

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Розробка оснастки для вальцювання конусів з листового
матеріалу**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21

Антосюк Василь Сергійович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Сичук Віктор Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки
Другий (магістерський) рівень
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
_____ Р.Г. Редько
“ _____ ” _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Антосюк Василь Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу, керівник кваліфікаційної роботи магістра Сичук В.А. затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р., № 391/01-07.
2. Строк подання студентом роботи 1.12.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: геометричні розміри конуса з листового металу, 3х
осьовий _____ фрезерний _____ верстат _____ 3
ЧПК. _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ. РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ. РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ. Висновок. Список використаних джерел.

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

Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Загальний	Сичук В.А.		
Конструкторський	Сичук В.А.		
Технологічний	Сичук В.А.		
Дослідний	Сичук В.А.		

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Загальна частина.</i>		
2.	<i>Конструкторська частина.</i>		
3.	<i>Технологічна частина.</i>		
4.	<i>Дослідна частина.</i>		
5.	<i>Представлення роботи до захисту</i>		
6.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент _____

(підпис)

Антосюк В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Сичук В.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Антосюк В.С. Розробка оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 Прикладна механіка спеціалізації технологія машинобудування. – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2025.

Сутність роботи полягає проектування оснащення за допомогою якого можна вальцювати конуси, заготовки яких являє плоский листовий матеріал. Оснащення складається з двох ключових частин, а саме поворотний стіл на якому розміщена заготовка, та поворотний механізм що повертає конусну оправку на яку і намотується конус

Ключові слова: поворотний стіл, листовий матеріал, вальцювання конусу.

ANNOTATION

Antosyuk V.S. Development of equipment for rolling cones from sheet material. – Manuscript.

Master's Qualification for Qualification of the Second (Master's) Level of Higher Education in Specialty 131 Applied Mechanics of Specialization mechanical engineering technology. - Lutsk National Technical University. - Lutsk, 2025.

The essence of the work is to design equipment with which it is possible to roll cones, the workpieces of which are flat sheet material. The equipment consists of two key parts, namely a turntable on which the workpiece is placed, and a rotary mechanism that rotates the conical mandrel on which the cone is wound

Keywords: turntable, sheet material, cone rolling.

Зміст

Вступ.....	
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	
1.1 Конусна прокатка листового металу	
1.2 Основні технологічні особливості конусної прокатки металевих листів.....	
1.3 Опис операційних етапів конусної прокатки металу	
1.4 Технологія прокатування конуса.....	
1.5 Запобіжні заходи щодо прокатки конусів	
1.6 Висновки до розділу.....	
РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	
2.1 Схема роботи оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу....	
2.2 3D моделювання основних деталей та вузлів оснастки для вальцювання конусів.....	
2.3 Збірка 3D моделей у загальний робочий вузол.....	
2.4 Висновки до розділу.....	
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Налагодження технологічного процесу виготовлення деталі на фрезерному верстаті з ЧПК.....	
3.2 Електрична схематична компоновка роботи оснастки.....	
3.3 Висновки до розділу.....	
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	
4.1 Виготовлення необхідних деталей на 3х осьовому фрезерному верстаті з системою числового програмного керування.....	
4.2 Збірка оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу.....	
4.3 Експеримент вальцювання конусу з листового матеріалу.....	
4.4 Висновки до розділу.....	
Висновок.....	
Список використаних джерел.....	

ВСТУП

Вальцювання конічних виробів із заготовок з листового матеріалу є одним із важливих та поширених процесів у сучасному машинобудуванні, приладобудуванні та виробництві тонкостінних конструкцій. Такі вироби широко застосовуються в енергетиці, хімічній промисловості, авіаційній техніці, вентиляційних системах та інших галузях, де необхідне виготовлення оболонок складної просторової форми.

Актуальність теми магістерської роботи зумовлена зростанням потреби у виготовленні конічних деталей з листового матеріалу з високою точністю геометричних параметрів, а також обмеженою кількістю спеціалізованого обладнання для вальцювання конусів, особливо в умовах дрібносерійного та індивідуального виробництва. Розробка власного технологічного обладнання дозволяє підвищити гнучкість виробництва, знизити собівартість виготовлення виробів та адаптувати процес під конкретні технологічні вимоги.

Мета роботи полягає у розробці, виготовленні та дослідженні обладнання для вальцювання конусів із заготовок з листового матеріалу, а також у відпрацюванні технологічного процесу формоутворення конічних виробів із забезпеченням необхідної точності та якості.

Об'єкт дослідження – процес вальцювання конусів із заготовок з листового матеріалу.

Предмет дослідження – конструкція обладнання для вальцювання конусів, параметри процесу формоутворення, а також вплив технологічних режимів на геометричну точність та якість поверхні конічних виробів.

Методи дослідження включають аналіз існуючих способів вальцювання конічних деталей, проектування конструкції вальцювального обладнання в САД-середовищі, виготовлення дослідного зразка установки, експериментальне вальцювання конусів із листового матеріалу, а також оцінку отриманих геометричних параметрів і якості виготовлених виробів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці та обґрунтуванні конструкції обладнання для вальцювання конусів, яке забезпечує можливість формування конічних деталей різних типорозмірів із листового матеріалу, а також у дослідженні впливу параметрів процесу на точність формоутворення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості практичного застосування розробленого та виготовленого обладнання для вальцювання конусів у виробничих умовах, а також у використанні результатів роботи в навчальному процесі та при виконанні інженерних розрахунків і конструкторських розробок.

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні всіх етапів роботи, а саме: аналізі існуючих технологій вальцювання, проектуванні конструкції обладнання, виготовленні вальцювальної установки, проведенні експериментальних досліджень та аналізі отриманих результатів.

Апробація результатів дослідження здійснювалася шляхом обговорення основних положень та результатів роботи на науково-практичних семінарах кафедри.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота містить вступ, 4 розділи, висновки та список використаних джерел. Робота викладена на ___ сторінках машинописного тексту, містить ___ рисунків та ___ таблиць. Список використаних джерел включає ___ найменувань.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Конусна прокатка листового металу

Опануємо та проаналізуємо матеріал про конусну прокатку листового металу користуючись посиланням [1].

Конусна прокатка листового металу зазвичай стосується процесу прокатки металевого листа в конічний циліндр (конус). Це поширений процес формування форми в обробці листового металу. Він відрізняється від звичайної прокатки (прокатки в циліндричну форму), оскільки конусна прокатка передбачає різні діаметри на обох кінцях, утворюючи скошений конус.

Конусна прокатка – це процес формування, в якому металевий лист обробляється в конічний циліндр (тобто конус) за допомогою процесу прокатки. Шматок трапецієподібного або віялоподібного листа прокатується в конус, що нагадує трубу або лійку, за допомогою листопркатного верстата. Цей процес називається «конусною прокаткою».

