руйнування зразка (див. додаток 1).

5.11. При визначенні межі міцності записують максимальне навантаження, що передує руйнуванню зразка.

5.12. При визначенні модуля пружності навантаження зразка може здійснюватися ступінчасто або безперервно до навантажень, що не перевищують 50% руйнівних. При безперервному навантаженні використовують автоматичний запис прогину та навантаження. У разі ступінчастого навантаження вимірювання прогину здійснюється за кожного значення навантаження. Число ступенів має бути не менше чотирьох. Рекомендоване значення їх величин становить 5% - 10% максимального навантаження, що передує руйнуванню зразка.

6. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

6.1. Модуль пружності при поперечному згині , МПа, обчислюють за формулою:

$$E_{\Pi}^{\kappa} = \frac{\Delta F l^3}{4bh^3 \Delta w} \quad (2.1)$$

де E - збільшення навантаження, МН;

ΔF - відстань між опорами, мм;

h, b - ширина та висота зразка, мм;

Δw - збільшення прогину в середині зразка, мм, що відповідає зміні навантаження.

6.1.1. Значення прогину при використанні перетворювача деформацій (консольних сталевих балочок) визначається як

$$w = w^* K \quad (2.2)$$

де w - показ реєструючого приладу;

K - тарувальний коефіцієнт.

6.2. Модуль пружності при чистому вигині E , МПа, обчислюють за формулою:

$$E^H = \frac{3\Delta Fcl^2}{4bh^3\Delta w} \quad (2.2)$$

де l - відстань між крайніми опорами (див. рис. 2.3), мм.

6.3. Межа міцності при поперечному згині, МПа, обчислюють за формулою:

$$\sigma_B = \frac{1,5F_{\max}l}{bh^2} \quad (2.3)$$

де F - максимальне навантаження, що передусе руйнуванню зразка, МН.

6.4. Статистичну обробку результатів випробувань проводять з НТД. Не рекомендується враховувати окремі значення визначених показників, не укладаються у межах довірчого інтервалу при величині довірчої ймовірності 0,95. При остаточному підрахунку кількість зразків має бути не менше ніж 5.

Встановлення залежності прогибу від навантаження

1. Встановлення залежності прогину від навантаження засноване на вимірюванні посередині прольоту прогину і відповідного навантаження при безперервному навантаженні зразка при поперечному згині (див. рис. 2.2).

Для цього на випробувальній машині встановлюють траверсу з опорами і наконечник, що навантажує. За допомогою повороту навколо вертикальної осі встановлюють паралельність поверхонь опор і наконечника у вертикальній

площині з граничним відхиленням 0,1 мм і закріплюють траверсу і наконечник нерухомо.

2. Встановлюють на опори сталеву балочку прямокутного перерізу з шорсткістю поверхні не більше 0,63 мкм (ГОСТ 2789-73) і граничним відхиленням сторін від паралельності 0,01 мм і по ній здійснюють перевірку паралельності опорних поверхонь наконечника та опор у горизонтальній площині усунення зазорів [26].

3. Вимірюють зразки з точністю, зазначеною у п.2.10 цього стандарту. Встановлюють відстань між опорами, що дорівнює (40 ± 1) мм, кладуть на опори випробуваний зразок і перевіряють правильність його положення на опорах згідно з пп.2.5 та 5.7 цього стандарту.

4. Закріплюють на машині пристосування (прилади) для вимірювання та реєстрації прогину та навантаження та налаштовують їх.

5. Встановлюють задану швидкість переміщення навантажуючого наконечника згідно з технічною документацією на матеріал і проводять пробне навантаження зразка до 10% - 20% для перевірки правильності вибору на апаратурі діапазону вимірюваних величин. Після зняття навантаження здійснюють робоче навантаження зразка при безперервному вимірі прогину та навантаження аж до руйнування.

6. Для вимірювання прогину та реєстрації навантаження використовують апаратуру, зазначену у пп.2.6-2.8 цього стандарту.

2.3 Визначення щільності зразків

Визначення густини зразків проводили гідростатичним зважуванням згідно з ГОСТ 15139-69.

2.4 Макро- і мікроаналіз пластмас

При макроаналізі вивчають структуру матеріала, 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 [27].

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.

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 (освіти розшарувань, сколів, разлохмачіванню наповнювача і т.п.) і впливу температурного чинника (припикання матеріалу) не рекомендується застосовувати швидкісне різання. Вирізку зразків рекомендується робити вручну за допомогою пиляльного полотна [28].

Пластмаси товщиною менше 1,5 мм розрізають полотнами. 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 захисту країв від руйнування і завалювання слід застосовувати оправлення з механічним затисненням, які виготовляються з двох прямокутних пластин, з'єднаних між собою шурупами або болтами [29].

Між пластинами оправлення поміщають пластину з пластмаси для вирізки з неї зразка.

Друга операція - шліфування - є найбільш відповідальною операцією при виготовленні мікрошліфів. Труднощі шліфування пластиків пов'язана 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 [27].

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

Заключна операція – полірування, здійснюється на диску полірувального верстата (400- 600 оборотів в хвилину) діаметром 200-250 мм., Обтягнутому високоякісним сукном або м'яким фетром. Поверхня диска зволожується водяний 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 [23].

Особливістю пластмас є те, що при дуже тривалому поліруванні 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 розподілі кінця полірування зразка орієнтуються на момент зникнення рисок від шліфування. У деяких випадках полірування зразків пластмас проводять за допомогою спеціальних паст [27].

