

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
(повне найменування інституту, назва факультету)
Кафедра МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ ТА ІНСТРУМЕНТ
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Аналіз технологічних особливостей обробки композитних матеріалів при створенні макетів спеціальних виробів

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи М-213м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та системи

ЯРОВИЙ О.С.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ШТАНКЕВИЧ В.С.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ТРИШИН П.Р.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Машинобудівний
Кафедра Металорізальні верстати та інструменти
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Металорізальні верстати та системи
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЯРОВИЙ Олександр Сергійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз технологічних особливостей обробки композитних матеріалів при створенні макетів спеціальних виробів

керівник проєкту (роботи) старш. викладач, Штанкевич Вікторія Сергіївна,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «23» жовтня 2024 року № 426

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 20.01.2025

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Технічне завдання, наявне обладнання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) В роботі проаналізовано структуру сучасних композиційних матеріалів. Обрано та обґрунтовано тип структури композиційного матеріалу для створення макетів спеціальних виробів. Розглянуто та обрано вид шаруватого композиту для створення макету. Систематизовано рекомендації по оптимізації розгортки при розробці моделей з листового матеріалу. Оптимізовано існуючі моделі макетів з використанням розглянутих рекомендацій. Підвищено ефективність створення макетів за рахунок використання обраних технологій та рекомендацій.

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

Креслення: Презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ШТАНКЕВИЧ В.С., старш. викладач	01.10.24	10.10.24
2	ШТАНКЕВИЧ В.С., старш. викладач	11.10.24	30.10.24
3	ШТАНКЕВИЧ В.С., старш. викладач	31.10.24	20.11.24
4	ШТАНКЕВИЧ В.С., старш. викладач	25.12.24	30.12.24
Нормоконтроль	ПЕРВЄЄВ. Д.В.	21.01.25	22.01.25

7. Дата видачі завдання « 01 » жовтня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Класифікація та характеристика композиційних матеріалів	01.10-10.10	
2	Шаруваті композиційні матеріали	11.10-30.10	
3	Алюмінієві композитні панелі для макетування спеціального обладнання	31.10-20.11	
4	Приклад виконання деталі з алюмінієвих композитних панелей для макету спеціального виробу	21.11-24.12	
5	Оформлення пояснювальної записки	25.12-30.12	
6	Оформлення презентації	17.01-20.01	
7	Нормоконтроль	21.01-22.01	

Студент(ка)

_____ Олександр ЯРОВИЙ _____
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Вікторія ШТАНКЕВИЧ _____
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 72 с., 42 рис., 3 табл., 14 джерел.

МАКЕТ, МАТРИЦЯ, КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ, ШАР, РОЗГОРТКА, ОБРОБКА, МОДЕЛЬ

Представлено аналіз технологічних особливостей обробки композиційних матеріалів які використовуються для виготовлення макетів спеціальних виробів.

Метою роботи оптимізація технології виготовлення та методів розробки моделей за рахунок вибору композитного матеріалу та систематизації особливостей його обробки.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що розроблені рекомендації щодо оптимізації технології виробництва та методів розробки макетів спеціальних виробів за рахунок використання комп'ютерного моделювання та сучасних конструкційних композитних матеріалів.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що розроблені рекомендації використовуються на виробництві для створення макетів та має економічний вплив за рахунок економії матеріалу та швидкості розробки.

ABSTRACT

Explanatory note: 72 p., 42 fig., 3 tables, 14 sources.

DECOY, MATRIX, COMPOSITE MATERIAL, LAYER, SWEEP,
MACHINING, MODEL

The analysis of technological features of processing composite materials used for the manufacture of models of special products.

The aim of the work is to optimize of manufacturing technology and methods of model development by selecting composite material and systematization of its processing features.

The scientific novelty of the work is that recommendations for optimization of production technology and methods for developing models of special products through the use of computer modeling and modern structural composite materials.

The practical value of the results of the work is that the developed recommendations are used in production for creating models and has an economic impact due to material savings and development speed.

ЗМІСТ

С.

Реферат.....	4
Abstract.....	5
Вступ.....	7
1 Класифікація та характеристика композиційних матеріалів	8
2 Шаруваті композиційні матеріали.....	15
2.1 Проблеми формування композиційних матеріалів	17
2.2 Метали та сплави, що застосовуються для виробництва композиційних матеріалів.....	20
2.3 Способи виробництва шаруватих композиційних матеріалів	23
2.4 Приклади шаруватих композиційних матеріалів.....	24
3 Алюмінієві композитні панелі для макетування спеціального обладнання	41
3.1 Технологія виробництва панелей із композиту	42
3.2 Технології обробки АКП	44
3.3 вальцювання АКП.....	55
3.4 Кріплення композитних алюмінієвих панелей.....	57
3.5 Рекомендації щодо проектування деталей які виготовляються методом гнуття	60
4 Приклад виконання деталі з алюмінієвих композитних панелей для макету спеціального виробу.....	62
4.1 Імітація згину листа	64
4.2 Приклад створення траєкторії обробки	66
Висновки.....	70
Список джерел посилань.....	71

ВСТУП

Композиційні матеріали (КМ), мають унікальний комплекс механічних і експлуатаційних властивостей, успішно застосовуються в багатьох галузях промисловості.

Застосування композитів дає змогу знизити масу літальних апаратів, автомобілів, суден, збільшити ККД двигунів, а також створити нові конструкції, що володіють високою працездатністю і надійністю.

Нині розроблено і застосовуються різні композиційні матеріали: волокнисті, армовані ниткоподібними кристалами та безперервними волокнами тугоплавких сполук і елементів, дисперсно-зміцнені матеріали, шаруваті матеріали, створені шляхом пресування або прокатки різнорідних матеріалів, сплави зі спрямованою кристалізацією евтектичних структур, сплави з інтерметалідним зміцненням.

Існує безліч технологій отримання композитів: просочування армувальних волокон матричним матеріалом; холодне пресування компонентів з подальшим спіканням; осадження матриці плазмовим напиленням на зміцнювач з подальшим обтисненням; пакетне дифузійне зварювання моношарових стрічок компонентів; спільне про- кочення армувальних елементів з матрицею та ін.

Основні завдання проєкту:

- аналіз характеристик та класифікацій металевих композиційних матеріалів;
- вибір оптимального композиційного матеріалу для створення макетів спеціального обладнання;
- на основі аналізу особливостей обробки обраного композиційного матеріалу, запропонувати технологію або технологічні засоби виготовлення макетів спеціального обладнання.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Під композиційними матеріалами розуміють матеріали, що складаються з двох або більше різнорідних за хімічним складом, структурою і властивостями компонентів, нерозчинних або малорозчинних один в одному.

Композити формуються внаслідок об'ємного поєднання вихідних матеріалів, один із яких утворює матрицю, або сполучну речовину, а інший є наповнювачем. Матриця і наповнювач мають межу розділу.

Матрицею називається компонент, що має безперервність по всьому об'єму КМ.

Включення - це розділений в об'ємі компонент, він може бути підсилювальним або армувальним.

Міжфазна межа - це межа розділу між матрицею і включенням, що має властивості, відмінні від властивостей матриці і включення.

Умови формування та характерні ознаки композиційних матеріалів.

1. Композит повинен являти собою поєднання хоча б двох різнорідних матеріалів із чіткою межею розділу між фазами;
2. Компоненти композиції утворюють її своїм об'ємним поєднанням;
3. Композиція повинна мати властивості, яких немає ні в одного з її компонентів окремо;
4. Склад і форма компонентів визначені заздалегідь.
5. Компоненти присутні в кількостях, що забезпечують задані властивості матеріалу.
6. КМ є однорідним у макромасштабі та неоднорідним у мікромасштабі.

Керуючи об'ємним вмістом вихідних компонентів, можна одержувати матеріали з необхідними значеннями міцності, жароміцності, модуля пружності, зносостійкості, корозійної стійкості та іншими спеціальними властивостями.

Залежно від складу властивість КМ може проходити через максимум, мінімум або змінюватися адитивно (пропорційно). Така властивість називається середньою (рис. 1.1). Якщо властивості компонентів значно відрізняються, то зміна властивості може бути іншою і більш складною.



Рисунок 1.1 - Схема зміни властивості КМ залежно від властивостей компонентів та їхньої кількості

Композиційні матеріали можна класифікувати за (рис. 1.2):

- природою компонентів;
- структурою і за геометрією наповнювача;
- розташуванням і кількістю компонентів;
- агрегатним станом матричного матеріалу під час отримання композиту.

Залежно від агрегатного стану матричного матеріалу в процесі виробництва композитів розрізняють твердофазні, рідиннофазні, газо- і парофазні, а також комбіновані металічні композиційні матеріали.

За геометричною формою наповнювачі поділяють на нульмірні, одновимірні та двовимірні.

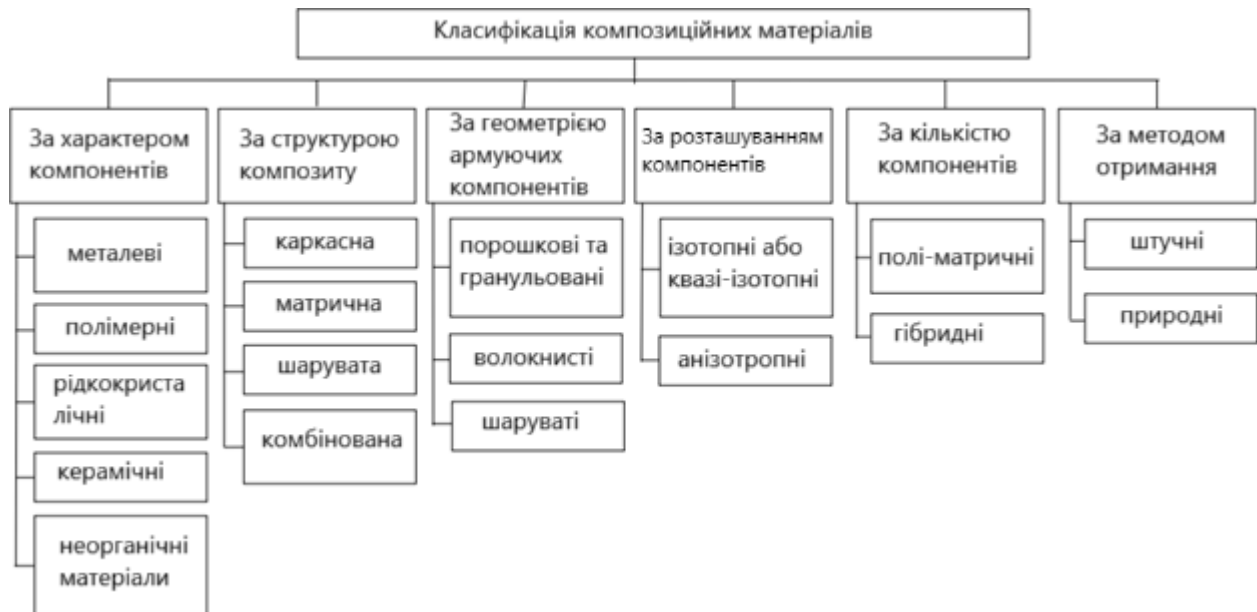
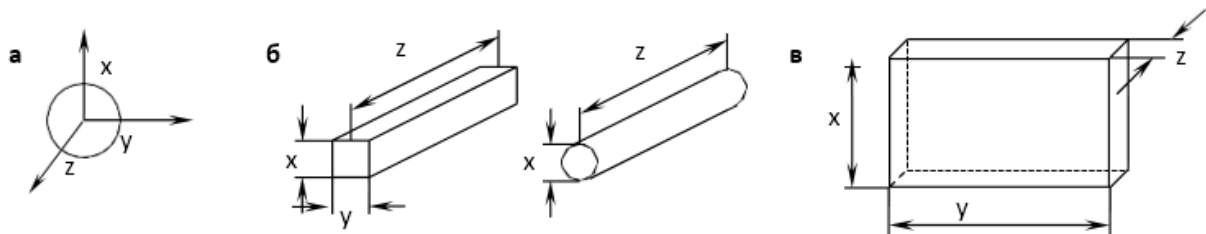


Рисунок 1.2 - Класифікація композиційних матеріалів

Нульмірні наповнювачі мають розміри одного і того ж ряду в трьох вимірах. Одновимірні наповнювачі являють собою волокна круглого або прямокутного перерізу. Двовірні наповнювачі - це шари або пластини, довжина і ширина яких значно перевищують їхню товщину.

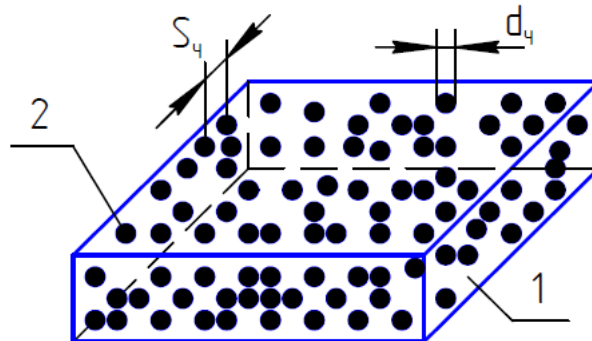


а - нульмірні; б - одновимірні; в - двовимірні

Рисунок 1.3. Класифікація наповнювачів у композиційному матеріалі

Виходячи з цього, композиційні матеріали поділяють за структурою на дисперсно-зміцнені (рис. 1.4), або армовані нульовим наповнювачем, волокнисті (рис. 1.5), або армовані одновірним наповнювачем, шаруваті (рис. 1.6), або армовані двовимірним наповнювачем.

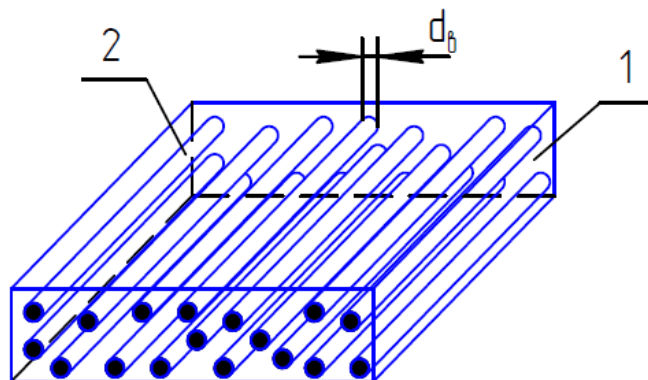
У дисперсно-зміцненому композиті включення рівномірно розподілені в матриці, відстані між сусідніми частинками задаються їхньою об'ємною часткою.



1- матриця; 2 - армувальні частинки діаметром $d_ч$; $S_ч$ - відстань між частинками .

