

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування факультету)

Композиційних матеріалів, хімії та технологій

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **РОЗРОБКА СКЛАДУ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБУ**
«ВІДКРИТИЙ РЕЗЕРВУАР ДЛЯ РІДИНИ» З КОМПОЗИЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ

(назва теми)

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

БОРИСЕНКА Ігоря Олександровича

(ПРИЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БІЛІКОМУ)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка складу і технології виготовлення виробу

«відкритий резервуар для рідини з композиційних матеріалів»

керівник проєкту (роботи) к.т.н. Михайлович

Михайлович

Виконав: студент 2м курсу, групи БАД 222м

натверджені навчальним закладом

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 21.01.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) температура

+4...+30°C відкритого резервуару власний (до 13, пуклих і пористих)

діаметр 10 м, висота 15 м – розробка технології виготовлення

ного виготовлення

Освітня програма (спеціалізація)

Композиційні та порошкові матеріали, покриття

Борисенко І.О.

(прізвище та ініціали)

маєт розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

розробити), і проаналізувати можливий склад матеріалів і технологій

3) обрати для використання де Білеска

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

21.12.23

місність та на якій установі обрати ВІНІЧЕНКО В.С.

Рецензент ВІНІЧЕНКО В.С.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

22.12.2023

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обсягів: креслень,

таблиць, проєктів) 2023

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайнуКафедра Композиційних матеріалів, хімії та технологій

Ступінь вищої освіти магістр _____

Спеціальність 132 Матеріалознавство _____

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Композиційні та порошкові матеріали, покриття

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КМХТ

Олександр МІТЯЄВ
« 17 » 10 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

БОРИСЕНКА Ігоря Олександровича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка складу і технології виготовлення виробу «відкритий резервуар для рідини» з композиційних матеріалів
керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент ПЛЕСКАЧ Володимир Михайлович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 17 » X 2023 року № 391

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 21.01.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) для заданих умов експлуатації (температура +4...30°C) відкритого резервуара для рідини (вода, лужні розчини) розмірами: діаметр 10 м, висота 15 м – розробити склад композиційного матеріалу та спосіб його виготовлення

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) проаналізувати можливий склад матриць і наповнювачів; 2) обрати для використання декілька видів композитів; 3) зробити розрахунки на міцність та на їх підставі обрати оптимальний склад композиційного матеріалу; 4) для виробу завдання розробити технологію виготовлення;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) таблиці, презентація 13 слайдів

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічні	ПЛЕСКАЧ В.М., к.т.н. 8006	ВВЛ	ВВЛ
Нормоконтроль	САВЧЕНКО В.О., к.т.н. 8006	СВШ	СВШ

7. Дата видачі завдання « 17 » 10 20 23 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вступ, 1 розділ	27.10.2023	ВВЛ
2	2 розділ	09.11.2023	ВВЛ
3	3 розділ	24.11.2023	ВВЛ
4	Попередній захист	15.12.2023	ВВЛ

Студент

Борисенко
(підпис)

Ігор БОРИСЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

Плескач
(підпис)

Володимир ПЛЕСКАЧ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ складається з 61 сторінок, 20 рисунків, 6 таблиць і 1 додатка.

Об'єктом дослідження є відкритий резервуар для рідини, для якого необхідно розробити склад композиційного матеріалу замість сталі.

Мета даної дипломної роботи полягає у розробленні для резервуара завдання оптимального складу композиційного матеріалу та технології його виготовлення. У роботі проведений аналіз можливого використання різних полімерних матриць і наповнювачів згідно із заданими умовами експлуатації. Одночасно були проаналізовані можливі способи виготовлення резервуара залежно від його розмірів, конфігурації і складу композиційного матеріалу. На підставі аналізу розроблено ймовірні чотири склади композиційного матеріалу і два способи виготовлення виробу. Після проведення розрахунків на міцність встановлені остаточно оптимальні склад композиційного матеріалу, розміри резервуара і технологія його виготовлення.

Ключові слова: КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, МАТРИЦЯ, СКЛОТКАНИНА, ЕПОКСИДНИЙ СПОЛУЧНИК, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, КОНТАКТНЕ ФОРМУВАННЯ, АВТОКЛАВНЕ ФОРМУВАННЯ

ABSTRACT

The EN consists of 61 pages, 20 figures, 6 tables and 1 appendix.

The object of research is an open tank for liquid, for which it is necessary to develop a composition of composite material instead of steel.

The purpose of this thesis is to develop the optimal composition of the composite material and its manufacturing technology for the task tank. The paper analyzes the possible use of various polymer matrices and fillers according to the specified operating conditions. At the same time, possible ways of manufacturing the tank were analyzed depending on its size, configuration and composition of the composite material. On the basis of the analysis, four probable compositions of the composite material and two methods of manufacturing the product were developed. After carrying out strength calculations, the optimal composition of the composite material, the dimensions of the tank and the technology of its manufacture are determined.

Keywords: COMPOSITE MATERIAL, MATRIX, GLASS FABRIC, EPOXY BINDER, MECHANICAL PROPERTIES, CONTACT MOLDING, AUTOCLAVE MOLDING

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1 Аналіз завдання і способи його вирішення	9
1.1 Вибір складників композиційного матеріалу	9
1.2 Вибір технології виготовлення виробу	16
Розділ 2 Аналіз оптимальних складу і технологій виготовлення виробу	25
2.1 Аналіз складу композиційного матеріалу	25
2.2 Аналіз способів виготовлення виробів	35
Розділ 3 Розрахунок міцності виробу і технологія його виготовлення	42
3.1 Розрахунок міцності виробу	42
3.2 Розроблення технології виготовлення виробу	45
Висновки	57
Перелік посилань	58
Додаток. Стандартні режими пресування деяких реактопластів	61

ВСТУП

З давніх часів основним конструкційним матеріалом для людства служили метали, деревина та кераміка. Минав час, у промисловості все більше використовувалися метали. З часом попри покращення їх властивостей з'явився інтерес до зменшення металоємності виробів при одночасному покращенні експлуатаційних характеристик. Тому у промисловості сьогодні широко використовуються композиційні матеріали. З них виготовляються найрізноманітніші вироби від побутових виробів до літаків, морських суден.

Композитними матеріалами все частіше застосовуються у різних галузях науки і техніки (рис. 1).

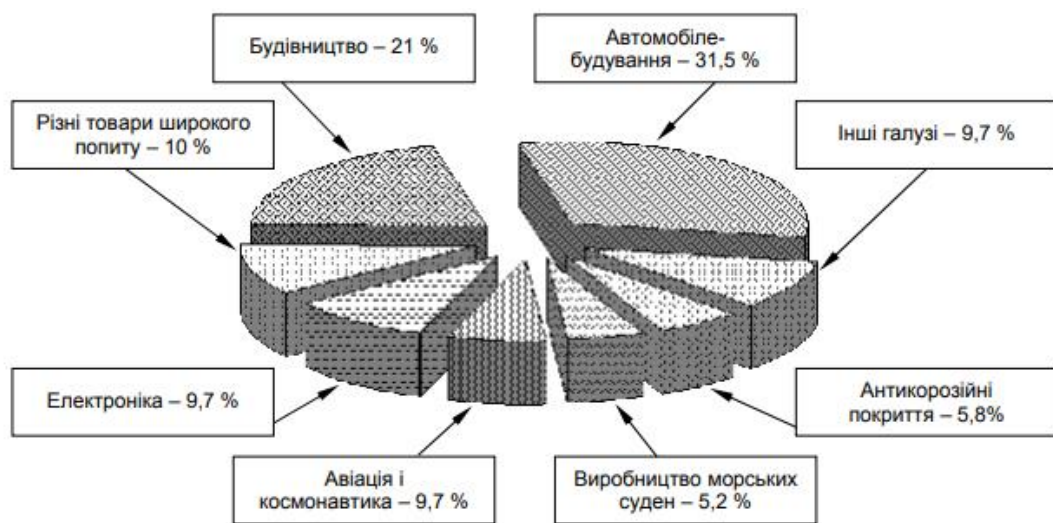


Рисунок 1. - Структура світового досвіду застосування композитних матеріалів у 2011 році [1]

Композиційні матеріали складаються з матриці і армувальних елементів. Матриця забезпечує загальні форму і розміри виробу та захищає їх від механічних пошкоджень і агресивного хімічного середовища. Армувальні елементи зазвичай забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу (міцність, жорсткість і т. п.). Перевагами композиційних матеріалів є високі питомі міцність і

жорсткість, висока зносостікість, а також висока стійкість проти корозії та низька вартість, ніж у металів.

Мета даної дипломної роботи актуальна і полягає у тому, щоб для виробу заданої конструкції і певного призначення замінити металевий матеріал на композиційний. Під час роботи над нею для цього необхідно розробити оптимальні склад композиційного матеріалу та технологію виготовлення запропонованого завданням виробу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ І СПОСОБИ ЙОГО ВИРІШЕННЯ

Завданням даної дипломної роботи передбачається для виробу-завдання «Резервуар відкритий для зберігання рідини» заданої форми і розмірів розробити склад композиційного матеріалу, розглянути можливі способи виготовлення та на підставі певних розрахунків визначити найкращий варіант.

Відкритий резервуар, що розглядається, має достатньо великий розмір, призначений для нетривалого зберігання рідин, які не становлять небезпеки для довкілля і людей, що використовують цей резервуар. Такими рідинами можуть бути вода, лужні розчини, плинні добрива (можливо, з аміачним вмістом) і т. п. Завданням даної роботи передбачається, що резервуар буде експлуатуватися при температурі $+4...+30^{\circ}\text{C}$. Буде він у приміщенні, чи ні – не обумовлено. Тобто, ймовірно резервуар може піддаватися сонячному опромінюванню. Навантаження на дно і стінки резервуара створює рідина, що знаходиться у резервуарі.

Виходячи з цих вихідних даних, необхідно розробити склад відповідного композиційного матеріалу, а знаючи його склад і технологічні властивості, розробити оптимальний метод виготовлення резервуара.

1.1 Вибір складників композиційного матеріалу

1.1.1 Вибір матеріалу матриці.

Одна з задач матриці – надати виробу форму і можливість створювати опір дії довкілля. Судячи з того, що резервуар призначається для зберігання води та слабоактивних розчинів луг та інших хімічних сполук, переважна більшість полімерів, які звичайно використовуються як матриці, задовільно витримує їх дію. Тому при виборі підходящих полімерів більша увага приділятиметься їх

фізичним і технологічним властивостям, реакції на нагрівання, поведінці під навантаженням тощо.

Поліетилен – один з найпоширеніших полімерів; має достатньо високу міцність і теплостійкість. При кімнатній температурі стійкий до дії розведених кислот і луг, але дещо набухає під дією органічних розчинників. При нагріванні на повітрі він піддається термоокиснювальній деструкції. Сонячна радіація викликає термостаріння [2, 3]. Поліетилен легко переробляється усіма методами, відомими для термопластичних полімерів.

Пропілен також стійкий до дії води, розведених луг навіть при температурі до 130⁰С. Але схильний до деструкції під дією концентрованих кислот і сильних окиснювачів. Стійкий до багаторазових згинань. Може використовуватися як фізіологічно нешкідливий матеріал. Пропілен звичайно переробляється пресуванням, литтям під тиском, екструзією, пневмоформуванням [2].

Полістирол має високу радіаційну стійкість, але крихкий і легко піддається старінню. Стійкий до деяких кислот, луг і мастил, але набухає у бензині та гасі. Як і пропілен, полістирол звичайно переробляється пресуванням, литтям під тиском, екструзією, пневмоформуванням [2].

Фторопласт хімічно найстійкіший з усіх полімерів. Він не піддається дії практично всіх концентрованих і розведених кислот і луг, а також сильних окиснювачів. Його не розчинює жоден з відомих розчинників. Стінку з фторопласту не змочує вода. Водопоглинання за 24 години становить 0,00% [2].

Фторопласт абсолютно стійкий у тропічних умовах, не піддається дії грибків, але не зовсім стійкий до радіаційного випромінювання. Важливою особливістю фторопласту є його дуже низький коефіцієнт тертя. Проте для нього характерна повзучість при кімнатній температурі навіть при невеликих навантаженнях.

Виготовлення виробів на основі фторопласту пов'язано з певними труднощами. Спочатку вихідний порошок змішується з наповнювачем і таблетується при кімнатній температурі. Отримані з таблеток вироби проходять

спікання при температурі 375°C протягом 20 хв. на кожний міліметр товщини виробу.

Полікарбонати – складні полієфіри вугільної кислоти. Мають стійкість до дії розведених кислот, луг і окиснювачів. Але сильні луги викликають деструкцію. Вони розчиняються або набухають у більшості органічних розчинників.