Для тонких 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'яжучими речовинами. В цьому випадку можна рекомендувати для заливки оправок клей холодного затвердіння на основі епоксидних смол.

Мікроструктурний аналіз пластмас

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 апертурними діафрагми або джерела світла щодо оптичної осі. Іншим методом посилення контрастності є темнопольного 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 [28].

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, тоді як інші фази будуть більш темними. Таким чином, дослідження в темному полі зазвичай не дає повної характеристики структури і його слід розглядати як доповнює основне вивчення в світлому полі, тобто при вертикальному

освітленні, коли світлові промені потрапляють на мікрошліф через об'єктив, який збирає їх на поверхні шліфа [27].

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. Вибрав фільтр додаткового кольору, отримаємо 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.

Висновок до розділу 2

У розділі розглянуто методику випробувань заготовок з ПКМ, які застосовувалися при проведенні експериментів: механічні випробування зразків вуглепластика (межа міцності при поперечному згині) , визначення щільності зразків вуглепластика, макро- та мікроаналіз ПКМ.

Наведено дані, склад, фізико-механічні властивості матеріалів і технології їх отримання.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вибір технології та виготовлення зразків ламінату

Зразки ламінату для проведення експерименту були отримані методом гібридного формування (ручне просочення і укладання матеріалу ламінату з подальшим вакуумуванням).

Тканий матеріал (склотканина, вуглецева тканина, кевлар) були попередньо розкриті рис. 3.1. Склад тканого наповнювача в ламінаті наведені в таблиці 3.1. Просочення матеріалу епоксидною смолою з наведеним ініціатором здійснювали поролоновим валиком. Просочений матеріал укладали на скло з попередньо нанесеним на нього розділюючим шаром воску для запобігання склеювання зразків і скла.

Таблиця 3.1

Склад тканого наповнювача в ламінаті

№ Зразка	Склад ламінату	Склад полімерної матриці	Наявність термообробки
1.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Скло тканина щільністю 163 г / м ³	Смола епоксидна ЛН 289; 60%; затверджувач Н 287; 40%.	Без обробки
2.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Скло тканина щільністю 163 г / м ³ (два шари)	Смола епоксидна ЛН 289; 60%; затверджувач Н 287; 40%.	Без обробки
3.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Скло тканина щільністю 163 г / м ³ (два шари)	Смола епоксидна ЛН 289; 60%; затверджувач Н 287; 40%.	Старіння 70°С, 12 години

Продовження таблиці 3.1

4.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Вуглецева тканина щільністю 163 г/м ³	Смола епоксидна LN 289; 60%; затверджувач H 287; 40%.	Без обробки
5.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Вуглецева тканина щільністю 163 г/м ³ (два шари)	Смола епоксидна LN 289; 60%; затверджувач H 287; 40%.	Без обробки
6.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Вуглецева тканина щільністю 163 г/м ³ (два шари)	Смола епоксидна LN 289; 60%; затверджувач H 287; 40%.	Старіння 70°C, 12 години
7.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Кевларова тканина щільністю 163 г/м ³	Смола епоксидна LN 289; 60%; затверджувач H 287; 40%.	Без обробки
8.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Кевларова тканина щільністю 163 г/м ³ (два шари)	Смола епоксидна LN 289; 60%; затверджувач H 287; 40%.	Без обробки
9.	Скло тканина щільністю 100 г / м ³ Скло тканина щільністю 163 г / м ³ Вуглецева тканина щільністю 163 г/м ³ Кевларова тканина щільністю 163 г/м ³	Смола епоксидна LN 289; 60%; затверджувач H 287; 40%.	Без обробки



Рисунок 3.1 – Розкросні зразки тканого матеріалу.

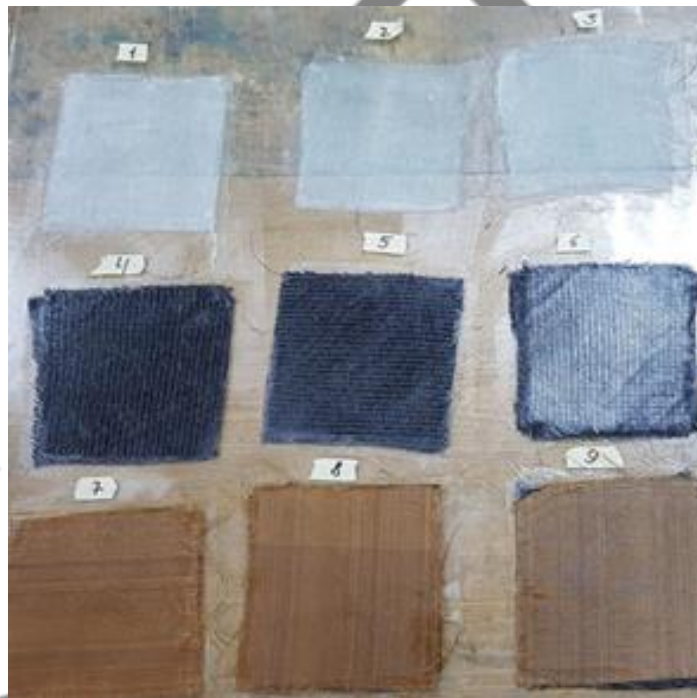


Рисунок 3.2 – Укладання просоченого матеріалу.

Для видалення надлишку епоксидної смоли з ламінату та створення високоадгезивної поверхні для склеювання, була покладена жертвна тканину рис. 3.3. Для видалення повітря з ламінату та уникнення склеювання ламінату з вакуумно-провідним шаром – була покладена перфорована поліетиленова плівка рис 3.4.



