

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування факультету)

Металорізальні верстати та інструменти

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Використання реверс-інжинірингу в 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

СЕНЮХІН Р.Л.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ФРОЛОВ М.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРИЗВИЩЕ 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

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

СЕНЮХІН Роман Леонідович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Використання реверс-інжинірингу в створенні макетів спеціальних виробів

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц., ФРОЛОВ Михайло Володимирович,
(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 рекомендації до створення макетів. Обрано та обґрунтовано тип реверс-інжинірингу для створення макетів спеціальних виробів. Систематизовано рекомендації по оптимізації розгорток при розробці моделей з листового матеріалу. Оптимізовано існуючі моделі макетів з використанням розглянутих рекомендацій. Підвищено ефективність створення макетів за рахунок використання обраних технології та рекомендації.

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

Креслення: Плакати. Презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ФРОЛОВ М.В., зав. каф.	01.10.24	10.10.24
2	ФРОЛОВ М.В., зав. каф.	11.10.24	30.10.24
3	ФРОЛОВ М.В., зав. каф.	31.10.24	20.11.24
4	ФРОЛОВ М.В., зав. каф.	25.12.24	30.12.24
Нормоконтроль	ПЕРВЕСЕВ. 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	Поняття макетування	01.10-10.10	
2	Реверс інжиніринг при макетуванні	11.10-30.10	
3	Створення креслень та розробка розкрою елементів	31.10-20.11	
4	Побудова деталей 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)

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 47 с., 33 рис., 1 табл., 10 джерел.

МАКЕТ, ФРЕЗЕРУВАННЯ, РОЗГОРТКА, ГНУТТЯ, ПАЗ, РОЗКЛАДКА, РЕВЕРС-ІНЖИНІРИНГ

Представлено реалізацію способу оптимізації виготовлення макетів спеціального обладнання з листового матеріалу методами реверс-інжинірингу.

Метою роботи оптимізація технології виготовлення та методів розробки моделей для створення макетів спеціального обкладення із листового матеріалу.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що розроблено рекомендації щодо оптимізації технології виробництва та методів розробки макетів спеціальних виробів за рахунок використання комп'ютерного моделювання та раціонального підходу реверс-інжинірингу.

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: 47 p., 33 fig., 1 tables, 10 sources.

DECOY, MILLING, REAMING, BENDING, GROOVE, LAYOUT, REVERSE ENGINEERING

The work presents the implementation of a method for optimizing the production of models of special equipment from sheet material by reverse engineering methods.

The aim of the work is to optimize the manufacturing technology and methods of model development for creating models of special sheet material.

The scientific novelty of the work lies in that recommendations for optimizing the production technology and methods for developing models of special products through the use of computer modeling and a rational reverse engineering approach have been developed.

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

ЗМІСТ

	С.
Реферат	4
Abstract	5
Вступ.....	7
1 Поняття макетування	8
1.1 Основні виробничі етапи виготовлення макетів	8
1.2. Основні види макетів	10
2 Реверс інжиніринг при макетуванні	13
3 Створення креслень та розробка розкрою елементів.....	17
3.1 Методи розробки розгортки.....	20
3.2 Розробка розкрою деталей.....	21
3.3 Особливості обробки листового композиту для виготовлення макету	24
3.4 Обробка композитних панелей на верстатах з чпу	26
3.5 Особливості проектування деталей для гнуття з листового металу	28
4 Побудова деталей макету спеціального виробу	30
4.1 Імітація згину листа	37
4.2 Приклад створення траєкторії обробки	41
Висновки	45
Список джерел посилань	46

ВСТУП

Створення макетів спеціальної техніки є важливим етапом у розробці і виготовленні моделей, що використовуються для навчальних, демонстраційних чи інших спеціальних цілей. У сучасних умовах особливого значення набувають методи оптимізації процесів проектування та виготовлення таких макетів. Скорочення часу проектування, економія коштів та покращення якості створених макетів підвищує ефективність їх використання в умовах для яких вони розроблені.

Дана дипломна робота присвячена аналізу та вдосконаленню процесу створення макетів спеціальної техніки. У роботі розглянуто рекомендації щодо розробки макетів, зокрема вибір типу реверс-інжинірингу, що дозволяє відтворити геометричні особливості спеціальних виробів та розширити номенклатуру макетів таких виробів. Особлива увага приділена систематизації рекомендацій для оптимізації розгорток при роботі з листовими матеріалами.

У результаті роботи оптимізовано існуючі моделі макетів, впроваджено вдосконалені підходи до проектування і виготовлення за допомогою сучасних технологій, що дозволило підвищити ефективність процесу їх створення. Результати дослідження мають практичну цінність та можуть бути застосовані у галузях оборонної промисловості, дизайну та навчального моделювання.

1 ПОНЯТТЯ МАКЕТУВАННЯ

Для початку макетування необхідна повна інформація про об'єкт - проєкт, креслення, фото- або відеозйомка місцевості, споруди, деталей і механізмів.

Існують різні типи та види макетування. За типами макетування підрозділяється на:

- концептуальну
- детальну,
- інтер'єрну
- екстер'єрну.

Можна виготовити зразки макетів нерозбірні та розбірні, що актуально за великих площ, об'ємів і в разі виробництва предметів для демонстрації технологічного процесу. Зразки макетів також можуть бути статичними і динамічними, монолітними і складатися з різних елементів і матеріалів.

Макетування - процес композиційного розміщення елементів, що співвідносяться один з одним. Кінцевий результат - макет. Найостанніший, підписаний у виробництво макет - оригінал-макет.

Промисловий об'ємний макет (модель) - натуральне макетування передбачуваної форми майбутнього виробу із застосуванням необхідних матеріалів і використовуючи сучасні технології. Така об'ємна модель будується як у натуральну величину, так і в масштабному співвідношенні.

1.1 Основні виробничі етапи виготовлення макетів

Перед початком виготовлення будь-якого макета слід визначитись з вихідною інформацією про об'єкт макетування, далі, в залежності від детальності макету, підгодовувати всю необхідну технічну документацію, яку потім

використовують для виготовлення елементів макету. Більш докладна послідовність дій, які виконують при розробці макетів, наведена нижче.

1. Вивчення вихідної інформації.

На цьому етапі відбувається аналіз усіх отриманих даних, оцінюється їх достатність, уточнюються відсутні дані. Так само приймаються рішення про методику виготовлення, матеріали тощо. Ухвалюється рішення щодо деталізації макета.

2. 3D-моделювання.

Комп'ютерне моделювання - базовий елемент сучасного проєктування і виготовлення макета. 3D-модель дає змогу на ранньому етапі побачити, який вигляд матиме майбутній макет.

Проектування ведеться з урахуванням товщини і властивостей обраних матеріалів. На завершальному етапі готуються робочі файли для верстатів із числовим програмним управлінням і моделі, адаптовані для 3D-друку.

3. Виготовлення деталей.

Сучасне обладнання дає змогу значно спростити і прискорити виготовлення деталей макета. До подібних апаратів належать: гравірувально-фрезерні верстати, лазерні верстати, ріжучі плоттери, 3D-принтери.

4. Фарбування.

Різні деталі макета фарбуються за різною технологією: аерозольним нанесенням, зануренням, методом тампування або накочування валиком. На цій же стадії відбувається обклеювання деталей плівками.

5. Виготовлення підмакетника.

Підмакетник є базою, основою для всіх елементів і конструкцій макета. З одного боку він повинен мати мінімальну вагу для простоти транспортування, з іншого боку - мати максимальну жорсткість, оскільки перекося підмакетника можуть призвести до тріщин і руйнувань по всьому макету.

Залежно від розмірів макета і естетичних побажань клієнта приймаються рішення про те, з яких матеріалів буде виготовлений підмакетник. У разі великих

розмірів для збільшення жорсткості може застосовуватися сталева зварна пофарбована рамка.

6. Встановлення необхідного додаткового обладнання.

В залежності від типу макету додаткове обладнання може мати різні функції.

7. Збірка елементів макета.

Виготовлені та попередньо пофарбовані деталі збираються в єдині конструкції. Збірка відбувається вручну і вимагає високого ступеня точності. Етап вкрай відповідальний, і на ньому починають проявлятися обриси майбутнього макета.

8. Остаточне складання макета.

1.2. Основні види макетів

Архітектурний макет. До цього виду макетів належить архітектурна візуалізація будівель, споруд, архітектурних ансамблів, що виконується в об'ємі і нерідко на спеціальних підмакетниках.

Планувальний макет. Типові зразки макетів цього виду - містобудівні макети, панорамні копії місцевості, групи будівель, комплексні плани котеджних селищ.

Технічний макет. Динамічні макети різних машин, механізмів. Елементи в таких зразках макетів функціональні: діючі макети автомобілів, літаків та іншої техніки.

Технічними макетами заведено називати різні моделі транспортної техніки з функціонуючими вузлами. Нерідко потрібно зробити прототип нової моделі автомобіля з повністю функціонуючими електричними елементами і механікою. Ця галузь називається технічним макетним моделюванням.

Механічний макет. У деяких випадках для наочного представлення процесів недостатньо прототипування деталей - необхідний динамічний вид макетування діючих вузлів.

Механічними макетами заведено називати об'єкти в мініатюрі, за допомогою яких наочно відображаються різні технологічні процеси. Масогабаритні макети використовують для демонстрації рухових і функціональних можливостей механізмів. Нерідко для цілей навчання використовують механічні навчальні макети розбірного типу, які дозволяють у деталях показати дію або взаємодію механічних вузлів.

Чорновий варіант дає змогу ще на стадії розроблення механічного макета внести зміни у фізичну архітектуру системи, розв'язати завдання зовнішнього дизайну. Після аналізу статичного прототипу розпочинають динамічне макетування - готують креслення масогабаритного макета, проводять деталювання і підгонку вузлів. Технічний макет нерідко електрифікують, а за необхідності забезпечують задані параметри руху виробу в цілому.

Художній макет. Основна вимога - зовнішня схожість з оригіналом. Художній вигляд макетів необхідний для вирішення рекламних, презентаційних і демонстраційних завдань.

Художній макет застосовується для візуальної демонстрації найрізноманітніших об'єктів у рекламних і презентаційних цілях.

Виставковий макет. У низці випадків копія може бути використана як елемент експозиції, реклами об'єкта і виконуватися в більшому масштабі, ніж оригінал.

Макет озброєння та військової техніки – об'ємно-просторове зображення зразка озброєння, боєприпасів або військової техніки, що призначене для:

- виконання організаційних заходів маскування з метою імітації фальшивих районів розташування та пересування підрозділів, об'єктів;
- проведення випробувань дослідного зразка з використанням аналога;
- навчання правилам поведінки.

Макетами можна імітувати матеріальну частину, бойову, транспортну та спеціальну техніку, озброєння та військову техніку (Рис. 1.1)



Рисунок 1.1 - Схема макетів озброєння та військової техніки

Для імітації озброєння та військової техніки часто використовують нерухомі макети. Нерухомі макети можуть бути безкаркасними і каркасними.

Щоб скоротити час монтажу, основні елементи макета повинні бути заздалегідь виготовлені, та мати технічні рішення які дозволяють швидко та з мінімальною кількістю особового складу, їх поєднувати між собою.