Рисунок 1.4 – Схематичне зображення мікроструктури дисперсно-зміцнених КМ і композитів, армованих частинками

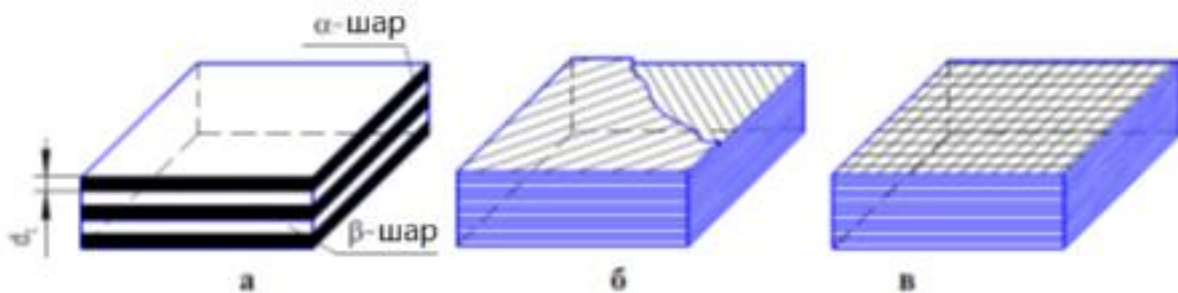
У волокнистих композитах волокна в матриці можуть розташовуватися направлено або хаотично.



1- матриця; 2 - армувальні волокна діаметром $d_в$

Рисунок 1.5 - Схематичне зображення мікроструктури волокнистих КМ

Структуру шаруватих композитів представлено матричними і армувальними шарами, що чергуються. Матричними вважаються шари більші за товщиною. Об'ємна частка армувальних шарів задається співвідношенням товщин матричного й армувального шару.



а - шаруватий з товщиною шару α d_c ; б - шаруватий армований безперервними нитками; в - шаруватий, армований тканинами

Рисунок 1.6 - Схематичне зображення мікроструктури шаруватих КМ

З урахуванням розміру і розподілу других фаз або армувальних компонентів у кожному з класів КМ можна виділити підкласи:

- субмікроструктуровані композити: розмір частинок (d_c), товщина волокна (d_b) набагато менші за 1 мкм ($d \leq 1$ мкм);
- мікроструктуровані композити: розмір частинок, товщина волокна або шару (d_c) має порядок одного мікрметра ($d = 1$ мкм);
- макроструктуровані композити: макроскопічні розміри компонентів мають порядок одного міліметра ($d \geq 0,1$ мм).

За природою компонентів композити поділяють на металічні, полімерні, рідкокристалічні, керамічні та інші неорганічні матеріали (вуглець, оксиди, бориди тощо). Зазвичай композити отримують загальну назву за матеріалом матриці.

Структура композиту буває:

- каркасною;
- матричною;
- шаруватою;
- комбінованою.

До композитів з каркасною структурою належать, наприклад, псевдосплави, отримані методом просочення; з матричною структурою - дисперсно-зміцнені та волокнисті композити; з шаруватою структурою - композити, складені з шарів фольги або аркушів матеріалів різної природи або складу, які чергуються; з комбінованою структурою - ті, що містять комбінації перших трьох груп. Наприклад, псевдосплави, каркас яких зміцнений дисперсними включеннями, - каркасно-матрична структура тощо.

За розташуванням компонентів композити бувають ізотропні або квазіізотропні (порошкові, дисперсно-зміцнені, хаотично армовані дисперсними частками, дискретними або безперервними волокнами тощо); анізотропні (волокнисті, шаруваті з певною орієнтацією армувальних елементів відносно матриці).

Ізотропні матеріали мають однакові властивості в усіх напрямках, анізотропні - різні. До числа ізотропних композитів належать псевдосплави і хаотично армовані матеріали.

Зміцнення хаотично армованих композитів здійснюється короткими (дискретними) частинками голчастої форми, орієнтованими в просторі випадковим чином. Як такі частинки використовують відрізки волокон або ниткоподібні кристали, при цьому композити виходять квазіізотропними, тобто анізотропними в мікрооб'ємах, але ізотропними в макрооб'ємі всього виробу.

Анізотропія композиту є конструкційною, вона закладається спеціально для виготовлення конструкцій, в яких найбільш раціонально її використовувати. Можливість керування властивостями новостворюваних матеріалів суттєво впливає на вдосконалення технологічного проектування.

За кількістю компонентів композити класифікують на поліматричні - з використанням у матеріалі кількох матриць; гібридні, або поліармовані, - з використанням наповнювачів різної природи. Композити, які містять два або більше різних за складом типу армувальних елементів, називаються поліармованими, або гібридними.

Гібридні композити можуть бути простими якщо армувальні елементи мають різну природу, але однакову геометрію, і комбінованими, якщо армувальні елементи мають і різну природу, і різну геометрію.

За методом отримання виділяють штучні та природні. До штучних належать усі композити, отримані в результаті штучного введення армувальної фази в матрицю, до природних - сплави евтектичного і близького до них складу. В евтектичних композитах армувальною фазою є орієнтовані волокнисті або пластинчасті кристали, утворені природним шляхом у процесі спрямованої кристалізації.

2 ШАРУВАТІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

У промисловості широке застосування знайшли шаруваті композиційні матеріали. Застосування шаруватих металевих композицій дає змогу не тільки підвищити надійність і довговічність деталей і устаткування, а й істотно скоротити витрату високолегованих сталей, дефіцитних і дорогих кольорових металів (нікель, хром, мідь, молібден та ін.), знизити енергоємність і металоємність, витрати на технічне обслуговування, виробництво запчастин і ремонт устаткування. Шаруваті композиційні матеріали (СКМ) застосовують у будівництві, машинобудуванні, авіабудуванні, приладобудуванні, хімічній і нафтохімічній промисловості та низці інших галузей промисловості. Їх використовують як несучі конструкції, перехідники, пристосування і деталі, що мають спеціальні властивості.

Шаруваті композити складаються з декількох шарів, що з'єднуються один з одним по всій площі. Структура СКМ складається з набору двовимірних армувальних компонентів, що чергуються, - шарів, жорстко пов'язаних між собою по всій поверхні. Такі композити є односпрямованими, тобто властивості відрізняються залежно від напрямку докладання навантаження.

Шари в композитах, залежно від їхньої товщини, можна класифікувати як листи або пластини завтовшки 1-10 мм і більше, фольги завтовшки 0,05-1 мм і плівки завтовшки 10⁻³ - 0,05 мм.

Шарувата структура композиту може бути представлена як набір в об'ємі ізотропного однорідного матеріалу (рис. 2.1) поверхонь (П1 - П5), локальна міцність яких менша за міцність вихідного ізотропного матеріалу. При цьому шари (С1 - С5), пов'язані по поверхнях (П1 - П4), однорідні та ізотропні.

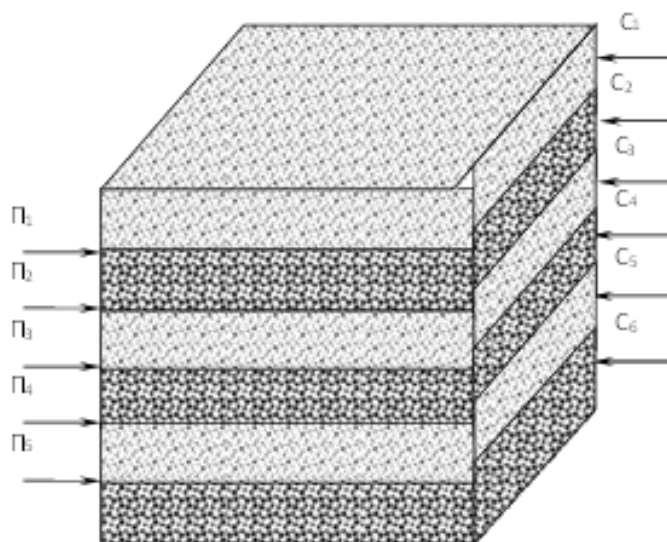


Рисунок 2.1 - Класифікація наповнювачів у композиційному матеріалі

Шаруваті композиційні матеріали також поділяють на анізотропні (рис. і квазіізотропні. Квазіізотропні шаруваті композити складені з хаотично орієнтованих шаруватих осередків. У середині цих осередків властивості в напрямку осей x ; y ; z - відмінні, а загалом, в об'ємі всього матеріалу, можна вважати, що властивості в напрямку цих осей однакові.

У шаруватих композитах шари, що чергуються, можуть бути виготовлені або з одного й того самого матеріалу, або з різних.

Шаруваті композиційні матеріали можна класифікувати виходячи з властивостей матриці та наповнювача:

- 1) на матеріали з твердою матрицею і м'яким наповнювачем;
- 2) на матеріали з м'якою матрицею і твердим наповнювачем.

Матеріали першої групи застосовують як жаростійкі композити, що мають високу в'язкість, а матеріали другої групи - як теплостійкі матеріали.

Сучасні шаруваті композити складаються з природних матеріалів, металів, сплавів, пластичних мас, кераміки, штучних волокон тощо.

У розвитку шаруватих композитів важливу роль відіграли винахід і впровадження синтетичних полімерів (смола):

- реактопластів (фенопласти - фенолформальдегідні або фенольні; амінопласти - меламіно- і сечовиноформальдегідні; епоксидні, поліефірні, кремнійорганічні, поліімідні та інші полімерні сполуки).

- термопластів (поліолефіни, аліфатичні та ароматичні поліаміди, полісульфони, фторопласти, тощо).

За функціональними ознаками всі вироблені нині шаруваті композити підрозділяють на такі види: корозійностійкі, антифрикційні, електротехнічні, інструментальні, зносостійкі, термобіметали, біметали для глибокого витягування і побутових виробів.

Застосування корозійностійких шаруватих композитів характеризується високою ефективністю та економічністю: значною мірою скорочується витрата легувальних елементів, знижується вартість машин і механізмів, підвищується ресурс їхньої роботи. З цих матеріалів виготовляють деталі і конструкції, що працюють в умовах низьких і високих температур і тисків, під впливом різних агресивних середовищ. Вироби з біметалів виробляють різними методами лиття, ливарного плакування, прокатки, зварювання і наплавлення.

2.1 Проблеми формування композиційних матеріалів

Можливість формування композиційного матеріалу визначається сумісністю вихідних компонентів. Для отримання композитів з оптимальними властивостями міжфазна взаємодія має бути обмежена, оскільки інтенсивна взаємодія призводить до погіршення механічних властивостей композиційного матеріалу. За високих температур на поверхні волокон композиту протікають хімічні реакції. Якщо хімічна реакція зачіпає тонкий шар, то це навіть зміцнює зв'язок наповнювача з матрицею, але якщо шар потовщується, то продукти реакції можуть сильно послабити цей зв'язок, крім того, волокно може зруйнуватися.

Хімічна взаємодія може відбуватися як під час виготовлення композитів, так і під час їх високотемпературної експлуатації.

Для того щоб композит мав стабільні властивості за підвищених температур, його компоненти мають бути хімічно сумісними. Поняття хімічної сумісності включає поняття термодинамічної та кінетичної сумісності.

Термодинамічна сумісність - це здатність матриці та армуючих елементів перебувати в стані термодинамічної рівноваги необмежений час за температури отримання та експлуатації. Термодинамічно сумісними в ізотермічних умовах є обмежена кількість композиційних матеріалів, що складаються з компонентів, практично не розчинних один в одному в широкому інтервалі температур (наприклад, Cu - W). Більшість композитів складається з термодинамічно несумісних компонентів, для яких з діаграм стану можна визначити тільки можливі фазові рівноваги і спрямованість реакцій.

Кінетична сумісність - здатність компонентів перебувати в стані метастабільної рівноваги, контрольованої такими факторами, як адсорбція, швидкість дифузії, швидкість хімічних реакцій. Термодинамічно несумісні складові композиту в певних температурно-часових інтервалах з використанням нових оптимальних технологій можуть бути сумісними кінетично і досить надійно працювати.

Поряд із хімічною сумісністю при створенні композиту важливо забезпечити механічну сумісність, тобто відповідність пружних констант, коефіцієнтів термічного розширення і показників пластичності компонентів, які дають змогу досягти міцності зв'язку для передавання напружень через границю.

Однією з умов отримання композиту є формування поверхні розділу між матрицею і наповнювачем. Стан межі розділу визначає ефективність армування композиту тим чи іншим наповнювачем. Основною функцією є забезпечення зв'язку матриці з наповнювачем, що є необхідним для передачі та розподілу навантаження між складовими композиту.

На поверхні розділу між матрицею і наповнювачем формується перехідний шар, який за хімічним складом, структурою і механічними властивостями відрізняється від таких для матриці і наповнювача.

Певною мірою властивості композиту залежатимуть від товщини і властивостей цього перехідного шару. В літературі запропоновано класифікувати композиційні матеріали з малою (менш як 0,5 мкм), середньою (0,5-1 мкм) і великою (понад 1-2 мкм) товщиною межі. Огляд експериментальних даних з літератури показує, що композити з малою товщиною межі розділу між матрицею та наповнювачем мають вищі механічні характеристики.

Вплив на властивості композиційного матеріалу матиме стабільність хімічного складу та структури межі розділу за умов експлуатації: температури, тиску, часу, газового середовища та зовнішнього навантаження.

Залежно від способу виготовлення композиту можна виділити кілька типів зв'язку на поверхні розділу матриці та наповнювача.

Механічний зв'язок реалізується в тому разі, якщо армуючий елемент має шорстку поверхню, а хімічна взаємодія між ним і матрицею відсутня. Міцність такого зв'язку забезпечується винятково завдяки силам тертя на межі розділу і може істотно збільшуватися під час передавання на армувальні елементи стискальних напружень.

Реакційний зв'язок виникає, якщо на межі розділу в результаті хімічної реакції утворюється нова сполука або твердий розчин. Реакційний зв'язок може виникати в результаті послідовності обмінних реакцій.

Оксидний зв'язок може бути розглянутий як окремий вид реакційного зв'язку, оскільки на межі розділу в результаті хімічної реакції утворюються оксидні сполуки. Оксидний зв'язок виникає завжди, якщо як матрицю та армувальні елементи використовуються речовини, що містять природні поверхневі оксидні плівки. Вони притаманні, наприклад, алюмінію, бору, карбиду і нітриду кремнію внаслідок їхньої підвищеної хімічної спорідненості до кисню.

Адгезійний зв'язок утворюється внаслідок розтікання під час розплавлення менш тугоплавкого матричного компонента поверхнею більш тугоплавкого

армувального компонента, що перебуває у твердому стані. Після охолодження і кристалізації розплаву між зазначеними компонентами формується зв'язок.

Змішаний зв'язок. Це сукупність двох або декількох перерахованих вище типів зв'язку, які можуть одночасно реалізуватися на поверхні розділу того чи іншого композиту.

2.2 Метали та сплави, що застосовуються для виробництва композиційних матеріалів

Як матричні матеріали під час виготовлення композитів використовують промислові метали і сплави, які вже застосовують у різних галузях техніки, а також нові сплави, розроблені спеціально для армування їх тим чи іншим видом волокон. Залежно від умов експлуатації і насамперед від робочих температур використовують такі матричні матеріали:

- легкі метали і сплави (на основі алюмінію і магнію);
- метали і сплави на основі титану;
- мідь та її сплави;
- жаростійкі та жароміцні сплави на основі заліза, нікелю і кобальту;
- тугоплавкі метали і сплави.

Широко використовуються алюмінієві сплави, що деформуються, які не зміцнюються термічною обробкою, марок АМц, АМг, АМгЗ, тощо, основними легуючими елементами яких є марганець і магній. Ці сплави мають гарну пластичність, корозійну стійкість і зварюваність, але порівняно невелику міцність. Механічні властивості їх визначають вміст легуючих елементів і ступінь нагартування в результаті пластичної деформації. Велику групу алюмінієвих сплавів, що деформуються, становлять зміцнювані термічною обробкою дуралюміни (Д1, Д6, Д16, Д18). Після термічної обробки (загартування і штучного старіння) ці сплави мають підвищену механічну міцність.