Полікарбонати негігроскопічні, мають високу вологостійкість і стійкість до мікроорганізмів. Механічні властивості (зокрема міцність) полікарбонатів зберігаються у діапазоні температур від -100 до $+200^{\circ}\text{C}$.

Полікарбонати переробляються всіма методами, притаманні термопластам, у тому числі методам холодного формування. При переробленні для них характерна висока стабільність розмірів виробів.

Поліаміди мають низьку гігроскопічність, стабільні при підвищених температурах. Стійкі до органічних розчинників, але розчиняються у концентрованих кислотах і спиртах.

Як механічні властивості для поліамідів характерні висока втомна міцність, високі зносостійкість і опір ударним навантаженням. З поліамідів найчастіше виготовляють тонкостінні вироби (з товщиною до 0,3 мм) складної конфігурації литтям під тиском або екструзією (з роздуванням і без).

Поліімід не змінюють свої фізико-механічні властивості у широкому діапазоні температур від -200 до $+300^{\circ}\text{C}$. Вироби з них мають високу стабільність розмірів і низьку повзучість при підвищених температурах. На них не діють розведені кислоти, більшість органічних розчинників і мастил.

Вироби з поліімідних прес-порошків переробляються прямим і литтєвим пресуванням, а також литтям під тиском. Поліімідні рідкі зв'язувальні речовини використовуються шляхом просочування наповнювачів з подальшим прямим пресуванням або контактним формуванням.

Фенолформальдегідні смоли – дуже поширений термореактивний полімер. У неотвердженому стані це – тверда крихка аморфна маса. При температурі $+140\dots 200^{\circ}\text{C}$ полімер спочатку плавиться, а після полімерізації твердіє.

У затверділому стані вироби з фенолформальдегідів мають високі механічні властивості, хороші антикорозійні та діелектричні властивості. Вони стійкі до дії більшості кислот і розчинів луг; не розчиняються в органічних розчинниках [2, 4].

Фенолформальдегідні смоли у суміші з дисперсними наповнювачами використовують для виготовлення виробів з наступним затвердінням шляхом прямого і литтєвого пресування, екструзії, автоклавного формування та інші.

Епоксидні смоли у незатверділому стані становлять термопластичну в'язку речовини. Вони можуть при введенні заверджувача твердіє як у холодному, так і у гарячому стані, що дозволяє використовувати порівняно прості технології перероблення смол. Після затвердіння вироби мають порівняно невелику усадку.

Епоксидні смоли мають високу адгезію до багатьох конструкційних матеріалів, що дозволяє використовувати їх у таких конструкціях, які складаються з різноманітних елементів. Перевагою епоксидних смол є їх здатність добре поєднуватися з іншими полімерами, що надає композиту додаткові корисні властивості.

Вироби з композиційних матеріалів на основі епоксидних смол мають кращу міцність і менш крихкі, ніж вироби на основі фенолформальдегідних смол.

Епоксидні смоли стійкі до води, розчинів солей, луг, кислот, а також до органічних розчинників. Їх водопоглинання за 24 години становить 0,01...0,10%.

Технологічне використання епоксидних смол ґрунтується на просочуванні наповнювача (волокнистого, тканого, нетканого і т. п.). Можливе використання й порошкових наповнювачів. Отримана суміш піддається затвердінню з одночасним формуванням шляхом прямого пресування, контактного, автоклавного, пневматичного або вакуумного формування [2, 3, 4].

Підсумовуючи аналіз наведених вище полімерів, можна зробити висновок, що всі вони більшою або меншою мірою задовольняють вимоги виробу щодо взаємодії з довкіллям. Але у кожного є свої особливості, які треба врахувати при виборі ймовірного складу композиційного матеріалу, що розробляється для резервуару згідно з завданням дипломного проектування.

Так, поліетилен на повітрі піддається термоокиснювальній деструкції, а під дією сонячного опромінювання старіє. Полістирол також легко піддається старінню і є крихким. У фторопластів дуже складна технологія виготовлення виробів, яка не підходить для великих виробів складної конфігурації. Полікарбонати мають високу вологостійкість, але реагують на дію луг. Особливості механічних властивостей поліамідів не потрібні нерухомому резервуару зі статичним постійним навантаженням.

Для заданого виробу добре підходять за всіма властивостями фенолформальдегідні смоли. Перепоною їх використання служать особливості їх використання під час формування виробу і полімерізації: перехід з первинного порошкоподібного стану у в'язкоплинний. Їх зручно використовувати при наявності у складі матеріалу дисперсних наповнювачів, а не волокнистих чи шаруватих.

Найкращими матрицями для складу композиційного матеріалу, що розробляється, є полііміди і епоксидні смоли. Вони мають всі необхідні експлуатаційні та механічні характеристики для того, щоб забезпечити довговічність резервуара. Головною перевагою цих полімерів є здатність просочувати шаруватий наповнювач, що забезпечує високі і технологічні, і механічні характеристики композиційного матеріалу. Тому саме ці полімери обираються як матриці для подальшого розроблення складу композиційного матеріалу.

1.1.2 Вибір матеріалу наповнювача

Наповнювачі – головний елемент композиційного матеріалу, який визначає його міцність. За своїм складом наповнювачі поділяються на дисперсні, волокнисті і шаруваті.

Дисперсні порошки – це різноманітні порошки металевого, мінерального і природного походження. До них також відносяться також частинки оксидів, карбідів, різних хімічних сполук тощо. Як дисперсний наповнювач можна розглядати й різані волокна довжиною 3...10 мм і діаметром 9...13 мкм [4].

Вплив дисперсних порошоків на міцність матеріалу залежить від природи порошку, форми і розмірів частинок, вмісту наповнювача у композиті. Останній може становити 10...50% (об.). При цьому міцність термопласта збільшується у 2...3 рази.

Другу групу становлять *волокнисті наповнювачі*. Це неперервні волокна діаметром від одиниць до сотень мікрометрів. Вони виготовляються з полімерів, металів, скла, базальту, бору, карбіду кремнію, вуглецю. Для армування полімерів використовуються як окремі волокна, так і виготовлені з них нитки, стрічки джгути. Неперервні волокна, як правило використовуються для виготовлення анізотропних матеріалів, властивості яких залежать від напрямку орієнтації волокон [4, 6].

Останнім часом набули значного поширення скляні і вуглецеві волокна. Міцність скляних волокон залежить від їх діаметра: чим менше діаметр, тим більше міцність. Наприклад, при збільшенні діаметра скловолокна від 10 до 100 мкм його міцність при розтягу зменшується майже у 2 рази. Текстильному обробленню звичайно піддаються волокна діаметром 4...7 мкм. [6].

Вуглецеві волокна отримують досить складним шляхом карбонізації з полімерних волокон. Залежно від вихідної сировини і технологічного процесу вуглецеві волокна поділяються на карбонізовані, вугляні і графітові, ступінь графітизації яких становить відповідно: не більше 90%, 91...98% і понад 98% [4, 6].

Вуглецеві волокна виготовляються діаметрам від 4 до 8 мкм. Вони мають приблизно однакову міцність зі скляними волокнами, але модуль пружності у 5 разів більше; мають високий опір втомі при знакозмінних навантаженнях, низький коефіцієнт термічного розширення, стійкість при підвищених температурах. Вуглецеві волокна відрізняються доброю технологічністю.

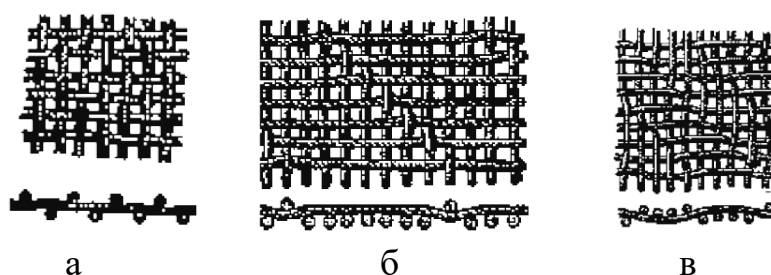
Односпрямовані неперервні волокна використовуються для виготовлення виробів намотуванням, а також пултрузією для виготовлення профільних виробів.

Третя група – *шаруваті наповнювачі*. Шаруваті наповнювачі – двовимірний матеріал порівняно невеликої товщини. Для їх виготовлення використовують неткані матеріали (мати, полотно), тканини і папір.

Мати виготовляються з хаотично розташованих коротких (10...200 мм) і неперервних волокон, з'єднаних клеєм або прошитих на голкопробивних машинах. Використання неперервних волокон в останньому випадку сприяє тому, що волокна краще переплутуються і створюють міцнішу структуру. Мати з неперервного волокна легше сприймають конфігурацію форми.

Об'єм пор у матах становить близько 70%. Це сприяє кращому просочуванню наповнювача полімером. Хаотичне розташування волокон створює ізотропію властивостей композиту, тобто однаковий опір при будь-якому напрямку прикладення навантаження. У матів міцність і твердість дещо нижче, ніж у орієнтовних композитів, але й нижче ціна [4, 5].

Мати найчастіше виготовляють зі скловолокон. Тканини виготовляють з кручених ниток або ровінга щільним переплетінням на ткацьких верстатах. Міцність тканин залежить від властивостей волокон основи і утка, товщини ниток, виду і щільності їх переплетіння. Суттєво впливає також звивистість ниток у переплетінні та загальний характеру поверхні. При виготовленні тканини можлива велика кількість варіантів переплетень (рис. 1.1), яка забезпечує отримання у подальшому композитів з найрізноманітнішими властивостями.



а – регулярне; б – сатинове; в – рядкове

Рисунок 1.1 - Приклади видів переплетень

Композити на основі тканих наповнювачів називаються «склопластиками».

Передня частини назви залежить від матеріалу матриці [6]. На сьогодні найвідомішими є: склопластики, вуглепластики і органопластики. Міцність пластика залежить не тільки від властивостей тканини і матриці, але й від їх взаємодії на межі волокно-матриця. Для покращення цієї взаємодії волокна композитів захищають покриттями (апретами). Апрети покращують зв'язок між волокнами і матеріалом матриці, а також деякі фізико-хімічні властивості.

Найбільше зараз використовуються склопластики і вуглепластики. Склопластики сьогодні є найдешевшими і найпоширенішими завдяки високим механічним властивостям і порівняній простоті технології їх виготовлення.

Вуглепластики відрізняються високою питомою міцністю, ерозійною стійкістю та стійкістю до дії агресивних середовищ. І скло-, і вуглепластики сьогодні широко використовуються в авіації і ракетобудуванні [4, 8, 9].

Шаруватим пластиком, наповнювачем якого служить папір, є гетинакс. Матрицею можуть служити фенолформальдегідні і епоксидні смоли. Гетинакс має високі електроізоляційні властивості, низьку міцність і низьку вартість. Він використовується для виготовлення плат у низьковольтній апаратурі.

На підставі розгляду існуючих типів наповнювачів, їх властивості і галузей переважного використання можна прийти до висновку, що для великого виробу складної конфігурації найбільше підходять шаруваті наповнювачі – тканини і мати. Вони можуть забезпечити високу міцність і стійкість в експлуатації. При необхідності з них можна виготовляти наповнювач у декілька шарів, щоб забезпечити задану товщину виробу і відповідно достатню міцність. Мати і тканини мають достатню пористість, щоб забезпечити ефективний контакт волокон і матриці. Особливо, якщо вони будуть використовуватися разом з полімерами, здатними добре просочувати наповнювачі.

1.2 Вибір технології виготовлення виробу

Виготовлення виробів з композиційних матеріалів – це сукупність багатьох різноманітних процесів, за допомогою яких вихідні матеріали перетворюються у виріб заданої форми і розмірів з необхідними експлуатаційними властивостями. Сьогодні існує кілька десятків методів перероблення композиційних матеріалів. Вибір оптимального метода залежить від:

- форми, розмірів і конструктивних особливостей виробу;
- складу і технологічних можливостей компонентів матеріалу виробу;
- низки економічних складників (розмір замовлення, серійність виробництва, продуктивність тощо).

З технологічних особливостей компонентів матеріалу треба звертати увагу у першу чергу на тип полімеру (термопластичний чи термореактивний), на вид наповнювача (дисперсний, волокнистий чи шаруватий). Технологічні особливості матеріалу можуть вимагати значних теплових витрат або витрат на більш або менш складне технологічне обладнання.