2 РЕВЕРС ІНЖИНІРИНГ ПРИ МАКЕТУВАННІ

Зворотне проектування імітує основні характеристики існуючого об'єкта для створення його точних або вдосконалених віртуальних/фізичних моделей. Це вимагає складних пристроїв, обчислювальних засобів і високих людських навичок. Таким чином, процес зворотного проектування стає стійким, якщо він менше залежить від складних пристроїв, обчислень і людських навичок.

На етапі вивчення інформації про об'єкт, для початку створення 3D моделі, необхідно визначити розміри, геометрію основних вузлів об'єкту що моделюється. Для цього використовуються методи реверс-інжинірингу.

У класичній інженерії кілька концепцій продукту спочатку генеруються на основі потреб клієнтів і стратегії відповідної організації. Потім концепції перетворюються на моделі продукту (віртуальні моделі). Згодом оптимальні віртуальні моделі перетворюються на фізичні моделі (прототипи) перед тим, як відправитися у виробництво. Таким чином, звичайна інженерія відноситься до шляху «концепція-модель-об'єкт». Іноді вибирається протилежний шлях, який називається зворотним проектуванням [5]. Як впливає з назви, зворотне проектування відноситься до шляху «об'єкт-модель-концепція». Таким чином, під час зворотного проектування цінна інформація, витягнута з існуючого об'єкта, використовується для створення моделі. З моделі витягується концепція, що лежить в основі об'єкта

Зворотний інжиніринг у машинобудуванні та інших галузях застосовується, якщо виробник вихідного виробу не надає відомостей про структуру, методи створення об'єкта, або вони були загублені. Щоб отримати всю необхідну інформацію про об'єкт, зворотне проектування виробів проходить кілька етапів:

- розбирання готового виробу на деталі (за необхідності). Об'єкт розбирається на складові частини для вивчення їхніх розмірів, форм і функцій. Вимірювання і контроль традиційними методами вимірювання з використанням штангенциркулів, мікрометрів та інших інструментів.

- функціональний аналіз. Вивчення роботи пристрою або об'єкта для розуміння його основних функцій. Цей метод часто застосовують для розроблення нових прототипів.

- визначення застосовуваних у виробництві матеріалів
- тривимірне сканування й отримання CAD-моделі
- зняття розмірів інших елементів пристрою (за необхідності)
- створення робочої моделі, підгонка і перевірка
- розробка креслень

Традиційний метод реверс-інжинірингу, передбачає використання спеціального обладнання (лазерні 3D сканери, КВМ, спеціальне програмне забезпечення). Сутність цього методу полягає в скануванні об'єкта, отримання даних у вигляді хмар точок, створення та редагування віртуальної моделі за отриманими даними. Такий спосіб доречно використовувати при моделюванні об'єктів які мають багато вільних форм, та складно-пов'язаних поверхонь, чи коли об'єкт сканування важко розділити на складові елементи. Також традиційний реверс-інжиніринг передбачає високу кваліфікацію інженера, який розробляє модель, від цього буде залежати кість готової моделі.

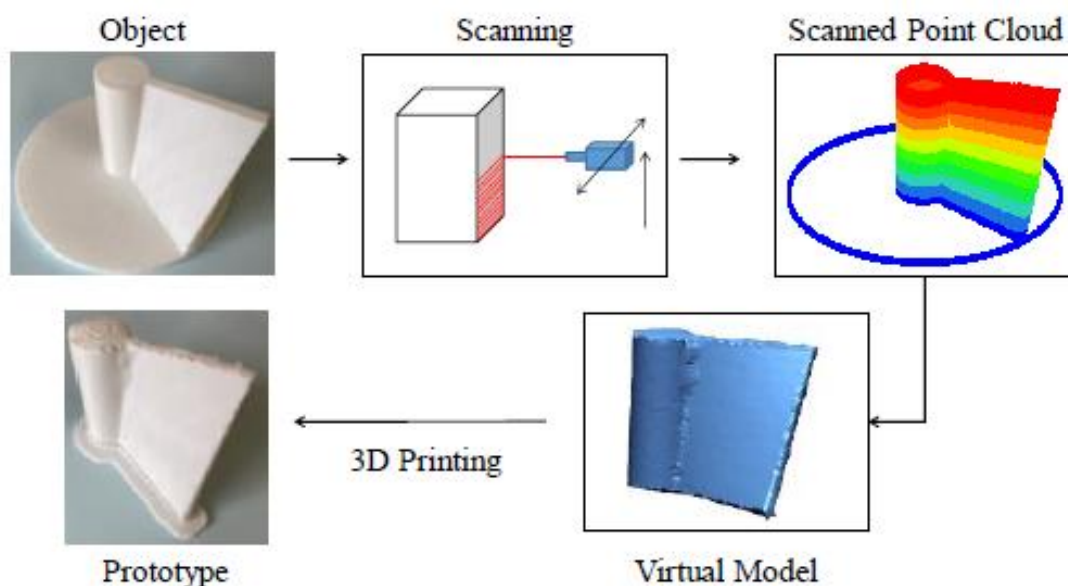


Рисунок 2.1 – Традиційний метод реверс-інжинірингу

Літературний огляд, показав, що існує ще один метод зворотного проектування який називається сталий реверс-інжиніринг.

Його сутність полягає в наступному: процес використовує хмари точок планування, змодельовані аналітичними підходами.

Процес складається з основних кроків (рис. 2.2):

- на першому кроці даний об'єкт даний за допомогою деяких елементарних геометричних фігур;
- другий крок представляє елементарні геометричні фігури за допомогою деяких імітованих хмар точок планування.
- третій крок створює скоординовані хмари точок шляхом поєднання деяких елементарних хмар точок.
- на четвертому кроці створюється віртуальна модель об'єкта за допомогою готового пакета САПР, де вхідною інформацією є деякі вибрані елементарні та скоординовані хмари точок.

Далі розглянемо більш докладно кожен з кроків. На першому кроці створюється високорівневий опис об'єкта, який підлягає зворотній інженерії. Результат цього кроку залежить від особи, яка описує об'єкт за допомогою деяких мовних виразів. Наприклад, об'єкт, показаний на рис. 2.2, складається з трьох елементарних форм, які називаються циліндром, пластиною та диском.

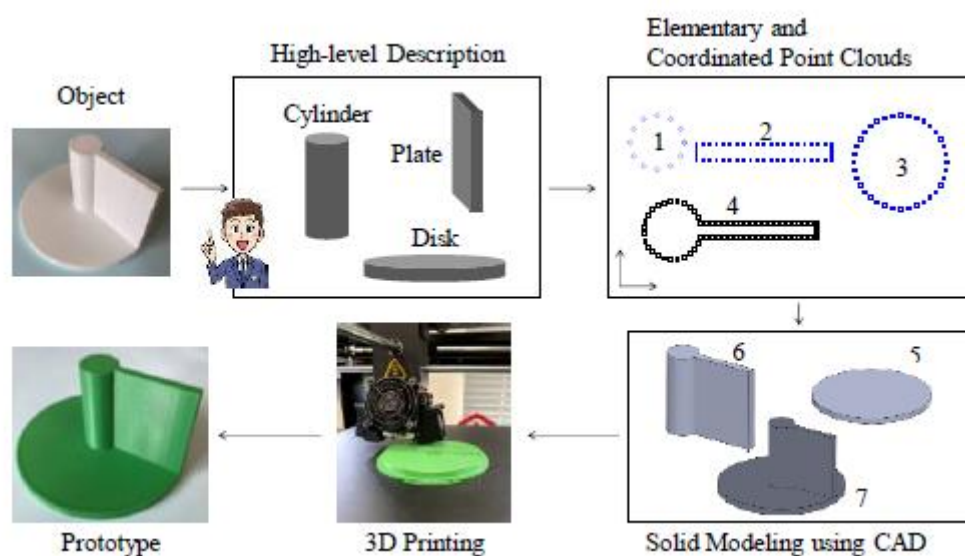


Рисунок 2.2 – Метод сталого реверс-інжинірингу

Другий і третій кроки створюють елементарну та координовану хмари точок, відповідно, що представляють особливості планувальника фігур. Для створення елементарних хмар точок можна використати алгоритм введений на рис. 2.2. Хмари точок, позначені як 1, 2 і 3, представляють площі поперечного перерізу елементарних форм, які називаються циліндром, пластиною та диском відповідно. Задля суцільного моделювання на кроці 4 деякі хмари точок можна інтегрувати для створення скоординованих хмар точок. Наприклад, на рисунку хмари точок 1 і 2 об'єднані для створення координованої хмари точок, що позначається як 4. Координована хмара точок підтримує спадкоємність між його складовими. Таким чином, після виконання кроків 2 і 3 процес зворотного проектування заповнюється як елементарними, так і координованими хмарами точок. Четвертий крок створює суцільну модель елементарної та скоординованої хмари точок за допомогою стандартного пакета САПР.

Даний метод проектування дозволяє використовувати його при створенні моделей об'єктів які легко розкладаються на основні фігури та не мають складних поверхонь, або коли деталізація отриманої моделі може бути спрощена. Також перевагою цього методу при використанні його для створення макетів є те, що не має необхідності використовувати дорогі та складні обладнання, та мати нижчу кваліфікацію інженера.

Отже, метод сталого реверс-інжинірингу є перспективним для використання при створенні макетів, бо при макетуванні, можна спрощувати складні елементи виробу, та також пришвидшити час на прокатування.

3 СТВОРЕННЯ КРЕСЛЕНЬ ТА РОЗРОБКА РОЗКРОЮ ЕЛЕМЕНТІВ

Розгорткою поверхні геометричного тіла називається плоска фігура, що утворюється внаслідок суміщення всіх граней або всіх поверхонь, що обмежують тіло, з однією площиною.

Розгортка листового металу - це процес перетворення тривимірної деталі з листового матеріалу в плоску розгортку, призначену для подальшого розкрою і формування. Ця технологія лежить в основі виробництва безлічі виробів, від простих коробок до складних кузовів автомобілів і корпусів літаків. Правильне виконання розгортки є критично важливим етапом, що визначає точність і якість кінцевого продукту. Помилки на стадії проектування розгортки можуть призвести до браку, перевитрати матеріалу і додаткових витрат.

Розгортка заснована на математичних принципах геометрії та тригонометрії. Суть процесу полягає в розкладанні поверхні тривимірної деталі на низку плоских елементів, які потім з'єднуються за лініями згину. Складність розгортки безпосередньо залежить від геометрії деталі: що складніша форма, то складніша її розгортка. Для простих геометричних форм (призми, піраміди, циліндри) розгортка виконується відносно легко за допомогою стандартних геометричних формул. Для складніших поверхонь, таких як криволінійні або конічні, потрібні спеціальні методи і програмне забезпечення.

Для одних геометричних тіл розгортки можуть бути точними, для інших - наближеними. Точні розгортки мають усі багатогранники (призми, піраміди тощо), циліндричні й конічні поверхні та деякі інші. Їхні поверхні називають такими, що розгортаються. Наближені розгортки мають куля, тор та інші поверхні обертання з криволінійною твірною. Такі поверхні мають назву нерозгортальні.