З ливарних алюмінієвих сплавів найпоширенішими є силуміни, які володіють хорошими ливарними властивостями і як основний легувальний елемент містять 4-13 % Si. Однак вони малопластичні, мають низьку ударну в'язкість і корозійну стійкість. Теплостійкість силумінів також невелика.

Перспективними для жароміцних композитів на алюмінієвій основі є матричні матеріали типу САП (спечений алюмінієвий порошок), що являють собою алюміній, зміцнений дисперсними частинками оксиду алюмінію Al_2O_3 . Вихідним продуктом для отримання цих матеріалів служить найтонша алюмінієва пудра, що містить 6-22 % Al_2O_3 , з якої брикетуванням, спіканням і подальшою прокаткою отримують листи САП. Головна перевага САП у їхній високій жароміцності. Крім того, ці матеріали добре обробляються тиском і різанням, мають високу корозійну стійкість.

Магній і його сплави вигідно відрізняються від інших конструкційних матеріалів низькою щільністю, відносно високими механічними властивостями, хорошою здатністю чинити опір ударним навантаженням і вібраціям. Такі деформовані магнієві сплави, як МА5, МА8, МА2-1, технологічно пластичні і добре обробляються тиском. Сплав МА2-1 легко піддається прокатці й усім операціям листового штампування: згинанню, відбортовуванню і витягуванню (при нагріванні до 250-300 °С). Крім того, він добре зварюється аргонодуговим зварюванням.

Ливарні магнієві сплави, такі як МЛ5, МЛ 12, МЛ 15, мають гарну рідинну текучість і малу лінійну усадку 1,3-1,6 %. Після термічної обробки (старіння) вони значно зміцнюються. Їх обробляють методами лиття в піщані форми, в кокіль і під тиском.

З листових МКМ найпоширеніші тонкі листи або фольга, які отримують прокаткою. Сплави алюмінію для отримання листів завтовшки понад 5 мм піддають гарячій прокатці в інтервалі температур 350-440 °С з високими швидкостями - 10 м/с і більше. Тонкі листи і фольгу виготовляють з гарячекатаних листів рулонним способом.

Титан і його сплави мають гарні фізико-механічні властивості: за порівняно малої густини (4500 кг/м^3) титанові сплави можуть мати межу міцності від 50 (для нелегованого титану) до 150 кгс/мм^2 (для сплавів). Тому за абсолютною і тим паче за питомою міцністю він перевершує сплави алюмінію і магнію і багато легованих сталей у широкому діапазоні температур $20\text{-}500^\circ\text{C}$. Технічний титан ВТ1 і більшість сплавів титану, наприклад, ВТ5, ВТ3, ВТЛ-1, мають хороші ливарні властивості і застосовуються для виробництва фасонних і тонкостінних ливарних виробів.

Титан і його сплави можна обробляти тиском, особливо в гарячому стані в інтервалі $1200\text{-}1600^\circ\text{C}$, усіма відомими способами. Гарячу прокатку проводять при температурах $700\text{-}900^\circ\text{C}$. При цьому отримують смуги завтовшки 5-7 мм, які потім піддають теплій прокатці при температурах $550\text{-}700^\circ\text{C}$ до отримання листів завтовшки 1,5-2 мм.

Мідь, що має високу електро- і теплопровідність у поєднанні з високою корозійною стійкістю, широко застосовується в електротехнічному апаратобудуванні. У технологічному відношенні мідь є добре оброблюваним металом, оскільки він добре кується, прокочується в пруток, стрічку, фольгу, протягується в дріт. Здебільшого обробляють мідь у холодному стані з проміжними відпалами для зняття внутрішніх напружень, що виникають під час її деформації. Багато мідних сплавів мають хороші ливарні властивості.

Методами порошкової металургії стало можливим отримувати МКМ з матрицею з особливо тугоплавких металів - ніобію, вольфраму, молібдену і сплавів на їхній основі. Найчастіше такі матриці піддають дисперсному зміцненню частинками тугоплавких сполук приблизно рівновісної форми з розмірами в межах $0,01\text{-}0,1 \text{ мкм}$. Волокнистими наповнювачами (вусами, волокнами тугоплавких сполук) ці матриці армують для того, щоб надати їм особливих експлуатаційних характеристик - ударостійкості, термостійкості, спеціальних фізичних властивостей. Створюючи такі МКМ, використовують матричний матеріал у вигляді тонких порошоків з розмірами $0,1\text{-}5 \text{ мкм}$, тонкої металеві фольги завтовшки $10\text{-}100 \text{ мкм}$, а також застосовують різні способи

осадження матриці на волокна з подальшим ущільненням покритих волокон гарячим пресуванням, прокатуванням тощо.

2.3 Способи виробництва шаруватих композиційних матеріалів



Рисунок 2.2 - Загальна класифікація процесів отримання та обробки композитів із металевою матрицею.

Нині застосовують різні способи отримання шаруватих композиційних матеріалів. Доцільність застосування того чи іншого способу зумовлюється властивостями вихідних матеріалів, формою металопродукції, що виготовляється, умовами її експлуатації та методами обробки виробу.

Класифікувати способи виготовлення шаруватих композитів можна за низкою ознак. Виходячи з умов протікання процесів на межі з'єднання складових, розрізняють три поєднання агрегатних станів металів у зоні контакту: рідкий з рідким, твердий з рідким і твердий з твердим.

Таким чином, наявні способи виготовлення шаруватих композитів і біметалів можна розділити на газофазні, рідкофазні, твердофазні та комбіновані (рис. 2.2).

2.4 Приклади шаруватих композиційних матеріалів

2.4.1 Гетинакс

Шаруватий пресований матеріал, виготовлений з декількох шарів паперу, просоченого фенолоформальдегідною або епоксидною смолою. Гетинакс застосовується як конструкційний та електроізоляційний матеріал.



Рисунок 2.3 - Гетинакс

Основні особливості:

- експлуатуються при високих температурах, від -60 до +100 градусів;
- стійкість до впливу жирів і мінеральних масел;
- схильність до негативного впливу кислотного і лужного середовища;
- горючість;
- обробка спеціалізованим лаком надає гетинаксу гарні діелектричні властивості;
- не розшаровується і не розколюється при нагріванні.

Нижче наводяться методи механічної обробки Гетинаксу.

Розрізання і розпилювання. Листові шаруваті пластики тонких розмірів можуть розрізатися на ножицях гільйотинного типу. Однак задовільна кромка в цьому випадку виходить тільки при малих товщинах шаруватих пластиків (часто не перевищують 2-3 мм).

Гетинакс, текстоліт і деревний шаруватий пластик товщиною від 3 до 25 мм розпилюють циркулярними пилками, вище за 25 мм - стрічковими пилками.

При цьому поверхня розділу тим чистіша, чим менше виступає диск пилки над поверхнею розпилюваного матеріалу. Водночас це призводить до швидшого затуплення зубів і зменшення продуктивності пилки внаслідок необхідності зменшення подачі, щоб уникнути підгоряння матеріалу. Тому висоту установки дискової пилки залежно від необхідної чистоти поверхні, що розрізається, підбирають практично.

Стрічкові пилки не дають достатньо чистої поверхні. Однак за їх допомогою можна розрізати гетинакс або текстоліт товщиною до 250 мм.

Полотна стрічкових пилок повинні мати розведення зубів у половину товщини стрічки пилки в кожну сторону.

Застосування вищезгаданого інструменту для розрізання гетинаксу внаслідок швидкого зносу ріжучого інструменту не виявляється ефективним. Для цього слід застосовувати абразивні або алмазні круги. Однак і при застосуванні абразивних кругів спостерігається їхнє велике зношування, що призводить до того, що їх доводиться міняти майже кожну зміну. У цьому відношенні алмазні круги (типу АСМ або АСБ) виявляються незрівнянно більш стійкими (у 25-30 разів).

Для свердління отворів з малим діаметром глибиною до 6 мм можна застосовувати перові свердла. Для свердління отворів діаметром 10 мм і глибиною до 10 мм застосовують спіральні свердла, для отворів діаметром від 10 до 24 мм можна рекомендувати свердла з ріжучими крайками з твердого сплаву. Перові та спіральні свердла мають бути виготовлені зі швидкорізальних сталей Р-

9 і P-18. Ріжучі кромки з твердого сплаву повинні виготовлятися з твердих сплавів ВК-6, ВК-8 або ВК-3М.

При свердлінні отворів свердлами з різальною частиною з твердих сплавів швидкість різання можна збільшувати в 2-2,5 рази.

Щоб уникнути розшарування шаруватих пластиків, необхідно дотримуватися таких умов: гарне кріплення оброблюваного матеріалу, щільне прилягання його до опорної поверхні, застосування підкладок, гарне відведення стружки.

У всіх випадках слід враховувати, що завдяки пружності матеріалу шаруватого пластику діаметр отвору виходить на 0,01-0,05 мм меншим, ніж діаметр свердла.

Для нарізування зовнішньої різьби застосовують різьбонарізні головки з круглими гребінками. Для отримання внутрішньої різьби користуються мітчиками.

Для токарної обробки текстоліту і гетинаксу застосовують різці зі швидкорізальної сталі P9 і P18 або з наконечниками з твердих сплавів ВК-3М.

Під час стругання застосовують різці зі швидкорізальної сталі або з наконечником із твердого сплаву тієї самої марки, що і для обточування.

Як ріжучий інструмент застосовують стандартні різці зі швидкорізальної сталі для гетинаксу і текстоліту і з твердих сплавів (ВК-3М) для склотекстоліту. При застосуванні твердих сплавів ці швидкості можуть бути підвищені в 1,5-2 рази.

Штапування, вирубка і пробивання. Для успішного здійснення цих операцій необхідне застосування штампів з щільним притиском листа і виробу в робочий момент. Ріжучі кромки пуансона і матриці мають бути гострими, а зазор між пуансоном і отвором матриці не перевищувати 10-15% товщини листа (найкращі результати виходять, коли цей зазор не перевищує 0,025-0,05 мм).

Під час вирубки прямокутних отворів необхідно закругляти гострі кути радіусом не менше 0,5 мм. Діаметр штапованого отвору, як правило, не повинен бути меншим за товщину матеріалу. Відстань вирубваного отвору від краю, а

також відстань між вирубуваними отворами має не менше ніж у 2-3 рази перевищувати товщину штампованого матеріалу.

Здатність до штампування шаруватих пластиків перебуває в прямій залежності від відносного подовження, до якого здатний матеріал при миттєвому його розриві.

2.4.2 Гіпсокартон

Популярний легкий будівельний матеріал, застосовуваний для облицювання стін і стель. Гіпсокартон складається з шару гіпсу і двох шарів спеціального картону. Поставляється у вигляді гіпсокартонних листів товщиною до 24 мм.

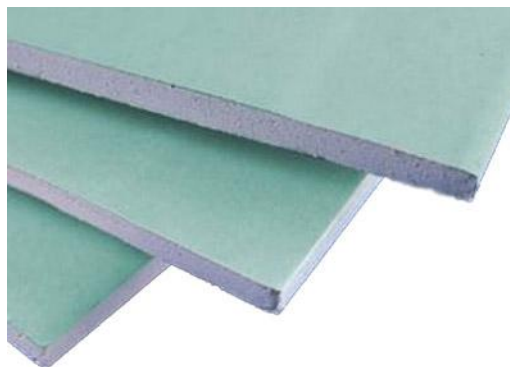


Рисунок 2.4 - Гіпсокартон

Механічна обробка гіпсокартона проводиться наступними інструментами:

- електролобзик;
- будівельний ніж;
- болгарка;
- різноманітні пили;
- для отримання отворів – дріль з насадкою-коронкою;

- в особливих випадках для створення об'ємних конструкцій використовуються ручні фрезери – з конічними пазовими фрезами для дерева;
- спеціальні різачки для гіпсокартону.

2.4.3 Декоративні паперово-шаруваті пластики (ДПШП)

ДПШП отримують гарячим пресуванням спеціальних паперів, просочених синтетичними термореактивними сполучними речовинами. Для просочення декоративних шарів і захисного шару (оверлею) застосовують аміноформальдегідні смоли, а для внутрішніх шарів - фенолоформальдегідні смоли. Матеріал характеризується різноманітними декоративними властивостями, має гарну твердість, стійкість до зношування, дряпання, ударів, кип'ятіння у воді, побутових забруднювачів, тепла. ДПШП використовують для облицювання меблевих деталей, стінових панелей, як підлогові покриття.

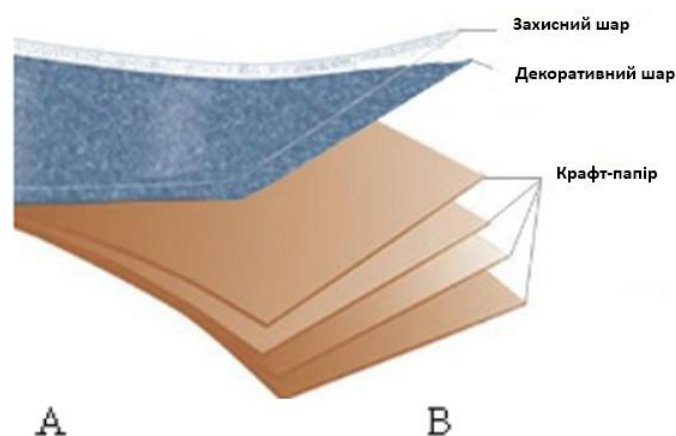


Рисунок 2.5 - Декоративні паперово-шаруваті пластики

Паперово-шаруваті пластики можна різати за розміром за допомогою стандартного деревообробного обладнання: стрічкової пилки, циркулярного верстата або ручних циркулярних пилок, а також фрезерних верстатів з ЧПУ.

Зазвичай для розрізання за розміром використовують стрічкові пилки або циркулярні верстати. Для якісного розрізання необхідно враховувати різні фактори, зокрема, правильний виступ пильного диска, швидкість подачі, форму зубців, їх крок, кількість обертів на хвилину та швидкість різання.

Крім того, важливо переконатися, що паперово-шаруватий пластик притиснутий до поверхні, оскільки «коливання» можуть спричинити дуже дрібні тріщини, що згодом приведуть до утворення виїмок або щілин внаслідок навантажень. Рекомендується використовувати твердосплавні пилки або фрези з металевими або алмазними напайками.

Для свердління паперово-шаруватих пластиків особливо підійдуть спеціальні свердла для пластику. Свердла HSS (швидкоріжуча сталь) підходять для ручних верстатів, а свердла НМ (твердосплавні) рекомендовані для верстатів з автоматичною подачею.

Однією з переваг і можливостей обробки паперово-шаруватих пластиків є виготовлення фігурних, тобто увігнутих або випуклих, елементів, облицьованих паперово-шаруватими пластиками. Зазвичай використовуються пластики з номінальною товщиною 0,80 мм; тонші паперово-шаруваті пластики, наприклад, товщиною 0,60 мм, можуть використовуватися для менших радіусів. Однак ці фігурні елементи потребують спеціальних матеріалів основи, які відповідають цим вимогам.