Визначення:

Конусне вальцювання металевих листів – це процес формування листового металу, в якому використовується вальцювальний верстат для згинання листа вздовж нерівних радіусів шляхом регулювання положення ролика та тиску для формування конічної структури з різними діаметрами на обох кінцях.

Типові характеристики конічної вальцювання металевих листів:

Зовнішній вигляд	Конічний циліндр, один кінець якого більший за інший
Форма заготовки	Зазвичай це віялоподібна або трапецієподібна пластина
Обладнання, що використовується	Трироликовий або чотирироликовий листопркатний верстат з регульованим

положенням роликів

Галузі застосування Вентиляційні канали, воронки, димоходи,
конічні бочки, механічні деталі тощо.

1.2 Основні технологічні особливості конусної прокатки металевих листів



Рисунок 1.1 – Обладнання конусної прокатки металевих листів

Ключові особливості процесу конусної прокатки листового металу головним чином відображаються в наступних аспектах, які визначають його режим роботи та складність:

1) Спеціальна форма пластини:

Замість прямокутних пластин зазвичай використовуються трапецієподібні або віялоподібні пластини.

Під час розгортання необхідно виконувати точний розрахунок розгортання відповідно до розміру конуса. Діаграма розгортання являє собою переріз кільцевого віяла.

2) Метод вальцювання відрізняється від звичайного вальцювання:

Звичайне вальцювання – це вальцювання з однаковим радіусом (однаковий діаметр з обох боків).

Конічне вальцювання вимагає нерівних радіусів з обох боків, причому один бік щільний, а інший – вільний під час процесу вальцювання, утворюючи конусність.

3) Ролик потрібно регулювати ексцентрично:

Під час прокатки конуса верхній або нижній ролик потрібно регулювати аксіально (ексцентрично), щоб створити більшу силу згинання з одного боку пластини для формування конуса.

Деякі спеціальні верстати для прокатки пластин оснащені пристроями конічної прокатки або функціями електричного регулювання.

4) Точність формування залежить від досвіду та налаштування:

Під час процесу конічної прокатки листового металу можуть виникати такі проблеми, як відхилення, ковзання, нерівномірна округлість та нещільний виступ.

Оператор повинен мати великий досвід та контролювати траєкторію та кут прокатки шляхом поступового точного налаштування.

5) Готовий виріб потребує подальшої обробки:

Після прокатки зазвичай необхідно виконати такі процеси, як підгонка, зварювання та корекція.

Деякі конуси потрібно обрізати або надати їм форму для покращення точності та зовнішнього вигляду.

6) Нерівномірний розподіл напружень:

Під час процесу конічної прокатки листового металу дві сторони пластини піддаються різним силам, що призводить до відскоку матеріалу, деформації або розтріскування, особливо в товстих пластинах або конструкціях з великим конусом.

7) Високі вимоги до обладнання:

Рекомендується використовувати тривалковий симетричний листопрокатний верстат або чотиривалковий листопрокатний верстат з функцією конусної прокатки.

Для великогабаритних або товстих листопрокатних конусів може знадобитися спеціалізоване обладнання або листопрокатні верстати з ЧПУ.

1.3 Опис операційних етапів конусної прокатки металу

Операційні етапи конусної прокатки можна коротко розділити на такі ключові ланки, які підходять для обробки конічних циліндрів за допомогою трироликкових або чотирироликкових листопрокатних верстатів:

1) Накресліть діаграму розгортки:

Відповідно до таких параметрів, як діаметр більшого кінця, діаметр меншого кінця, висота тощо готового конуса.

Обчисліть довжину твірної та кут розгортки.

Отримайте віялоподібну або трапецієподібну розгорнуту форму пластини.

Для розробки дизайну розгортки можна використовувати креслення в САПР або ручну геометрію.

2) Підготовка матеріалу:

Необхідно вирізати металеві пластини (вуглецева сталь, нержавіюча сталь, алюміній тощо) відповідно до розміру схеми розробки.

Необхідно зачистити поверхню пластини від задирок та в подальшому тримати її рівною та чистою.

3) Попереднє згинання:

Попередньо необхідно зігнути обидва кінці пластини, щоб зменшити ефект прямолінійності першої та останньої ділянок прокатки. Це можна виконати за допомогою вальцьового верстата або обладнання для попереднього згинання.

4) Регулювання вальцьового верстата:

Варто відрегулювати ролик вальцьового верстата, щоб один бік був ексцентрично зміщений для формування конуса.

Необхідно контролювати амплітуду зміщення відповідно до розміру кута конуса.

Функцію вальцювання конуса можна ввімкнути для обладнання з певними можливостями.

5) Початок прокатки:

Необхідно подати лист на ролики у встановленому напрямку та повільно запустіть машину.

Варто постійно слідкувати за процесом прокатки в режимі реального часу, щоб запобігти відхиленню або ковзанню листа.

Необхідно точно відрегулювати положення верхнього/нижнього ролика відповідно до ситуації прокатки.

6) Шовне з'єднання:

Після прокатування необхідно відрегулювати обидва кінці, щоб закрити шов.

Варто перевірити округлість конуса та зазор між з'єднаннями, а також треба виконати локальне формування.

7) Зварювання та корекція:

Точкове або повне зварювання шва.

При потребі варто відшліфувати внутрішню та зовнішню поверхні та за необхідності виправити округлість.

Для високоточних вимог також може бути виконано механічне формування.

8) Перевірка та подальша обробка

Треба обов'язково перевірити розмір, округлість, конусність, якість зварювання тощо.

За потреби варто виконати профілактику іржі, обробку напиленням або продовжити складання.

1.4 Технологія прокатування конуса



Рисунок 1.2 – Обладнання прокатки металевих конусів

1) Етап підготовки:

– Очищення параметрів розміру

Діаметр великого кінця (D_1);

Діаметр малого кінця (D_2);

Висота конуса (H);

Товщина пластини (t);

– Розрахуйте та намалюйте діаграму розгортки

Діаграма розгортки зазвичай являє собою круговий сектор. Внутрішній та зовнішній радіуси дуг та кут розгортки обчислюються за геометричним співвідношенням конуса.

Для допомоги в розрахунку можна використовувати САПР або формули.

2) Регулювання обладнання:

– Необхідно вибрати відповідний конусний вальцювальний верстат для листового металу

Якщо лист великий і товстий, рекомендується використовувати три- або чотирироликівий вальцювальний верстат, бажано з функцією конусного вальцювання (наприклад, верхній ролик можна нахилити та регулювати).