Рисунок 3.1 – Класифікація розгорток

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.

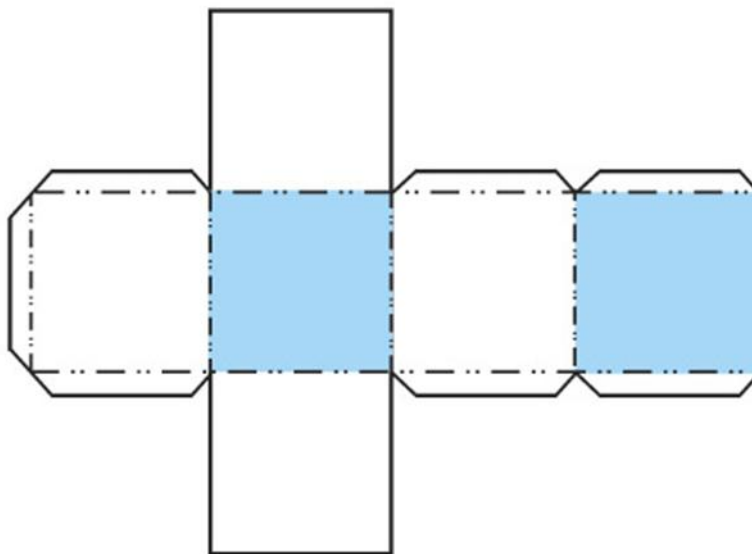


Рисунок 3.2 – Приклад креслення розгортки

Щоб правильно спроектувати розгортку листової деталі, необхідно враховувати К-фактор - це константа, яка показує відношення нейтральної осі до товщини матеріалу. Нейтральна вісь - ділянка, яка не розтягується і не стискається під час вигину, але зміщується від центру, що і визначає К-фактор. К-фактор залежить від матеріалу, товщини, радіуса вигину і методу згинання.

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.

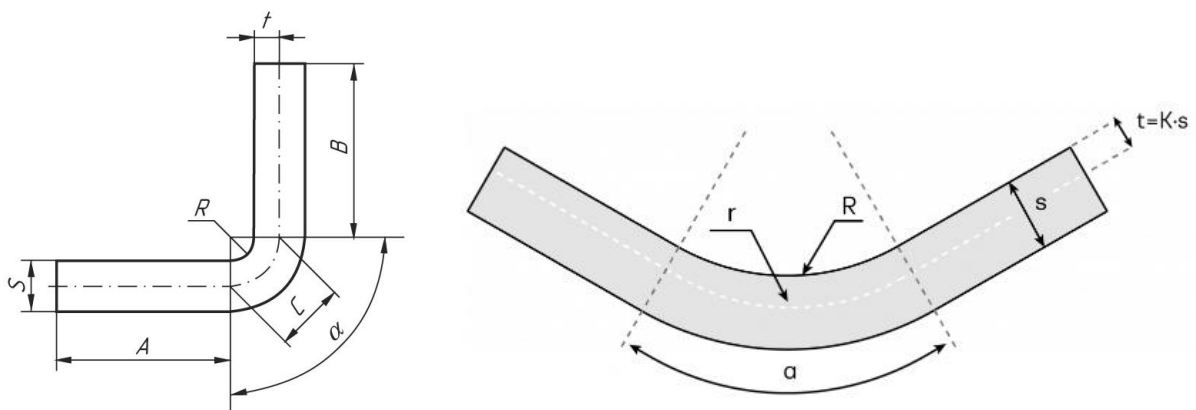


Рисунок 3.3 – Елементи згину матеріалу

3.1 Методи розробки розгортки

Існує кілька основних методів розробки розгортки:

- Розгортка за розвитком. Цей метод застосовується для розгортки поверхонь обертання, таких як циліндри, конуси і сфери. Він заснований на розбитті поверхні на низку вузьких смуг, які потім розгортаються в площину. Точність цього методу залежить від ширини смуг: що вужчі смуги, то точніша розгортка.

- Розгортка за гранями. Цей метод використовується для розгортки багатогранників, таких як призми і піраміди. Він полягає в розкладанні багатогранника на окремі грані, які потім розгортаються в площину. Для правильного виконання розгортки необхідно визначити розміри та кути кожної грані.

- Розгортка за шаблонами. Метод заснований на використанні готових шаблонів для розгортки стандартних деталей. Це спрощує процес розгортки і дає змогу скоротити час проєктування.

- Розгортка за допомогою програмного забезпечення. Сучасні CAD/CAM системи надають потужні інструменти для автоматизованого створення розгорток. Ці програми дають змогу моделювати тривимірні деталі, автоматично генерувати розгортки й оптимізувати їх для мінімізації відходів матеріалу. Вони підтримують різні методи розгортки та дають змогу враховувати технологічні особливості виробництва, такі як радіуси згинів і допуски.

Точність розгортки залежить від кількох чинників:

- геометрія деталі: складні криволінійні поверхні складніше розгортати, ніж прості геометричні форми;

- точність вихідних даних: неточності у вихідних даних моделі можуть призвести до помилок у розгортці;

- метод розгортки: різні методи розгортки забезпечують різний ступінь точності;

- програмне забезпечення: якість і можливості використовуваного програмного забезпечення відіграють важливу роль;
- технологічні допуски: необхідно враховувати технологічні допуски на розміри і форми деталей під час створення розгортки.

3.2 Розробка розкрою деталей

При використанні листового металу, ключовим моментом є ефективна розкладка розкрою деталей на листі. Деталі необхідно розміщувати одна в одній найефективнішим способом, щоб заощадити матеріали й обмежити кількість відходів, що в результаті призведе до скорочення виробничих витрат.

Процедура розкрою листового металу передбачає розташування деталей на листі таким чином, щоб мінімізувати відходи за максимального використання матеріалу. Хороша розкладка гарантує, що з одного листа вирізається безліч деталей, що оптимізує виробничі цикли та скорочує час і потреби в ресурсах для купівлі більшої кількості матеріалів.

Щоб забезпечити максимально можливу ефективність, необхідно дотримуватися кількох ключових принципів під час розкрою деталей при виготовленні листового металу. Один із них - проаналізувати геометрію кожної частини і подивитися, як вони можуть поєднуватися одна з одною. Використання програмного забезпечення для розкрою дає можливість, використовуючи складні алгоритми визначати, де на листі розмістити кожен компонент. При цьому враховуються такі фактори, як орієнтація деталей, межі зерен матеріалу і пропил (який відноситься до ширини різку, одержуваного під час різання). Крім того, сучасні системи розкрою здатні працювати зі складними формами, а також з розкромом декількох деталей, що оптимізує подальше використання матеріалів. Програмне забезпечення приймає ці вхідні дані і розраховує ефективне

компонування, що потребуватиме найменшої відстані, пройденої інструментом, а також мінімізує загальну кількість відходів.

Крім того, автоматичні функції розкрою дають змогу виробникам миттєво створювати ефективні макети, тим самим заощаджуючи час, порівняно з ручними методами. Інтеграція CAD (комп'ютерного проєктування) з CAM (автоматизованого виробництва) забезпечує точне переведення зі стадії проєктування в готові до виробництва макети, тим самим оптимізуючи весь цей процес.

Щоб зробити розкрій ефективним, необхідно виконати кілька кроків:

- Збір докладної інформації про деталі: всі деталі повинні точні розміри, геометрію та орієнтацію, перш ніж завантажувати їх у програмне забезпечення для розкрою.
- Застосування розширеного програмного забезпечення для розкрою;
- Налаштування обмежень матеріалу: для точної оптимізації процесу розкрою необхідно вказати тип матеріалу, його товщину, а також доступні розміри використовуваних листів.

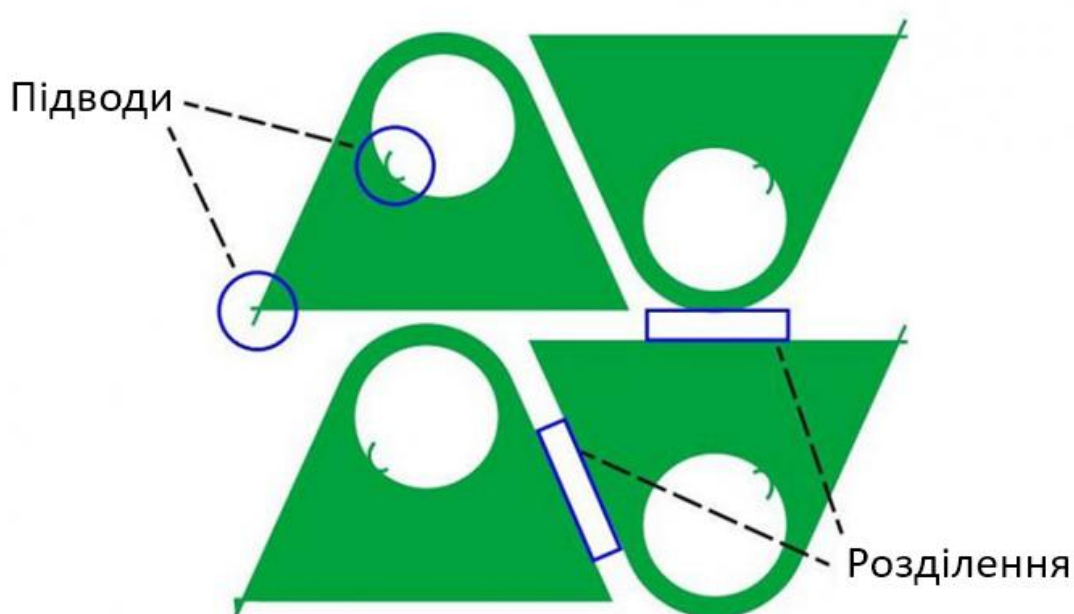


Рисунок 3.4 – Приклад обмежень на розкрої

- Оптимізація орієнтації деталей: зменшення зазорів між матеріалами і невикористані простори завдяки зміні орієнтації, щоб розмістити більше деталей усередині даного матеріалу. Спочатку розміщуються деталі з найширших і найдовших елементів. Простір, що залишається, заповнюється іншими, дрібнішими деталями.