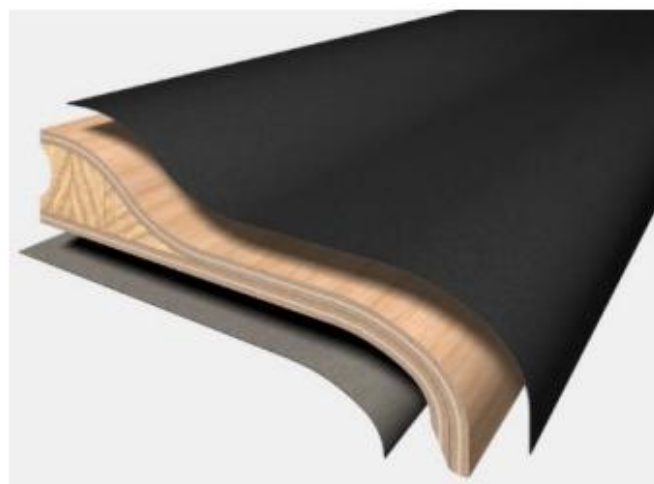


Рисунок 2.6 – Гнуття декоративного паперово-шаруватого пластику

2.4.4 Дерево-шаруватий пластик

Деревно-шаруватий пластик виробляється пресуванням пакета з листів натурального дерев'яного шпону, попередньо просоченого термореактивними синтетичними смолами. Воно здійснюється в гарячих плоских пресах під високим тиском. ДШП є високоміцним універсальним конструкційним матеріалом, який використовують у різних галузях техніки, включно з важким машинобудуванням.



Рисунок 2.7 - Дерево-шаруватий пластик

Дерево-шаруватий пластик оброблюється механічно тими самими способами як і ДПШП.

2.4.5 Деревостружкові плити з орієнтованої стружки (OSB)

OSB виготовляються методом плоского пресування зі спеціальної великорозмірної деревної стружки. Нині їх вважають основною альтернативою клеєній фанері, оскільки вони не потребують для виробництва дефіцитної фанерної сировини. З аналогічних стружок виготовляються високоміцні клеєні балки.



Рисунок 2.8 - Деревостружкові плити з орієнтованої стружки

Основна складність при розкрої OSB - наявність різноспрямованих шарів стружки досить великого розміру. Великі елементи матеріалу зберігають волокнисту структуру деревини. І в момент, коли зуб ріжучого інструменту потрапляє на тріску, волокна якої розташовані вздовж напрямку, створюються підвищені зусилля різання. Це може призвести до руйнування структури самої плити OSB, розшарування і пошкодження кромки. А оскільки значення зусилля різання постійно змінюються (зуб потрапляє то на перпендикулярно розташовані волокна, то вздовж них), виникають серйозні вібрації матеріалу.

Тому необхідно дотримуватися таких вимог під час розкрою OSB, для отримання високої якості різання:

- виконати надійне кріплення листа таким чином, щоб вільний край різання виступав за межі оснащення або якомога менше;
- частина, що відрізається, також повинна мати опору, щоб у міру просування різання вона не прогиналася і не створювала додаткове навантаження;
- лицьова сторона розташовується вниз, щодо інструменту - це мінімізує утворення на ній задирів;
- різання виконується за заздалегідь зробленою розміткою;
- для прямолінійних різків рекомендується виконувати роботи з використанням напрямних, в якості яких можна використовувати металевий профіль або правило. Професійний інструмент, як правило, укомплектований спеціальними напрямними підвищеної точності з кріпленням;

- інструмент вести плавно з помірною рівномірною швидкістю, уникати різких рухів.

Під час роботи з деревиною застосовують такий інструмент: ручна пила, електролобзик, дискова (циркулярна) пила, кожна з яких має свої особливості експлуатації під час роботи з OSB.

Для робіт великого обсягу ручний інструмент підходить погано. Це пов'язано з низькою швидкістю обробки. Оскільки стружка розташована в різноспрямованих шарах, створюються значні опори розпилу. Тому необхідно застосувати достатню фізичну силу для проведення розкрою. Для розкрою OSB рекомендується використання пилки з дрібним зубом.

Електричний лобзик один з найпоширеніших інструментів, що застосовуються при розкрої листових матеріалів. Різ здійснюється за допомогою зубчастого полотна, яке здійснює зворотно-поступальні рухи. На деяких пристроях є функція маятникового різку, коли лезо ходить не тільки вгору-вниз, а й у напрямку розпилу.

Дискова пила дозволяє виконувати довгі і прямолінійні відпили без задириць за мінімальний відрізок часу. За допомогою пили можна різати досить велику товщину, а при дотриманні жорсткого закріплення за раз можливо обробити і кілька скріплених між собою листів одночасно. Для роботи з OSB рекомендується застосовувати диски з великою кількістю зубів (не менше 48-ми), а також оснащені твердосплавними напайками.

2.4.6 Клеєна фанера

Фанера виробляється шляхом склеювання аркушів натурального дерев'яного шпону завтовшки 0,8 - 3, переважно луценого, у гарячих плоских пресах. Фанера є універсальним конструкційним матеріалом, який використовують у найрізноманітніших галузях. У меблевому виробництві мають

важливе значення плоскклеєні елементи, одержувані в плоских пресах, і гнутоклеєні - отримані у фасонних пресформах. Для будівельних цілей використовуються високоміцні фанерні балки.

Під час виготовлення декоративної фанери як зовнішні шари використовують високоякісний струганий шпон або декоративні синтетичні матеріали (плівки). Останні мають також відмінні захисні властивості. У бакелітовій фанері як полімерну матрицю використовують готові бакелітові плівки, одержувані на основі паперів, просочених бакелітовими (фенолоформальдегідними) смолами.

Ламінована фанера, облицьована паперовими плівками на основі термореактивних полімерів, має поліпшені фізико-хімічні властивості. Вона використовується, наприклад, як багаторазова опалубка у виробництві бетонних робіт, при виготовленні залізничних контейнерів тощо.



Рисунок 2.9 - Клеєна фанера

Механічна обробка фанери може відбуватися наступними методами та інструментами:

- ручні пили;
- електричний лобзик;

- дискова пила. Важливо відзначити, що чим більший діаметр диска, тим ширшим буде пропи́л. Дискова пила прекрасно підходить для розпи́лу товстих фанерних листів.

- лазерне різання. Спеціальне обладнання дає змогу досягти високої точності та виконати складні й витончені елементи з пиломатеріалу. Лазерне різання вирізняється високою точністю й оперативністю, прекрасно підходить для виготовлення предметів меблів, інтер'єру та декору. Якість різання в даному випадку буде залежати від того, з якої деревини виконана фанера. Найкраще ріжеться пиломатеріал із хвойних порід дерева, ніж із берези. Оптимальна товщина листів фанери для лазерної різки становить від 1 мм до 10 мм.

- фрезерування на ЧПУ верстатах. Фрезерування фанери, як правило, ведеться на високих обертах шпинделя (від 18 000 до 22 000 об\хв). Фанера добре оброблюється як контурною обробкою так і об'ємним фрезеруванням. Швидкість, точність та якість обробки залежить від складності робіт та обладнання. В якості ріжучого інструменту використовуються фрези різноманітної форми: циліндричні, кулькові, конічні гравери, фасоні фрези.

2.4.7 Металопласти

Металопласт - листовий конструкційний матеріал, що складається з листового металу і полімерної плівки. Товщина металу (сталь, алюміній і його сплави, титан тощо) зазвичай 0,3-1,2 мм, полімерної плівки 0,05-1 мм. Плівка може бути з фторопластів, пластифікованого та інших полімерів. Металопласт отримують шляхом нанесення на смугу заздалегідь виготовленої плівки, зануренням смуги в розплав полімеру, нанесенням полімерної пасти або напиленням полімеру в порошкоподібному стані. Покриття може бути одно- або багатобарвним, гладким або рельєфним, імітувати цінні породи дерева, мармур та ін. матеріали. Металопласт не розшаровується в процесі деформації металу під

час штампування або вирубки. Вироби не потребують антикорозійного захисту і декоративного оздоблення. Металопласти застосовують як покрівельні матеріали, для оздоблення будівель, поручнів балконів, внутрішню обшивку стін, для виготовлення дверних і віконних рам, корпусів автомобілів, холодильників, пральних машин, радіоприймачів, телевізорів, тари для зберігання агресивних матеріалів, для внутрішнього оздоблення салонів пасажирських літаків, вагонів, автофургонів.

Основні способи обробки металопластику:

- фрезерування ручним інструментом та на верстатах з ЧПУ;
- обробка гнуттям;
- зварювання;
- нарізання ножицями для металу;
- гнуття;
- штампування.



Рисунок 2.10 - Металопласт

2.4.8 Текстоліти

Текстоліт виготовляють гарячим пресуванням кількох шарів тканини, просоченої термореактивними смолами. Текстоліт - хороший діелектрик, стійкий до дії слабких кислот і лугів, має низький коефіцієнт тертя (0,02 з мастилом і 0,32

без мастила), невелику щільність (1,3-1,4 г/см), легко піддається механічній обробці (фрезерування, розпилювання, свердління, штампування, шліфування, стругання). Текстоліт використовується як конструкційний матеріал у приладо- та станкобудуванні, машинобудуванні, у тому числі хімічному та нафтохімічному, в автоматичних системах управління, судно- та тракторобудуванні та інших галузях. З текстолітів виготовляють: шестірні; сепаратори для підшипників, що забезпечують високу швидкість; кулачки, що володіють малою інерцією для різних верстатів, вінці черв'ячних коліс, втулки, прокладки, що амортизують, кільця ущільнювачів.



Рисунок 2.11 - Текстоліт

Рекомендації щодо механічної обробки текстоліту та склотекстоліту наведені нижче.

Текстоліт, склотекстоліт піддається будь-яким видам механічного оброблення, однак при цьому часто виникають певні складності, такі як:

- висока абразивна дія склотканини, на основі якої виготовляють склотекстоліт, що призводить до швидкого зносу інструменту; неправильно вибрані методи різання, які призводять до розшаровування аркуша склотекстоліту;

- пил, який утворюється під час механічного оброблення, що чинить шкідливий вплив на шкіру та дихальну систему.

Тонкі листи (до 2 мм) можна різати гільйотинними, вібраційними ножицями або стрічковими пилами. Різання також можна здійснювати дисковими пилами: мідними кругами з алмазними вставками, абразивними кругами.

У процесі різання необхідно проводити ретельне охолодження інструментів і оброблюваного матеріалу за допомогою повітря, або водою чи емульсіями.

Склотекстоліт товщиною до 2 мм можна штампувати за допомогою штампів, виготовлених з високоміцних марок сталей.

Під час свердління склотекстоліту товщиною до 5 мм використовують свердла зі швидкорізальної сталі. Більш зносостійкими є карбідні та азотовані свердла. Щоб уникнути перегріву, необхідно проводити більш часте виведення їх з отвору. Особливої уваги слід дотримуватися під час свердління склотекстоліту вздовж шарів склотканини, щоб уникнути розшарування матеріалу.

Фрезерування, точіння та інші види механічного оброблення потрібно проводити на верстатах різцями і фрезами зі швидкорізальної сталі та інструментами з карбідними вставками.

Обрізку припуском по крайках можна проводити електролобзиком. Зачистку поверхні матеріалу можна проводити абразивними, фібровими або повстяними кругами з наждачним шаром.

Текстоліт і гетинакс набагато легше піддаються механічній обробці, гнуттю, витягуванню і штампуванню, ніж склотекстоліт, оскільки замість склотканини містять у складі бавовняну тканину або папір відповідно. Під час обробки цих матеріалів до інструментів висуваються ті самі вимоги, що й під час обробки звичайної деревини. При цьому слід враховувати низьку теплопровідність матеріалів і вживати заходів щодо недопущення перегріву обробного інструменту (наприклад, проводити часте виведення свердла з отвору).

Для поліпшення якості виробу листи текстоліту необхідно попередньо прогріти. Рекомендована температура: 120-130°C, час підігріву 5-30 хвилин за товщини листів 1,5-6,5 мм відповідно. Під час штампування слід враховувати неминуче ущільнення і усадку матеріалу з подальшим розширенням. Максимально допустима товщина текстоліту для холодного штампування 3 мм, для гарячого - 6,5 мм, азботекстоліту 2,5 мм для холодного та 5 мм для гарячого

штампування, гетинаксу 1,5 мм і 3 мм для холодного і гарячого штампування відповідно.

Під час гнуття і витяжки матеріал має бути прогрітий до 150-180°C. Прогрів можна проводити в масляній бані, між гарячими плитами, струмами високої частоти або в термостаті. Кривизна і кут вигину у формі мають бути дещо крутішими (приблизно на 2%), ніж потрібно у виробі, оскільки після завершення процесу обробки відбувається часткове випрямлення матеріалу. Тиск під час гнуття за товщини листів 1-3 мм має бути 0,4-3,3 кг/см². Під час витяжки тиск підтримують на рівні 3,5-5 кг/см².

2.4.8 Склотекстоліти

Склотекстоліти являють собою пресовані шаруваті матеріали, що складаються з декількох шарів склотканини, просоченої сполучною на основі епоксидних або епоксидно-фенольних смол. Вони використовуються як електроізоляційний і теплоізолюючий матеріал у радіотехніці, приладобудуванні, застосовується в електричних високовольтних машинах та апаратах.

Рекомендації щодо склотекстоліту такі самі як і для звичайного текстоліту.

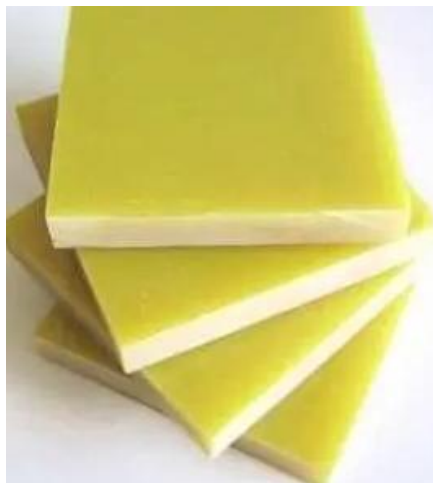


Рисунок 2.12 - Склотекстоліт

Для виготовлення макетів і муляжів техніки використовуються різноманітні конструкційні матеріали залежно від цілі проекту, рівня деталізації та масштабу. Основні матеріали, які застосовуються в цій області, їх переваги та недоліки наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні матеріали для макетування

Матеріал	Переваги	Недоліки
Пенопласт та пенополіуретан	Легкі, легко оброблюються різанням та склеюються, економічні	Низька міцність, потребує фінішної обробки, важко фарбуються, плавлення при нагріванні
Полістирол, акрил, ПВХ, ABS-пластик	Легко формується нагріванням, доступний у листах або заготовках. Міцність, можливість точної деталізації	Може вимагати спеціального обладнання для різання та формування, не термостійкі, плавлення при нагріванні
Дерево та фанера	Міцність, екологічність, можливість ручної обробки	Потребує досвіду в роботі з деревиною, схильне до деформації, не термостійкі, горючі, для стійкості до вологи потребують додаткової обробки
Склотекстоліт, текстоліт	Висока міцність і стійкість до деформацій. Легкість у обробці (різання, свердління) Довговічність та стійкість до впливу хімічних речовин.	Виділення токсичних парів під час обробки. Може бути важчим за інші композити, дорогі
Металопластик, композитні панелі	Широкий вибір текстур і кольорів, оброблюються гнуттям, різанням, зварюванням. В залежності від складу вогнетривкі, вологостійкі. Мають конструктивну жорсткість	Відносно важкі, потребують навичок роботи з листовим матеріалом

Виходячи з порівняльної таблиці, найбільш раціональним матеріалом для виготовлення макетів спеціального обладнання є композитні панелі.