Рисунок 3.3 – Укладання жертовної тканини.



Рисунок 3.4 – Укладання перфорованої поліетиленової плівки.

Наступним шаром для забезпечення рівномірного розподілу тиску при вакумуванні був покладений шар агро-волокна рис. 3.5.

Герметизацію вакуумного пакету і шлангу забезпечили шляхом приклеювання поліетиленової плівки по периметру скла ізобутиловою клійкою стрічкою рис. 3.6.

Вакуумування проводили за допомогою вакуумного насосу рис. 3.7 протягом 6 годин, при температурі 22°C. Розпакування пакету проводили через 24 години. Поверхня пакету після створення вакууму зображена на рис. 3.8.



Рисунок 3.5 – Укладання вакуумно-провідного шару.



Рисунок 3.6 – Процес вакуумування.



Рисунок 3.7 – Вакуумний насос і ресивер.

3.2 Термічна обробка зразків

Термічна обробка зразків (№3, №4) полягала у витримці зразків у сушильній шафі - стерилізатор (сухожар) ГП-20 УХЛ 4,2 50 Гц 220 В 1,5 кВт ТУ 64-1-3180-80 протягом 12 годин при температурі 70°C.

Термічна обробка зразків склопластика та вуглепластика збільшує механічні властивості матеріалу за рахунок більш повної полімеризації епоксидної матриці.

Значення межі міцності при згині термооброблених зразків вуглепластику наведено в таблиці 3.2.

3.3 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 образця (кг);

V - образця (m^3).

Значення щільності зразків ламінату наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Значення щільності зразків ламінату

№	Довжина і ширина зразка, м	Товщина зразка, м	Об'єм зразка V , m^3	Маса зразка m , кг	Щільність ρ , кг/ m^3
1.	0,15×0,15	0,00053	0,0000119	0,013	1092
2.	0,15×0,15	0,00071	0,0000159	0,018	1132
3.	0,15×0,15	0,00071	0,0000159	0,018	1132
4.	0,15×0,15	0,00079	0,0000177	0,018	1016
5.	0,15×0,15	0,00080	0,000018	0,018	1000
6.	0,15×0,15	0,00080	0,000018	0,018	1000
7.	0,15×0,15	0,00062	0,0000139	0,013	935
8.	0,15×0,15	0,00087	0,0000195	0,018	913
9.	0,15×0,15	0,00091	0,0000204	0,022	1078

3.4 Випробування на вигин

Випробування на вигин зразків ПКМ проводили згідно ГОСТ 25.604-82 (метод випробування на вигин при нормальній, підвищеній та зниженій температурі ГОСТ 25.604-82). Випробування проводились на випробувальній машині МПП-100 (рис. 2.1) у сертифікованій лабораторії кафедри опору матеріалів СумДУ.

Спосіб виготовлення зразків для всіх випробувань згідно з ГОСТ 26277-84 Пластмаси. Загальні вимоги щодо виготовлення зразків способом механічної обробки. Загальний вид зразків для випробувань на етапі їхнього маркування.

Результати випробувань на вигин наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати випробувань на вигин зразків ПКМ

№	Довжина і ширина зразка, мм	Товщина зразка, мм	Площа зразка S, мм ²	Максимальне навантаження F, кгс	Межа міцності при згині σ _в , МПа	Максимальний прогин w, мм
1.	150×18±0,5	0,53	9,54	0,1	1,78	36
2.	150×18±0,5	0,71	12,78	0,3	1,98	30
3.	150×18±0,5	0,71	12,78	0,35	2,31	33
4.	150×18±0,5	0,79	14,22	0,45	2,40	34
5.	150×18±0,5	0,80	14,4	0,7	3,64	25
6.	150×18±0,5	0,80	14,4	0,75	3,90	22
7.	150×18±0,5	0,62	11,16	0,3	2,60	30
8.	150×18±0,5	0,87	15,66	0,60	2,64	27
9.	150×18±0,5	0,91	17,1	1,05	4,22	25

Швидкість переміщення накінецьника приймають - 5 мм/хв.

Відстань між опорами - 40±1,0 мм

Межа міцності при згині, МПа, обчислюють за формулою:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{1,5F_{\text{max}}l}{bh^2} \quad (3.1)$$

де F- максимальне навантаження, що передуює руйнуванню зразка, кгс.

3.5 Мікроаналіз зразка вуглепластику

Мікроаналіз зразків вуглепластика проводили за допомогою біологічного мікроскопу МБУ-4 при прямому освітленні зразка. Досліджували поверхню шліфа. Збільшення 100 крат. Фотографія поверхні зразка ПКМ представлена на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Поверхня зразка ПКМ.

Мікроаналіз зразків показав наявність пор (у вигляді виходу газових міхурів) на поверхні зразків. Наявність пор говорить про недостатній час вакуумування матеріалу зразків, неоптимальне значення руху в вакуумному мішку, або дуже швидко полімеризацію епоксидної смоли.

Висновки до розділу 3

Для проведення фізико-механічних випробувань були виготовлені зразки ПКМ матеріалу склопластика та вуглепластика у вигляді пластин 150×150мм різної товщини. Товщина пластин змінювалася залежно від типу тканини, кількості шарів. Технологія отримання зразків - вакумне формування.

Спосіб виготовлення зразків для всіх випробувань згідно з ГОСТ 26277-84 Пластмаси. Загальні вимоги щодо виготовлення зразків способом механічної

обробки. Проведені механічні випробування зразків ПКМ: з визначення межі міцності при згині згідно з ГОСТ 25.604-82. Визначена щільність зразків ПКМ гідростатичним зважуванням згідно ГОСТ 15139-69.