Якщо це лише невелика конічна заготовка, можна обрати доступний спеціальний конусний вальцювальний верстат.

– Треба відрегулювати зміщення роликів

Для цього необхідно змістити один бік верхнього або нижнього ролика відповідним чином, щоб утворити різницю кутів.

Далі треба затягнути один бік і послабити інший, щоб досягти ефекту конічного вальцювання.

3) Етапи процесу прокатки:

– Завантаження пластини

Треба помістити розрізану віялоподібну або трапецієподібну пластину в прокатний верстат.

Треба переконатися, що великий кінець знаходиться на тугому боці, а малий кінець – на вільному.

– Початок прокатки

Треба повільно запусити обладнання та спостерігати за траєкторією руху пластини.

При потребі треба регулювати ступінь ексцентриситету в режимі реального часу, щоб забезпечити рівномірну конусність.

Варто уникати відхилень, стрибків матеріалу, ковзання та інших проблем.

– Прокатка партіями (за необхідності)

Для великих конусностей або товстих пластин можна використовувати двоступеневий метод або метод багаторазового точного налаштування подачі для сегментного прокатки.

4) Післяобробка;

– Вирівнювання шва

Після вальцювання треба перевірити вирівнювання обох сторін.

Якщо є нерівність або неокруглість, можна використовувати домкрат, молоток або спеціальну закруглювальну машину для регулювання.

– Зварювання та шліфування

Точкове зварювання та проварювання швів.

При потребі прошліфувати, видалити шлак та надати форму, щоб забезпечити акуратну та правильну поверхню.

– Перевірка готового виробу

Треба перевірити, чи відповідають конусність, округлість та розмір стандартам.

Якщо є помилка, треба її виправити або прокатати відповідним чином.

1.5 Запобіжні заходи щодо прокатки конусів

Під час процесу прокатки конусів існує кілька ключових запобіжних заходів для забезпечення якості формування, безпеки та захисту обладнання:

1) Точне розгортання заготовки:

Розрахунок діаграми розгортання має бути точним, особливо кут, радіус та довжина твірної не повинні бути неправильними.

Діаграма розгортання здебільшого має віялоподібну або трапецієподібну форму. Помилки безпосередньо призведуть до неправильного скручування або труднощів зі зшиванням.

2) Правильне регулювання роликів:

Під час прокатки конусів ролик має бути ексцентрично зміщений, інакше конусність не можна буде прокатати.

Кут зміщення слід регулювати відповідно до розміру конусності. Надмірна або мала ексцентриситетність призведе до поганої прокатки.

Листопрокатний верстат з функцією конічної прокатки зручніше регулювати.

3) Запобігання відхиленню під час прокатки:

Через нерівномірне зусилля з обох боків, лист легко відхиляється під час прокатки конусів.

Необхідно повільно просуватися під час роботи та точно регулювати тиск і положення в будь-який час для підтримки симетрії.

4) Треба враховувати товщину листа з конусністю:

Чим товщий лист і чим більша конусність, тим складніше його прокатувати.

Для товстих пластин з великою конусністю необхідно кілька разів регулювати сегментне прокатування, а також використовувати гаряче гнуття та сегментне зварювання.

5) Попереднє згинання має бути достатнім:

Обидва кінці пластини необхідно попередньо зігнути, щоб зменшити довжину прямої кромки в місці з'єднання та полегшити з'єднання.

В іншому випадку виникнуть такі проблеми, як деформація та труднощі зі стикуванням.

6) Контроль точності з'єднання:

Після вальцювання можуть бути отвори та нерівні краї з обох боків, що потребує ручної або механічної допомоги для заокруглення та з'єднання.

Нещільне з'єднання вплине на подальше зварювання та міцність конструкції.

7) Зварювання має бути рівномірним та своєчасно формованим:

Перед зварюванням позиціонування має бути точне, щоб уникнути усадки та деформації.

Якщо після зварювання є деформація, слід виконати корекцію конуса та надати форму.

8) Вимоги техніки безпеки:

Під час процесу прокатки суворо заборонено торкатися руками області ролика.

Використовуйте захисні рукавички, окуляри тощо, щоб запобігти відскоку або порізу об заготовку.



Рисунок 1.3 – Автоматизоване обладнання для прокатки металевих конусів

9) Вибір обладнання має бути відповідним:

Рекомендується використовувати трироликівий або чотирироликівий листопрокатний верстат з функцією конічної прокатки.

Для надтовстих і надвеликих заготовок можна розглянути можливість використання гідравлічного важкого листопрокатного верстата.

10) Не можна ігнорувати перевірку готової продукції:

Після формування необхідно перевірити ключові показники, такі як конусність, округлість, зазор у з'єднанні та якість зварювання.

Вироби зі значними помилками слід виправити або відбракувати.

1.6 Висновки до розділу

Процес прокатки металевої пластини в конус полягає у використанні прокатки пластин для прокатки віялоподібної або трапецієподібної пластини

в конічний циліндр, один кінець якого більший за інший. Ця операція складніша за звичайну прокатку та вимагає розумних навичок налаштування обладнання та експлуатації.

- Товщина пластини: товсті пластини важче прокатувати та потребують розумного попереднього згинання.

- Розмір конусності: чим більша конусність, тим складніше це зробити. Рекомендується спочатку протестувати коротку ділянку.

- Досвід оператора: операція прокатки конуса вимагає співпраці кваліфікованих працівників, і досвід є вирішальним.

- Заходи безпеки: суворо заборонено наближатися до зони прокатки руками та обов'язково носити захисне спорядження.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Схема роботи оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу

Проаналізувавши інформацію щодо виготовлення конусів з листового матеріалу можна запропонувати наступну конструкцію. На рисунку 2.1 представлена схема роботи оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу.