Їх структура забезпечує найголовніші характеристики які висуваються до даних макетів, а саме: вогнетривкість, вологостійкість, жорсткість та можливість оброблюватись великою кількістю різних способів, від різання до зварювання.

Далі розглянемо особливості алюмінієвих композитних панелей які забезпечують їх перелічені характеристики, та способи їх обробки.

3 АЛЮМІНІЄВІ КОМПОЗИТНІ ПАНЕЛІ ДЛЯ МАКЕТУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Алюмінієві композитні панелі (АКП) являють собою складний багатошаровий матеріал, що складається з листів алюмінію, між якими знаходиться компаунд. Зверху панелі покриваються захисними фарбами, які збільшують їх зносостійкість.

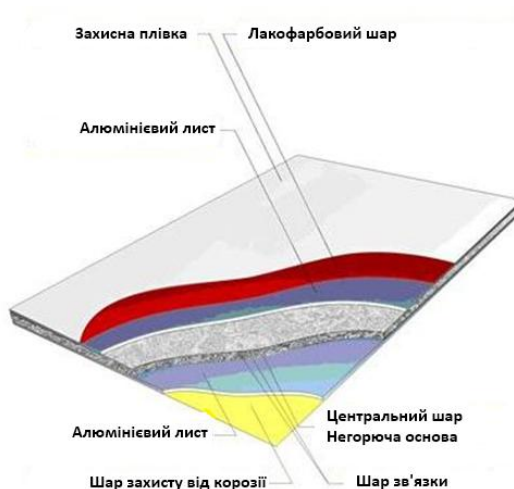


Рисунок 3.1 – Склад алюмінієвих панелей

Компаунд - це щільний, легкий прошарок, який виготовляють із полімерів із різними добавками. Найпоширеніший компаунд у таких панелях створюють із:

- поліефіру (PE) - він легкий, добре ізолює шум/вібрацію і гідно проводить тепло. Матеріал групи горючості Г4 (сильногорючий).
- пластика з антипіреновими добавками (FR) - також має низьку вагу, помірну теплопровідність, але не підтримує горіння і дозволений до використання практично скрізь. Матеріал групи горючості Г1 (слабогорючий).

Крім компаунда, важливу роль під час вибору композиту відіграє і його покриття: крім основних антикорозійних добавок, металеві листи також покривають захисним лакофарбовим покриттям із різних полімерів. На сьогодні більшу частину композитних панелей покривають:

- полієфіром (PE);
- ПВДФ (PVDF або полівінілденфторид);
- Люміфлоном (FEVE або фторетиленвінілефір).

Завдяки такій структурі вони мають наступні перевагами:

- міцність, жорсткість, але легкість матеріалу, що дозволяє забезпечувати швидкий монтаж;
- гнучкість і здатність трансформуватися;
- стійкість до корозії, термостійкість;
- звуко-, віброізоляційні якості;
- тривалий термін експлуатації - до 50 років;
- стійкість до низьких (від -50°C) і високих температур (до $+80^{\circ}\text{C}$);
- великий вибір кольорів, можливість імітувати поверхню каменю.

3.1 Технологія виробництва панелей із композиту

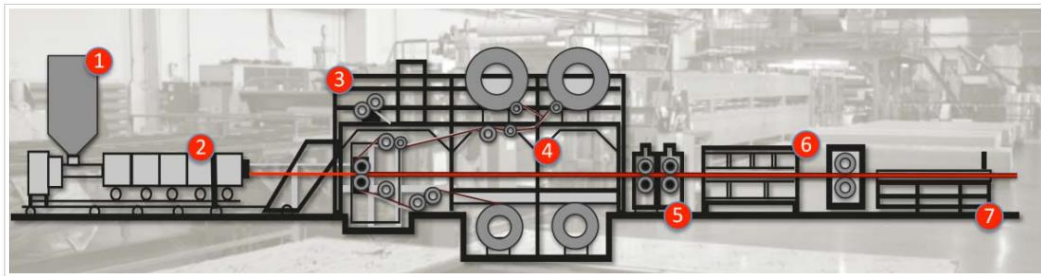
Процес створення панелей ділиться на кілька стадій:

- хіміосинтез, який полягає в подачі рулону на лінію, де знаходяться системи хімічної обробки. Далі відбувається очищення алюмінію та нанесення оксидованого покриття з клейкими властивостями;
- фарбування та лакування відбувається в ізоляції від зовнішніх забруднювачів, таких як пил та інші фактори. Висихання проводиться у високотемпературній печі. Далі лист знову згортають у рулон;
- термосклеювання є ключовим моментом. Алюмінієвий матеріал, високомолекулярна плівка і серцевина надходять до гарячих валів. Там плівка і поверхня поліетилену розплавляються, а гарячий алюміній прикочується до розплавленої поверхні поліетилену;
- охолодження матеріалу, нанесення транспортувальної захисної плівки та різання за певними розмірами.

Розглянемо більш докладно процес виробництва АКП:

- полімерний матеріал через вакуумний завантажувач надходить у бункер-сушарку. Після попереднього просушування матеріал надходить у циліндр екструдера;
- на ділянці екструзії відбувається плавлення і гомогенізація полімерного матеріалу. Отримана однорідна полімерна маса подається поміж двох каландрів, якими проходить алюмінієва стрічка, де власне і формується композитна панель;
- на каландрах відбувається з'єднання внутрішнього полімерного шару та алюмінієвої стрічки, на яку нанесена високомолекулярна адгезивна плівка.
- алюмінієво-композитна стрічка проходить через прокатні вали. Після прокатки алюмінієво-композитна стрічка точно відповідає заданій товщині, не має вигинів і нерівностей;
- по ходу руху алюмінієво-композитної стрічки відбувається точна обрізка торцевих надлишків полімерного матеріалу по ширині алюмінієвої смуги;
- ділянка термічного склеювання складається з чотирьох груп циліндрів, що обігріваються, де під впливом температури і тиску досягається необхідний ступінь склеювання алюмінієвої смуги і полімерного матеріалу. На цьому ж етапі остаточно формується товщина алюмінієво-композитної стрічки і відбувається її фінальне вирівнювання. Формована алюмінієво-композитна стрічка надходить в установку охолодження;
- охолодження алюмінієво-композитної стрічки до потрібної температури здійснюється системою вентиляторів;
- охолоджена алюмінієво-композитна стрічка проходить через ділянку вирівнювання, де прибираються залишкові деформації.
- після завершення процесу вирівнювання на зовнішній бік продукту наноситься захисна плівка, що оберігає матеріал від механічних пошкоджень;
- на внутрішній бік алюмінієво-композитної стрічки наноситься маркування;

- на останній стадії смугу композиту нарізають на панелі в необхідний за довжиною розмір.



1 - Екструзія; 2 - Нагрівання і розплавлення; 3 - Комплекс валів високотемпературного вирівнювання і термостабілізації; 4 - Установа охолодження; 5 - Установа вирівнювання; 6 - Нанесення захисної плівки; 7 - Нарізування панелей

Рисунок 3.2 – Етапи виробництва АКП

3.2 Технології обробки АКП

Алюмінієвий композит добре піддається фрезеруванню, різанні, клепанню і зварюванні, та іншим операціям. Алюмінієві композитні листи легко обробляються звичайними інструментами, призначеними для обробки дерева і металу. Основною особливістю композитних листів є можливість створення об'ємних форм за простою методикою холодного фрезерування і згинання.

3.2.1 Фрезерування АКП

Фрезерування проводиться на звичайних фрезерних верстатах або верстатах з ЧПУ, а також фрезерування ручними фрезерами (дисковими або вертикальними).

Для фрезерування композитних матеріалів ріжучий інструмент (фрези) повинен виготовлятися з швидкорізальної сталі або твердих сплавів.

Глибина різання визначається товщиною покривних алюмінієвих листів. При виготовленні кутових канавок товщина залишкового шару матеріалу становить 0,5 мм, при товщині алюмінію 0,4 мм і 0,3 мм при товщині алюмінію 0,28 мм.

Фрези мають три варіанти ріжучої кромки в залежності від канавки, що фрезерується: для фрезерування кутових канавок з кутами 90° і 135° і прямокутних канавок. Основні геометричні елементи ріжучої частини фрез для кутових канавок показані на рисунку 3.4.



NL - Висота ріжучої частини, F - Величина площадки, D- Діаметр ріжучої частини, α - Кут заточування

Рисунок 3.4 - Елементи ріжучої частини фрез

Фрезерування композитних панелей проводиться з внутрішньої сторони листа до глибини, яка встановлюється на фрезері. Під час вибору глибини

фрезерування необхідно враховувати, щоб залишався шар матеріалу близько 0,6 мм (для панелей товщиною 4 мм).

Істотне відхилення в товщині шару, що залишається, призведе до небажаних наслідків: «перезфрезерована» панель під час вигину може дати тріщину в місці вигину, «недофрезерована» панель погано піддаватиметься вигину, що призведе до втрати лінійних форм деталі, що виготовляється. Варто зазначити, що налаштування фрезерного обладнання - доволі складна робота, яка потребує підвищеної точності.

Різні форми фрези дають змогу зробити різний радіус паза канавки, що дає змогу згинати алюмінієві композитні панелі під різноманітними кутами. Водночас можливі й різні форми самих канавок, що дає змогу робити різні варіанти радіусів заокруглення в місці вигину композитних панелей.

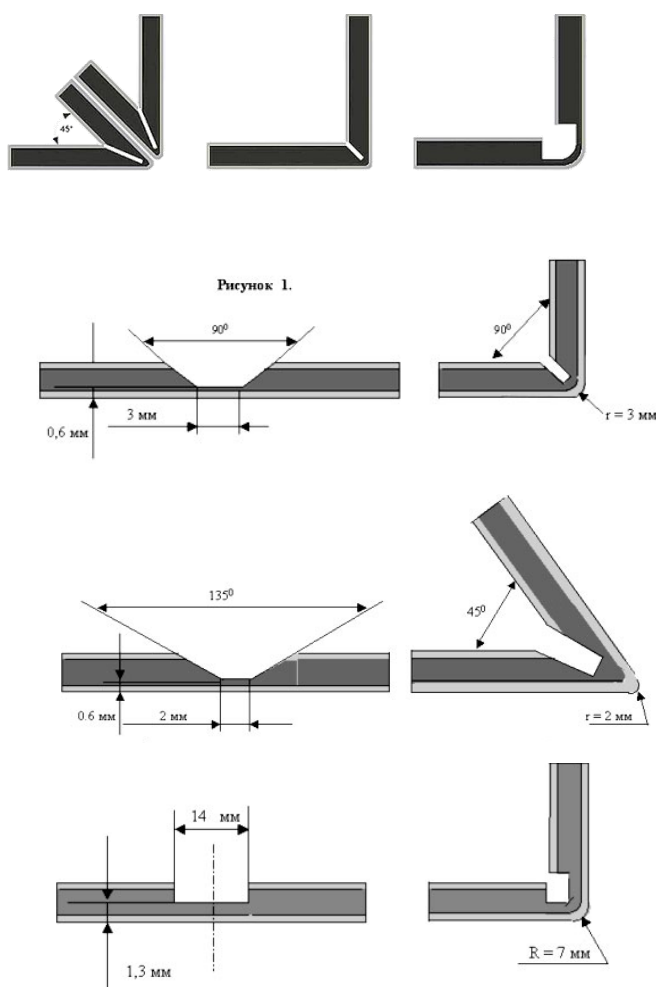


Рисунок 3.4 – Види пазів при обробці АКП

Для невеликих робіт можуть використовуватися ручні інструменти: дисковий фрезер з V-образною фрезою. Щоб досягти найкращих результатів при фрезеруванні на попередньо розміченій деталі розміщується шина-напрямна, що фіксується за допомогою струбцин, на яку встановлюється дисковий фрезер. Важливо, щоб шина-напрямна була довшою за заготовку на 150 мм з кожної сторони. Після включення фрезера і зняття блокування інструмент занурюється до упору обмежувача в револьверному механізмі.

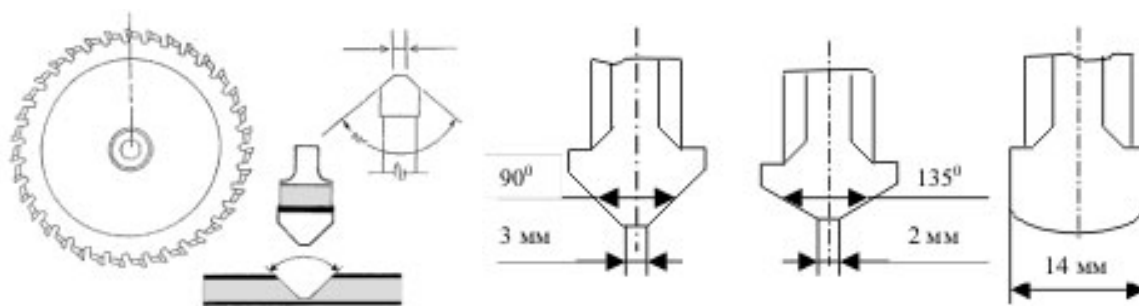


Рисунок 3.5 – Типи дискових фрез для обробки АКП



Рисунок 3.6 – Дисковий фрезер

Револьверний обмежувальний механізм має три регульовальних штифта (встановлених в заводських умовах) на товщини фрезерованих матеріалів 3, 4 і 6 мм, але може бути переналаштований на іншу товщину, наприклад 2 мм. Револьверний обмежувач захищає оброблювану деталь від ушкодження при заході та виході фрезера до моменту накочування на неї копіювального ролика.

Обмежувач не допускає пошкодження поверхні робочого столу при заході фрезера на оброблюваний матеріал і сходження з нього. Копіювальне кільце контролює глибину фрезерування (товщина залишкового шару поліетилену повинна бути дорівнює товщині алюмінію).



Рисунок 3.7 –Вертикальний фрезер

Також використовується вертикальний фрезер із пальчиковою фрезою, який у деяких випадках є альтернативою дисковому фрезеру в разі необхідності виконувати невеликі разові обсяги робіт. Слід зазначити, що цей інструмент має меншу продуктивність, зносостійкість пальчикових фрез істотно нижча від дискових, а налаштування фрезера на потрібну глибину V-подібного паза трудомістке, а його точність багато в чому залежить від професійних навичок працівника. Однак у роботі з композитними матеріалами існують ситуації, в яких не можна обійтися без пальчикового фрезера. Наприклад:

- фрезерування від «точки»;
- фрезерування криволінійних ділянок;
- фрезерування без «зарубок»;
- фрезерування дрібних деталей.