Визначено: межа міцності при згині зразків ПКМ залежить від кількості шарів тканини у зразку, типу тканини, напрямку волокон у шарі. Максимальне значення межі міцності при згині має зразок № 9 (σ_c – 4,22 МПа), зразок складається з 4 шарів тканини (склотканина (2 шари), вуглетканина, кевлар).

Зразки до складу яких входить вуглецева тканина мають більшу міцність при згині ніж зі склоткани і кевлара, при однаковій кількості шарів тканини і однаковій щільності у зразку.

Аналіз значень максимального прогину зразків показує, що пружність зразків залежить від виду тканини та кількості шарів, пружність зростає зі збільшенням кількості шарів тканини у зразку № 9 (4 шари, максимальний прогин $h = 25$ мм), зразок №1 (2 шари, максимальний прогин $h = 36$ мм).

Міцність зразків залежить від напрямку навантаження, яке прикладене до зразків (матеріал зразків анізотропен) і збільшується зі збільшенням кількості шарів з напрямком волокон, що збігається з напрямком навантаження, що прикладене до зразків при механічних випробуваннях.

Щільність одержаних зразків знаходиться в межах 913 - 1092 кг/м³, залежить від щільності тканини, що входить до складу зразка, її типу, кількості шарів у зразку та кількості епоксидного сполучного.

Термічна обробка зразків (12 год, 70 °С) збільшує межу міцності зразків на 8-10% за рахунок більш повної полімеризації епоксидної матриці.

Мікроаналіз зразків показав наявність пор (у вигляді виходу газових міхурів) на поверхні зразків. Наявність пор свідчить про недостатній час вакуумування матеріалу зразків, неоптимальне значення руху у вакуумному мішку, або дуже швидку полімеризацію епоксидної смоли.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Загальні теоретичні відомості

Донедавна склопластики використовувалися переважно в літакобудуванні, кораблебудуванні та космічній техніці. Широке застосування склопластиків стримувалося, в основному, через відсутність промислової технології, яка дозволила б налагодити масовий випуск профілів складної конфігурації з необхідною точністю розмірів. Це завдання успішно вирішено із створенням пултрузійної технології. Існує досить багато методів, що дозволяють масово виробляти склопластикові вироби різної конфігурації, необов'язково профілі - наприклад, РТМ, вакуумне формування [12].

Таким чином, склопластики є одним із найдоступніших і недорогих композиційних матеріалів. Основні витрати при виробництві виробів зі склопластику припадають на технологічне обладнання та робочу силу, витрати на яку великі за рахунок трудомісткості та великих тимчасових витрат на виробництво.

Для проведення розрахунків для економічної частини необхідно розкрити головні питання даної науково-дослідної роботи:

- актуальність проблеми – створення полімерних композитних ламінатів з заданими фізико-механічними властивостями є актуальним сучасним завданням при проектуванні і виробництві деталей;
- мета дослідження – створення полімерного композитного матеріалу – вуглепластика з заданими фізико-механічними властивостями для виготовлення полімерної, композитної пластинчастої пружини;
- завдання дослідження – дослідити вплив зміни складу вуглепластика на фізико-механічні властивості деталі. Проаналізувати вплив термічної обробки

на властивості пружини. На основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації;

- майбутнє застосування результатів НДР в народному господарстві з виділенням ефекту у виробника, і у споживача має місце результати дослідження впливу зміни складу вуглепластика на його фізико-механічні властивості, що дозволяє розробляти і виробляти матеріали із заданими властивостями.

- 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.

- 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);

- витрати на лабораторні дослідження;

- витрати на дослідне виробництво (проекування 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:

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

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.
Вуглеволокно	м ²	2740,00	2	5 480,00
Епоксидна смола	кг	800,00	0,5	400,00
Разом				5 880,00

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.

Підсумковий кошторис витрат на НДР являє собою суму результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання та поданий у вигляді таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Кошторис витрат на науково-дослідницьку розробку

Найменування статті витрат	Сума, грн.	Частка даної статті у загальній сумі витрат, %
Вартість матеріалів	5 880,00	97
Вартість електроенергії	44,52	0,75
Витрати на заробітну плату	172,86	2,25
Разом	6 097,38	

Висновки до розділу 4

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 6 097,38грн.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 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 [31].

Отже, у відділеннях, відведених для робіт із шкідливими виділеннями (відділення цементної, ціанування, оксидування та ін.), Перед початком роботи обов'язково включення припливно-витяжної вентиляції. Перед прийняттям їжі слід ретельно вимити руки і вичистити зуби. Не можна допускати миття рук у воді гартівних баків [35].

5.2 Заходи проти вдихання пилу і шкідливих газів

Таким чином причиною забрудненості повітря в робочій зоні може стати пил, який виникає головним чином при обробці поверхні (виготовленні та поліруванні металографічних шліфів), а також транспортуванні подрібнених матеріалів та виготовленні робочих сумішей призначених для процесу насичення [30]. Шкідливі речовини проникають до організму людини через дихальні шляхи і викликають переважно фіброгенну дію, що призводить до подразнення слизових оболонок дихальних шляхів і осідають в легенях, практично не попадаючи в коло кровообігу внаслідок поганого розщеплення в біологічних середовищах (крові, лімфи). В результаті тривалого впливу шкідливих речовин можуть виникати професійні захворювання.