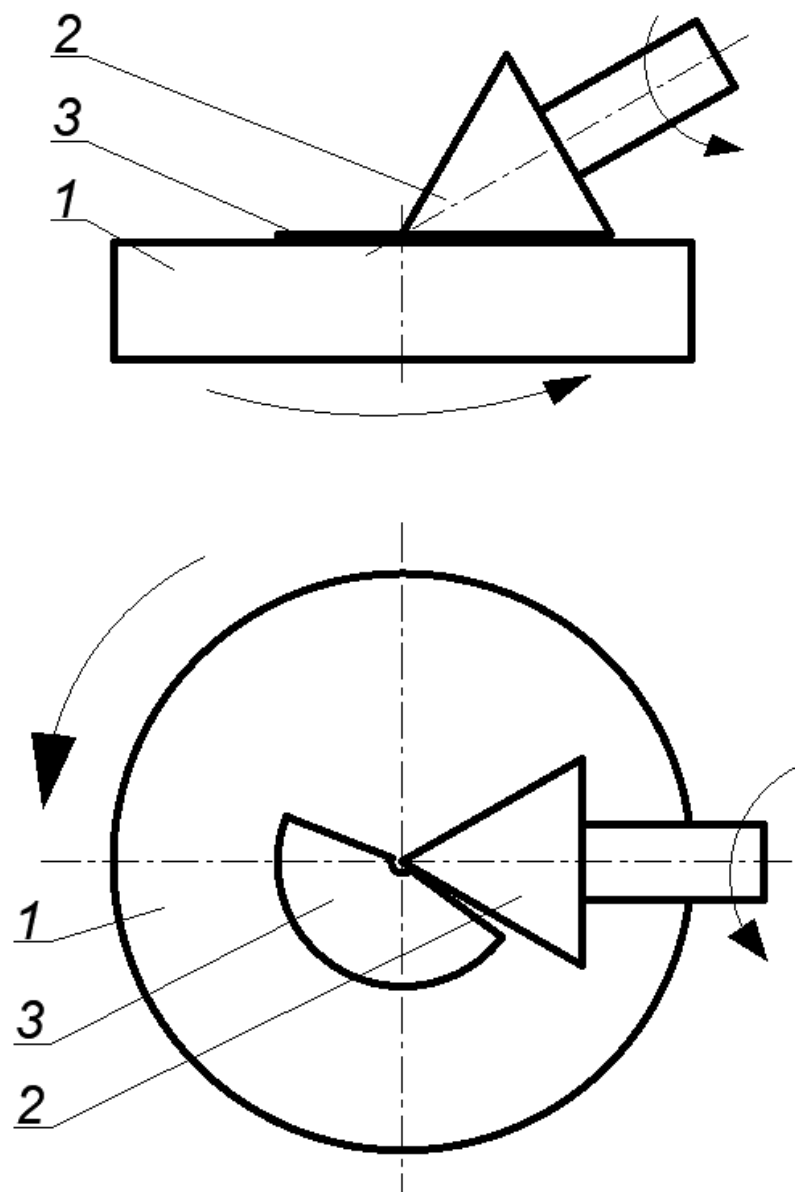


Рисунок 2.1 – Схема роботи оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу

Робота запропонованої оснастки полягає в наступному. На поворотному столі 1 розташована заготовка 3. Конусна оправка 2 розташована під кутом до поворотного столу, також дана оправка обертається навколо своєї осі. Тобто відбувається таке явище що заготовка подається до обертальної оправки таким чином «намотується» на оправку.

2.2 3D моделювання основних деталей та вузлів оснастки для вальцювання конусів

Для конструювання усіх необхідних елементів конструкції варто скористатися програмним забезпеченням SolidWorks. В даному програмному забезпеченні дуже зручно моделювати тривимірні деталі та при необхідності здійснювати їм зміни чи то виправлення.

Приведемо приклад моделювання накладки на поворотний стіл спеціальної платформи на якій буде розміщена заготовка з якої буде виготовлятися конус. Застосуємо функцію Revolved Boss/Base та в режимі ескізу нарисуємо креслення з необхідними розмірами (рис. 2.2).

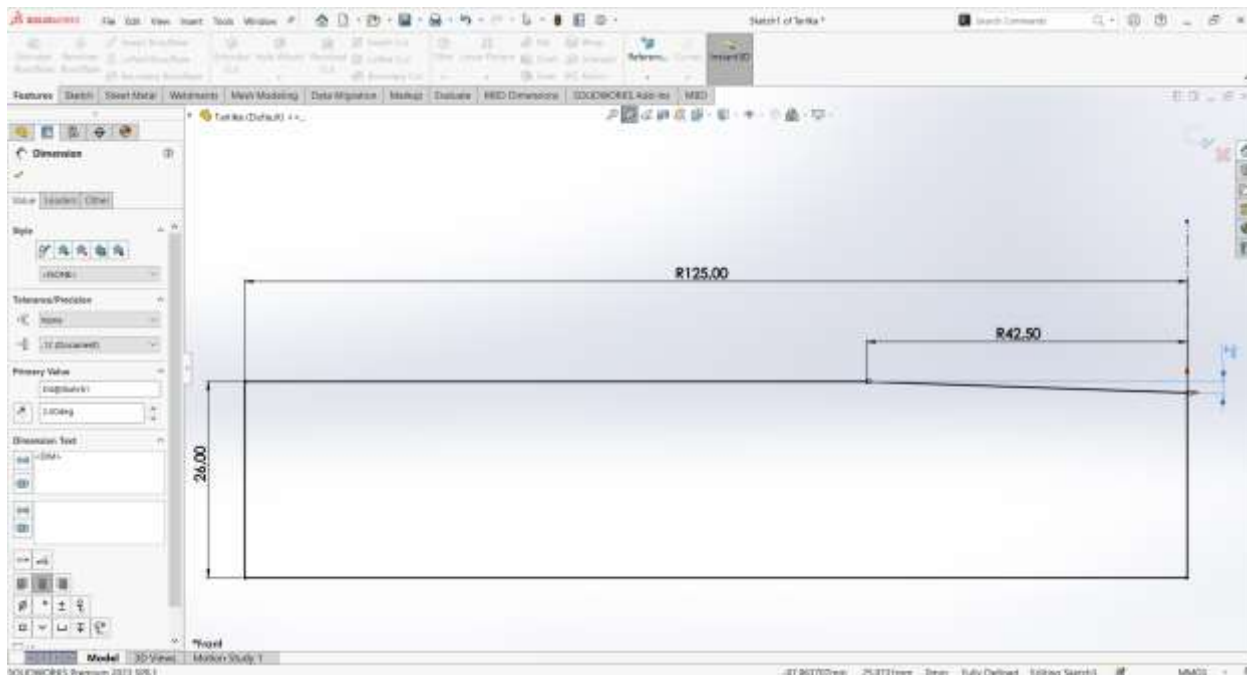


Рисунок 2.2 – Побудова креслення в режимі ескізу спеціальної платформи для заготовки

Далі виходимо з режиму ескізу і провертаємо його навколо центральної осі на 360° (рис. 2.3) тим самим утворюємо деталь типу тарілка.