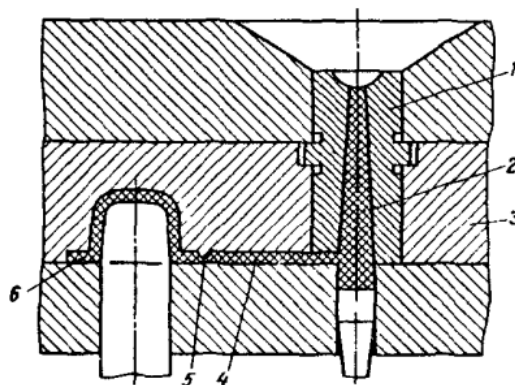
Серійність виробництва впливає на вибір методу з дешевою чи дорожчою оснасткою. Якщо точність розмірів виробу відіграє вирішальну роль, для досягнення стабільності розмірів використовується дорожча оснастка з високоякісних сталей [5, 14].

Отже, вибір оптимального технологічного процесу ґрунтується на аналізі великої кількості різноманітних факторів з урахуванням їх важливості.

Досить чітко всі методи виготовлення виробів з композиційних матеріалів поділяються на групи, пов'язані з використанням певних наповнювачів: дисперсних, волокнистих і шаруватих.

До методів, які використовують виключно дисперсні наповнювачі (порошки, гранули, дрібно порізані волокна) відносяться перш за все *пресування і лиття під тиском*.

Їх спільною рисою є те, що вихідний матеріал (прес-порошок) під дією нагрівання переводиться у в'язкотекучий стан, одночасно під дією тиску формується виріб, і задана конфігурація виробу фіксується у прес-формі [4, 5, 14]. Вироби виготовляються як з термопластичних, так і з термореактивних полімерів. Оснастка і литтєвого пресування, і лиття під тиском має ливникові канали досить малого діаметра (рис. 1.2), тому у композитах використовуються як наповнювачі лише порошки, гранули або різані волокна довжиною 0,5...2,0 мм.



1 – втулка; 2 – центральний канал; 3 – ливникова плита; 4 – розвідний канал; 5 – впускний канал; 6 – виріб

Рисунок 1.2 – Структура ливникової системи

Технологічний цикл виготовлення виробу пресуванням і литтям під тиском вимагає певного часу для принаймні часткового охолодження виробу у формі (температура і час витримки у формі деяких полімерів наведені у додатку А). Циклічність цих виробничих процесів визначає їх меншу продуктивність у порівнянні з безперервними технологіями.

Ці методи дозволяють виготовляти вироби складною конфігурації з дуже високою точністю масою від часток грама (0,006 г) до декількох кілограмів (150 кг).

До методів, які використовують як наповнювачі неперервні волокна відносяться пултрузія і намотування.

Пултрузія становить процес протягування виробу через матицю, профіль якої визначає форму поперечного перерізу виробу (рис. 1.3) [13]. Поперечний переріз може мати дуже різноманітну конфігурацію (відкриту або закриту). У поперечному перерізі рівномірно розташовані неперервні волокна, які витягнуті по всій довжині виробу.

Пултрузія застосовується для виготовлення видовжених суцільних і порожнистих виробів постійного перерізу. Особливістю таких виробів є забезпечення точної орієнтації армувальних волокон, що дозволяє оптимізувати властивості виробів згідно з їх конкретним призначенням.

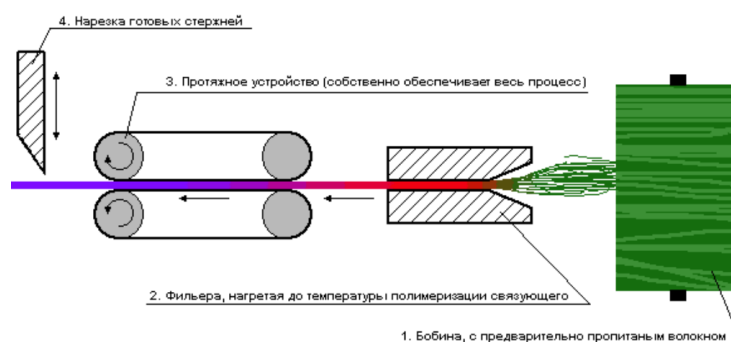


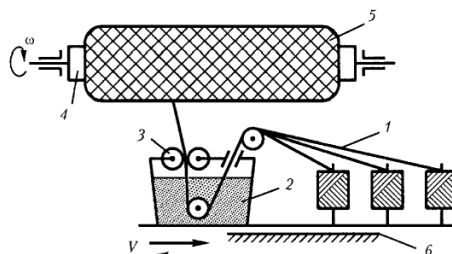
Рисунок 1.3 – Схема виготовлення виробів пултрузією

Вироби, отримані пултрузією, за властивостями часто перевищують аналогічні вироби, отримані традиційними методами. Важливою перевагою пултрузії є суворий контроль за натягінням та орієнтацією волокон, а також підтриманням постійного вмісту волокон у композиті.

Суть метода *намотування* полягає у тому, що композит, наповнювачем якого служить неперервне волокно (або нитки, стрічки, джгути з них) намотується на основну оснастку – оправку (рис. 1.4) [4, 5, 13].

Траєкторія і щільність намотування визначаються спеціальною програмою. Оправка обертається навколо своєї осі, формуючи таким чином стінку виробу заданої товщини і структури. Поперечний переріз оправки (коло, прямокутник, еліпс і т. п.) визначає конфігурацію виробу у поперечному перерізі. Після отримання необхідної товщини стінки з потрібною схемою розташування

накладених волокон виріб піддається полімерізації і знімається з оправки. Іноді оправка залишається в оправці і стає складовим елементом конструкції.



1 – волокнистий наповнювач; 2- ванна зі зв'язкою; 3 – відтискні валики;

4 – оправка; 5 – виріб; 6 – напрямна каретки

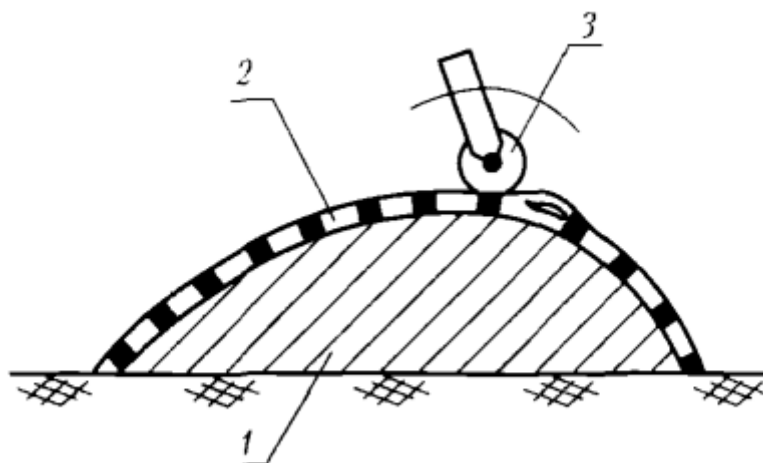
Рисунок 1.4 – Схема мокрого намотування

Як правило, методом намотування виготовляють вироби, форма яких має вісь обертання: балони тиску, контейнери, баки, головні частини та відсіки ракет, цистерни. Крім того, можливе виготовлення таких виробів, як коробчасті шпангоути, лопаті гвинтів вертольотів тощо.

Шаруваті наповнювачі (мати, тканини) використовуються у таких методах виготовлення виробів з композиційних матеріалів: контактне і ротаційне формування, а також формування за допомогою еластичної діафрагми [4, 13].

Контактне формування полягає у тому, що вихідний матеріал у вигляді попередньо просочених тканин, матів або готового препрега вручну викладається на відкриту форму без прикладання тиску ззовні (рис. 1.5).

Поверхня форма повинна бути ретельно підготовлена. На неї спочатку наноситься антиадгезійний шар, щоб попередити прилипання виробу до форми. Після цього на форму викладається наповнювач – просочені тканини, мати або готовий препрег. Листи тканини, матів необхідної форми заздалегідь вирізаються вручну або за допомогою спеціальних машинок. При великих партіях виробів для отримання листів заданої форми і розмірів використовують спеціальні шаблони або верстати для розкладання.



1 – форма; 2 – композит; 3 – ролик для прикочування

Рисунок 1.5 – Схема контактної формувальності

Контактне формувальність застосовується для виготовлення крупногабаритних виробів складної конфігурації: кожухи механізмів, баки, корпуси і елементи катерів, автомобілів тощо.

Ротаційне формувальність – це спосіб виготовлення порожнистих виробів циліндричної, конічної або параболічної форми за рахунок відцентрових сил. Формою служить труба (або конус, параболоїд), який обертається навколо своєї осі [13]. На внутрішню поверхню форми викладається шаруватий наповнювач – тканини або мати, або і те, і те одночасно. Під час обертання через торці у форму заливається полімер, який просочує наповнювач (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Схема ротаційного формувальності

Відцентрові сили створюють тиск на композит. Одночасно форма нагрівається ззовні. Обертання триває час, необхідний для полімерізації залежно від товщини виробу. Таким способом виготовляють труби діаметром до 1,5 м, довжиною до 3м і зі стінкою товщиною до 0,02 м.

Формування з використанням еластичної діафрагми полягає у тому, що відповідний композит з шаруватим наповнювачем викладається на підготовлену форму, накривається еластичною діафрагмою, і виріб формується зовнішнім тиском за рахунок атмосферного тиску або тиску стисненого газу у певному пристрої. Залежно від технології, що використовується, розрізняють вакуумне, пневматичне і автоклавне формування [4, 13, 14].

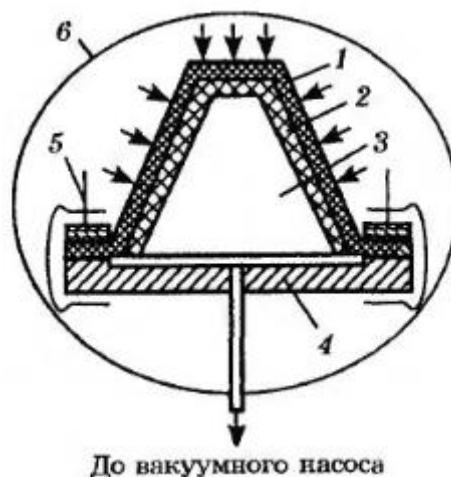
При вакуумному формуванні на композит діє атмосферний тиск за рахунок того, що з порожнини під еластичною діафрагмою (так званим вакуумним мішком) відсмоктується повітря. Залежно від типу полімеру матриці полімеризація виробу може проходити при кімнатній температурі або при його температурі полімеризації. В останньому випадку виріб на формі при збереженні вакууму піддається нагріванню.

Пневматичне формування використовується у тих випадках, коли виріб має порівняно невеликі розміри і ущільнення композиту не вимагає великого тиску. Пакет композиційного матеріалу необхідної товщини складається на столі для розкрою. При необхідності окремі шари тканини або препрега укладають, змінюючи орієнтацію волокон. Пакет вручну викладається на металевій формі, яка після цього закривається герметичною кришкою. Тиск створюється подачею всередину герметично закритої матриці стисненого газу або повітря. Величина тиску залежить від конфігурації виробу і може змінюватися від 0,5...1 МПа для плоских листів і до 2 МПа для виробів складної конфігурації. Температура нагрівання матриці і час витримки залежать від властивостей полімеру матриці.

Автоклавне формування застосовується для виготовлення крупногабаритних виробів складної конфігурації (рис. 1.7). Його головні особливості полягає у тому, що в автоклаві одночасно створюється високий тиск (до 3...3,5 МПа) і температура (150...350⁰С) у середовищі повітря або захисних газів.

В автоклаві композиційний матеріал знаходиться під еластичною діафрагмою на металевій матриці. Одночасно з тиском проводиться вакуумування композиційного пакета виробу з метою максимального видалення з нього повітря

і летких компонентів. Вакуумування проводиться лише на початковій стадії оброблення, а робочий тиск витримується протягом усього циклу нагрівання і охолодження.



1 – вакуумний мішок; 2 – композит; 3 – форма; 4 – основа; 5 – трубки;
6 – автоклав

Рисунок 1.7 – Схема автоклавного формування

При нагріванні в автоклаві може виникнути небезпека загоряння полімерних матеріалів. Тому при обробленні вогнебезпечних матеріалів для створення тиску використовуються стиснені інертні гази.

Проведений розгляд методів виготовлення виробів з полімерних композиційних матеріалів дозволяє зробити наступні висновки. Оскільки мова йде про виготовлення великогабаритного виробу досить складної конфігурації, він повинен мати стінки достатньої товщини і міцності, а це накладає обмеження на види наповнювачів. Велику міцність можуть забезпечити або неперервні волокна, або тканини і мати.

Виріб має циліндричну форму; на неї можна було б накладати неперервні волокна шляхом намотування. Але відкритий резервуар має стінку (дно) лише з одного боку, що утруднює використання цього методу.