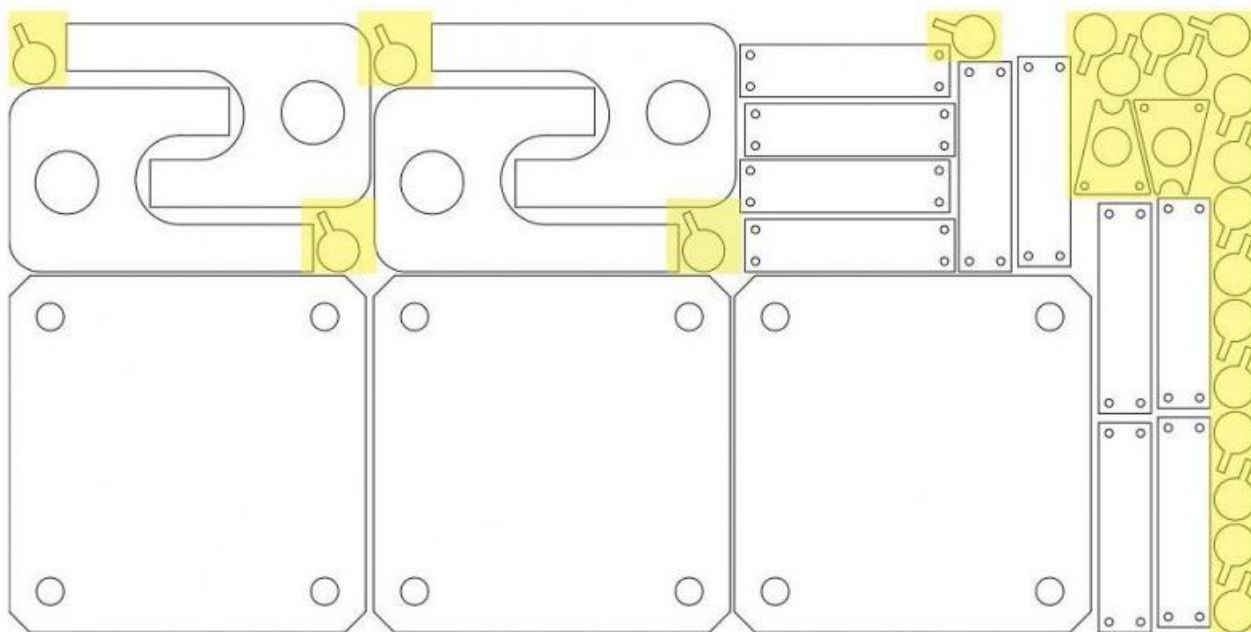


Рисунок 3.5 – Приклад заповнення невикористаного простору на листі

- Групування схожих деталі разом: це допоможе спростити процедури різання і підвищити ефективність виробництва, оскільки аналогічні об'єкти можна вкладати одночасно.

- Огляд і моделювання: Перш ніж завершити роботу над файлом, необхідно зробити кілька симуляцій, щоб побачити, чи є можливості для поліпшення, вивчивши можливі проблеми, які можуть виникнути.

- Інтеграція з системами CAD/CAM.

Якість розкрою оцінюється відсотком корисного виходу заготовок, що дорівнює відношенню сумарної площі всіх заготовок до площі вихідного листа і визначається за формулою:

$$\Pi = \frac{S_1 + S_2 + S_3 \dots S_n}{S_{\text{лист.}}} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

де Π - відсоток корисного виходу

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ – площа заготовок, м^2

$S_{\text{лист.}}$ – площа листа матеріалу, м^2

У крупносерійному виробництві відсоток корисного виходу досягає 92...94 %. Відсоток корисного виходу зростає зі збільшенням серійності виробництва, асортименту і досягає максимального значення при масовому виробництві. У дрібно- і середньосерійному виробництві відсоток корисного виходу досягає 85...86 %. В одиничному виробництві мінімальний відсоток корисного виходу може бути встановлений не менше 70 %.

Непрямою характеристикою корисного виходу може слугувати кількість відходів: чим менше відходів, тим краща карта розкрою. Для вирішення багатьох завдань цей показник зручний. Кількість відходів обчислюють як різницю між площею плити і загальною площею одержуваних заготовок за формулою:

$$O = S_{\text{лист.}} - (S_1 + S_2 + S_3 \dots S_n) \quad (3.5)$$

де O – кількість відходів, м^2

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ – площа заготовок, м^2

$S_{\text{лист.}}$ – площа листа матеріалу, м^2

3.3 Особливості обробки листового композиту для виготовлення макету

Алюмінієві композитні панелі являють собою складний багатошаровий матеріал, що складається з листів алюмінію, між якими знаходиться

поліетиленовий наповнювач. Зверху панелі покриваються захисними фарбами, які збільшують їх зносостійкість.

Склеювання алюмінію і серцевини здійснюється шляхом хімічного та механічного впливу, яке забезпечує панелям високу силу склеювання. Панель характеризується винятковою площинністю, стійкістю до корозії. Панелі прості в роботі і можуть використовуватися для виготовлення різних форм при мінімальних зусиллях.

Завдяки такій структурі вони мають наступні перевагами:

- міцність, жорсткість, але легкість матеріалу, що дозволяє забезпечувати швидкий монтаж і зведення великогабаритних касет;
- гнучкість і здатність трансформуватися;
- стійкість до корозії, термостійкість;
- звуко-, віброізоляційні якості;
- довговічність;
- великий вибір кольорів, можливість імітувати поверхню каменю.

Композитні панелі легко піддаються розкрою на промисловому устаткуванні, на фрезерних верстатах, в домашніх умовах їх можна різати ножівкою по металу або електролобзиком. Композитні панелі легко з'єднуються за допомогою заклепок, гвинтів та спеціальних з'єднувальних профілів, їх можна склеювати між собою, клеїти на стіни та стелі за допомогою монтажних клеїв, також легко фарбується всіма способами фарбування, його можна ламінувати, наклеювати на нього плівки тощо.

Вигідна перевага композитних панелей перед іншими листовими матеріалами — це можливість згинання та вальцювання (надання гнутих форм), що дозволяє суттєво розширити сферу застосування композитних панелей у виробництві та будівництві. Композитні панелі також чудово підходять для виготовлення будь-яких форм на фрезерному устаткуванні, у тому числі ручному.

3.4 Обробка композитних панелей на верстатах з ЧПУ

Високоточний або художній розкрій металу насамперед асоціюють із роботою плазмового або лазерного обладнання. Але фрезерне різання на ЧПУ верстаті не менш якісне та більш бюджетне. На сучасний фрезерних верстатах можна виконувати не тільки фрезерування, свердління, а також встановлювати додаткові осі, для багатокоординатної обробки.

Універсальність обладнання для різання на фрезерному верстаті полягає в тому, що воно може працювати з принципово різними заготовками, що мають форму листа або полотна. З металів це сталь, алюміній, мідь, латунь і бронза. З природної сировини - дерева і продукти її переробки: фанера і плити на деревній основі. Цим же способом можна різати різні види пластиків і оргскла, а також композитні матеріали.

Висока точність обладнання забезпечується його укомплектованістю системами ЧПУ. Такі верстати можуть виконувати в рамках одного проєкту не один вид операцій, а серію і працювати з досить габаритними заготовками - від двох метрів завдовжки до чотирьох завширшки.

Крім бюджетної вартості фрезерних робіт до переваг технології фрезерного різання на ЧПУ верстаті належать:

- точність різку, повне виключення браку за умови правильного налаштування обладнання;
- швидкість розкрою, навіть при виконанні художніх робіт;
- можливість різати матеріали, які не можна оброблювати високими температурами;
- як наслідок попереднього пункту - відсутність на матеріалі наплавлень та інших дефектів термічного впливу;
- можливість створення на поверхні заготовки рельєфних малюнків.

В якості різального інструменту для обробки композитних панелей рекомендуються фрези із заточуванням для пластиків. Нижче наведено основні способи фрезерування композитних панелей для подальшого виготовлення з них

об'ємних форм, касет для вентиляованих фасадів, елементів входних груп, інших тривимірних конструкцій.

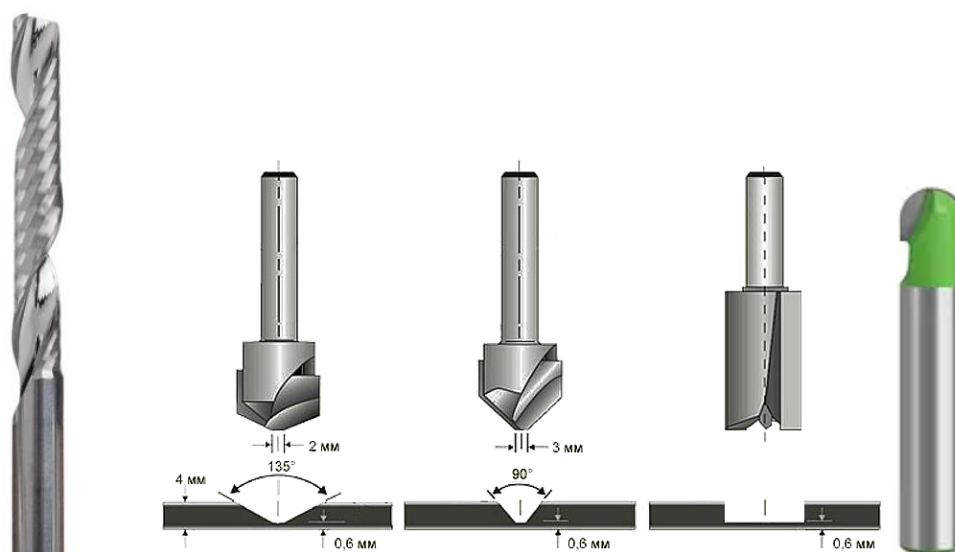


Рисунок 3.6 – Інструменти для фрезерування листового композиту

Фрези профільні (пазові) для композиту бувають різної форми: V-подібної, U-подібної та прямокутної, а також мають два основні параметри, це кут заточування та діаметр торця. Найпопулярніші кути при згинанні фрезою для композиту вважаються 90° , 120° і 135° , а торець 2, 3 і 4 мм.

Для фрезерування композитних матеріалів ріжучий інструмент повинен виготовлятися з швидкорізальної сталі або твердих сплавів. Максимальна швидкість різання фрезою зі швидкорізальної сталі - 3000 об/хв при подачі 25 м/хв, для фрез із твердих сплавів – 5000 об/хв і 30 м/хв (відповідно).

Для відрізання заготовок використовують одноперові кінцеві фрези з твердого сплаву. Спіралеподібна форма дозволяє ефективно відводити стружку, що не дає можливості намотуватись стружці на фрезу. Також такі фрези дають можливість працювати без МОР. Але при роботі такими фрезами необхідно додатково фіксувати заготовку, для того щоб не відбувалось зміщення поверхні по вертикалі. Звичайна твердість для таких фрез від 45 до 65 HRC.

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.

Істотне відхилення в товщині шару, що залишається, призведе до небажаних наслідків: «перезерезована» панель під час вигину може дати тріщину в місці вигину, “недозерезована” панель погано піддаватиметься вигину, що призведе до втрати лінійних форм деталі, що виготовляється.

3.5 Особливості проектування деталей для гнуття з листового металу

Розглянемо 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

Радіус згинання	Щоб уникнути деформації навколо вигину, деталі мають бути спроектовані з внутрішнім радіусом такого ж розміру або більшим, ніж товщина матеріалу.
-----------------	---

Кінець таблиці 3.1

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 ПОБУДОВА ДЕТАЛЕЙ МАКЕТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИРОБУ

Розглянемо практичні етапи створення макету деталей спеціального виробу. Завданням було створити розкрій та 3D модель виробу, маючи тільки фотографію виробу та габаритні розміри.



Рисунок 4.1 – Приклади виробу

За цими даними було розроблено 3D моделі даних елементів вони представлені на рисунку 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 геометричні недоліки, які в нашому варіанті було усунуто.