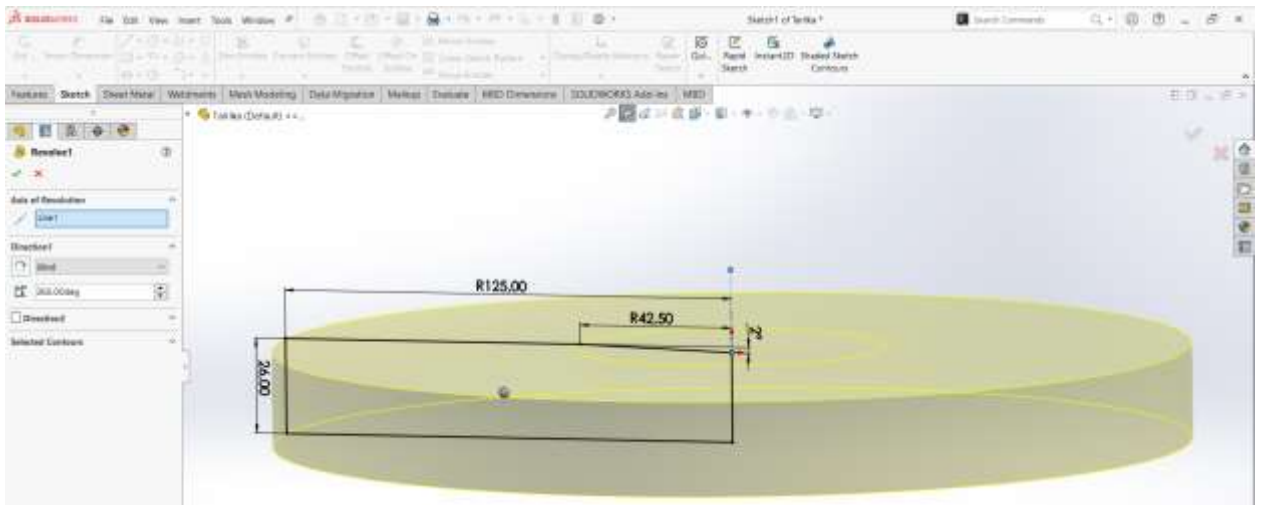


Рисунок 2.3 – Налаштування параметрів обертання навколо осі

Далі нижню частину вище побудованої деталі необхідно «зрізати» залишивши невелику циліндричну частину. Отже в режимі ескізу будуюмо коло визначеного діаметру (рис. 2.4), тобто 16.5 мм.

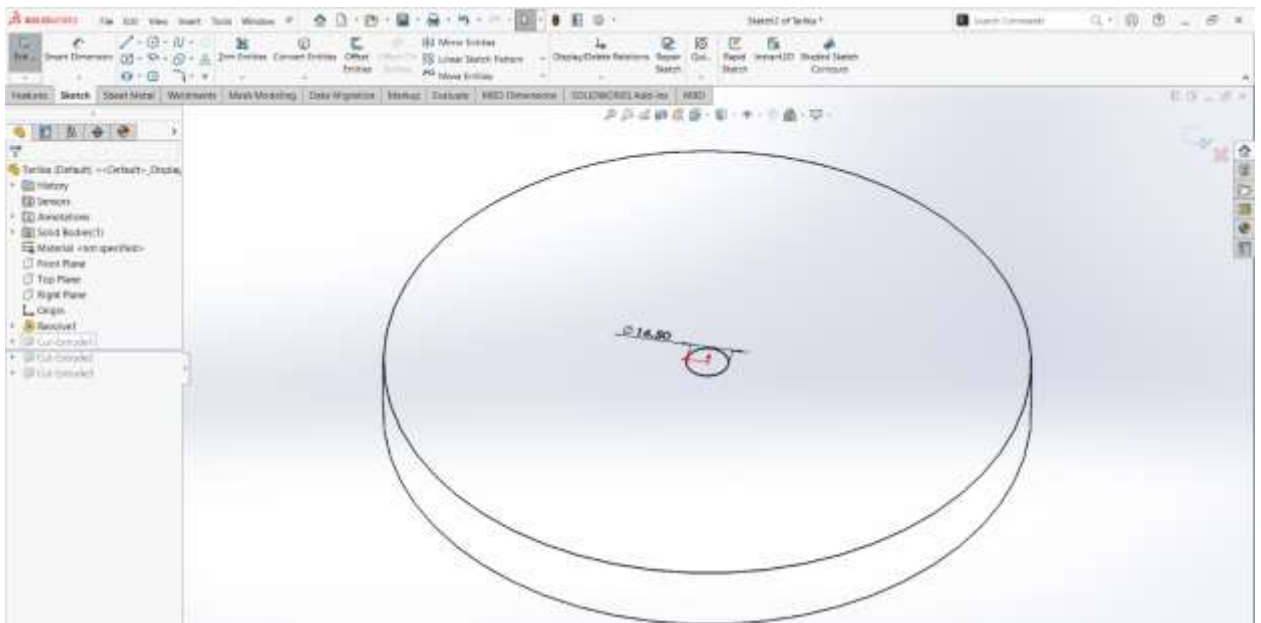


Рисунок 2.4 – Налаштування параметрів обертання навколо осі

Далі при налагодженні вирізування (рис. 2.5) необхідно вибрати щоб виріз відбувся поза межами кола та на глибину 10 мм.

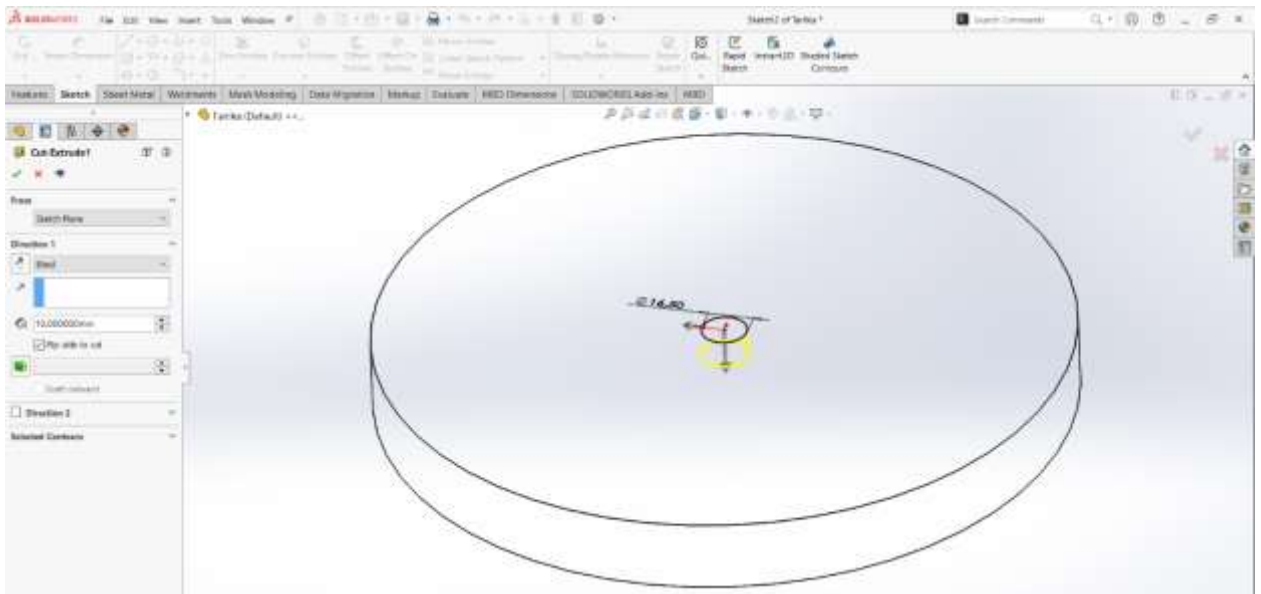


Рисунок 2.5 – Налаштування параметрів обертання навколо осі

В результаті отримаємо проміжну 3D деталь (рис. 2.6).