Крім неперервних волокон у деяких випадках використовують тканини і мати. Їх можна було б використати при виготовленні циліндра ротаційним

формуванням. Проте основною оснасткою при ротаційному формуванні (формою) фактично служить труба (рис. 1.6.). Згідно з технологією цим способом виготовляють лише труби. Тому для виготовлення великого циліндра з дном найкращими методами є контактне або автоклавне формування, які й будуть розглядатися у подальшому.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОПТИМАЛЬНИХ СКЛАДУ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБУ

2.1 Аналіз складу композиційного матеріалу

Попереднім аналізом з усіх можливих варіантів виділені найпридатніші компоненти композиту і оптимальні технології виготовлення виробів заданої форми і розмірів. Їх аналіз дає такі результати.

Композиційних матеріалів головним чином задають і утримують форму виробу і забезпечують його взаємодію з робочим середовищем умовами експлуатації. Тому попередньо обрані полімери розглядалися перш за все з точки зору взаємодії з рідинами, які будуть зберігатися у резервуарі-завданні, і витримки температурних умов експлуатації. У зв'язку з цим розглядаються поліімідні та епоксидні смоли.

Поліімідні смоли мають велику стійкість до високих температур, стійкість до органічних сполук і здатність зберігати механічні та інші властивості при температурі від -200 до +250°C при вартості, порівнянною з вартістю матеріалів на основі фенолу та епоксиду. Проте, слід зазначити, що виготовлення виробів з них складне через високу температуру твердіння (300...350°C).

Полііміди - це полімери, що містять циклічні імідні групи в основному або бічному ланцюзі. Вони формуються з поліамідокислоти, імідизація якої відбувається у сформованому виробі під дією нагрівання або дегідратуючих речовин. Поліімідні вироби можна отримати за допомогою різних методів, таких як пряме й автоклавне пресування, лиття під тиском та гаряче пресування.

Вони широко використовуються в сучасних технологіях таких як (авіаційна і космічна індустрія, електротехніка, електроніка і машинобудування) завдяки їхній здатності зберігати високу комплексність цінних механічних і фізико-механічних властивостей у широкому діапазоні температур від -270 до 300°C. Ці полімери відзначаються високою термостабільністю, теплостійкістю, радіаційною

стійкістю та відмінною стійкістю до органічних розчинників. Найпоширенішими є лінійні ароматичні полііміди, які зазвичай отримують шляхом поліконденсації ароматичних тетракарбонових кислот та ароматичних діамінів.

Епоксидні смоли характеризуються високими механічними властивостями та діелектричною стійкістю при температурах від -120 до $+200^{\circ}\text{C}$ (залежно від складу композиту). Вони відзначаються високою хімічною стійкістю. Однією з переваг епоксидних смол є їхня добра адгезія до більшості наповнювачів, що дозволяє ефективно використовувати їх властивості. Під час затвердіння не виділяються леткі продукти, і вони мають низьку усадку. Однак їх висока якість виражається і високою вартістю. Для створення монолітних виробів та конструкцій можна використовувати різноманітні технологічні методи.

У промисловості широко застосовують кілька типів епоксидних сполук, таких як епоксидіанові (ЕД-22, ЕД-20, ЕД-16 тощо), епоксिनволачні (ЕН-6, 5Н тощо) і циклоаліфатичні (УП-612, УП-672 тощо). Українська індустрія шаруватих пластиків використовує епоксидні зв'язки серії ПОЛІКОМ.

Переваги епоксидних зв'язків включають:

- високу адгезію до скляних волокон;
- високі механічні та діелектричні властивості;
- малу усадку під час затвердження;
- відсутність виділення води та летких речовин під час затвердження, що дозволяє застосовувати низький тиск (до $0,7$ МПа) під час виготовлення епоксипластів;

- достатню хімічну стійкість;
- здатність до сумісності з іншими смолами.

Недоліки епоксидних смол включають:

- недостатню термостійкість;
- високу вартість.

Епоксидні смоли є частиною великої групи високомолекулярних сполук, що формуються під час полімеризації спіхлоргідрину, зокрема діанового дифенілпропану, і відомих як новолачні полімери. Основним елементом у їхніх

молекулах є епоксидна група, яка містить двоатомні спирти. Такі полімери мають складну структуру ланцюга і відомі як епоксидні смоли.

Епоксидні полімери, отримані внаслідок полімеризації, є твердими і крихкими матеріалами з низькою температурою розм'якшення (між 30 і 90⁰С) і невеликою молекулярною масою. Вони добре розчиняються у різних органічних розчинниках, таких як ацетон і толуол.

Розчини епоксидних полімерів мають низьку в'язкість і відмінні клейкі властивості. Шляхом введення ароматичних амінів, двохосновних органічних кислот або фенолів до епоксидних полімерів вони тверднуть і втрачають здатність плавитися під час нагрівання, а також розчинятися в органічних розчинниках, отримуючи при цьому нові фізичні властивості.

Температура затвердіння залежить від співвідношення полімеру і затвердника у початковій суміші, а також від хімічного складу та структури матеріалів і може варіюватися від звичайних температур до 200⁰С. Існує щонайменше 10 хімічних типів епоксидних смол, які можуть затверджуватися за допомогою 20 різних затверджувачів. Затверділі епоксидні полімери відрізняються численними цінними властивостями, такими як низька густина (у діапазоні від 1,14 до 1,25 г/см³), висока стійкість до впливу різних хімічних реагентів і відмінна міцність зчеплення (адгезія) з поверхнями різних неметалів і металів. Такі матеріали також володіють високою технологічною цінністю.

Наповнювачі – основний фактор, що визначає міцність композиту. Крім того, вони можуть суттєво вплинути на вибір технології виготовлення. Для такого великогабаритного і досить міцного виробу треба використовувати шаруваті наповнювачі. Тому для наступного аналізу обрані неткані матеріали мати з рубленого та неперервного скловолокна та скляні вуглеволоконні тканини.

Найчастіше мати виготовляються з рублених волокон. Мати, виготовлені із неперервних волокон, міцніші і краще зберігають форму та контури виробу.

Скломат, або м'яке полотно, формується шляхом роздмухування скломаси, яка спочатку осідає на підкладку у вигляді стрічки або сітки, а потім

закріплюється шляхом стібків або клею (рис. 2.1). Використання волокон з випадковою орієнтацією дозволяє надавати виробам двовимірну жорсткість.



Рисунок 2.1 – Зображення скломату

Виготовлення скломата включає в себе процес рубання скловолокна, яке потім з'єднується між собою за допомогою сполучної емульсії або порошку. Цей процес призводить до створення нетканого полотна з волокон скла різної довжини, яка може досягати до 50 міліметрів.

Скляні волокна широко використовуються при створенні композитних полімерних конструкцій, таких як склопластики. Незважаючи на їх низьку щільність, вони володіють вражаючою міцністю, низькою теплопровідністю та високою стійкістю до тепла, хімічних та біологічних впливів.

Для виготовлення цих волокон використовують лужні алюмосилікатні або малолужні алюмоборосилікатні скляні матеріали як вихідні компоненти. Подана нижче таблиця містить інформацію щодо фізико-механічних властивостей скляних армувальних волокон, які застосовуються у галузі ракетобудування (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості скляних волокон

Тип волокна	Густина $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Міцність на розтяг, ГПа, на базі 10 мм	Модуль пружності, ГПа
Е-скло	2,54	2,5	75
S-скло	2,49	4,55	87
ВМ-1	2,58	4,2	95
Кислотостійке 7-А	2,56	3,6	74

До складу Е-скла входить 54,4% SiO₂, 14,4 Al₂O₃, 17,5% Са, решта – домішки. До складу S-скла входить 65% SiO₂, 25 Al₂O₃, 9% Mg і домішки, що підвищують міцність. До складу скла марки ВМ-1 для збільшення твердості додатково вводять до 8% BeO.

Є три основних способи одержання скловолокна:

- витягування волокон з розплавленої маси крізь фільтри;
- витягування волокон зі скляних штабиків під час розігрівання їх;
- одержання волокон розділенням струменів скломаси під впливом відцентрових сил, потоку повітря, газу або пари.

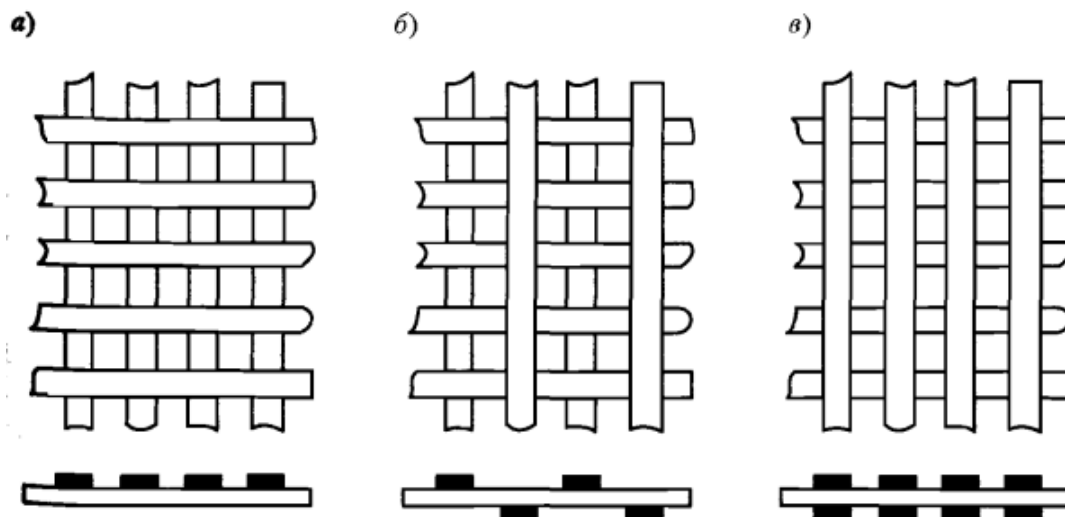
За першими двома способами виготовляють безперервні волокна, за третім – волокна до 50 мм, що переробляють на тканини.

Неткані матеріали і текстильні вироби виготовляються з волокон або ниток, які сполучені між собою без використання методів ткацтва.

Неткані волокнисті компоненти складаються з різних варіантів безладно розташованих волокон (стрічок, джгутів), які з'єднані за допомогою одного з трьох методів - класичного фрикційного зчеплення, прошивання текстильного полотна або склеювання.

Приклади використання клейової фіксації волокон у нетканих наповнювачах показані нижче (рис. 2.2). Склеювання відбувається на місцях перетину волокон за допомогою рідкого клейового розчину, розплавлення термопластичних волокон або плівок. Використання термопластичних волокон,

таких як капрон, дозволяє досягти максимальної економії полімерного з'єднувального матеріалу.



Нанесення клею: а) однобічне; б) чергове двобічне; в) парне двобічне

Рисунок 2.2 – Схеми розташування джгутів і клею у нетканому клеєному армувальному наповнювачі

Через свою низьку вартість, у порівнянні з тканинами, неткані волокнисті наповнювачі знаходять широке застосування в різних галузях виробництва, наприклад, у сфері автомобільної промисловості. Це частково пов'язано з можливістю використовувати грубіші волокна (з діаметрами в десятки мікрометрів), Крім того, важливим фактором є здатність зменшити трудомісткість та витрати на їх виробництво.

Скляні тканини виготовляються шляхом ткацтва з використанням складних переплетених ниток або ровінгів на різних типах ткацьких верстатів, і вони відрізняються за складом скла, видом переплетення, товщиною, масою на одиницю площі, щільністю (кількістю ниток в одному напрямку основи та утка тканини на одиницю довжини) та іншими параметрами. Тканини, призначені для

конструкційного використання, можуть бути виготовлені з різних типів скла, тканини для електротехнічних цілей зазвичай виготовляються із волокон безлужного алюмоборосилікатного складу, а тканини для теплозахисту - з кремнеземних та кварцових волокон. Тканини можуть бути одношаровими або багатошаровими, де різні шари переплетені між собою.

Скляні тканини для конструкційного використання (позначені літерою "Т" в маркуванні) виробляють зі складних ниток з лінійною щільністю від 26 до 320 текс з ровінгів щільністю від 505 до 1680 текс. Діаметр скловолокон у складених нитках становить від 5 до 13 мікрометрів, а у ровінгах - від 10 до 13 мікрометрів. Збільшення діаметра волокна може позначитися на текстильній обробленні, але це може підвищити продуктивність виробництва та зменшити вартість. Через це вартість одиниці маси ровінгових тканин зазвичай менше, ніж тканин зі складених ниток.

Скляні тканини виготовляються з трьох основних видів переплетення: полотняного (гарнітурного), сатинового (атласного) та саржевого (кіперного). Тканини сатинового і саржевого переплетення, які мають меншу зігнутість ниток, переважно використовуються для конструкційних цілей. Склотканини полотняного переплетення частіше використовуються для пластиків у галузі електротехніки та теплозахисту.