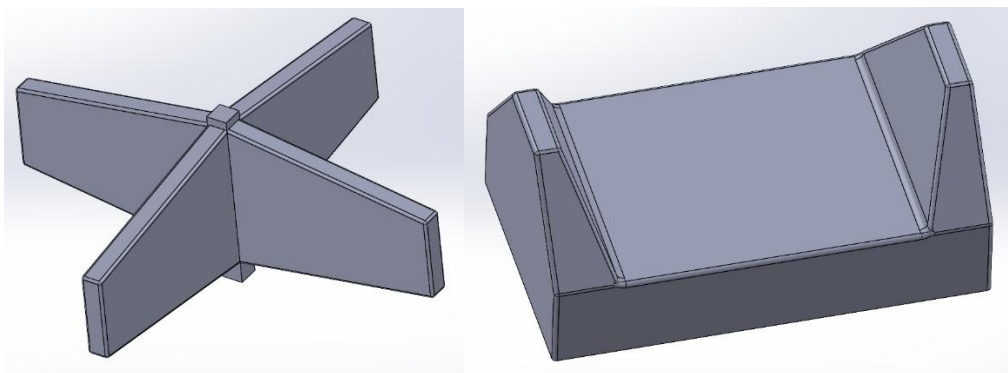


Рисунок 4.2 – 3D моделі деталей

Для створення якісного розкрою деталей, було використано розглянуті вище методики реверс інжинірингу та рекомендації щодо позиціонування деталей на листі для економії матеріалу. Нижче наведено приклад креслення двох розгорток деталей (рисунки 4.3 та рисунок 4.4).

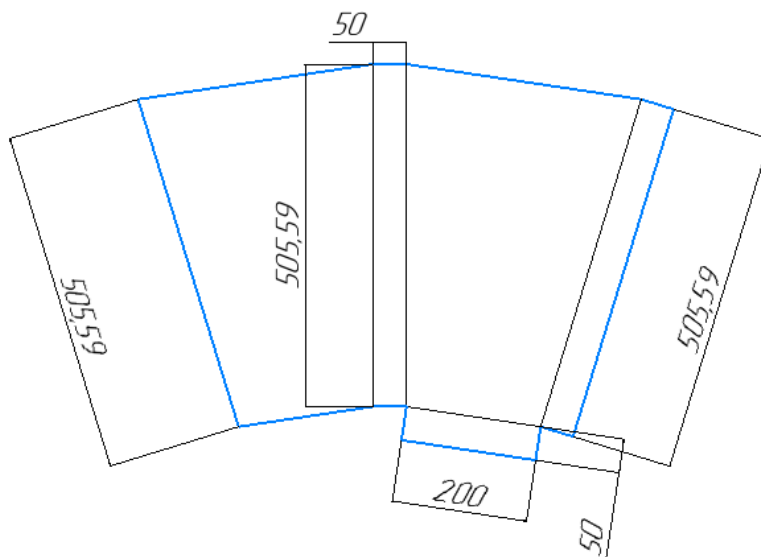


Рисунок 4.3 – Креслення розгортки деталі 1

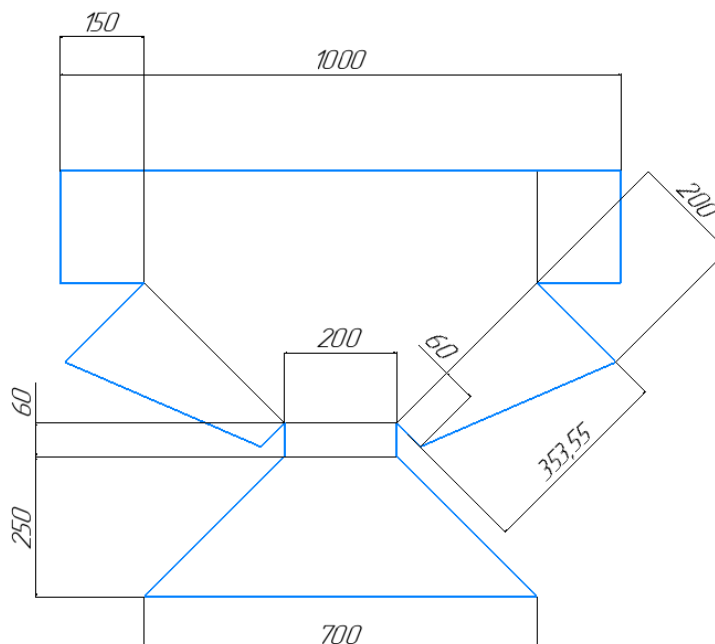
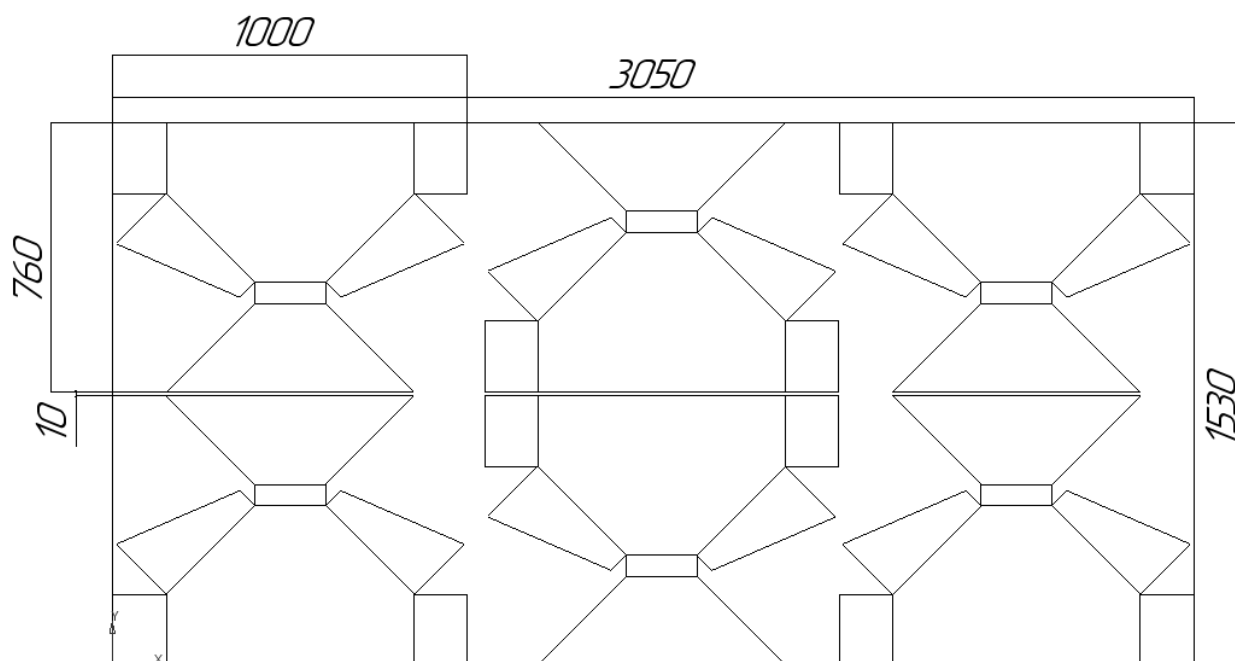


Рисунок 4.3 – Креслення розгортки деталі 2

Далі ці розгортки розміщуються на листі за правилами які також було розглянуто вище. Розгортка деталі 2 дозволяє розмістити декілька копій на листі таким чим, щоб максимально ефективно використати матеріал з мінімальним відходами (рисуюнок 4.4).



Рисуюнок 4.5 – Компонування розгортки деталі 2 на листі

Розклад розгортки деталі 2 дозволяє виконати компоування на листі двома різними підходами.

Перший варіант – при тому, що загальний об’єкт макетування складається з чотирьох однакових елементів, можна розмістити розгортки так, щоб з одного листа композиту виходив один набір для одного об’єкту, а весь залишковий простір використати для розміщення елементів інших виробів за необхідності (рис. 4.6). Такий підхід може бути актуальним при одиничному виготовленні макету, або коли є необхідність виготовлення додаткових невеликих елементів до інших виробів в партій. Але слід врахувати площу невикористаного матеріалу, для правильного компоування додаткових елементів.

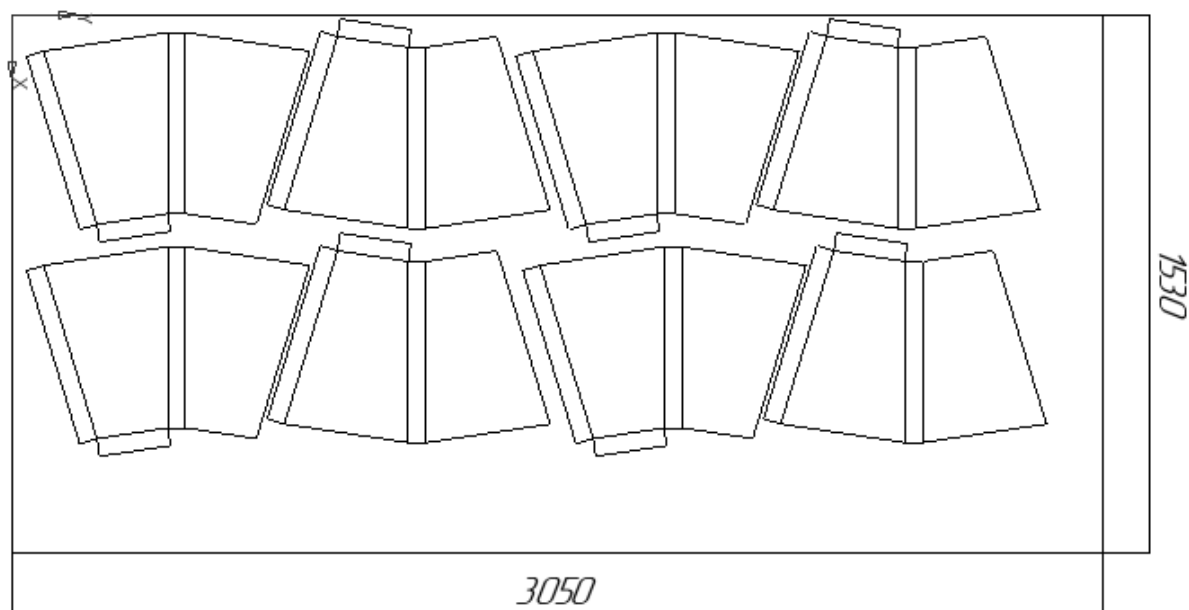


Рисунок 4.6 – Перший варіант розкладки

Другий варіант – площа листа композиту, максимально використовується для зменшення відходів, в такому випадку на листі можна додатково розмістити елементи для ще одного об'єкту (рис. 4.7). Такий підхід актуальний для серійного виробництва.