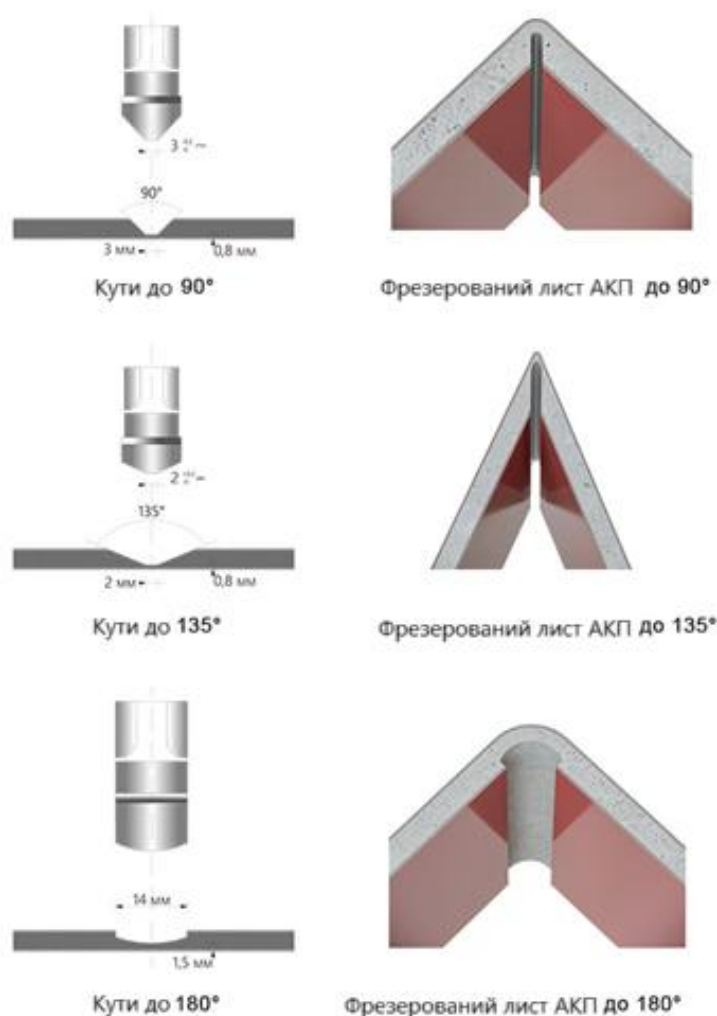


Рисунок 3.8 – Типи пальцевих фрез для обробки АКП

Також окрім ручного інструменту використовуються верстати з ЧПУ. Сучасні фрезерні верстати дозволяють виконувати не лише операції з фрезерування та свердління, а й забезпечують можливість багатокординатної обробки завдяки встановленню додаткових осей. Головна перевага такого обладнання — його здатність працювати з різними заготовками, зокрема листовими. Таке обладнання дозволяє виконувати одразу кілька операцій у межах одного проекту та працювати з великими заготовками — завдовжки до двох метрів і завширшки до чотирьох метрів.

Переваги фрезерування на ЧПУ верстаті:

- точність різку;
- швидкість розкрою;

- можливість різати матеріали, які не можна оброблювати високими температурами;
- відсутність на матеріалі наплавлень та інших дефектів термічного впливу.

Фреза пазова (згинальна) трапецієподібної форми V-подібна з площадкою (полицею) здебільшого застосовується для фрезерування паза під згинання алюмінієвих композитних панелей (АКП), а також для виконання V-подібного гравіювання і зняття фаски з гострих країв матеріалу. До тіла фрези за допомогою латунного припою кріпляться два ножі (твердосплавні пластини). Завдяки спеціальному заточенню ножів на торцевій частині фрези не утворюється наклеп, що запобігає деформуванню нижнього шару алюмінію.

Виробники композитів для отримання якісного рівного згину, щоб уникнути виникнення тріщини у місці згину алюмінієвого шару, рекомендують використовувати фрези з полицею 2-3 мм. Це оптимальний розмір майданчика, завдяки якому після згинання елементів заготовки формується достатній проміжок між зігнутими частинами, завдяки чому можливо трохи перегнути лист, щоб подолати деяку пружність АКП і отримати в результаті бажаний кут.

Фрези з кутом $90-100^\circ$ дають змогу виконати вигин листа на 90° . При цьому необхідно враховувати, що між площинами, що згинаються, виникає зазор близько 1 мм. Тому основа фрези повинна мати діаметр не менше 2 мм. Цей розмір дає змогу виконати необхідний радіус згину заготовки й отримати прямий кут. Якщо профрезерована панель з кутом 135° , то згинання можна зробити і до кута 45° . Прямокутний профіль застосовується для виготовлення плавного заокруглення.

Обробку АКП виконують в наступній послідовності:

1. Фрезерування пазу для гнуття;
2. Свердління отворів для кріплення;
3. Контурне фрезерування для відрізання деталі.

Рекомендовані режими різання для обробки алюмінієвого композиту наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані режими різання для обробки АКП

Тип фрези	Частота, об/хв	Подача, мм/сек	Подача врізання, мм/сек	Примітка
Фреза спіральна 1-західна d=3.175мм або 6 мм	15000-18000	10-12	1-2	Зустрічне фрезерування
Фреза пазова конічна	12000-15000	12-15	2-3	Глибина залежить від товщина листа композиту

3.2.2 Залишковий шар полімеру

Існує формула визначення мінімального радіуса загину алюмінієвої обшивки композитної панелі: мінімальний радіус загину дорівнює товщині алюмінієвого листа, збільшеної в 1,5 раза в разі згину впоперек напрямку прокатки та в 2 рази - в разі згину вздовж прокатки.

Під час вибору радіуса згинання необхідно робити поправку на жорсткість алюмінієвого листа: що вища жорсткість, то більший радіус згинання. Якщо залишковий шар полімеру становить понад 0,3 мм, то радіус згину композитної панелі стане визначатися вже не алюмінієм, а полімером. Це пояснюється тим, що опірність поліетилену стисненню вища, ніж опір розтягуванню листа алюмінію. Якщо зусилля розтягування при згині композитної панелі перевищить допустиму розривну міцність алюмінію, то виникає тріщина. Такий самий буде результат у разі, якщо використовується фреза без п'яти.

При п'яті фрези менше 3 мм лінія згину стане проходити з відхиленням від центру паза, але обшивка панелі залишиться цілою. При правильному підборі

залишкової товщини полімеру і фрези, радіус заокруглення листа обшивки композитної панелі складе 1,6-2 мм (для товщини алюмінієвого листа 0,21-0,3 мм). Така різниця викликана різними фізико-механічними показниками поліетилену та алюмінієвого листа. Коли необхідно зробити в композитній панелі округлий загин, то радіус визначається за товщиною полімеру. При цьому виконується паз - U-подібної форми, шириною 14 мм з урахуванням залишкового шару полімеру в 1 мм. У цьому випадку радіус заокруглення панелі складе близько 7 мм.

Під час виготовлення кутових канавок товщина шару матеріалу, що залишається, має становити 0,6 мм за товщини алюмінію 0,5 мм і 0,4 мм за товщини алюмінію 0,3 мм. Під час виготовлення прямокутних канавок товщина шару матеріалу, що залишається, має становити 1-1,2 мм у разі товщини алюмінію 0,3 мм і 1,3-1,6 мм - у разі товщини алюмінію 0,5 мм.

3.2.3 Гнуття листів по лінії обробки

При процесі згинання проектувальники повинні враховувати безліч параметрів. Ці вимоги до проектування є фундаментальною характеристикою будь-якого вигину листового металу, і бажано дотримуватися їхніх стандартів, щоб забезпечити точність і якість збірки.

Найважливіші параметри для операції згинання листового металу:

Лінія згину - це пряма лінія на поверхні листа, що позначає початок і кінець по обидва боки згину. Галузевий стандарт для ліній згину передбачає збереження відстані в 5 разів більшої за товщину листа між внутрішнім краєм і зовнішньою стороною згину.

Радіус вигину - це відстань від осі вигину до внутрішньої поверхні матеріалу між двома лініями вигину. Зазвичай рекомендується використовувати радіус вигину, який принаймні дорівнює товщині матеріалу. Ще краще

використовувати більший радіус вигину, але використання радіуса меншого, ніж товщина матеріалу, може знизити несучу здатність деталі.

Кут вигину - утворений вигином з уявною перпендикулярною лінією, що виходить від осі. Промислова практика щодо кутів вигину полягає не в конкретному числі, а в тому, що довжина фланця має бути в 4 рази більшою за товщину. Також рекомендується зберігати всі кути вигину однаковими.

Нейтральна вісь - це частина листа, яка зберігає свою первісну довжину, оскільки не розтягується і не стискається.

K-фактор матеріалу є мірою його розташування, яка визначається шляхом ділення відстані між матеріалом і його товщиною. K-фактор залежить від низки чинників, включно з типом матеріалу, кутом вигину та іншими. Для забезпечення оптимальних результатів K-фактор має перебувати в діапазоні від 0.25 до 0.50.

Допуск на вигин: щоб зробити точні і послідовні вигнуті деталі, важливо ретельно виміряти і врахувати довжину дуги і відстань між нейтральною віссю і лініями згину.

Врахування вказаних параметрів при згинанні дає змогу якісно виконати розгортку листового композиту для подальшого формування з неї жорсткої та точної конструкції.

Розгорткою поверхні геометричного тіла називають плоску фігуру, яка утворюється шляхом перенесення всіх граней або поверхонь, що обмежують тіло, на одну площину.

Розгортка листового металу — це процес переведення тривимірної форми деталі з листового матеріалу в плоске представлення, яке використовують для подальшого розкрою. Ця технологія є основою виробництва багатьох виробів — від простих коробок до складних елементів, таких як автомобільні кузови чи корпуси літаків. Точність виконання розгортки має вирішальне значення для якості кінцевого продукту, адже помилки на цьому етапі можуть призвести до браку, нераціональної витрати матеріалів і як наслідок до додаткових витрат.

Процес розгортки базується на геометричних і тригонометричних розрахунках. Його суть полягає у розкладанні поверхні тривимірної деталі на

набір плоских елементів, які з'єднуються між собою по лініях згину. Складність процесу залежить від форми деталі: чим складніша геометрія, тим важче створити її розгортку. Для простих форм, таких як призми, піраміди або циліндри, розгортки виконуються за допомогою стандартних геометричних формул. Для криволінійних чи конічних поверхонь потрібні спеціальні методики й програмне забезпечення.

Розгортки геометричних тіл можуть бути точними або наближеними. Точні розгортки характерні для багатогранників (призми, піраміди), а також циліндричних і конічних поверхонь, які відносяться до категорії розгортальних поверхонь. Натомість куля, тор і інші поверхні обертання з криволінійною твірною мають наближені розгортки, оскільки їх називають нерозгортальними.

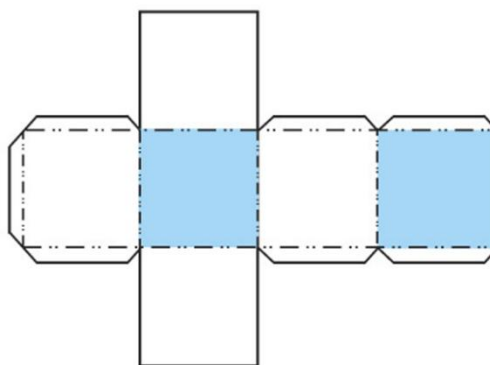


Рисунок 3.9 – Приклад креслення розгортки

На зображенні розгортки наносять тільки ті розміри, які неможливо вказати на зображенні готової деталі. За необхідності, на зображенні розгортки наносять лінії згинів, що виконуються штрихпунктирною тонкою лінією з двома крапками.

Довжина розгортки деталі з листового металу L дорівнюватиме довжині нейтральної лінії в ній:

$$L = A+B+C \quad (3.1)$$

$$C = \pi \cdot (R + K \cdot S) \cdot (\alpha/180) \quad (3.2)$$

де K - коефіцієнт положення нейтрального шару:

$$K = t/S \quad (3.3)$$

де C - довжина нейтральної лінії;

R - внутрішній радіус згину;

S - товщина листового матеріалу;

α - кут згину;

t - відстань від внутрішньої поверхні згину до нейтрального шару.

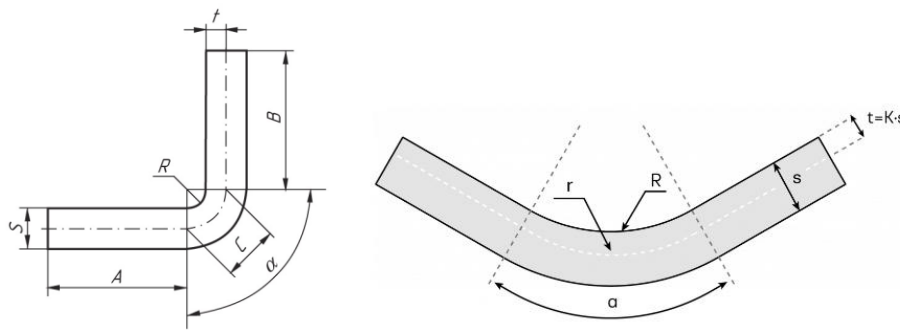


Рисунок 3.3 – Елементи згину матеріалу

3.3 Вальцювання АКП

Для згинання алюмінієвих композитних панелей за радіусом застосовують ті самі методи, якими виробляють згинання металів, пластмас. Основні методи: згинання на згинальному верстаті, за допомогою згинального або окантовочного преса і згинання на вальцях.

За будь-якого способу згинання панелей необхідно дотримуватися двох умов, щоб не пошкодити поверхні панелей: чистоти інструменту (відсутність стружки) і використання захисних прокладок з гуми або поліуретану завтовшки 1-2 мм по обидва боки листа.

Фізико-механічні властивості панелей визначають мінімальний радіус вигину (r) залежно від товщини панелі (d) як:

$$r = 15 \cdot d \quad (3.4)$$

Так для панелі 3 мм мінімальний радіус дорівнює 45 мм. Також при згинанні необхідно враховувати амортизаційний ефект панелей і контролювати налаштування згинального обладнання при масовому виробництві.

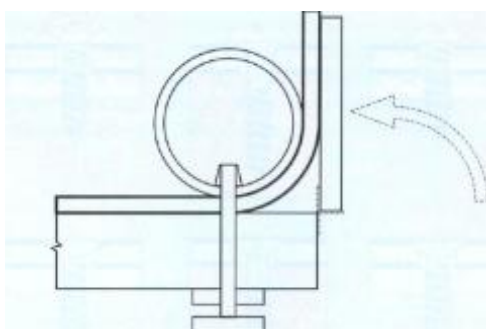


Рисунок 3.10 – Гнуття на універсальному згинальному верстаті

Алюмінієві композитні панелі добре піддаються вигинанню окантовочним пресом за принципом вільного згинання. Панель розташовується на матриці штампа (рейках або u-подібних профілях) і прогинається пуансоном (трубою або валиком). Кут вигину визначається розмірами штампа і ходом пуансона. Кути рейок або профілів, що виконують роль матриці для згинання, повинні бути округлими, гладкими і мати захисне покриття з гуми, фетру або повсті (близько 3 мм). Розмір штампа визначається діаметром пуансона і товщиною матеріалу:

$$P = 2 \cdot (d + f) + 2 \cdot r + 15 \text{ мм} \quad (3.5)$$

де, P – розмір штампа;

d – товщина матеріалу;

f – товщина захисної фольги;

r – радіус пуансона.