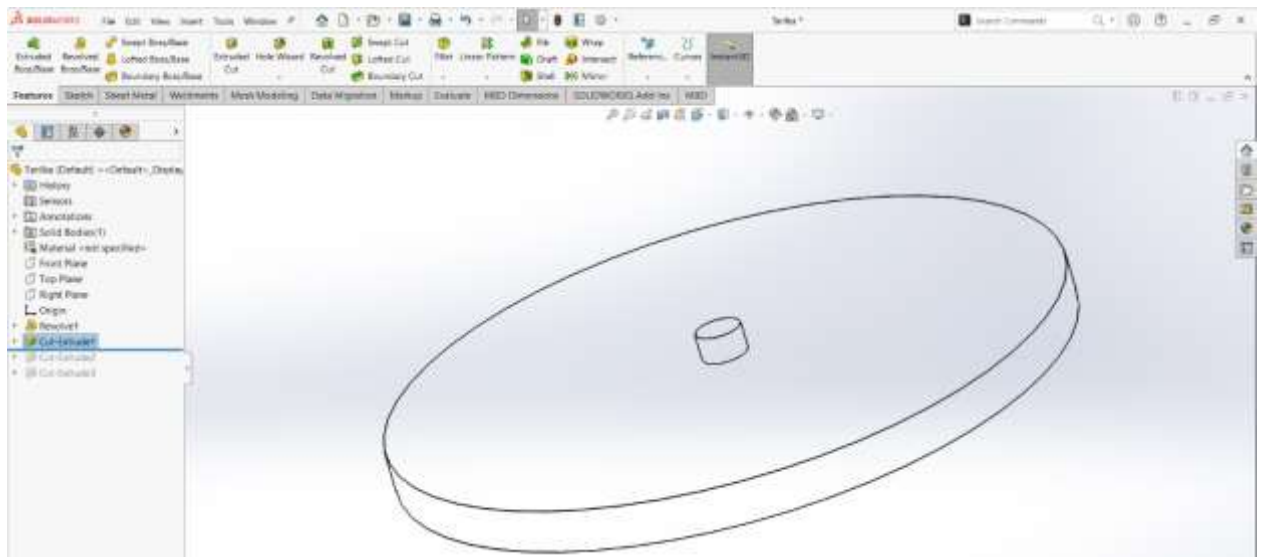


Рисунок 2.6 – Побудована проміжна 3D деталь

Далі для центровки деталі типу тарілка знову ж таки за допомогою функції вирізування будемо отвір визначеного діаметру (рис. 2.7).

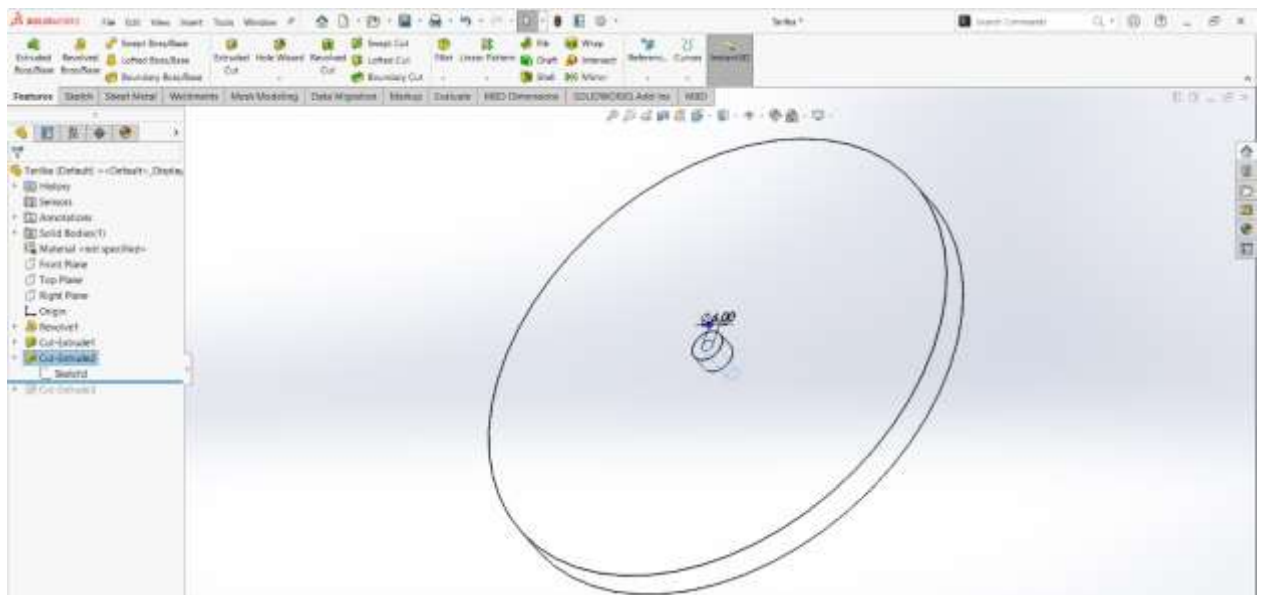


Рисунок 2.7 – Побудова центрального отвору в деталі

Аналогічним способом будуюмо отвори на рівних віддальх від центру, лише тут варто застосувати функцію «круговий масив» в режимі ескізу і здійснити множинну кіл. Також дані отвори необхідно вирізати наскрізь. Отже в результаті отримаємо готовий виріб який представлено на рисунку 2.8.