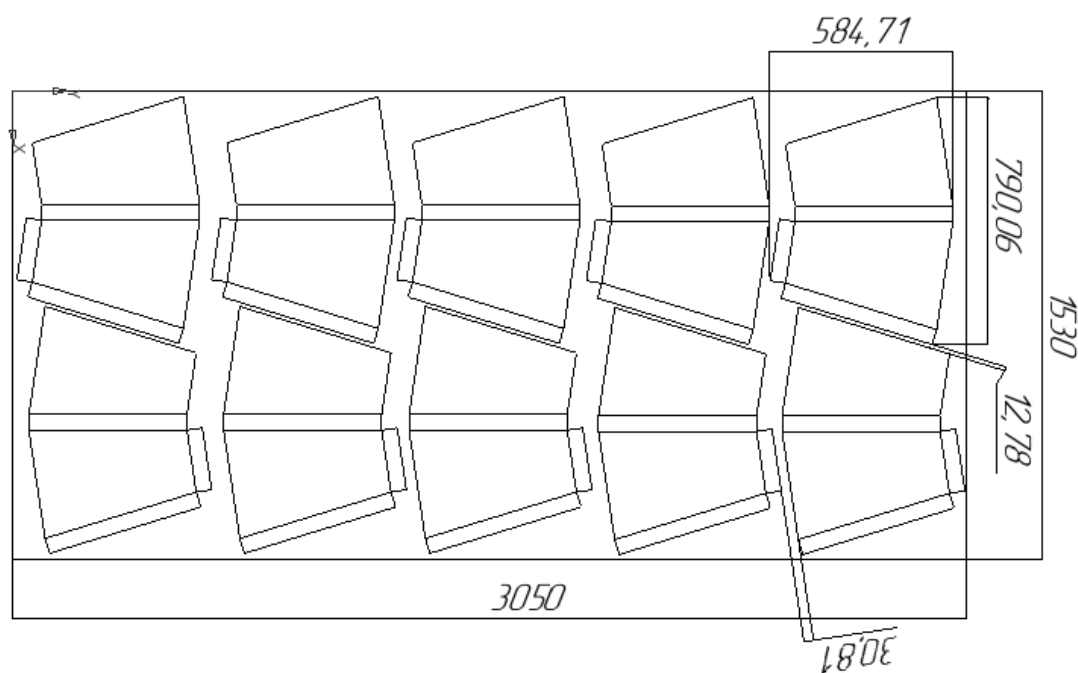


Рисунок 4.7 –Другий варіант розкладки розкрою

Розрахуємо для обох підходів показники якості розкрою - відсоток корисного виходу та кількість відходів формулами 3.4 та 3.5 відповідно.

$$П_1 = \frac{8 \cdot S_1}{S_{\text{лист.}}} \cdot 100\% = \frac{8 \cdot 335560}{1530 \cdot 3050} \cdot 100\% = 57,5\%$$

$$П_2 = \frac{8 \cdot S_1}{S_{\text{лист.}}} \cdot 100\% = \frac{10 \cdot 335560}{1530 \cdot 3050} \cdot 100\% = 71,9\%$$

Площа відходів:

$$O_1 = S_{\text{лист.}} - 8 \cdot S_1 = 4.66 - 8 \cdot 0,335 = 1.98 \text{ м}^2$$

$$O_2 = S_{\text{лист.}} - 10 \cdot S_1 = 4.66 - 10 \cdot 0,335 = 1.31 \text{ м}^2$$

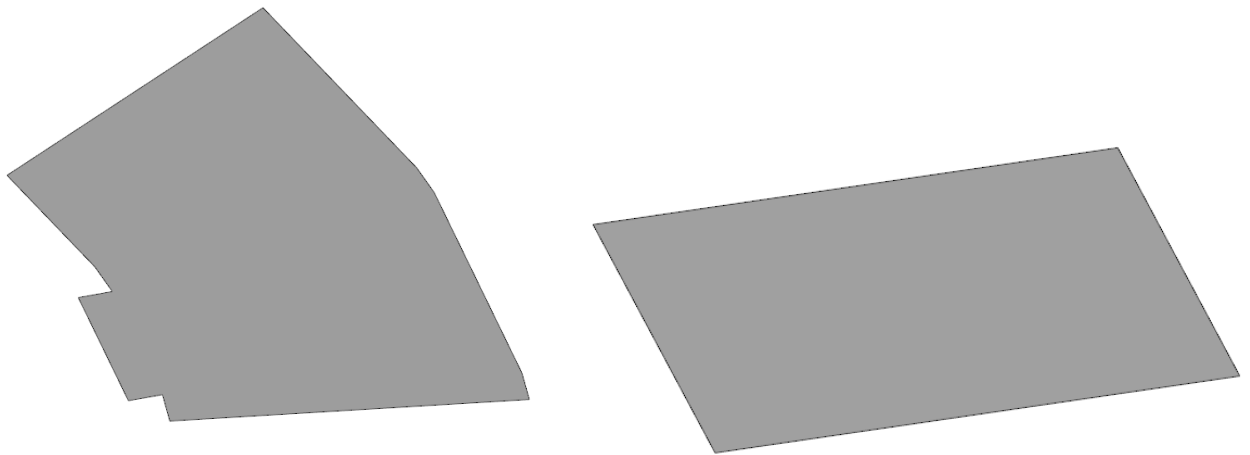


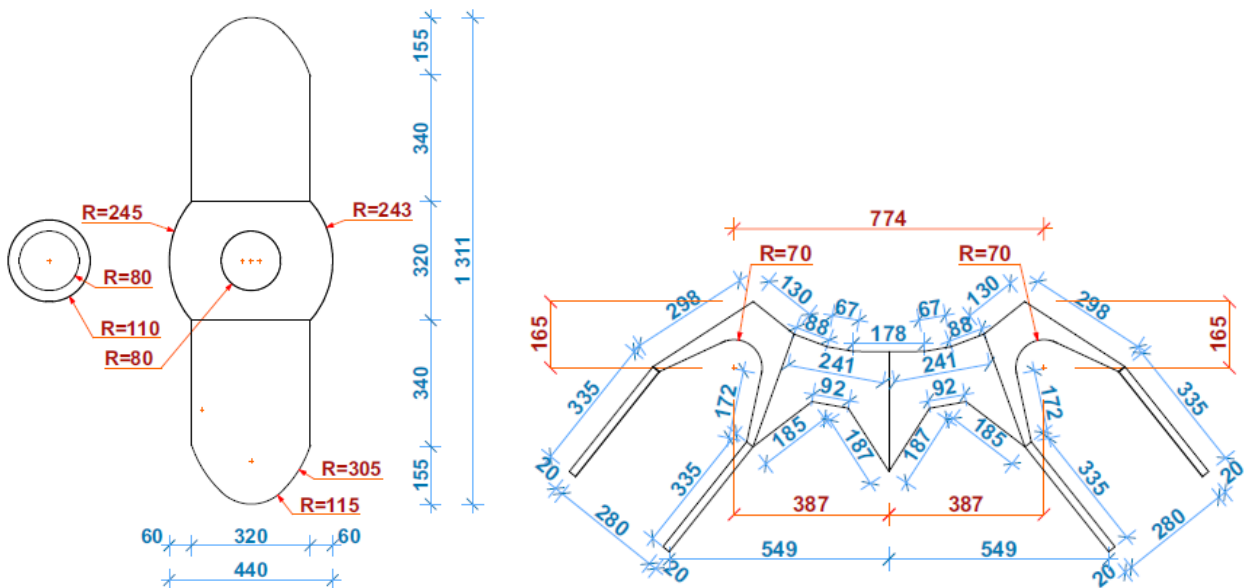
Рисунок 4.8 - Листові деталі для визначення площі

На прикладі ще одного виробу продемонструємо принцип розрахунку розгортки.

Виріб має складну форму (рис. 4.9), було поставлено завдання оптимізувати розгортку так, щоб деталь виготовляла з одного розкрою, а не з двох як було до цього (рис. 4.10).



Рисунок 4.9 – Готовий виріб



Рисонок 4.10 – Неоптимізована розгортка

Недолік першочергової розгортки була неточність складання, мала жорсткість вихідної конструкції, що додатково потребувало розробки ребер жорсткості та погана візуалізація необхідного об'єкту макетування. Також через те, що елемент складався з окремих деталей, витрачався додатковий час на складання загальної деталі, та якість дуже залежала від навичок майстра, а складність форм передбачало завищену площу використання матеріалу, що в свою чергу збільшує вартість виробу.

Було проведено реверс-інжиніринг наявної макетної деталі, та запропоновано рішення яке усуває всі недоліки старої моделі, а головне дозволяє виготовити об'єкт з одної розгортки (рис. 4.11).

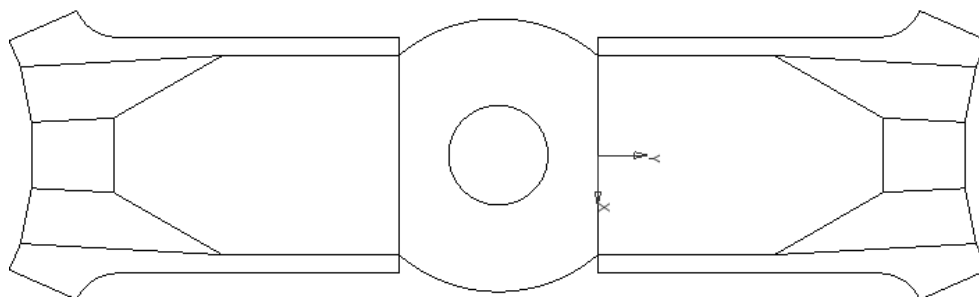


Рисунок 4.11 – Оптимізована розгортка

Для оптимізації об'єкт було умовно розділено на окремі геометричні елементи та площини для спрощення створення розгортки. Тобто для кожного елемента деталі було створено та розраховано розгортку як для найпростіших фігур, а потім було поєднано в єдине креслення. Такий метод спрощує та пришвидшує проектування деталей складної форми. На рисунку 4.11 показано принцип знаходження розмірів елементів, з використанням просторових січень, для більш точного моделювання елементів.

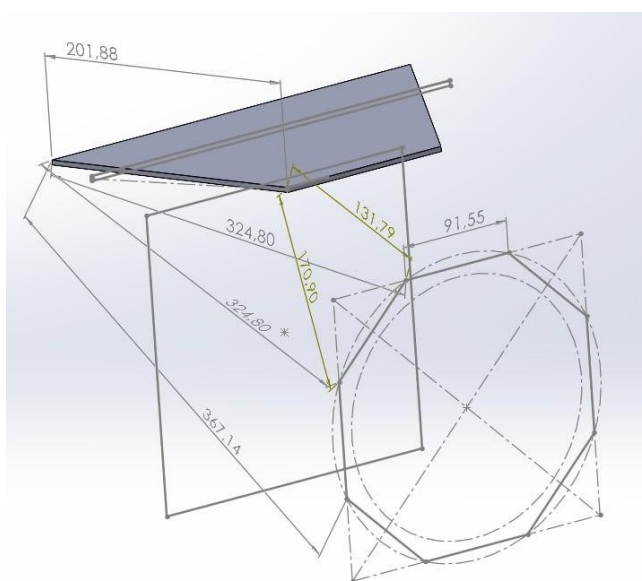


Рисунок 4.11 – Розрахунок поверхонь деталі

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 2мм. 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. 4.12).



Рисунок 4.12 - 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 збирані деталі після виготовлення.