З матеріалів, які використовуються в твердому стані, шкідливих речовин немає. Проте при обрізці та шліфуванні можливе утворення металевого та наждачного пилу в результаті використання алмазних паст та при поліруванні, вміст якого становить 3 мг/м^3 [34].

Отже, щоб уникнути професійних отруєнь газами і пилом працюючий повинен добре знати і дотримуватися правил техніки безпеки: працювати при включеній припливно-витяжної вентиляції, а також за відсутності витoku газу в газопроводі, вентилях, змішувачах або просочуванні пилу з очисного пристрою і т.п. У місцях, що вимагають роботи в масках, користування останніми обов'язково [32]. При роботі з абразивними кругами, що виділяють пил, необхідно стежити за справністю дії місцевого або загального вентиляційного пристрою.

Щоб уникнути зараження газом повітря в приміщенні слід прагнути до встановлення такого режиму горіння газу в печах, при якому не було б надлишку незгорілого газу.

5.3 Заходи проти пошкодження очей

Необхідно відзначити, що у термічних цехах пошкодження очей може відбуватися внаслідок опіків бризками розплавлених солей і металів, піском, абразивними частинками від абразивних кругів і металевими іскрами, пилом карбюратора та ін. [33].

Отже, найбільш надійною заходом попередження пошкоджень очей є носіння окулярів, що відповідають умовам роботи, а також виконання вимог норм техніки безпеки. Конструкція окулярів залежить від видів робіт, для яких вони призначені, наприклад: сітчасті – від часток і бризок металу, лускаті зі склом – від іскор і стружки і почасти від пилу, окуляри – лійки від пилу і бризок, окуляри типу лійки з гумовою оправою без отворів – при роботі з їдкими хімічними речовинами. У всіх випадках пошкодження очей треба звертатися до лікаря.

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220В, окрім електропечі, яка живиться трифазною напругою 380В.

Обладнання, що використовується, відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом [31]. Мікроскоп має підсилену ізоляцію і не має елементів для заземлення (II клас), піч для нанесення покриттів мають робочу ізоляцію і елемент для заземлення (I клас).

Охолодження рубашки реторти здійснюється за допомогою циркуляції проточною водою, яка підводиться до рубашки по гнучким резиновим шлангам. Строк служби цих шлангів теж необхідно суворо контролювати, оскільки під дією температури та часу в них може виникнути тіч, що в свою чергу може призвести до попадання води на струмонесучі частини установки і тим самим викликати появу короткого замикання.

Таким чином, в процесі роботи з електрообладнанням може виникнути небезпека враження електричним струмом. З точки зору безпеки ураження людини електричним струмом лабораторію, в якій здійснювалося виконання НДР, у відповідності з [32], можна віднести до приміщень без підвищеної небезпеки (I-го класу) оскільки в лабораторії відсутні такі чинники підвищеної або особливої небезпеки електротравм:

- температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35⁰С;
- струмопровідна підлога – металева, цегляна, бетонна, земляна тощо;
- струмопровідний вплив;
- можливість одночасного доторкання людини до неструмовидимих частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею [30].

Науково-дослідна лабораторія: суха, з нормальною температурою повітря та підлогою, що не проводить струм.

Струм, який проходить через організм людини є сильним вражаючим фактором, викликає непереборне судомне скорочення м'язів людини, гострі болі в області серця, опіки. Безпека експлуатації роботи електроустаткування

забезпечується наступними захисними заходами: періодичною перевіркою стану ізоляції, недоступністю струмоведучих частин, блокуванням безпеки і методами орієнтації.

5.4 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. Ціаністі солі, упаковані в жерстяні або залізні банки або барабани, зберігаються на особливому складі, ізольованому від загального складу, з вентиляцією, що включається поза складу [31].

Отже, на тарі повинен бути напис « ОТРУТА ». До роботи з ціаністими 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 [32].

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.

5.5 Порядок забезпечення робітників засобами захисту

Таким чином, роботодавець зобов'язаний придбати за рахунок організації та за встановленими нормами безкоштовно видавати працівникам, зайнятості на роботах із шкідливими або небезпечна умови праці, в особливо температурних умовах и на роботах із забрудненням сертифіковані засоби

індивідуального захисту, а також змиваючи та знешкоджують засоби. Він зобов'язаний також за свій рахунок забезпечити зберігання (у спеціальних гардеробних), прання, сушіння, дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію та ремонт виданих [34].

Отже, працівник зобов'язаний використовувати видані йому ЗІЗ і правильно застосовувати їх. У разі незабезпечення належної за нормами ЗІЗ роботодавець не має права вимагати від працівника виконання трудових обов'язків і зобов'язаний сплатити йому в разі виникнення з цієї причини застій в роботі у розмірі не менше двох третіх тарифної ставки або окладу [31].

Деякі види ЗІЗ (респіратори, захисні окуляри, протигази тощо) видають не в одиницях на рік, а «до зносу», інші, звані «черговими», видають тільки на час виконання тих робіт, для яких вони передбачені. Вони можуть бути також закріплені за певними робочими місцями (це, наприклад, кожухи – на зовнішніх постах, рукавиці діелектричні – при електроустановках тощо) [32].

Згідно до правил забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими ЗІЗ видавати працівникам ЗІЗ слід відповідно до їх зростання і розмірами, а при видачі респіраторів, протигазів, саморятівників, запобіжних поясів, касок, накомарників та інших подібних ЗІЗ роботодавець зобов'язаний забезпечити інструктажі працівників щодо правил користування і найпростіших способів перевірки їх справності. Він зобов'язаний також у відповідні терміни проводити випробування даного типу ЗІЗ, повинен вживати заходів до того, щоб працівники дійсно користувалися виданими ЗІЗ і не допускати їх до роботи без них або в несправній, брудній, що не відремонтованої спецодязі і спецвзуття [31].