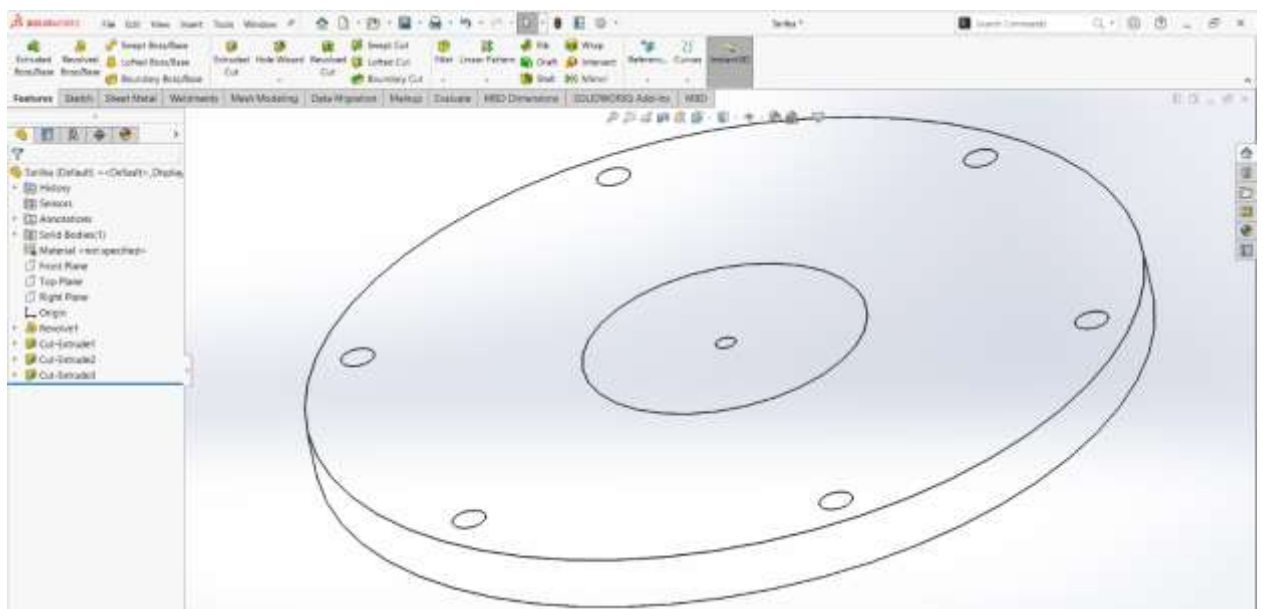


Рисунок 2.8 – Змодельована деталь типу спеціальна платформа для заготовки

Подібними методами, функціями та можливостями будемо усі інші необхідні деталі та вузли проектованої оснастки. На рисунку 2.9 зображена деталь типу оправка.

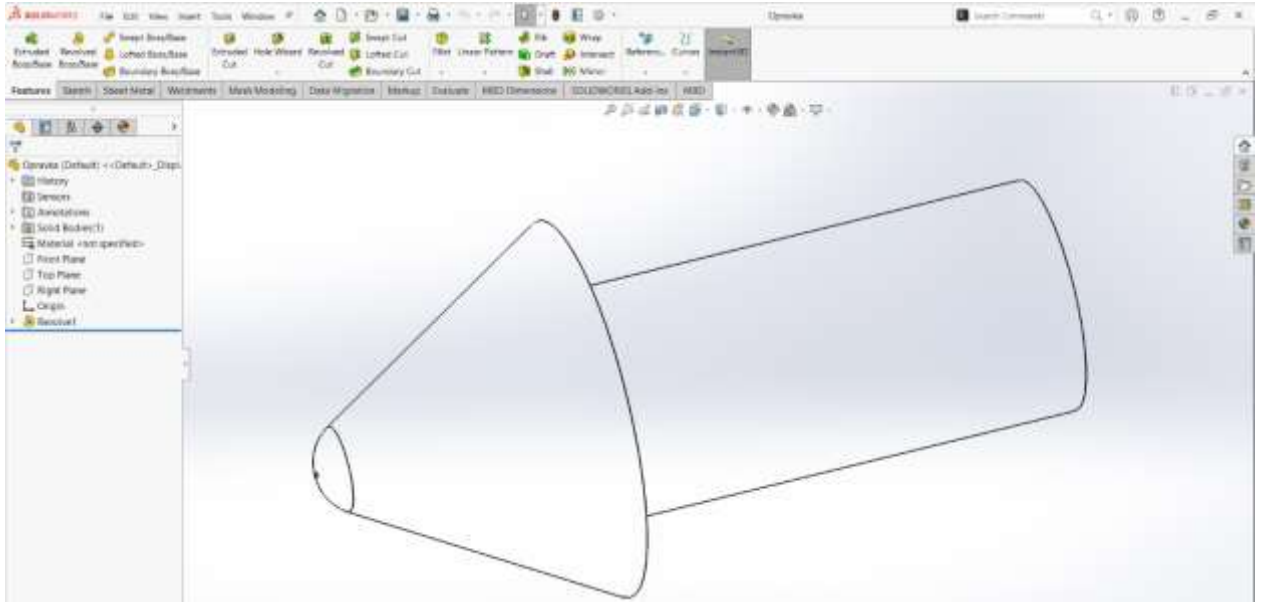


Рисунок 2.9 – Змодельована деталь типу оправка

На рисунку 2.10 зображена деталь типу платформа поворотного столу.