Позначення марок скляних тканин для конструкційного використання складається з таких трьох частин.

1. Вид і призначення матеріалу: Т – тканини для конструкційних цілей, ТР – тканини для конструкційних цілей з ровінгів, КТ – тканини кремнеземні. МТ – багатошарові тканини. А – авіаційні тканини.

2. Цифрове позначення - умовний опис структури тканини. Буква П означає, що тканина виготовлена на безчовниковому ткацькому верстаті.

3. Тип поверхневого оброблення.

Після третьої частини позначення у дужках вказується ширина тканини у сантиметрах (см).

Склотканини електротехнічного призначення (літера Е в позначенні марки тканини) залежно від виду електроізоляційних матеріалів, що виготовляються, поділяються на класи:

- для фольгованих діелектриків;
- для лакотканей;
- для склотекстолітів.

Склотекстоліт - це композитний матеріал на основі склотканини, що відноситься до склопластику. Він складається з армованого склопластику зі шаруватою структурою, який виробляється шляхом пресування склотканин під підвищеними температурами. В склотканині використовуються термореактивні компоненти на основі епоксидної смоли та фенолформальдегідного з'єднання. Склотекстоліт володіє високою міцністю та стійкістю до динамічних навантажень.

Нижче наведено основні властивості склотканин, які включають товщину, поверхневу щільність, розривне навантаження для смужки, щільність тканини, кількість ниток (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Основні властивості склотканин

Марка	Товщина, мм	Поверхнева щільність, г/м ²	Щільність тканини, кількість ниток, см		Розривне навантаження для смужки 25×100, Н, не менше	
			по основі	по утку	по основі	по утку
T-10	0,23±0,02	290±7	36±1	20±1	2646	1470
T-10 –80	0,25±0,02	290±7	36±1	20±1	2836	1464
T-11	-	385±12	22+1	13±1	2842	1666
T-11-752	-	385±12	22+1	13±1	2842	1666
T-11-ГВС-9	0,30 ^{+0,10} _{-0,05}	385±12	22+1	13±1	1960	980
T-12	-	370±11	22+1	13±1	2842	1666
T-12-41	-	370±11	22+1	13±1	2646	1421
T-12-ГВС-9	0,30±0,03	370±11	22+1	13±1	1960	980
T-13	0,27±0,03	285±9	16+1	10±1	1960	1274
T-14	0,29±0,03	308±9	16+1	13±1	1960	1617

У роботі також подано показники переплетення, ширини, довжини, структури нитки та призначення склотики (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Склотики конструкційного призначення з алюмоборосилікатного скла

Марка	Переплетення	Ширина, см	Довжина тканини в рулоні, м, не менше	Структура нитки	Призначення
T-10	Сатин 8/3	70,80,92,100,110,115	50	БС6-26×1×2	Для виготовлення конструкційних СП
T-10 – 80	Те ж	Те ж	Те ж	Те ж	--
T-11	Сатин 8/3 або 5/3	--	--	БС7-36×1×3	--
T-11-752	Те ж	--	--	Те ж	--
T-11-ГВС-9	--	--	--	--	--
T-12	--	--	--	БС8-52×1×2	--
T-12-41	--	--	--	Те ж	--
T-12-ГВС-9	--	--	--	--	--
T-13	Полотняне	--	--	БС7-36×1×3	--
T-14	Те ж	--	--	БС6-26×1×4	--

Вуглеволоконні текстильні матеріали мають обмежений асортимент через складнощі у виготовленні жорстких вуглецевих волокон. Як приклад чисто вуглецевого текстилю, який виробляється в Україні, може бути наведена тканина під маркою УТ-900-2,5. Ця тканина включає в себе вуглецеві волокна з лінійною

щільністю 200 текс як в основі, так і в косі, завдяки чому вона має рівну міцність у всіх ортогональних напрямках, а також такі характеристики:

- переплетення	Саржа 2/2;
- ширина, мм	900;
- поверхнева щільність, г/м ²	240;
- щільність ниток на 10 см по основі та утку	60;
- товщина монослою, мм	0,32.

Крім того, розроблені вуглеволокнисті тканини, виготовлені з використанням нитки марки "Урал" (віскуп), відрізняються різним ступенем крутки та лінійної щільності. Технічні характеристики тканин типу ТНУ, виготовлених із використанням нитки віскуп-Н наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики вуглеволокнистих тканин типу ТНУ

Показник	Марка		
	ТНУ-1	ТНУ-2	ТНУ-3
Ширина, см	100	100	100
Товщина, мм	0,5-1,0	1,0-2,0	3,5-4,5
Поверхнева щільність, г/м ²	250-300	800-1000	1450-1750
Розривне навантаження смужки 50×200 мм, Н: по основі по утку	1500-2000 150-200	2500-3000 250-300	4500-6000 450-600
Видовження, %: по основі по утку	4-6 2-3	5-7 3-4	15-18 8-12

Ці тканини володіють наступними перевагами: висока стійкість у безкисневому середовищі при температурах до 3000°C, збереження міцності в кисневмісному середовищі при температурі до 400°C протягом тривалого часу та до 800°C протягом короткого періоду; висока хімічна стійкість при впливі кислот і лугів; можливість отримання матеріалів із широким діапазоном електроопору, від діелектриків до практично графітової електропровідності; стійкість до впливу радіації.

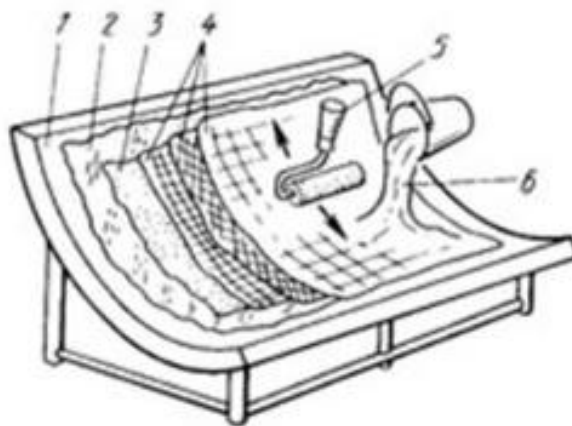
Зовнішній вигляд і структурна організація армувальних вуглеволоконних наповнювачів, у поєднанні з властивостями вихідних волокон, головним чином визначають фізико-механічні характеристики вуглепластиків. Особливості орієнтації волокон, їх діаметр, кількість та співвідношення з матрицею матеріалу, а також способи оброблення впливають на міцність, жорсткість, в'язкість і стійкість вуглепластиків.

2.2 Аналіз способів виготовлення виробів

Для крупногабаритних виробів з шаруватим наповнювачем найчастіше використовується дві технології: контактне і автоклавне формування.

Контактне формування деталей здійснюється у відкритих формах передбачає в основному ручне викладання (рис. 2.3).

Контактне формування застосовується для створення великогабаритних деталей складної форми, які не піддаються значному навантаженню. Це можуть бути коробчасті кожухи для механізмів, баки, корпуси і інші компоненти суден, катерів і подібних конструкцій.



1 - форма; 2 - роздільний шар; 3 - зовнішній шар виробу; 4 - наповнювач;
5 - ручний валик; 6 - смола з каталізатором

Рисунок 2.3 – Приклад контактного формування

Основними інструментами контактного формування є форми, які визначають конфігурацію виробу і якість поверхні виробу. Вони повинні бути стійкими до механічних і теплових навантажень.

Форми можна класифікувати такими способами:

- за формою робочої поверхні – позитивні та негативні;
- за конструктивним виконанням – тонкостінні та монолітні.

Позитивна, опукла, форма робочої поверхні створює виріб з гладкою зовнішньою поверхнею, тоді як негативна, увігнута, форма формує внутрішню поверхню виробу.

Тонкостінні форми - це одноразові форми, які використовуються обмежену кількість разів (наприклад, 5...10 виробів, рис. 2.4, а). Для створення таких форм використовують матеріали, такі як фанера, алюміній, сталь та композитні матеріали. Для зміцнення деяких елементів виготовлюється каркас, на який накладається листовий матеріал.

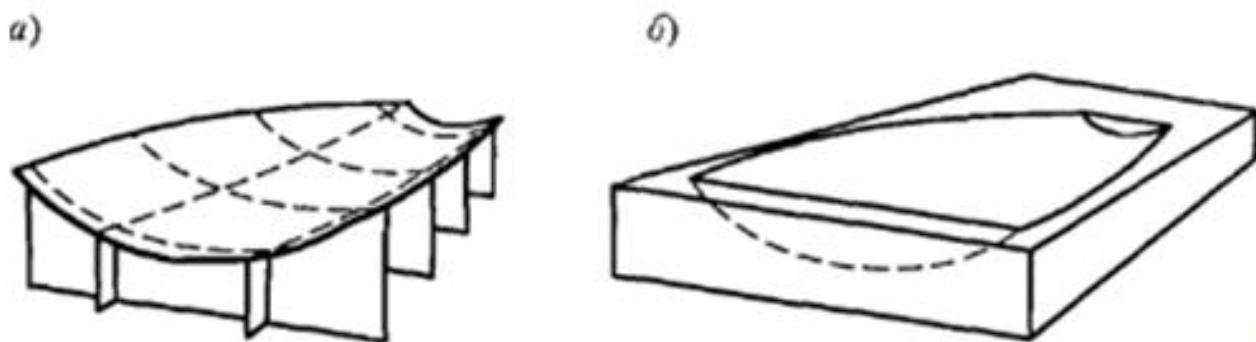


Рис. 2.4 – Тонкостінна (а) і монолітна (б) форми

Монолітні (постійні) форми (рис. 2.4, б) - це форми, які призначені для повторного використання і можуть служити протягом кількох років. Вони виготовляються із таких матеріалів, як алюміній, сталь, кераміка, гіпс, цементні або пісоклейові суміші, за допомогою моделей і вставок. Для забезпечення високої якості виробу важливо, щоб матеріали і форми, і виробу мали близькі за величиною коефіцієнти теплового розширення.

Модель - це тимчасовий виріб, що служить зразком для виготовлення форми. Вона повинна бути точною копією майбутньої деталі, відтворюючи її конфігурацію, розміри, текстуру поверхні та інші характеристики. Матеріал моделі має зберігати свою форму протягом тривалого періоду. Модель виготовляється згідно з кресленням деталі, але має виступи і фланці, які утворюють порожнини для видалення надлишкового матеріалу під час формування. Металеві або гіпсові моделі можуть бути виготовлені з використанням методів лиття. На основі моделі створюється робоча поверхня монолітної форми, яка завжди багат шарова. Зворотній бік форми зазвичай посилюють конструкцією з металу або деревини.

Вставки використовуються для створення порожнин та отворів і можуть бути виготовлені із різних матеріалів, таких як деревина, гіпс, комбінації гіпсу з металами та іншими матеріалами.

Вихідний наповнювач, який може бути у формі препрегів, мати, стрічок або полотна, подається на розкроювання у рулонах. З цих рулонів вирізають окремі листи необхідної форми та розмірів. Листи розташовуються на формі поруч один з одним із зсувом не більше 5 мм. Їх можна попередньо з'єднати вручну або за допомогою методів, що використовуються у швейній промисловості.

На форму листи викладаються вручну без утворення згинів і складок (рис. 2.5) та притискаються за допомогою ручних валиків.

З метою економії часу при розташуванні наповнювача використовують шаблони. Ці шаблони можуть бути створені із міцної тканини, фанери, полімерних листів тощо. Під час виготовлення шаблонів враховують припуски. За допомогою цих шаблонів вирізають листи наповнювача. Іноді за допомогою одного шаблона виготовляють партію листів.



Рисунок 2.5 – Приклад ручного викладання

Для точного розміщення вирізаних листів, вирізаних за допомогою шаблонів, на формі встановлюють штирі, які відповідають отворах на самому

шаблоні. Допускається також виконувати розкрій наповнювача безпосередньо на формі.

Можлива укладка наповнювача у декілька шарів, кількість яких визначається потрібною товщиною стінки виробу. Важливо, щоб стики між листами у послідовних шарах у кожному випадку не збігались.

При виготовленні достатньо великої партії виробів для розкроювання використовуються викладальні верстати (рис. 2.6), призначені для виготовлення плоских листових заготовок. Викладальні головки викладають один шар наповнювача на інший на верстатному столі. Як вихідний матеріал використовують стрічки шириною від 75 до 600 мм. Точність орієнтації при розкладанні становить $\pm 1^\circ$. Листи, вирізані на верстатному столі, потім переносять на форму. Деякі верстати можуть навіть переносити заготовки безпосередньо на форму.