Отже, видані працівникам ЗІЗ – власність підприємства, і вони підлягають поверненню при звільненні, переведенні на іншу роботу, де вони не передбачені. Виносити ЗІЗ за межі організації забороняється, крім випадків, де це зробити не надається можливим (наприклад, на лісозаготівлях, на ряді сільськогосподарських робіт) [33]. Тоді видані ЗІЗ залишаються у працівників.

Такий порядок може бути обумовлений у колективному договорі або правилах внутрішнього трудового розпорядку.

Видачу працівникам і прийом від них ЗІЗ реєструють в особистій картці встановленого зразка [31].

Отже, норми безплатної видачі працівникам змиваючих і знешкоджуючих засобів встановлені на підприємствах.

На роботах, пов'язаних із забрудненням, кожному працівникові покладається видавати по 400 г мила на місяць, по 100 мл захисного і по 100 мл відновлюючого крему для рук, а також по 200 мл всеочисній пасти для рук [33].

Наголошуємо, що роботодавець зобов'язаний купувати та видавати спецодяг та інші ЗІЗ тільки ті, що мають сертифікат відповідності. Треба зауважити, що цей порядок часто порушується.

У 2005 р. в ході перевірок держінспектори праці заборонили використання на підприємствах понад 44 тис. одиниць ЗІЗ, придбаних роботодавцями без сертифікатів відповідності і, отже, не повною мірою забезпечують захист працівників [34].

5.6 Надання першої допомоги при нещасних випадках

Отже, при наданні першої допомоги потерпілому від електричного струму необхідно ще до прибуття лікаря негайно звільнити потерпілого від дії електроструму і тут же почати штучне дихання, пам'ятаючи, що уражений електрострумом часто ще живий, незважаючи на відсутність серцебиття, дихання і пульсу.

Штучне дихання виробляють безперервно протягом іноді 10-12 годину. Ні в якому разі не можна закопувати потерпілого в землю. Поруч із штучним диханням в якості міри першої допомоги розтирають тіло м'якою матерією в області грудей і живота.

Якщо потерпілий не втратив створення, його необхідно перенести в чисте провітрене приміщення, укласти в ліжку і викликати медичну допомогу. В цех повинні бути вивішені плакати та інструменти з надання першої допомоги [31].

Таким чином, потерпілому від термічного опіку першого ступеня слід накладати содовий компрес, або присипати місце опіку очищеної содою, або застосувати спиртову примочку або примочку з 4% -го розчину марганцевокислого калію, застосовувати не слід [35].

При отруєнні окисом вуглецю винести потерпілого на свіже повітря і напоїти міцним чаєм, кафе і т.п. У разі припинення дихання виробляти штучне дихання [33].

5.7 Правила громадської безпеки

Правила громадської безпеки в термічних цехах:

- пристрій огорожень печей і струмопровідних проводів;
- збереження приміщення в чистоті;
- зберігання робочих інструментів у спеціальних приладах – пірамідах;
- ізоляцію від загального приміщення термічного цеху таких процесів, як ціанування, травлення, піскоструминне очищення і т.п.;
- справність припливно-витяжної вентиляції [30];
- огорожа електродвигунів та іншого електрообладнання і його заземлення;
- установку ресивера, поза приміщенням цеху;
- огорожа місць, відведених для вивантаження та охолодження нагрітих виробів (наприклад: при нормалізації);
- справність транспортних шляхів, так само як і самих транспортних засобів;
- більш широке застосування механізації при транспортуванні виробів;
- обмеження входу в термічні цехи і особливо в спеціальні відділення для осіб, які не мають прямого відношення до роботи в цих відділеннях;
- вивішування плакатів безпеки, наприклад про високу напругу [30].

5.8 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 маслоохолоджувальної системи, особливо відведення циркулюючого гартувального масла, щоб уникнути його переливу через борти боки і розтікання по підлозі цеху [31];

– у цехах повинен знаходитися пожежний інструмент, пінні вогнегасники, кошма або листовий азбест для накриття 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 [35].

Таким чином, при загорянні мазуту ефективним для гасіння засобом виявляєте пінний вогнегасник, пісок, розпорошена вода, застосування якої базується переважно на освіту 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 [30].

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 [33].

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 [31].

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 [30].

На випадок пожежі в лабораторії розроблений план евакуації. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії (теплові або димові повідомлювачі), а також встановлений ящик з піском [34].

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 [35].

5.9 Заходи з охорони навколишнього середовища

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 3831-98 «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 [30].

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 [31].

Всі стічні води спускаються в міську каналізаційну систему. Зливання в каналізаційну мережу відпрацьованих розчинів хімічних речовин допускається лише після їх нейтралізації та очищення [31].

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

5.10 Техніка безпеки при роботі з епоксидними смолами

Епоксидна смола ЕД-20 не вибухонебезпечна, але горить при внесенні в джерело вогню. Летючі компоненти (толуол і епіхлоргідрин) містяться в смолі в кількостях, що визначаються виключно аналітичними методами, і відносяться до речовин 2-го класу небезпеки за ступенем впливу на організм людини [31]. При роботі з епоксидними смолами повинні бути забезпечені спецодягом та індивідуальними засобами захисту, згідно ДСТУ 3042-2005 «Устаткування технологічне для переробки полімерних матеріалів. Терміни та визначення». Всі операції при роботі з епоксидними смолами повинні проводитися в приміщеннях обладнаних припливно-витяжною вентиляцією.