Мінімальна довжина вільного краю листа становить п'ятикратну товщину панелі.



Рисунок 3.11 - Гнуття на оконтвочному пресі

У разі необхідності отримання з алюмінієвих композитних панелей циліндричних і напівциліндричних поверхонь з великими діаметрами рекомендується застосовувати трьох- або чотирьохвалкові круглозгинальні машини (вальці). Під час налаштування вальців не рекомендується сильно притискати подавальні валки. Під час роботи на вальцях з алюмінієвими композитними панелями необхідно стежити, щоб вали були чистими і не мали засмічень на поверхні.

3.4 Кріплення композитних алюмінієвих панелей

Панелі АКП можуть кріпитися за допомогою заклепок, гвинтів, болтів, склеювання і зварювання. У будь-якому разі, під час закріплення панелей необхідно забезпечити умови відсутності електролітичної корозії між з'єднаними поверхнями. Ґрунтуючись на вищевказаному обмеженні, використовувані матеріали можна розділити на два типи.

Свердління здійснюється свердлами для алюмінію та пластмасових плит. Заклепування здійснюється стандартними приладами і заклепками.

Гвинтове з'єднання здійснюється стандартними нержавіючими шурупами для дерева і металу. Зварювання проводять зварювальним апаратом на гарячому повітрі і поліетиленовим шнуром.

Для клейового з'єднання використовується клей для алюмінію.

При виборі кріплення виключаються елементи, при стикуванні яких з панелями можуть виникнути гальванічні пари. Для кріплення панелей до різних матеріалів використовуються заклепки, гвинти.

Якщо поверхня панелі прямо контактує з іншими матеріалами, враховуються наступні рекомендації:

- допустимі матеріали для контакту: алюміній, пластик, нержавіюча сталь, покрита або оброблена кадмієм або алюмінієм.
- неприпустимі матеріали для контакту: мідь, латунь, бронза, сталь без захисного покриття.

Використання перерахованих nereкомендованих матеріалів може спричинити проблеми, пов'язані з електролізом, який відбуватиметься на з'єднаних поверхнях.

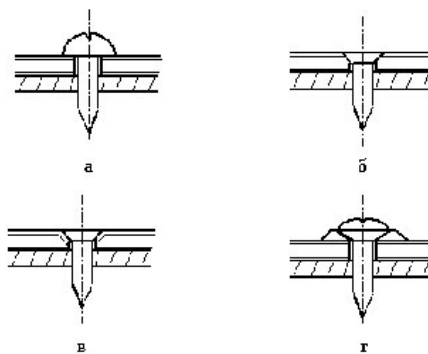


Рисунок 3.12 – Склепування АКП

При з'єднанні композитних алюмінієвих композитів за допомогою заклепок можна встановлювати звичайні типи заклепок, які використовуються при з'єднанні алюмінію. При з'єднанні панелей АКП болтами і гвинтами, техніка кріплення різниться залежно від того, де буде використовуватися матеріал. При виконанні робіт усередині приміщення немає необхідності враховувати лінійне

термічне розширення матеріалу і можна використовувати різні гвинти для кріплення металу і дерева. За технікою кріплення можна виділити такі види:

- кріплення гвинтами з хрестоподібним шліцом і сферичною головкою;
- кріплення гвинтами з потайною головкою в роззенкований отвір;
- кріплення гвинтами з потайною головкою спільно з накладкою;
- кріплення сфероциліндричними гвинтами з форменою прокладкою.

При кріпленні гвинтами з потайною голівкою спільно з накладкою необхідно, щоб отвір у плиті був співрозмірно більшим за діаметр гвинта.

3.4.1 Зварювання композитних алюмінієвих панелей

З'єднання елементів конструкцій з алюмінієвих сендвіч-панелей можна здійснювати методом зварювання гарячим повітрям, коли як з'єднувальний матеріал використовується електродний дріт. У процесі зварювання дріт і полімерна серцевина розігріваються до температури плавлення й утворюють міцне з'єднання. Підготовка матеріалу для зварювання полягає в такому: по краю матеріалу знімається фаска під кутом 45° . Перед зварюванням панелі щільно стикуються краями зі знятими фасками один до одного.

Зварювання необхідно провести не пізніше 24 годин після підготовки листів до зварювання, зважаючи на швидке окиснення полімерної основи.

Для зварювання необхідно використовувати електроди на основі м'якого поліетилену (тип 1800-h, чорного кольору). Безпосередньо перед зварюванням видалити зовнішній шар електрода наждачним папером і зробити скіс під кутом 45° . Температура плити під час зварювання підтримується рівною 260-270 °С. Після проведення зварювання та охолодження матеріалу зварювальний наплив знімається за допомогою ножа.

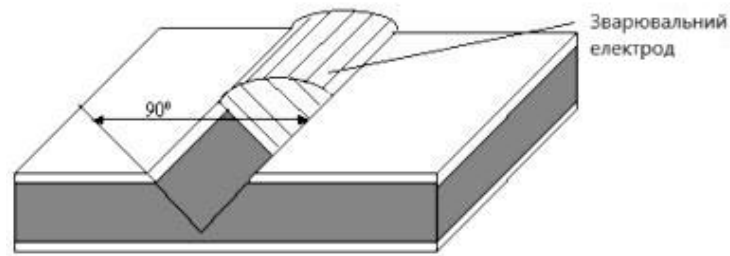


Рисунок 3.13 – Зварювання АКП

3.5 Рекомендації щодо проектування деталей які виготовляються методом гнуття

Деякі рекомендації щодо проектування деталей які виготовляються методом гнуття з листового металу розглянуто в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендації щодо проектування деталей з листового матеріалу

Елемент деталі	Рекомендації
Отвори	Діаметр отвору має бути більшим або дорівнювати товщині листа
	відстань між отворами має щонайменше вдвічі перевищувати товщину листа
	отвір слід розташовувати на відстані не менше товщини листа від краю заготовки або деталі
	Для забезпечення збереження форми отвору без додаткових операцій, його центр повинен розташовуватись на відстані, що дорівнює або перевищує дві товщини металу від початку радіуса вигину

Кінець таблиці 3.1

Радіус згинання	Щоб уникнути деформації навколо вигину, деталі мають бути спроектовані з внутрішнім радіусом такого ж розміру або більшим, ніж товщина матеріалу.
Орієнтація згину	Збереження постійного радіуса і послідовність орієнтації вигину в одному напрямку зменшує кількість установок деталі.
Вирізи	В областях по обидва боки від місця вигину можуть виникати напруження, що призводять до деформації або розриву матеріалу. Для уникнення дефектів забезпечуються рельєфні вирізи з боків майбутнього фланця, ширина такого надрізу має перевищувати товщину матеріалу.
Висота згину	Висота вигину повинна щонайменше вдвічі перевищувати товщину матеріалу плюс радіус вигину.

4 ПРИКЛАД ВИКОННЯ ДЕТАЛІ З АЛЮНІЄВИХ КОМПОЗИТНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ МАКЕТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИРОБУ

Розглянемо практичне використання розглянутих рекомендації на прикладі створення макету однієї з деталі виробу.



Рисунок 4.1 – Приклади виробу

За наявними даними було розроблено 3D модель деталі (рисунок 4.2). До уваги було взято габаритні розміри виробів, по яким редагувались інші геометричні параметри моделі. На цьому етапі також було враховано існуючий прототип макету який мав певні конструктивні недоліки, які в нашому варіанті було усунуто, а саме, в конструкції деталі першочергового макету, була відсутня одна стінка, що зменшувало конструктивну жорсткість елемента. Для збільшення жорсткості використовувались дерев'яні закладні, що збільшувало масу макету. Додавання задньої стінки та виконання елементів які використовуються для додаткового заклепування, жорсткість збільшилась, а також покращилась технологічність збірки.

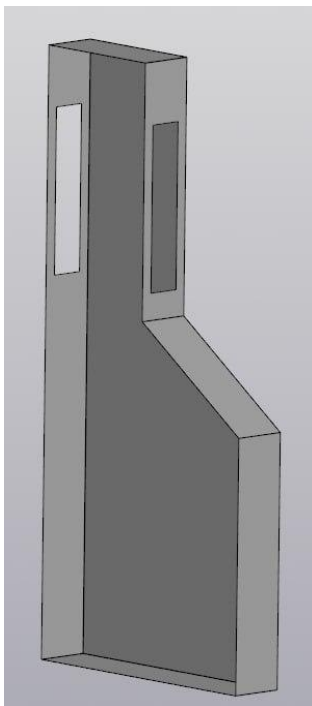


Рисунок 4.2 – 3D модель деталі

При розробці розгортки було використано рекомендації які розглянуто вище. Нижче наведено приклад креслення розгортки оптимізованої деталі (рисунок 4.3).

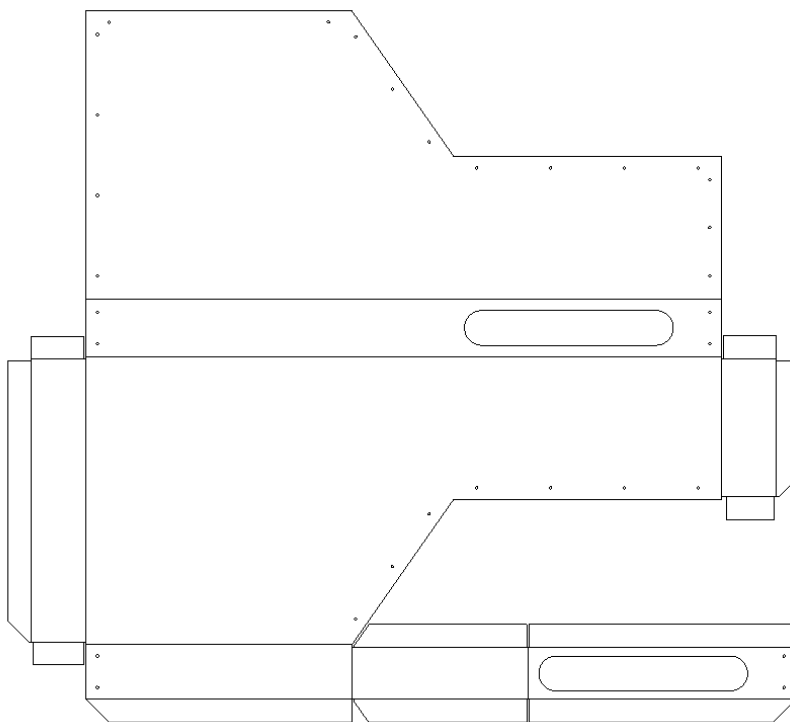


Рисунок 4.3 – Креслення розгортки деталі

4.1 Імітація згину листа

Для більш точного контролю точності розробленої моделі, перед початком виготовлення елементів на верстаті, було проведено повну імітацію згинання розгорток елементів. Також було проведено дослідження для виявлення додаткової зміни розмірів при згинанні за рахунок зминання матеріалу.

В нашому випадку обробка проводиться V- подібною пазовою фрезою з кутом 90° , та торцем 2 мм. Ділянка матеріалу яка залишається після фрезерування, має ширину яка дорівнює ширині торця, та товщину 0,4 мм, що відповідає товщині алюмінію в композитному листі. Необхідно було на практиці, виявити скільки матеріалу додається, чи віднімається при одному загині матеріалу. Для цього було вирішено виготовити куб з контрольними розмірами 100x100 мм. Після його збирання потрібно було порівняти реальні розміри та контрольні (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 - Розкрій куба для замірів

Заміри показали, що на один заворот, додається 0,7 мм матеріалу. Тобто слід було врахувати це зміщення при моделюванні розкроїв всіх деталей, та

врахувати, що збільшення кількості заворотів значно може зменшити точність готової деталі.

На практиці, це значно пришвидшило якість та швидкість створення розгорток лементів, що в свою чергу також дало можливість точно виготовляти деталі складної форми без важких розрахунків.

Для імітації зігнутих моделей було використано функціонал програмного забезпечення SolidWorks, який дає змогу працювати із листовими матеріалами.

Для початку симуляції було зроблено ескіз контуру заготовки, та намічені місця для згинання. Було проведено точну імітацію пазу після фрезерування, для того щоб проконтролювати можливі неточності при збиранні деталі після виготовлення.

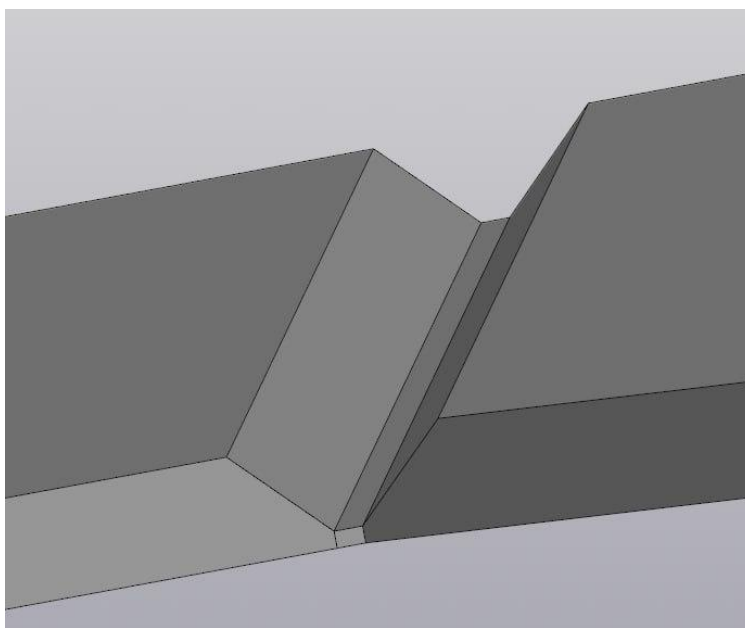


Рисунок 4.4 – Імітація пазу

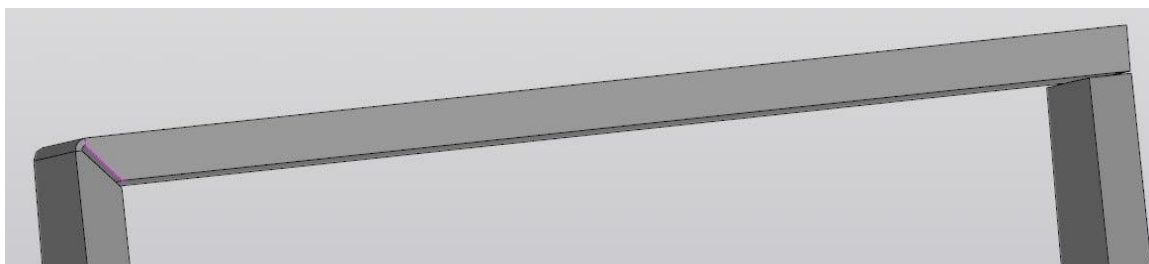


Рисунок 4.5 – Приклад згину на моделі

4.2 Приклад створення траєкторії обробки

Після розробки розкрою для деталей, було створено траєкторії обробки деталей. Нижче наведено приклад послідовності створення траєкторії обробки для однієї з деталей. Створення стратегії обробки виконувалось з використанням програмного забезпечення Carvesco.