Рис. 2.6 – Викладальний верстат

Переваги методу контактної обробки включають в себе:

- економічна вигідність та простота процесу формування;
- доступність і низька вартість форми, яка може бути виготовлена з металевого листа, дерева або гіпсу;
- здатність створювати великогабаритні тонкостінні вироби.

Недоліки контактного методу полягають у наступному:

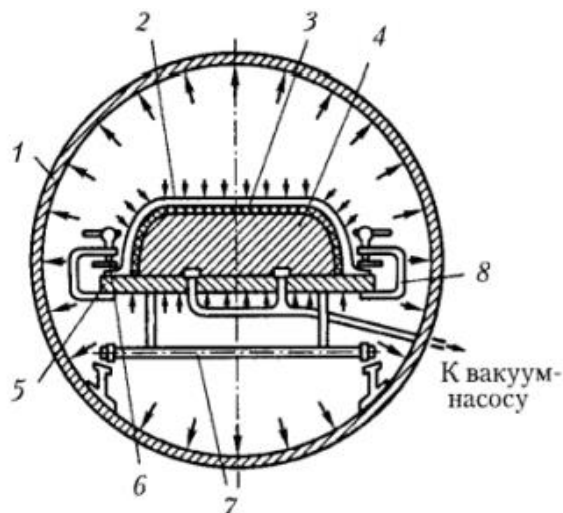
- обмежені фізико-механічні характеристики виробу через низький рівень тиску при ущільненні, який, як правило, здійснюється вручну;
- неоднорідність у створенні деталей;
- гладка поверхня присутня тільки з одного боку (з боку форми);
- значна залежність від ручної праці і висока вразливість процесу через прямий контакт людини зі сполучником, який містить смолу і затверджувач, у тому числі амінового типу.

Автоклавне формування - найуніверсальніший метод, який дозволяє створювати високоякісні великогабаритні вироби з мінімальною пористістю і якісною поверхнею. Головні недоліки цього методу включають високу вартість обладнання, необхідність значної кількості ручної праці, і внаслідок цього – його обмежену використовуваність у масовому виробництві. Безпека автоклава також вимагає уваги, оскільки він може становити загрозу вибуху. Потужність вибуху залежить від об'єму, температури та тиску в камері. Однак автоклавне формування залишається найпоширенішим методом в авіаційній промисловості. Автоклавний процес проводиться в спеціальних автоклавах (рис. 2.7).

Автоклав - це герметична камера значних розмірів, зазвичай з діаметром від 0,8 до 4,5 метрів і довжиною від 1 до 26 метрів. У ньому можна створити потрібний тиск, температуру і газове середовище одночасно. Зазвичай тиск становить від 1 до 3 МПа, температура від 150 до 380⁰С. Газове середовище може бути повітрям, інертним газом або азотом.

Проведений аналіз показує, що як складники композиційного матеріалу для виготовлення заданого темою даної роботи виробу найвигідніше використати як матрицю - поліімідні й епоксидні смоли, а як наповнювачі – скломати, скло- і

вуглеволоконні тканини. Враховуючи одночасно можливості виготовлення з них виробу заданої конструкції і користуючись літературними джерелами, для подальшого аналізу нами обрані чотири склади композиційних матеріалів, фізико-механічні властивості яких наведені у таблиці 2.5.



1 - корпус автоклава; 2- еластична діафрагма; 3 – виріб; 4 – форма; 5 – плита; 6 – притискне кільце; 7 – візок; 8 – затискні струбцини

Рис. 2.7 – Схема автоклавного формування

Таблиця 2.5 – Властивості армованих композитів [13]

Властивості	Мати/ епоксидна смола	Скло- тканина/ поліімідна смола	Скло- тканина/ епоксидна смола	Вуглецеві волокна/ епоксидна смола
Густина, г/см ³	1,9...2,1	2,05	1,83	1,60
Водопоглинання за 24 год., %	0,3...0,5	-	0,5	0,3
Границя міцності на розтяг σ_B , МПа	521	345...565	345...413	783...1435
Границя міцності на згин $\sigma_{зг}$, МПа	834	517...695	382...413	620...1600
Границя міцності на стискання $\sigma_{ст}$, МПа	521	475...550	276...310	620...703
Модуль пружності E, ГПа	24	20...29	17...24	117
Максимальна температура експлуатації $T_{екс. \max}$, °C	149	288...371	149...204	177

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ВИРОБУ І ТЕХНОЛОГІЯ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

3.1 Розрахунок міцності виробу

У попередньому розділі намічені чотири склади композиційного матеріалу, які можна використати для виготовлення відкритого резервуара для рідини згідно із завданням. Щоби визначитися остаточно, необхідно вирішити, який матеріал забезпечить достатню міцність і жорсткість, довговічність виробу і одночасно забезпечити оптимальні витрати на виготовлення. Ця умова може бути виконана у тому випадку, коли той чи інший матеріал дозволить виготовляти виріб з товщиною стінки, яка задовольняє всі виставлені вимоги. Схему резервуара-завдання наведена на кресленні (. рис. 3.1).

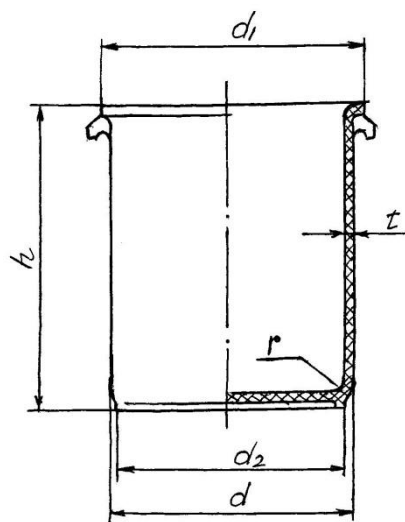


Рисунок 3.1 – Креслення резервуара-завдання

На кресленні показані такі розміри резервуара: d , h і t – основні розрахункові розміри – діаметр, висота і товщина стінки. Діаметр d_1 визначає розмір закраїни резервуара, а d_2 – діаметр опорного кільця на дні резервуара. Їх

звичайно призначають за досвідом з конструктивних міркувань. Радіус r призначається залежно від товщини стінки згідно з рекомендаціями літературних джерел [3,4].

Розрахунок виходить з того, що рідина створює тиск на дно і стінки резервуара залежно від його розмірів і густини рідини, що знаходиться у ньому. Знаючи границю міцності композиційного матеріалу згідно з прийнятим запасом міцності визначається допустиме напруження при експлуатації виробу. За відомими тиском, розмірами і допустимим напруженням згідно з законами опору матеріалів (розрахунок на міцність тонкостінних судин) розраховується товщина стінки [10, 11].

Резервуар, для якого проводяться розрахунки, має діаметр $d = 10$ м і висоту $h = 15$ м. Оскільки передбачається, що у резервуарі можуть різні рідини, для розрахунків приймається дещо завищена густина рідини: $\rho = 1200$ кг/м³.

Тиск на дно і стінки резервуара знаходиться за формулою:

$$p = g\rho h \text{ (Па)}, \quad (3.1)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³;

h – висота резервуара, м;

g - прискорення гравітації ($g = 9,8$ м/с²).

У свою чергу товщина стінки резервуара знаходиться формулою:

$$t \geq pd/2[\sigma] \text{ (м)}, \quad (3.2)$$

де $[\sigma]$ - допустиме напруження для матеріалу стінки, Па.

Допустиме напруження при експлуатації визначається за допомогою коефіцієнта запасу міцності n . Він вибирається залежно від відповідальності виробу, діючих навантажень і передбачуваного терміну експлуатації. Звичайно його беруть у межах 2...5. Для даного резервуара, який експлуатується

стаціонарно, можливо, у закритому приміщенні, достатньо обрати коефіцієнт запасу міцності $n = 3$.

Тоді допустиме напруження знаходиться за формулою:

$$[\sigma] = \sigma_b / n \text{ (Па)}. \quad (3.3)$$

Фізико-механічні властивості композиційних матеріалів, обраних для подальших розрахунків, наведені у таблиці 2.5. Результати розрахунків наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків

Композиційний матеріал	Границя міцності, σ_b , МПа	Допустиме напруження, $[\sigma]$, МПа	Тиск, p , МПа	Товщина стінки t , мм не менше
Мати/епоксидна смола	521	174	0,235	12
Склотканина/поліімідна смола	550	183	0,235	11,5
Склотканина/епоксидна смола	395	132	0,235	16
Вуглецеві волокна/епоксидна смола	890	297	0,235	2,5

Аналіз отриманих розрахунками товщин стінок показує, що з біль-менш однорідних результатів виділяється композит на основі вуглецевих волокон. Це пов'язане з тим, що вуглецеві волокна мають дуже високу міцність у порівнянні з іншими наповнювачами. Проте створити таку велику конструкцію зі стінками товщиною 2,5 мм неможливо. Крім міцності стінка резервуара повинні мати достатню жорсткість. Тому використання цього композиційного матеріалу для вирішення поставленого завдання відпадає.

Композити на основі «Мати/епоксидна смола» і «Склотканина/поліімідна смола» показали приблизно однаковий результат. Проте від їх використання слід відмовитися. Від першого композита слід відмовитися у зв'язку з тим, що менш

надійні, ніж склотканини у забезпеченні жорсткості виробу, а від другого у зв'язку тим, що поліімідні дорожки і технологічно складніші у використанні.

Тому для подальшого розгляду слід обрати склопластик з епоксидною матрицею. Відомо, що такі склопластики з різними видами склотканин, різними співвідношеннями компонентів добре освоєні виробництвом, мають порівняно низьку ціну і добре показали себе в експлуатації.

3.2 Розроблення технології виготовлення виробу

Для виготовлення великогабаритних виробів із шаруватим наповнювачем застосовуються переважно дві технології: контактне формування і автоклавне формування. При врахуванні розмірів і форми конкретного виробу, що розглядається у даній роботі, для подальшого розроблення обирається технологія автоклавного формування.

Метод автоклавного формування відзначається наступними характерними особливостями:

- здатність отримувати вироби однорідної товщини;
- можливість формування великогабаритних виробів;
- використання вакуумного мішка дозволяє отримувати вироби із низькою пористістю високої якості.

3.2.1. Обладнання і оснастка

Головне обладнання при автоклавному формуванні – автоклав. Автоклав - це об'ємний герметичний циліндричний контейнер (рис. 3.2). Всередині у нижній

частині знаходиться настил, по яким рухається візок. Візок служить для переміщення оснастки з виробом під час завантажування-вивантажування. По внутрішній циліндричній поверхні автоклава розташовані нагрівачі. Найчастіше – це спіралі з дроту або стрічок, виготовлених зі сплавів, які мають великий електричний опір (наприклад, ніхром). Для створення рівномірної температури по всьому об'єму автоклава у деяких випадках всередині встановлюється вентилятор. Гаряче повітря (гази) спрямовуються вздовж корпусу автоклава по спеціальним каналам. Залежно від властивостей полімеру матриці виробів температура може досягати 380°C.

Тиск газового середовища створюється спеціальними насосами, які знаходяться ззовні автоклава, після його повної герметизації. Залежно від наповнювача і товщини стінки виробу обирається величина і час витримки виробу під тиском. Для забезпечення високої якості виробу і збільшення довговічності оснастки охолодження виробу проводиться у закритому автоклаві під встановленим попередньо тиском.

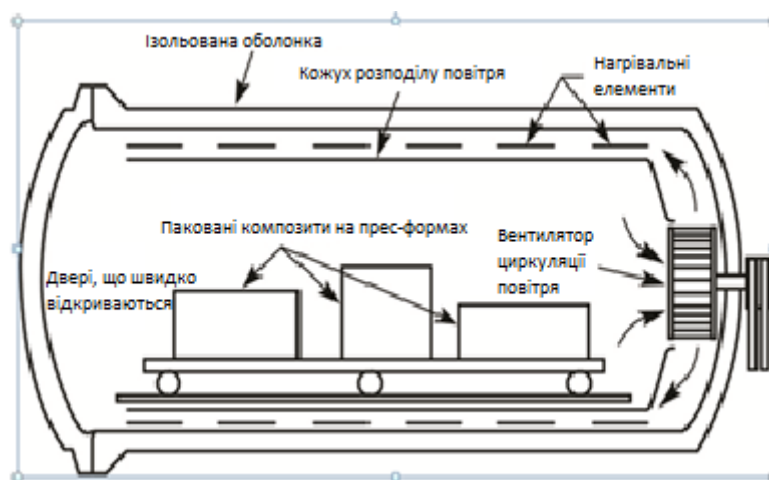


Рисунок 3.2 – Схема автоклаву

Автоклав є універсальним обладнанням, яке забезпечує можливість формування виробів різної конструкції, включаючи великі та складні за формою. Важливо зауважити, що тиск розподіляється рівномірно по всій поверхні виробу.