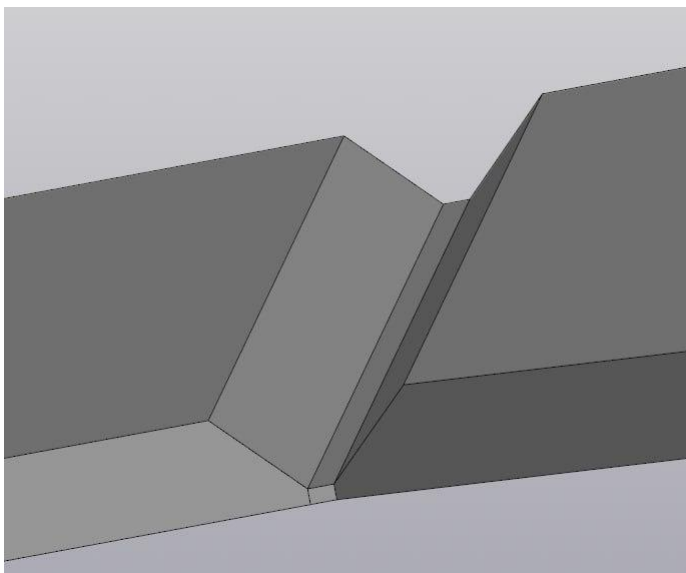


Рисунок 4.13 – Імітація пазу

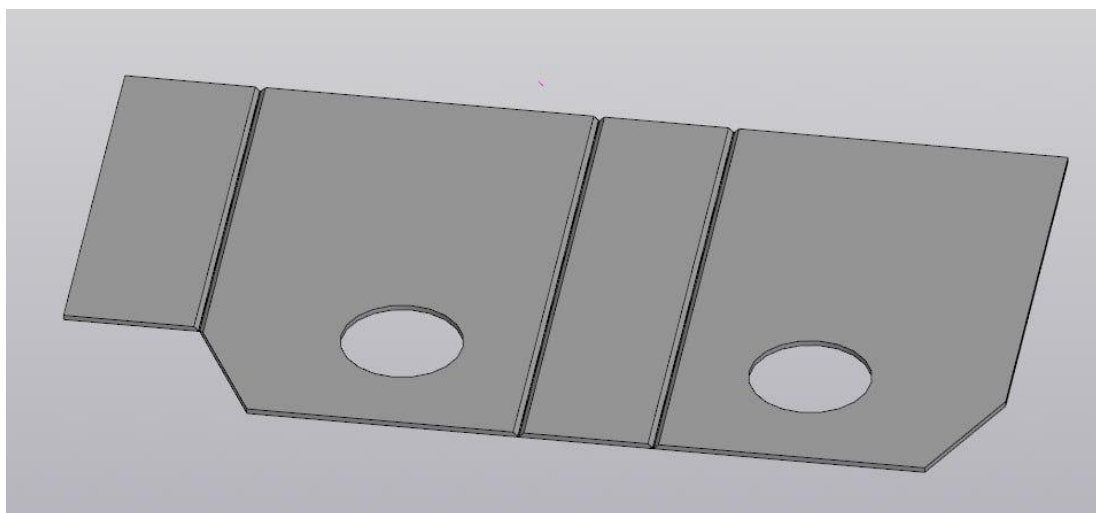


Рисунок 4.14 – Імітація розгортки моделі

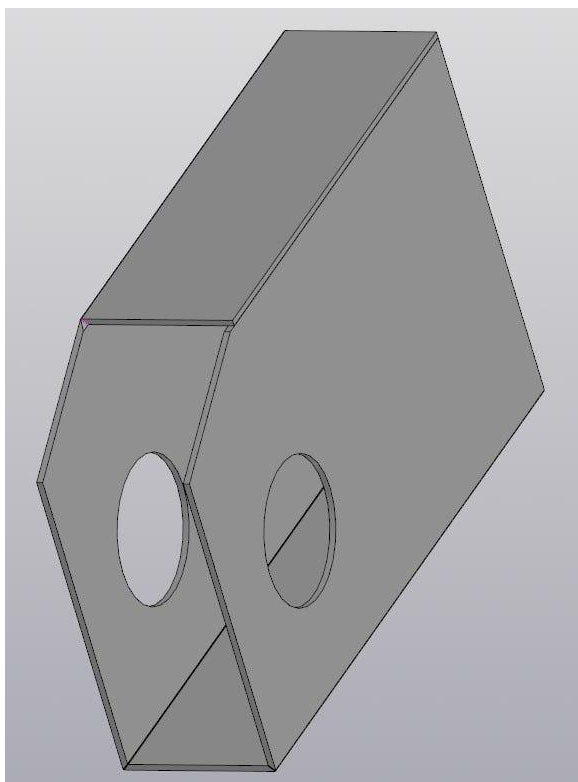


Рисунок 4.15 – Проведена симуляція згину

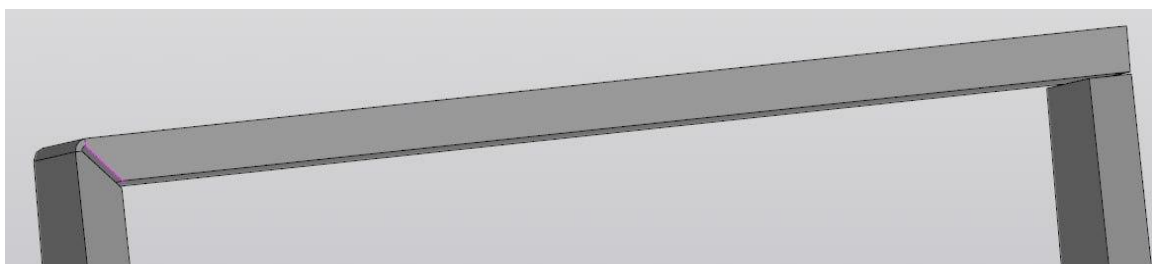
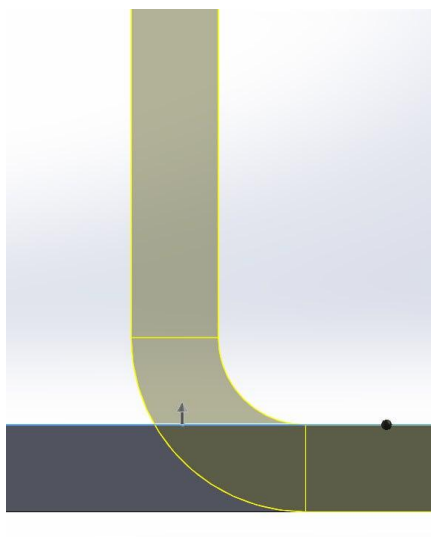
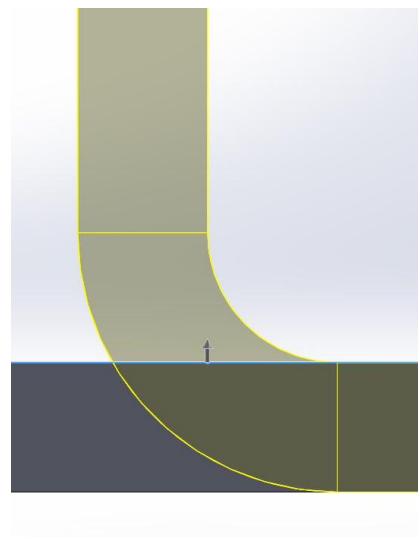


Рисунок 4.16 – Приклад згину на моделі

При імітації також було враховано К-фактор. В нашому проекті даний фактор має незначний вплив на точність, так як товщина матеріалу який піддається згинанню лише 0,4 мм. Більший вплив на напів матеріалу має ширина торця фрези яка буде використовуватись для створення пазу, для цього і було проведено симуляцію пазу. Але в подальшому, в роботі, можливе використання матеріалів які мають більшу товщину, а також технології які не передбачають фрезерування пазу, наприклад гнуття пуансонами. Тому було також проведено симуляцію по впливу К-фактору на геометрію місця згину, а також вплив вибору розміщення лінії згину на розміри деталі.



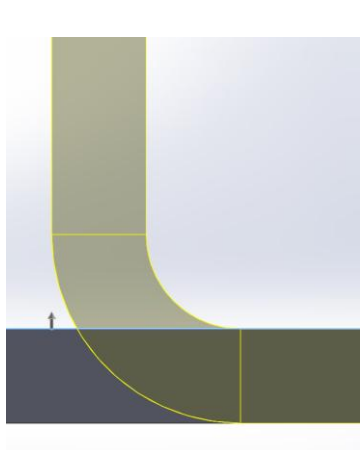
а)



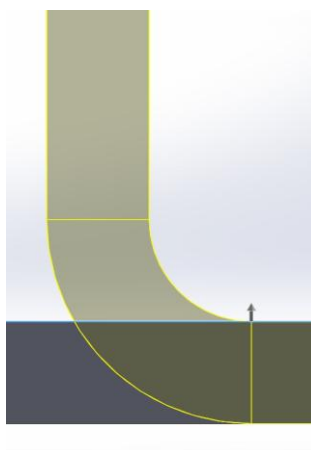
б)

а) К-фактор – 0,8, б) К-фактор – 0,1

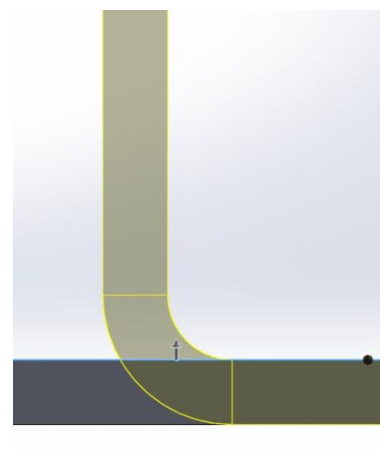
Рисунок 4.17 – Вплив К-фактору на розміщення нейтральної лінії



а)



б)



в)

а) Матеріал всередині, б) Нейтральна лінія ззовні, в) матеріал всередині

Рисунок 4.18 – Розміщення матеріалу відносно лінії згину

Кожний можливий варіант симуляції згину показує, як і куди буде загинатися матеріал.

Отже, попередня симуляція дає можливість попередньо контролювати можливі похибки при складанні деталей. Це дає змогу економити на матеріалі, за рахунок зменшення браку, та пришвидшувати створення креслень для розгортки елементів.

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 Carvesc.

Перед початком файл розкрою імпортується в форматі DXF в програму, приклад формату представлено на рисунках 4.5, 4.6, 4.11.

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).

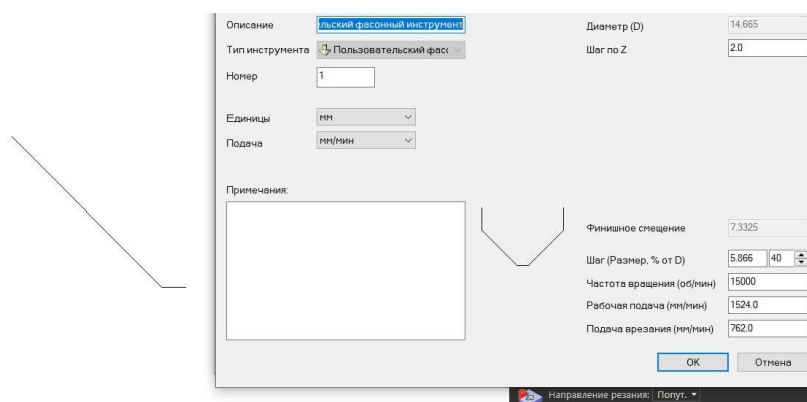


Рисунок 4.19 – Контур інструменту

Діаметр фрези 14 мм, довжина торця 2 мм.