Як вже було зазначено обробку АКП виконують в наступній послідовності:

1. Фрезерування пазу для гнуття;
2. Свердління отворів для кріплення;
3. Контурне фрезерування для відрізання деталі

Перед початком файл розкрою імпортується в форматі DXF в програму.

Так як в бібліотеці інструментів в програмі відсутній необхідна фреза для обробки пазів, необхідно створити вектор, який відповідає половині контуру потрібної фрези (рис. 4.19).

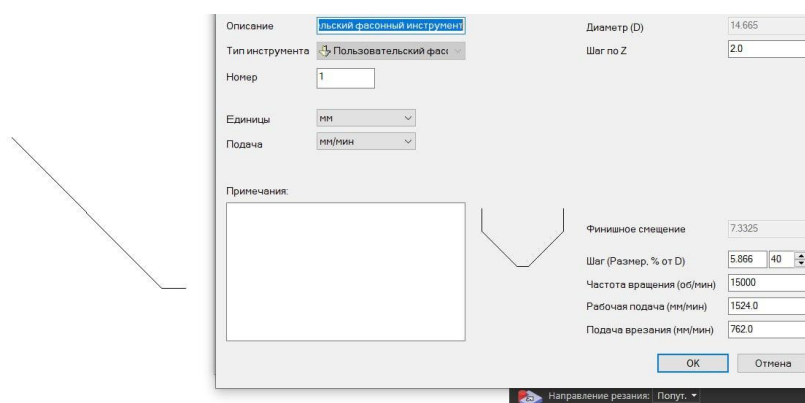


Рисунок 4.6 – Контур інструменту

Діаметр фрези 14 мм, довжина торця 2 мм.

Наступним кроком, необхідно виділити вектори які відповідають за розташування пазів (рис. 4.7). Для створення траєкторії було обрано команду «Обробка по контуру» - «Вздвжж», таким чином можна виділити незманені вектори по яким проводиться обробка за один прохід на глибину 3,6 мм, при

товщенні матеріалу 4 мм. Залишена товщина 0,4 мм відповідає товщині алюмінію в композиті. Для покращення якості обробки, рекомендується також:

- обробляти пази за 2 проходи;
- надійно закріплювати заготовку на столі, прихватами або за наявності отворів в деталі, попередньо їх просвердлити та використати їх для згвинчування заготовки до жертвовного столу верстата;
- слідкувати за чистотою поверхні столу, для унеможливлення потрапляння частинок під заготовку;
- обробляти на рекомендованих режимах, які залежать також і від жорсткості верстату;
- правильно обирати інструмент, та забезпечувати його жорсткість.

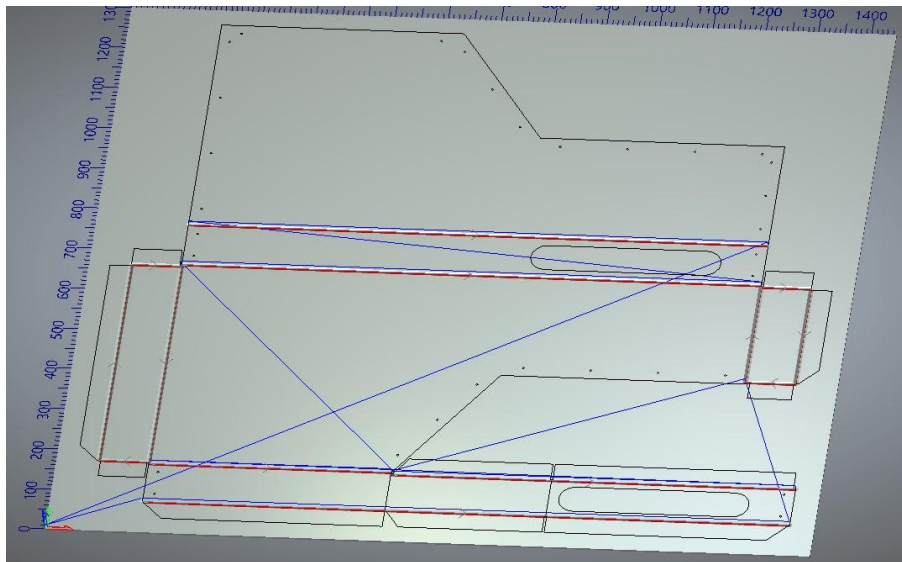


Рисунок 4.7 – Траєкторія обробки пазів

Другий крок, це обробка отворів для заклепок. Для цього було виділено всі отвори на заготовці та використано команду «Обробка по контуру» - «Всередині». Діаметр отворів 4,2 мм, фреза яка використовується – кінцева фреза діаметром 3 мм. Траєкторія «Обробка по контуру» дає можливість розфрезерування отвору, що покращує його якість та зменшує час на переустановка фрези, тому що цією ж фрезою буде виконуватись контурна обробка.

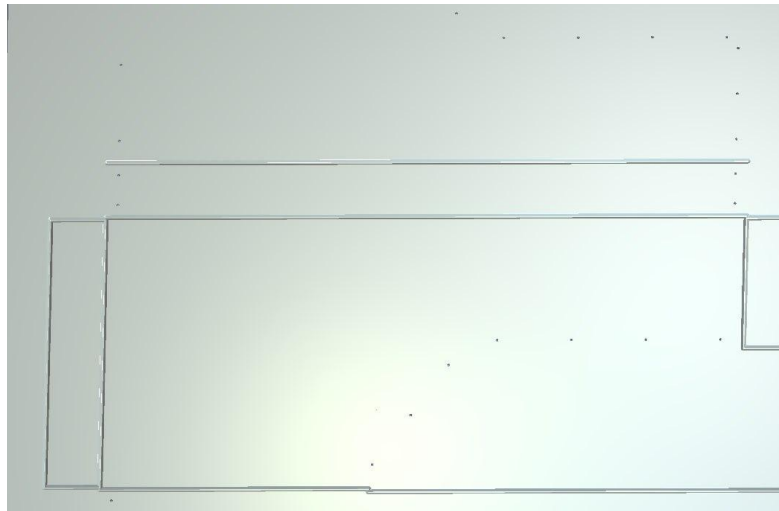


Рисунок 4.8 – Траєкторія обробки отворів

Останній крок, це обробка контуру деталі, тобто відрізання. Для створення траєкторії було обрано команду «Обробка по контуру» - «Ззовні». Також було перенесено точку врізання на прямолінійну ділянку траєкторії для забезпечення похилого врізання. Результуюча траєкторія на рисунку 4.9.

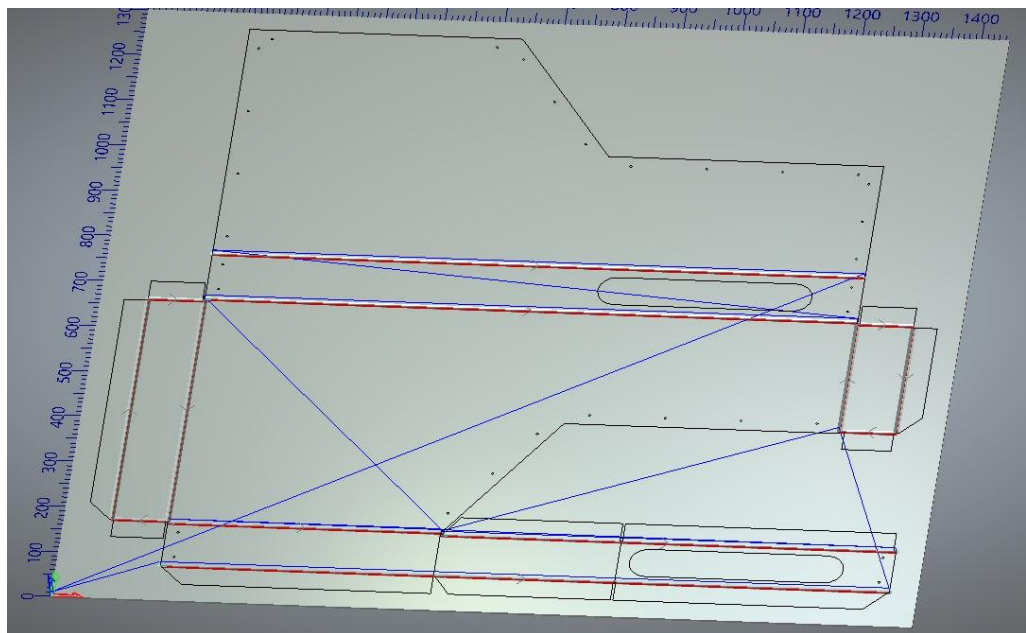


Рисунок 4.9 – Траєкторія обробки контуру

Після створення траєкторії було проведено симуляцію обробки, та отримано код управляючої програми, окремо для кожної траєкторії (рис 4.10).

S1000 M3	S1000 M3	S1000 M3
G0 G90 G54 X0.0 Y0.0	G0 G90 G54 X0.0 Y0.0	G0 G90 G54 X0.0 Y0.0
G43 H1 Z10.0 M8	G43 H1 Z10.0 M8	G43 H1 Z10.0 M8
G0 X175.07 Y76.30 Z10.00	G0 X195.07 Y97.50 Z10.00	G0 X1157.84 Y688.20 Z10.00
G1 Z1.00 F762	G1 Z-4.00 F3000	G1 Z1.00 F3000
G1 X185.07 Y76.30 Z-0.40	G1 X194.93 Y97.48 F4560	G1 X1158.76 Y688.21 Z0.88
G1 X175.07 Y76.30 Z-1.80	X194.80 Y97.43	G1 X1159.68 Y688.26 Z0.77
G1 X1398.56 Y76.30 Z-1.80 F1524	X194.67 Y97.34	G1 X1160.61 Y688.33 Z0.65
G0 Z10.00	X194.57 Y97.23	G1 X1161.53 Y688.44 Z0.54
G0 X175.07 Y76.30	X194.51 Y97.10	G1 X1162.44 Y688.57 Z0.42
G1 Z-1.80 F762	X194.48 Y96.96	G1 X1163.36 Y688.74 Z0.31
G1 X185.07 Y76.30 Z-2.70	X194.48 Y96.82	G1 X1164.26 Y688.93 Z0.19
G1 X175.07 Y76.30 Z-3.60	X194.52 Y96.68	G1 X1165.28 Y689.19 Z0.06
G1 X1398.56 Y76.30 Z-3.60 F1524	X194.59 Y96.55	G1 X1166.30 Y689.49 Z-0.07
G0 Z10.00	X194.69 Y96.44	G1 X1167.31 Y689.83 Z-0.21
G0 X1270.75 Y425.70	X194.82 Y96.36	G1 X1167.63 Y689.95 Z-0.25
G1 Z1.00 F762	X194.95 Y96.31	G1 X1167.31 Y689.83 Z-0.29
G1 X1270.75 Y435.70 Z-0.40	X195.09 Y96.30	G1 X1166.30 Y689.49 Z-0.43
G1 X1270.75 Y425.70 Z-1.80	X195.23 Y96.32	G1 X1165.28 Y689.19 Z-0.56
G1 X1270.75 Y663.00 Z-1.80 F1524	X195.37 Y96.38	G1 X1164.26 Y688.93 Z-0.69
X1365.45 Y663.00	X195.50 Y96.48	G1 X1163.36 Y688.74 Z-0.81
X1365.45 Y425.70	X195.59 Y96.59	G1 X1162.44 Y688.57 Z-0.92
X1270.75 Y425.70	X195.64 Y96.72	G1 X1161.53 Y688.44 Z-1.04
G1 F762	X195.67 Y96.86	G1 X1160.61 Y688.33 Z-1.15
G1 X1270.75 Y435.70 Z-2.70	X195.66 Y97.01	G1 X1159.68 Y688.26 Z-1.27
G1 X1270.75 Y425.70 Z-3.60	X195.61 Y97.15	G1 X1158.76 Y688.21 Z-1.38
G1 X1270.75 Y663.00 Z-3.60 F1524	X195.53 Y97.28	G1 X1157.84 Y688.20 Z-1.50

Рисунок 4.10 – Коды управляющих программ

ВИСНОВКИ

В ході роботи було проведено аналіз структури сучасних композиційних матеріалів. Згідно з вимогами до завдання та основі проведеного аналізу було обрано шарувату структуру композитних матеріалів.

Далі було проведено аналіз особливостей складу та властивостей шаруватих композитів які можуть бути використанні для макетування. Згідно отриманих даних в якості основного матеріалу для макетування було обрано металопласт, а саме алюмінієві композиційні панелі.

Згідно вимог до конструкції макету, особливостей структури матеріалу було визначено основні способи механічної обробки та складено рекомендації по оптимізації обробки листового матеріалу.

В якості практичного застосування розроблених рекомендації було створено модель деталі макету спеціального виробу, розкрій та траєкторію обробки з використанням сучасного програмного забезпечення та верстату з ЧПУ.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Наукова та науково-технічна діяльність у Збройних Силах України. Київ, 2020. 178с. URL: https://www.mil.gov.ua/content/pdf/science_note.pdf
2. Чепков І.Б. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Т.4. Воєнно-технічна політика провідних країн світу: монографія/ І.Б. Чепков, В.В.Зубарєв, В.О. Смірнов. К.: ВД ДмитраБураго,2016. 388 с
3. Будівельне матеріалознавство : навч. посіб. для здобувачів вищої освіти спец. 192 – Будівництво та цивільна інженерія / О. О. Новомлинець, М. М. Корзаченко, А. І. Сергєєв. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – 420 с.
4. Матеріалознавство (для архітекторів та дизайнерів) : підручник / К. К. Пушкарьова, М. О. Кочевих, О. А. Гончар, О. П. Бондаренко ; за ред. д.т.н., проф. К. К. Пушкарьової. – К. : Видавництво Ліра-К, 2012. – 592 с.
5. Пушкаренко А. С. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур / А. С. Пушкаренко, О. В. Васильченко. – Х. : АПБУ, 2000. – 146 с
6. Склярєнко Н., Пасичник О. Макетування. Довідник. Київ : Вид. Олег Філюк, 2015. 132 с.
7. Neat D. Model-making: Materials and Methods. The Crowood Press Ltd, 2018. 176 p.
8. ГОСТ 2.801-74 ЕСКД. Макетный метод проектирования. Геометрическая форма, размеры моделей.
9. ГОСТ 2.802-74 ЕСКД. Макетный метод проектирования. Техническая информация на рабочем макете.
10. ГОСТ 2.803-77 ЕСКД. Макетный метод проектирования. Требования к конструкции и размерам макетов и моделей.
11. Методичні вказівки до вивчення розділу програми «Фортифікація і маскування» студентами НУВГП за темами № 6,7,8,9 „Основи тактичного

маскування”, „Маскувальні властивості місцевості і способи їх використання”, „Штучні маски та засоби радіолокаційного маскування ”, „Макети і хибні споруди.” / Ниник Ю.Л., Рівне : НУВГП, 2011. 31 стор.

12. Карпинос Д. М. Новые композиционные материалы / Карпинос Д. М., Тучинский Л. И., Вишняков Л. Р. – К. : Вища школа, 1977. – 312 с.

13. A. Evans, C. San Marchi, A. Mortensen. Metal Matrix Composites in Industry. Dordrecht; Boston; London, 2003.

14. 1.Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування : навчальний посібник / Ю. В. Борисенко. – К. : КНУТД, 2016. – 111 с.