Залежно від конфігурації і розмірів виробів оснасткою для формування виробів можуть бути матриці прес-форм і спеціальні відкриті форми, якщо виріб має досить великі розміри.

Для створення форм використовуються такі матеріали, як метали, склопластики, деревина, гіпс, цемент та комбіновані матеріали з гіпсу, металів та інших компонентів.

Форми з гіпсу і бетону використовуються для виготовлення виробів великих розмірів (до 3 м і більше) при холодному формуванні без використання великого тиску. Вони мають невелику твердість і витримують не більше 10 формувань. У зв'язку з великою пористістю цих матеріалів робочу поверхню таких форм перед формуванням покривають восковими композиціями і ретельно обробляють, добиваючись низької шорсткості. Монолітні гіпсові і цементні форми (рис. 2.4) виготовляють за допомогою моделей-контрформ шляхом заливання і покривають спеціальним шаром. Моделі-контрформи повинні точно відповідати формі і розмірам готового виробу.

Оснастка з склопластиків використовується для виготовлення виробів великого розміру при низьких тиску і температурі полімерізації. У полімери, крім звичайних склотканин і матів, додають дисперсні домішки – кварц, каолін, леревну тирсу, волоконні очеси тощо. Якщо треба покращити шорсткість форми, дефекти на поверхні оснастки зі склопластиків шпаклюються сполучником на основі матеріалу форми з додатковою кількістю порошкового наповнювача.

Для виготовлення виробів при значному тиску і високих температурах полімерізації використовують металеві форми. При великих серіях виробництва і дозволяє раціонально використовувати металеву оснастку, навіть при невеликих тисках

Гарантією якісної поверхні виробів, які виготовляються автоклавним формуванням при високих температурах є співпадіння коефіцієнтів температурного розширення композитного матеріалу і матеріалу форми. З цього погляду серед металів найбільше підходить сталь. Крім того її перевагами є

висока зносостійкість, здатність працювати при підвищених температурах і висока теплопровідність.

Крім сталі, для виготовлення форм також використовують кераміку, яка за коефіцієнтом термічного розширення та термостійкістю практично не відрізняється від сталі.

У деяких випадках у склопластики, призначені для виготовлення форм, додають як наповнювачі металеві порошки (залізні, мідні, алюмінієві) Металеві наповнювачі у 10...12 разів збільшують теплопровідність склопластикових форм, наближуючи їх за основними властивостями до металевих.

3.2.2 Підготовка до формування

Якщо під час експлуатації на поверхні форми з'являються дефекти, їх усувають за необхідності, використовуючи шпаклювання. Перед безпосереднім застосуванням, форму піддають шліфуванню для отримання високоякісної поверхні. На прошкурену поверхню форми наносяться в один або декілька шарів лакові покриття на основі шеллаку. Лакову поверхню ретельно шліфують наждачним папером і полірують. Після цього поверхню обладнання очищують від залишків мастила, бруду дрібного сміття за допомогою розчинників (бензину або ацетону). Ця операція повторюється декілька разів з перервами 15...20 хвилин до того моменту, поки на серветці контролера не буде помічено жодних слідів бруду.

Подальшим етапом є нанесення антиадгезійного покриття у вигляді розчинів, емульсій або змащування. Ця підготовка оснастки перед викладкою необхідна для легкого розділення заготовки та матриці після полімеризації епоксидної суміші.

Вибір виду покриття залежить від матеріалу і стану поверхні форми. Для оброблення пористих неметалевих поверхонь використовують воскові і

парафінові суміші, які потім покриваються шаром полівінілового спирту. Гіпсові дерев'яні форми обробляють розчином ацетату целюлози.

На склопастикові і металеві форми на поверхню форми перед викладанням готового композиту наносять зовнішнє смоляне покриття – гелькоут - на основі поліефірної смоли, яка включає деякі наповнювачі та пігменти, але не містить армуючих домішок.

Під час процесу формування ця композиція перетворюється на зовнішній шар, що покриває майбутній виріб. Тим самим гелькоут створює зовнішню поверхню майбутнього виробу, надаючи йому не лише певний декоративний вигляд, але й стійкість до зовнішніх впливів.

Підготовлену форму треба використати в роботі не пізніше 6 годин. При подальшому зберіганні форму треба ретельно захистити від бруду і пилу, а перед черговим використанням треба знову повторити операцію знежирювання.

Підготовка наповнювача починається з висушування тканини (матів).

При транспортуванні, зберіганні та обробленні вихідні матеріали здатні поглинати вологу. З цієї причини виробники часто виконують процес висушування з наступними цілями:

- видалення дефектів, які виникають через наявність вологи;
- запобігання можливій деструкції полімеру, що має особливо велике значення для поліестерів, полікарбонатів та поліамідів;
- покращення однорідності структури виробу;
- підвищення діелектричних і оптичних властивостей виробу.

Склотканину при цьому піддають термічному обробленню при температурі $250 \pm 10^{\circ}\text{C}$ протягом 5 годин. Якщо тканину не використовують відразу, то слід запакувати її в герметичні поліетиленові мішки для зберігання.

Перед розміщенням на формі виконують підготовку пакета з композитом. Для цього висушену тканину (наприклад, Т-10-80 ГОСТ 19170-2003 [16]) розкрояють на окремі фрагменти зі встановленими формою і розмірами, що залежать від конфігурації та габаритів виробу, а також від послідовності накладання пакетів на форму. Якщо виготовляється декілька однакових виробів,

розкроювання ведеться за допомогою жорстких шаблонів. Шаблони для кожного фрагмента зазвичай допускають перекривання 10...15 мм завширшки.

У випадку, коли необхідно створити виріб з необхідною товщиною, шари підготовлених фрагментів тканини накладають один на один у заданій послідовності. При цьому важливо забезпечити зміну напрямку волокон у кожному наступному шарі. Ця зміна сприяє ортогональному розташуванню волокон в матеріалі, що в свою чергу підвищує жорсткість та міцність стінки виробу.

Для полегшення пошарового викладання наповнювача застосовують такі прийоми. Перед попереднім викладанням розкроєні фрагменти тканини викладаються на об'ємні моделі робочої форми. Фрагменти зшиваються таким чином, щоб наповнювач набув окреслення деталі, що виготовляється. При цьому, якщо шви зшиваються внапустку, необхідно слідкувати, щоб стики у послідовно накладених шарах на співпадали.

Одночасно готуються сполучник, який зазвичай складається з двох компонентів: епоксидної смоли та отверджувача. В Україні для виготовлення шаруватих пластиків випускаються сполучники на епоксидній основі серії ПОЛКОМ.

Найчастіше використовуються такі марки епоксидно-ліанових смол: ЕД-24Е, ЕД-22Е, ЕД-20Е за ГОСТ 2093-92 [17]. Їх затвердження, як правило, проводиться при кімнатній температурі. Для цього використовуються отверджувачі ПЕПА, і АФ-2 і УП-583, які можуть отверджувати композиції при температурах, близьких до 0⁰С. Використовується звичайне співвідношення епоксидної смоли і отверджувача - як 5:1.

Для приготування епоксидного сполучника, призначеного для нанесення на наповнювач, в емальований (алюмінієвий, скляний, фарфоровий) посуд, , необхідно відважити відповідну кількість епоксидної смоли. Окремо в іншому посуді зі збереженими матеріалами відважують необхідну кількість отверджувача.

Обидва компоненти перемішують за допомогою металевої мішалки або неметалевого шпателя протягом 2...3 хв. Звичайні витрати сполучника на робочу поверхню виробу становлять 100...150 грамів на квадратний метр. Одночасно з епоксидною сумішшю, приготовленою для викладання виробу, виготовляють контрольні зразки сполучника масою близько 50 г. Останні служать для контролю часу полімерізації та якості приготовленої суміші після отвердіння.

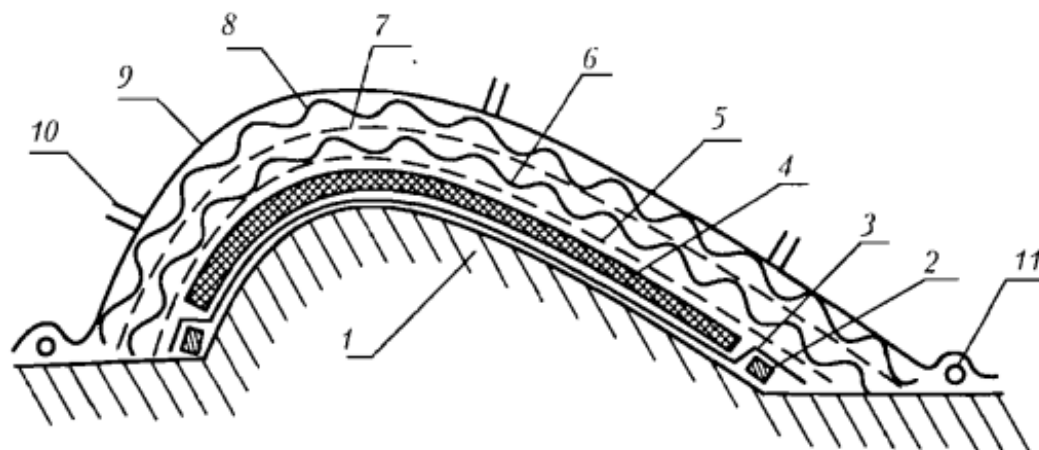
Не можна допускати попадання у свіже приготовлений сполучник води або інших зайвих речовин. Також не допускається розведення загуслого сполучника яким-небудь розчинником.

Після приготування епоксидної суміші її життєздатність зберігається протягом 30...60 хв. Час активності відраховується з моменту завершення перемішування. Забороняється використання в роботі сполучника, термін зберігання якого скінчився.

3.2.3 Викладка композиту на формі

Викладання - це послідовне укладання шарів препрега у вигляді просоченої тканини або стрічки на шаблон (форму), яка визначає геометрію майбутнього виробу. Типова структура технологічного пакета при викладанні наведена на рис. 3.3.

Цей процес може виконуватися вручну або за допомогою спеціальних викладальних машин за встановленою програмою. На заздалегідь підготовлену поверхню форми, покриту гелькоутом, розміщується перфорована роздільна плівка, а потім накладається пакет композиту.



1- форма; 2 - обмежувач; 3 - антиадгезійний шар; 4 – пакет композиційного матеріалу; 5 - роздільча перфорована плівка; 6 - вбираючий шар; 7 - цулага;
8 - дренажний шар; 9 - вакуумний мішок; 10 - клапан вакуумної системи;
11 - герметизуючий джгут

Рисунок 3.3 – Структура технологічного пакета при викладанні:

Пакет готується або окремо на робочому столі, або безпосередньо на формі. Епоксидне сполучне Епофлекс-09 наноситься на поверхню тканини пензлем або шпателем, і поверхню розгладжують валиком (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Приготування композиту

Послідовно проводиться пошарове впорядковане укладання попередньо розкритої тканини або препрега на поверхню форми з прикочуванням кожного шару нежорстким валиком з метою ущільнення пакета та видалення повітряних включень.

При викладанні першого шару необхідно вирівняти та розгладити склонаповнювач, приділяючи особливу увагу до того, щоб він повністю прилягав до матриці. Для цього можна використовувати гумовий шпатель або спеціальні ролики, які видаляють надлишки сполучного матеріалу при прокатуванні. Видалення надлишків слід виконувати, рухаючись від центру заготовки до її країв. Треба також перевіряти візуально, чи немає складок та якість прилягання склотканини до поверхні матриці.

Наступні послідовні шари скляних тканин вкладають у тому самому порядку, що і перший шар. При цьому використовують горизонтальне і вертикальне розташування заготовок у матриці черговим чином. Процес формування має бути неперервним, тобто нові шари додаються, коли попередні ще не висохли. Перші два шари слід вкладати зі зазором в 2 мм, а подальші шари мають перекривати стики з'єднання на відстані від 100 до 150 мм. У випадку, коли виникають складки, які неможливо виправити, вони проколюються, а потім вигладжуються валиком для покращення стану поверхні.

Після завершення викладення останнього шару, який визначає необхідну товщину стінки, на них викладається перфорована роздільча плівка, як правило, з поліетилену. Через існуючі в ній отвори здійснюється відведення надлишків епоксидної смоли при створенні тиску. Після полімеризації виробу цей бар'єр може бути легко зняти, щоб розібрати вакуумний пакет.

На роздільчу плівку викладають шар дренажної тканини об'ємного плетіння, завдання якої ввібрати в себе надлишки епоксидної смоли, які витискається через уже наявні отвори в цій плівці.