Отже, при безпосередньому контакті незатверділої смоли зі шкірою можливе виникнення дерматиту, в деяких випадках алергічного характеру.

Таким чином, при роботі з епоксидними смолами повинні дотримуватися затверджені вимоги санітарних правил організації технологічних процесів і гігієнічних вимог до виробничого обладнання та правил безпеки з виробництва пластичних мас [35].

Насамперед, відбір проб, промивка і обробка апаратури і тари, аналіз смол повинні проводитися відповідно до правил з безпечного ведення робіт, затвердженими в установленому порядку [30].

Таким чином, виробничі приміщення повинні бути оснащені припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує восьмикратний обмін повітря. Працюючі з епоксидними смолами повинні бути забезпечені спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту.

У робочих приміщеннях повинні бути умивальники з гарячою і холодною водою [35].

Суворо забороняється миття рук розчинниками, так як це сприяє виникненню шкірних поразок. Бризки смол повинні бути негайно вилучені сухими марлевими тампонами. Потім уражене місце слід обробити етиловим спиртом, ретельно промити водою з милом, осушити паперовим рушником одноразового користування і змастити м'якою маззю [33].

Смоли не вибухонебезпечні, але горять при внесенні в джерело вогню. Температура спалаху більше 270°C.

Слід зазначити, що засоби пожежогасіння – вуглекислотні і порошкові вогнегасники, вода, пар, інертний газ, азбестове полотно, пісок – повинні вибиратися відповідно до правил з безпечного ведення робіт, затвердженими в установленому порядку [31].

Висновки до розділу 5

Отже, система управління охороною праці є однією з найважливіших складових частин загальної системи управління виробництвом. Її головним завданням є створення безпечних і здорових умов праці.

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 працюючих.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Матеріал для виготовлення пружинних виробів повинен мати достатню циклічну стійкість. Опір мікропластичним і малим пластичним деформаціям - найважливіша характеристика якості пружинних матеріалів. Для отримання високого опору малим пластичним деформаціям матеріали повинні мати певну мікроструктуру.

Визначений комплекс стандартних механічних властивостей за умов статичного навантаження, при випробуваннях на розтяг, кручення, вигин. Повинна забезпечуватися висока міцність, твердість і одночасно достатня в'язкість, щоб уникнути тендітного руйнування. Необхідні властивості забезпечуються певною мікроструктурою та субструктурою.

У другому розділі розглянуто методику випробувань заготовок з ПКМ, які застосовувалися при проведенні експериментів: механічні випробування зразків вуглепластика (межа міцності при поперечному згині) , визначення щільності зразків вуглепластика, макро- та мікроаналіз ПКМ. Наведено дані, склад, фізико-механічні властивості матеріалів і технології їх отримання.

Для проведення фізико-механічних випробувань були виготовлені зразки ПКМ матеріалу склопластика та вуглепластика у вигляді пластин 150×150 мм різної товщини. Товщина пластин змінювалася залежно від типу тканини, кількості шарів. Технологія отримання зразків - вакумне формування.

Спосіб виготовлення зразків для всіх випробувань згідно з ГОСТ 26277-84 Пластмаси. Проведені механічні випробування зразків ПКМ: з визначення межі міцності при згині згідно з ГОСТ 25.604-82. Визначена щільність зразків ПКМ гідростатичним зважуванням згідно ГОСТ 15139-69.

Визначено: межа міцності при згині зразків ПКМ залежить від кількості шарів тканини у зразку, типу тканини, напрямку волокон у шарі. Максимальне значення межі міцності при згині має зразок № 9 ($\sigma_c - 4,22\text{МПа}$), зразок складається з 4 шарів тканини (склотканина (2 шари), вуглетканина, кевлар).

Зразки до складу яких входить вуглецева тканина мають більшу міцність при згині ніж зі склотканини та кевлару, при однаковій кількості шарів в тканині та щільності у зразках.

Аналіз значень максимального прогину зразків показує, що пружність зразків залежить від виду тканини та кількості шарів, пружність зростає зі збільшенням кількості шарів тканини у зразку № 9 (4 шари, максимальний прогин $h = 25$ мм), зразок №1 (2 шари, максимальний прогин $h = 36$ мм).

Міцність зразків залежить від напрямку навантаження, яке прикладене до зразків (матеріал зразків анізотропен) і збільшується зі збільшенням кількості шарів з напрямком волокон, що збігається з напрямком навантаження, що прикладене до зразків при механічних випробуваннях.

Щільність одержаних зразків знаходиться в межах $913 - 1092$ кг/м³, залежить від щільності тканини, що входить до складу зразка, її типу, кількості шарів у зразку та кількості епоксидного сполучного.

Термічна обробка зразків (12 год, 70 °C) збільшує межу міцності зразків на 8-10% за рахунок більш повної полімеризації епоксидної матриці.

Мікроаналіз зразків показав наявність пор (у вигляді виходу газових міхурів) на поверхні зразків. Наявність пор свідчить про недостатній час вакуумування матеріалу зразків, неоптимальне значення руху у вакуумному мішку, або дуже швидку полімеризацію епоксидної смоли.

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 $6\,097,38$ грн.