Ну ступним кроком, необхідно виділити вектори які відповідають за розташування пазів. Для пришвидшення обробки вектори було обернуто в напрямку на зустріч один на одного, що пришвидшує обробку за рахунок зменшення переходів та холостих ходів (рис. 4.20). Для створення траєкторії було обрано команду «Обробка по контуру» - «Вздовж», 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.

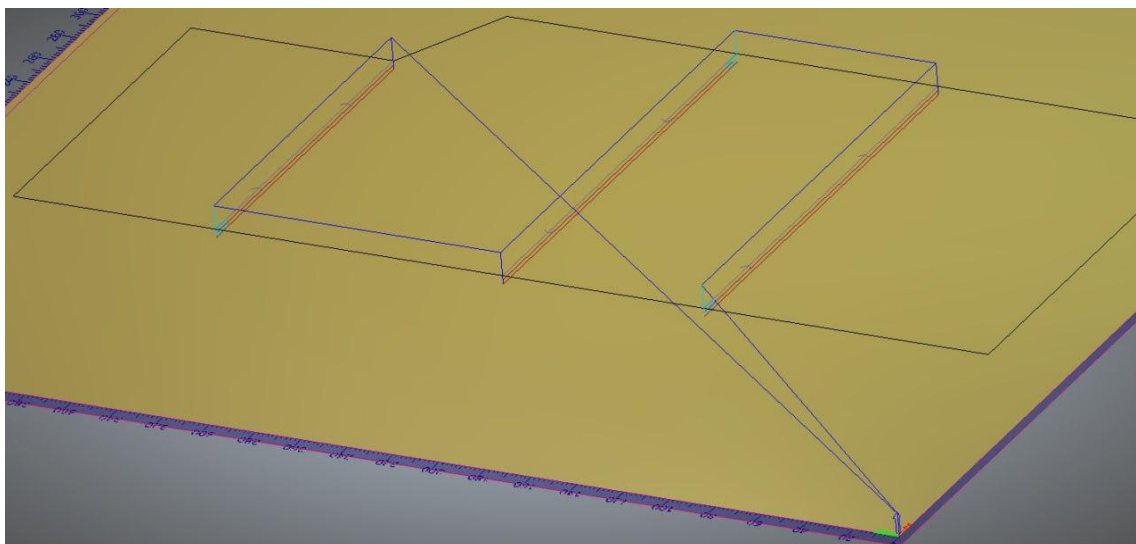


Рисунок 4.20 – Траєкторія обробки пазів

Наступний крок, це обробка контуру деталі, тобто відрізання. Для відрізання використовується однозахідна пальцева фреза діаметром 3мм. 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 4.21.

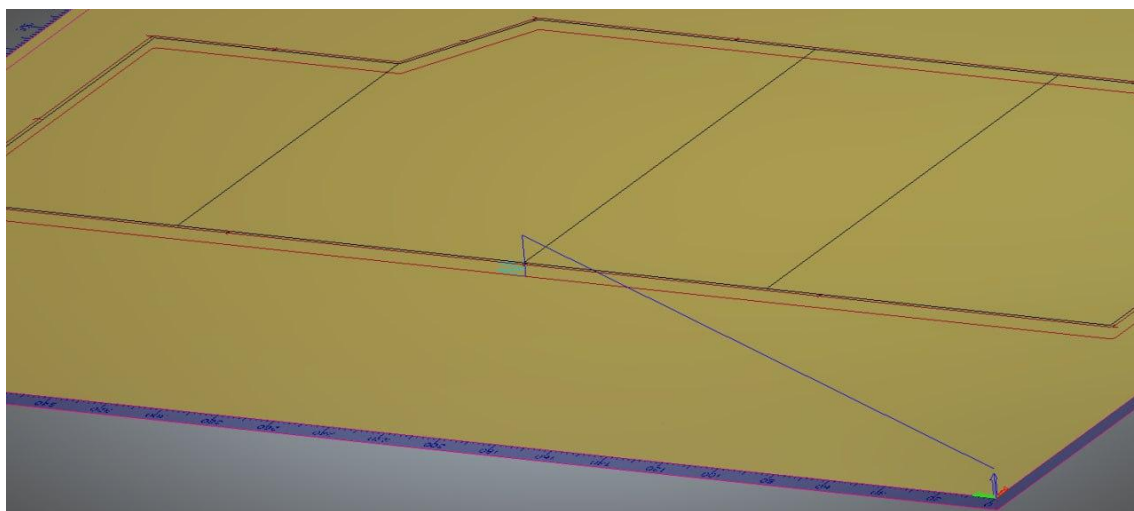


Рисунок 4.21 – Траєкторія обробки контуру

Після створення траєкторії було проведено симуляцію обробки (рис. 4.22), та отримано код управляючої програми, окремо для кожної траєкторії (рис 4.23).

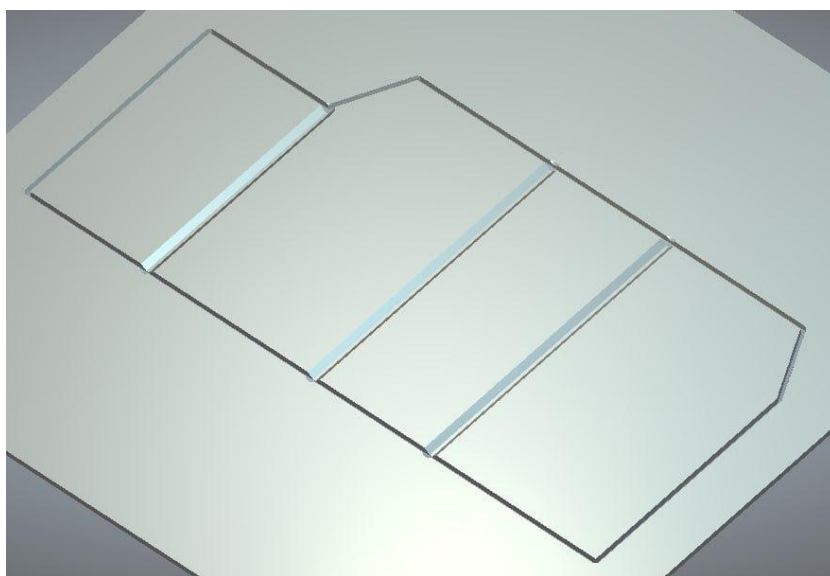


Рисунок 4.22 – Результат симуляції

S1000 M3	S1000 M3
G0 G90 G54 X0.0 Y0.0	G0 G90 G54 X0.0 Y0.0
G43 H1 Z10.0 M8	G43 H1 Z10.0 M8
G0 X148.99 Y248.16 Z10.00	G0 X150.49 Y161.89 Z10.00
G1 Z1.00 F3000	G1 Z1.00 F762
G1 Y250.00 Z0.77	G1 X160.49 Z-0.40
G1 Y258.16 Z-0.25	G1 X150.49 Z-1.80
G1 Y250.00 Z-1.27	G1 X227.01 Z-1.80 F1524
G1 Y248.16 Z-1.50	X349.47
G1 Y250.00 Z-1.73	G0 Z10.00
G1 Y258.16 Z-2.75	G0 X150.49
G1 Y250.00 Z-3.77	G1 Z-1.80 F762
G1 Y248.16 Z-4.00	G1 X160.49 Z-2.70
G1 Y250.00 F4560	G1 X150.49 Z-3.60
Y461.76	G1 X227.01 Z-3.60 F1524
X149.06 Y462.21	X349.47
X149.27 Y462.64	G0 Z10.00
X149.62 Y462.99	G0 X349.49 Y249.27
X150.05 Y463.20	G1 Z1.00 F762
X150.49 Y463.26	G1 X339.49 Z-0.40
X301.47	G1 X349.49 Z-1.80
X301.91 Y463.20	G1 X226.89 Y249.27 Z-1.80 F1524
X302.34 Y462.99	X150.49
X302.69 Y462.64	G0 Z10.00
X302.90 Y462.21	G0 X349.49 Y249.27
X302.97 Y461.76	G1 Z-1.80 F762
X302.98 Y374.51	G1 X339.49 Z-2.70
X350.19 Y350.44	G1 X349.49 Z-3.60
X350.52 Y350.21	G1 X226.89 Y249.27 Z-3.60 F1524
X350.79 Y349.89	X150.49
X350.96 Y349.50	G0 Z10.00
X351.01 Y349.10	G0 Y373.94
X350.98 Y205.60	G1 Z1.00 F762
X350.95 Y62.10	G1 X160.49 Z-0.40
X350.89 Y61.70	G1 X150.49 Z-1.80
X350.73 Y61.31	G1 X225.26 Z-1.80 F1524
X350.46 Y60.99	X301.48
X350.13 Y60.76	G0 Z10.00
X303.37 Y36.90	G0 X150.49
X303.04 Y36.78	G1 Z-1.80 F762
X302.69 Y36.74	G1 X160.49 Z-2.70
X150.49	G1 X150.49 Z-3.60
X150.03 Y36.81	G1 X225.26 Z-3.60 F1524
X149.61 Y37.02	X301.48
X149.28 Y37.35	G0 Z10.00
X149.06 Y37.77	G0 X0.00 Y0.00
X148.99 Y38.24	M17
Y248.16	M30
G0 Z10.00	%
G0 X0.00 Y0.00	
M17	
M30	
%	

Рисунок 2.23 – Коды управляющих программ

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є вироби які було виготовлено за розробленими рекомендаціями, а також оптимізовані моделі та креслення вже існуючих виробів.

Систематизація рекомендації, щодо виготовлення виробів з листового матеріалу та впровадження раціонального методу реверс-інжинірингу, значно підвищує швидкість та якість розробки макетів. Також економія матеріалу зменшила вартість готового виробу, що підвищує конкурентоспроможність на ринку.

Всі розглянуті методи були відпрацьовані на сучасному підприємстві та в подальшому дадуть змогу новим виробам вийти на міжнародний ринок.

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. 9.Чепков І.Б. Теорія озброєння.Науково-технічніпроблемита завдання. Т.4. Воєнно-технічнаполітикапровідних країнсвіту: монографія/ І.Б. Чепков, В.В.Зубарєв, В.О. Смірнов. К.: ВД ДмитраБураго,2016. 388 с
3. Várady T, Martin RR, Cox J. Reverse engineering of geometric models— an introduction. Computer-Aided Design. 1997;29(4):255-68. doi: 10.1016/S0010-4485(96)00054-1.
4. Zeng S, Chen J, Cho YK. User exemplar-based building element retrieval from raw point clouds using deep point-level features. Automation in Construction. 2020;114:103159. doi:10.1016/j.autcon.2020.103159. 8
5. Tanaka M, Terano M, Higashino C, Asano T. A Learning Method for Reconstructing 3D Models from Sketches, Computer-Aided Design & Applications, 2019;16(6):1158-70. doi: 10.14733/cadaps.2019.1158- 1170.
6. Скляренко 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 маскувння ”, „Макети і хибні споруди.” / Ниник Ю.Л., Рівне : НУВГП, 2011. 31 стор.