Для уточнення зовнішньої поверхні виробу після формування накладається так звана цулага, або обкладні листи. Вони виготовляються з алюмінієвих,

сталевих або склопластикових листів товщиною 1..2 мм. Їх поверхня перфорована отворами 1,5...2 мм.

На обкладні листи викладають ще один шар дренажної, так званої «жертвної» тканини. Вона складається з металевої сітки і двох – трьох шарів тканини рідкого плетіння.

Після цього на виріб накладається вакуумна плівка (так званий «вакуумний мішок») для створення герметичної оболонки навколо нього (рис. 3.5).

Для забезпечення герметичності цієї оболонки вздовж контуру виробу наносять герметизуючий джгут, який прикріплюється одним кінцем до майбутнього виробу і іншим - до вакуумної плівки. У випадку одноразового використання вакуумної плівки, замість дорогоцінного джгута, можна використовувати термостійку клейку стрічку, яка може витримувати високу температуру під час швидкої полімеризації.



Рисунок 3.5 – Сформований вакуумний мішок

Після накладання вакуумної плівки та закріплення герметизуючого джгута (або клейкої стрічки) виріб готовий для процесу вакуумного упаковування. Цей процес включає в себе видалення повітря з вакуумного пакета. За допомогою вакуумних насосів виконується вакуумування з тиском до 0,08 МПа.

3.2.4 Обробляння в автоклаві

Після остаточного розміщення композиційного матеріалу візок з підготовленою формою вкочується в автоклав.

У автоклаві може створюватись зовнішній тиск до 3 МПа та температура до 300 °С. Тиск може бути створений або за допомогою відповідних насосів. Температуру регулюють за допомогою електричних нагрівальних елементів або шляхом аеродинамічного нагрівання завдяки спеціально спрофільованим потужним вентиляторам. Одночасне використання вакууму і високої температури допомагає забезпечити ідеальні умови для полімеризації та створення високоякісного виробу. Автоклави обладнані цифровими системами керування, які забезпечують можливість регулювати і підтримувати тиск і температуру відповідно до заданих параметрів.

Вибір температури для полімеризації виробу залежить від характеристик наповнювача і епоксидної смоли. Навіть при процесі холодного отвердіння підвищення температури сприяє скороченню часу полімеризації. Останній, у свою чергу, залежить від загальної товщини композитного пакету на формі. Використання процесу відсмоктування повітря з-під вакуумної плівки під час полімеризації допомагає усунути пухирці повітря з композиту та підвищити герметичність стінок виробу.

3.2.5 Механічне оброблення.

Після завершення періоду витримки виробу в автоклаві, візок з виробом вкочують з автоклава. Далі розпочинається наступний процес оброблення, який включає в себе такі послідовні дії. Спочатку знімається вакуумна плівка, а потім виймаються дренажні матеріали і роздільча плівка. Після цього виріб виймається

з форми. На краях виробу, які стикалися з місцями герметизації вакуумної плівки, можуть залишитися надлишки композиційного матеріалу, відомі як облой. Їх видаляють, а відкриті торці піддають обробленню різанням. Механічне оброблення виробів з композиційних матеріалів має свою специфіку. При використанні різальних механізмів і інструментів може попсуватися поверхневий шар виробу; перерізаються армувальні волокна; можуть утворюватися мікротріщини та інші дефекти. Порушення суцільності сприяє інтенсифікації процесів водопоглинання. Тому відкриті торці, пошкоджені місця обробляються епоксидної зв'язки або гелькоуту з метою підвищення міцності та забезпечення герметичності виробу.

Останнім кроком здійснюють перевірку розмірів і якості поверхні виробу. Особливості вимірювання геометричних розмірів виробів з композиційних матеріалів пов'язані з тим, що для деяких з них треба використовувати треба використовувати штучні вимірювальні бази (наприклад, оптичні). Нижча жорсткість композитних виробів не завжди дозволяє використовувати контактні методи вимірювання. Це вимагає використання спеціальних методів вимірювання та оброблення вимірюваної інформації. Для визначення дефектів у виробках, виготовлених з композиційних матеріалів, використовується велика кількість видів неруйнівного контролю: магнітний, електричний, вихрострумний, радіохвильовий, тепловий, акустичний тощо. Вибір того чи іншого конкретного методу залежить від конструкції виробу і його матеріалу, а також від поставленої задачі контролю.

При виявленні недоліку виробу здійснюється відповідний ремонт. У випадку глибокого розшарування всередині виробу застосовується метод проникнення та реставрації. При цьому виріб проколюється, а потім всередину впорскується спеціальний сполучний матеріал. Для усунення поверхневих дефектів можуть застосовуватися такі методи, як шліфування поверхні та нанесення невеликих шматків матеріалу, просоченого сполучником. Також можливо використовувати шпаклювання

ВИСНОВКИ

1. Для заданого виробу – відкритого резервуара для рідини – проведений аналіз складових компонентів композиційного матеріалу, який може бути використаний як замітник сталі.
2. Враховуючи задані умови експлуатації, з можливих полімерних матеріалів для матриці були обрані епоксидна і поліімідна смоли, а як можливі наповнювачі - мати з рубленого скловолокна та тканини зі скляних і вуглецевих волокон.
3. З огляду на склад композиційного матеріалу, форму і розміри виробу обрані два можливих способи виготовлення виробу.
4. Після проведення розрахунків на міцність визначені розміри резервуару, включаючи товщину стінок.
5. Розроблена детальна технологія виготовлення виробу автоклавним формуванням.
6. Зроблений ґрунтовний огляд заходів із забезпечення охорони праці та довкілля, включаючи правила ведення безпечних робіт з композиційними матеріалами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аналіз існуючих композитних матеріалів та оцінка їх застосування у конструкціях планерів літальних апаратів військової авіації України / О.М.Добриденко, О.І. Скляр, В.М Турчин та ін. // *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. -2012. -Вип. № 15. - С. 146-152.
2. Композиционные материалы: справочник // под ред. Д.М.Карпиноса. К.: Наукова думка. - 1985. -592 с.
3. Koszkuł J. Materiały Polimerowe. -Cręstochowa, 1999. -174 p.
4. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: підручник / [Є.О.Джур, Л.Д.Кучма, Т.А.Манько та ін.] - К.: Вища школа. - 2003.- 399 с.
5. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – К.: НТУУ «КПІ». - 2006. -270 с.
6. Копань В.С. Композиційні матеріали. - К.: Унів. вид-во «Пульсари». - 2004. -201 с.
7. Спеціальні конструкційні матеріали: підручник./ [Солнцев Ю.П., Беліков С.Б., Волчок І.П., Шейко С.П.] – Запоріжжя: «ВАЛПІС-ПОЛІГРАФ». – 2010. - 536 с.
8. Авіаційно-космічні матеріали та технології / [Богуслаєв В.О., Качан О.Я., Калініна Н.Є. та ін.] – Запоріжжя: вид-во ВАТ «Мотор-Січ». - 2009. -383 с.
9. Композиційні матеріали а авіабудуванні (огляд). / С.Б.Беліков, І.П. Волчок., О.А. Мітяєв та ін. // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. - №2.- 2017. - С. 32 – 40.
10. Опір матеріалів: підручник / за ред. Г.С.Писаренка. – К.: Вища шк.. - 2004. - 655 с.
11. Корнілов О.С. Опір матеріалів: підручник. – К.; Логос. -- 2002. 562 с.
12. Переработка полимерных композиционных материалов / [В.А.Пахаренко, Р.А. Яковлева, А.В. Пахаренко] – К.: Воля. - 2006. - 552 с.

13. Трифонова О. Принципи добору матеріалів для матриці композиційних матеріалів. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Випуск 10 (III). С. 147-151.
14. Мікульонок І.О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, 2020. 293 с.
15. Sikora R. Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. -Warszawa, 1993. - 528р.
16. Полімерні композити: одержання, властивості, застосування: [вибр. пр.] / О. І. Буря. — Дніпропетровськ: Федорченко А. А. -2010. - 383 с.
17. Тхір І.Г., Гуменецький Т.В.. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник.— Львів : вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. 240 с.
18. Спорягін Е. О., Варлан К. Є. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів: навч. посібник. —Донецьк: вид-во ДНУ, 2012. -188 с.
19. Композиционные материалы в машиностроении. / [Ю.Л. Пилиповский, Т.В. Грудина, А.Б. Сапожникова и др.] -Киев: Техніка, 1990. - 141 с.
20. ДСТУ ГОСТ 19170-2003 Скловолокно. Тканина конструкційного призначення. Технічні умови. [Введений у дію 01.07.2003]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2003. 26 с.
21. ДСТУ 2093-92 Смоли епоксидно-діанові неотверджені. Технічні умови. [Введений у дію 01.01.1994]. – К.: НДПМ, 1993. 16 с.
22. Матеріалознавство: підручник / [Дяченко С.С. Дощечкіна І.В., А.О. Мовлян А.О. та ін.]– Харків: Видавництво ХНАДУ. - 2007. – 440 с.
23. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навч.посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД». - 2010. – 232 с.:
24. Johannaber F., Michaeli W.:Handbuch Spritzgießen. München: Hanser Verlag, 2002
25. Bonten Ch. Kunststofftechnik Einführung und Grundlagen. München: Hanser Verlag, 2014.

26. Menges, Michaeli, Mohren. Spritzgießwerkzeuge. Auslegung, Bau, Anwendung, 6. Auflage. München^ Carl Hanser, 2007.
27. Handbook of Polymer Composites for Engineers By Leonard Hollaway - Woodhead Publishing, 1994.
28. Matthews, F.L.; Rawlings, R.D. Composite Materials: Engineering and Science. Boca Raton: CRC Press. . (1999).

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 - Стандартні режими пресування деяких реактопластів [5]

Матеріал	Температура пресування, °С		Тиск при пресуванні, МПа			Витримка (на 1 мм товщини виробу) при пресуванні		
	без попереднього підігріву	з попереднім підігрівом	компресійному		литтєвому	компресійному		литтєвому
			без попереднього підігріву	з попереднім підігрівом		без попереднього підігріву	з попереднім підігрівом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Фенопласти:</i>								
02 -010 -02	—	—	30 ± 5		40 ÷ 60	0,6 ÷ 1,0	0,4 ÷ 0,8	0,4 ÷ 0,6
Сп3-342-02	180 ± 10	180 ± 10	30 ± 5	30 ± 5		0,3 ÷ 0,8	0,3 ÷ 0,7	—
Сп3-342-02	180 ± 10	180 ± 10	170 ± 10		60 ÷ 120	0,3 ÷ 0,8	0,3 ÷ 0,7	—
Е2 -330-02	170 ± 10	180 ± 10	35 ± 5	35 ± 5	60 ÷ 120	0,6 ÷ 1,0	0,4 ÷ 0,8	—
ВхІ-090 -34	160 ± 10	—	25 ÷ 40	—	50 ÷ 80	—	—	—
ЖІ-010-40	180 ± 10	—	30 ± 5	—	—	0,4 ÷ 0,5	—	—
<i>Амінопласти:</i>								
КФА1	140 ± 5	—	30 ± 5	—	—	1,0 ÷ 1,5	—	—
КФА2	140 ± 5	—	30 ± 5	—	—	1,0 ÷ 1,5	—	—
МФВ1	160 ± 5	(170 ± 5)	45 ± 5	—	60...100	1,5 ÷ 2,0	—	1,5
МФД1	160 ± 10	—	35 ± 5	—	—	1,0 ÷ 1,5	—	—
<i>Прес-матеріали на основі кремнійорганічних смол:</i>								
ПК - 9	150 ± 5	(160 ± 10)	40 ± 5	—	56 ± 5	2,0 ÷ 3,0	—	1,5 ÷ 2,0
КФ - 9	—	160 ± 10	—	30 ± 5	70 ± 80	—	1,0 ÷ 1,5	1,0
ВІМ - 3	—	(195 ± 5)	—	40 ± 5	80 ± 5	—	1,5 ÷ 2,5	1,7
<i>Матеріали пресувальні (скловолокніти):</i>								
АГ - 4С	160 ± 5	—	—	40 ± 5	—	1,5 ÷ 2,5	1,5 ÷ 2,5	—
АГ- 4ЛС	155 ± 5	—	25 ± 5	—	—	1,5 ÷ 2,5	—	—
АГ- 4В - 10	155 ± 5	—	35 ± 5	—	—	2,0 ÷ 3,0	—	—
СНК -2-27	145 ± 5	(150 ± 5)	30 ± 5	—	70 ± 120	1,0 ÷ 2,0	—	1,0 ÷ 1,5
ДСВ -2-Р-2М	145 ± 5	(135 ÷ 170)	25 ÷ 40	—	60 ± 130	1,5	—	1,0

Примітка: У дужках вказана температура при литтєвому пресуванні