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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бохоева, Л.А. Испытание на прочность кольцевых образцов из слоистых композиционных материалов с межслойными дефектами / Л.А. Бохоева, А.С. Чермошнцева // Вестник Бурятского государственного университета. 2011. №9. С. 230-236.
2. Сенюшкин, Н. С. Применение композиционных материалов в конструкции БПЛА / Н. С. Сенюшкин, Р. Р. Ямалиев, Л. Р. Ялчибаева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 4 (27). — Т. 1. — С. 59-61. — URL: <https://moluch.ru/archive/27/2963/> (дата обращения: 28.11.2021).
3. Гришин, В.И. Прочность и устойчивость элементов и соединений авиационных конструкций из композитов. / В.И. Гришин, А.С. Дзюба, Ю.И. Дударьков // М.: АНО «Физмалит», 2013. 272 с.
4. Фитцер, Э. Углеродные волокна и углекомполиты: Пер. с англ. / Под ред. А.А. Берлина. // – М.: Мир, 1988. –366 с.
5. Белова, Н.А. Композитные материалы на основе углеродных волокон / Н.А. Белова // Молодой ученый. – 2015. – №24.1. – С. 5-7. – URL
6. Жуков, М.О. Исследование возможности применения модификаторов на основе углеродных наноструктур в технологии эффективных строительных материалов / М.О. Жуков // Молодой ученый. – 2012. – №5 с. 16-20.
7. Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения / П.Н. Дьячков // – М. : Бином, 2006. – 293 с. – Библиогр. : с. 290-293. – ISBN 978-594-774-341-8.
8. Радушкевіч, Л.В. Про структуру вуглецю, що утворюється при термічному розкладанні окису вуглецю на залозі / Л.В. Радушкевич, В.М. Лукьянович // Журнал физической химии. – 1952. – Т. 26. – С. 86-88.
9. Iijima, S. Helical microtubules of grafitic carbon [Text] / S. Iijima // Nature. – 1991. – Vol. 354. – No. 6348. – P. 56-58.

10. Kiang, C.H. Size Effects in Carbon Nanotubes [Text] / C. H. Kiang, M. Endo, P. M. Ajayan etc. // *Physical Review Letters*. – 1998. – Vol. 81, No. 9. – Pp. 1869-1872.
11. Золотухин, И.В. Новые направления физического материаловедения / И.В. Золотухин, Ю.Е. Калинин, О.В. Стогней // – Воронеж : Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2000. – 360 с.
12. Merkel, T. Effect of nanoparticles on gas sorption and transport in poly (1-trimethyl-silyl-1-propyne) / T. Merkel, H. Zhenjie, I. Pinau, D. Freeman, P. Meakin, A. Hill // *Macromolecules*. – 2003. – Vol. 36, N 18. – P. 6844 – 6855.
13. Nguyen, C.V. Carbon nanotube scanning probe for profiling of deep-ultraviolet and 193 nm photoresist patterns / C.V. Nguyen et al. // *Applied Physics Letters*. – 2002. – Vol. 81. – P. 901.
14. Wong, S.S. Carbon nanotube tips: high-resolution probes for imaging biological systems / S.S. Wong et al. // *Journal of the American Chemical Society*. – 1998. – Vol. 120. – P. 603.
15. 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.
15. Haiyan, Li , Zhisheng Zhang , Xiaofei Ma. (2007) Synthesis and characterization of epoxy resin modified with nano-SiO₂ and γ -glycidoxypolytrimethoxy silane. *ScienceDirect.*, 201, pp. 5269-5272.
16. 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.
17. Hassan Mahfuz. (2008) Reinforcement of nylon 6 with functionalized silica nanoparticles for enhanced tensile strength and modulus. *Nanotechnology*, IOP Publishing Ltd, No19, pp 1-7.
18. Мищенко, С.В. Исследование корреляции диэлектрической и калориметрической степени отверждения углепластиков / С.В. Мищенко, О.С.

Дмитриев, А.О. Дмитриев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2004. – Т. 10, № 1Б. – С. 195 – 200.

19. S.-Y. Fu, X.-Q. Feng, B. Lauke, Y.-W. Mai. Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites. *Composites: Part B* 39. (2008). P. 933–961.

20. Грищенко, С.В. Разработка макромодели слоистого композита для анализа напряженно-деформированного состояния нерегулярных зон типовых конструкций планера самолета // Труды МАИ. 2013. №65. URL:

21. Хмелев, В.Н. и др. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности // Бийск. 2010.

22. Новицкий, Б. Г . Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах // Химия, 1983. – 192 с.

23. Хмелев, В.Н. и др. Метод расчета оптимальных интенсивностей ультразвукового кавитационного воздействия на вязкие и высокодисперсные жидкие среды // XII международная конференция – семинар молодых специалистов по микро- и нанотехнологиям и электронным устройствам EDM'. 2011.

24. Негров, Д.А. Влияние ультразвуковых колебаний на структуру полимерного композиционного материала / Д.А. Негров, Е.Н. Еремин // Омский научный вестник. – 2010. – № 2 (90). – С. 12–15.

25. Брандон, Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан // – М. : Техносфера, 2004. – 384 с.

26. Марихин, В.А. Надмолекулярная структура полимеров / В.А. Марихин, Л.П. Мясников. – Л. : Химия, 1977. – 240 с.

27. Dekkers MEJ, Heikens D. The effect of interfacial adhesion on the tensile behavior of polystyrene–glass-bead composites. // *J Appl. Polym. Sci.*1983;28: P. 3809–3915.

28. Rhein, L.D. Surfactants in personal care products and decorative cosmetics // E.3. 2006: Publisher CRC Press. P. 480.

29. Гальчинський, А.С. та інші Основи економічних знань: Навчальний посібник. // – К.: Вища школа, 1999. – 544 с.

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

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

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

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

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

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