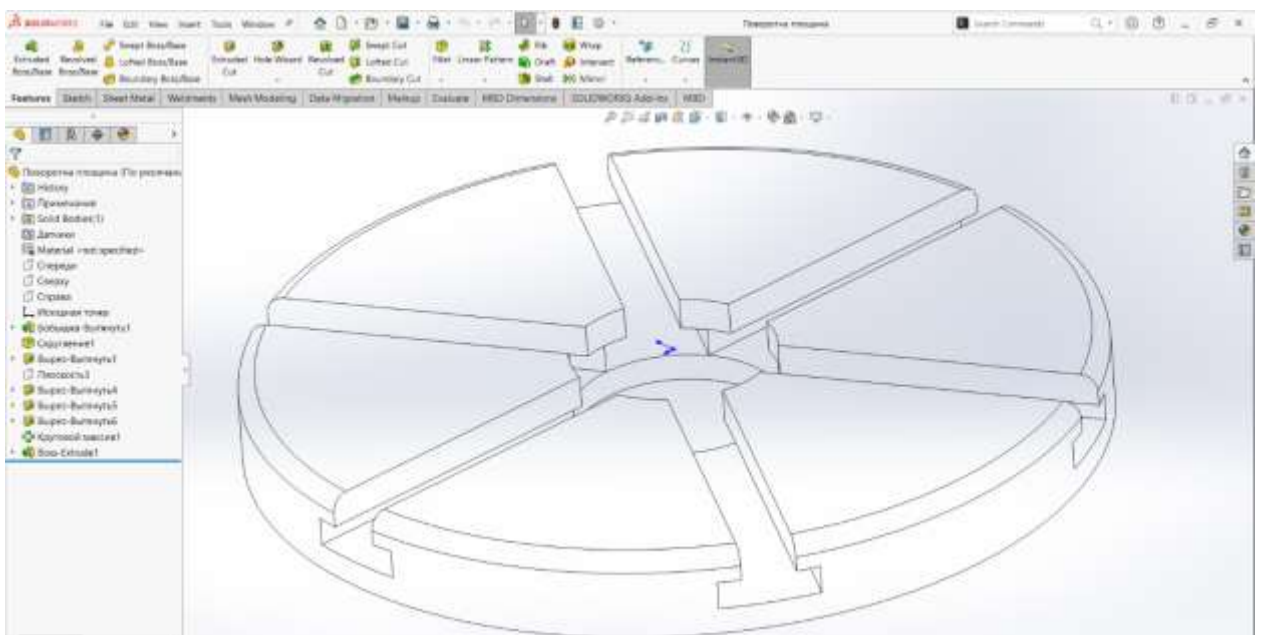


Рисунок 2.10 – Змодельована деталь типу платформа поворотного столу

На рисунку 2.11 зображено корпусний вузол поворотного столу. В даному випадку детальне моделювання усіх елементів даного вузла немає сенсу проводити, оскільки він є готовим виробом який буде використовуватися в оснастці.

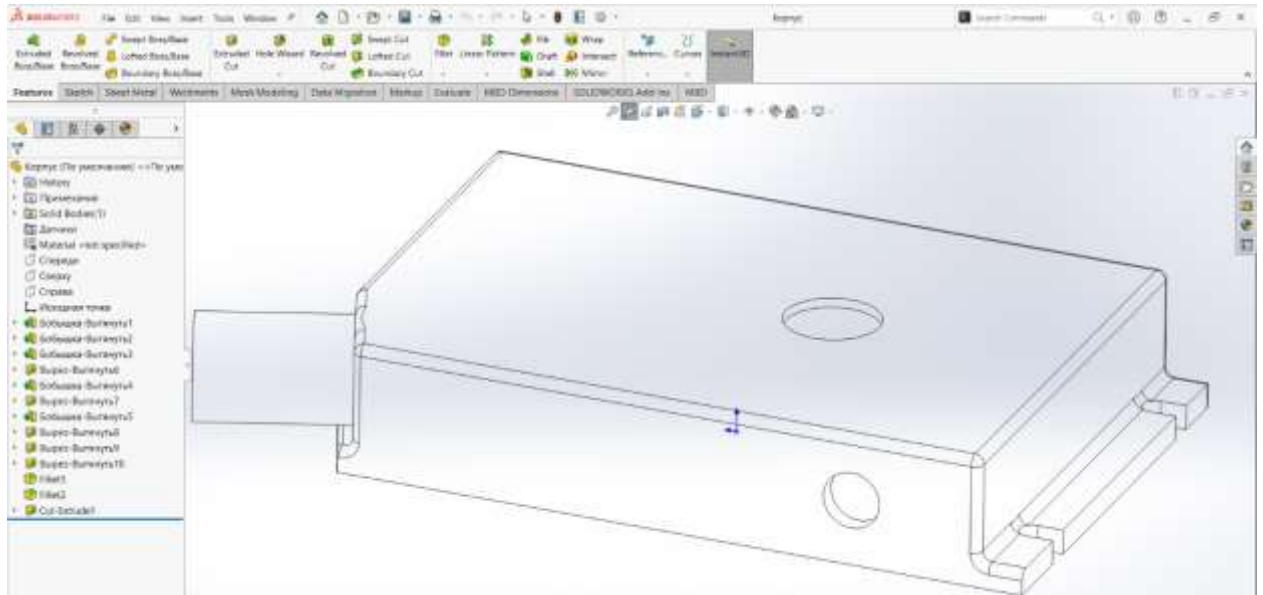


Рисунок 2.11 – Змодельований вузол поворотного столу

На рисунку 2.12 зображено кроковий двигун який буде забезпечувати функціонування поворотного столу з платформою для заготовки

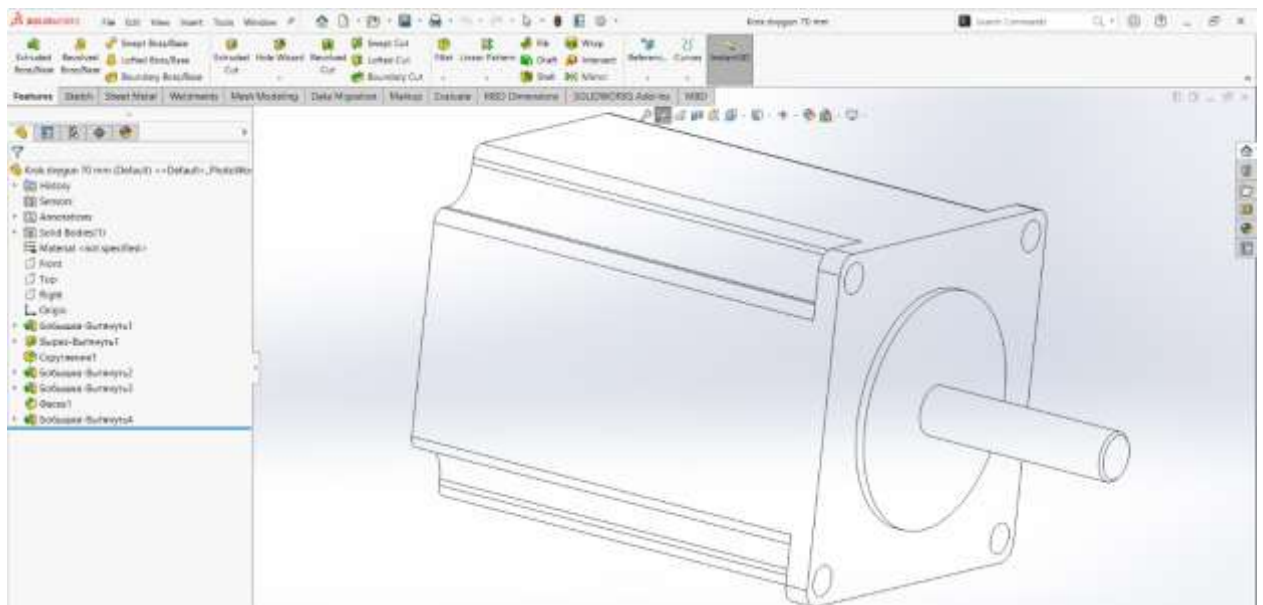


Рисунок 2.12 – Змодельований кроковий мотор поворотного столу

На рисунку 2.13 представлено механізм який призначений для обертання конусної оправки. Даний вузол складається з основний частин таких як кроковий мотор та циклоїдальний редуктор.

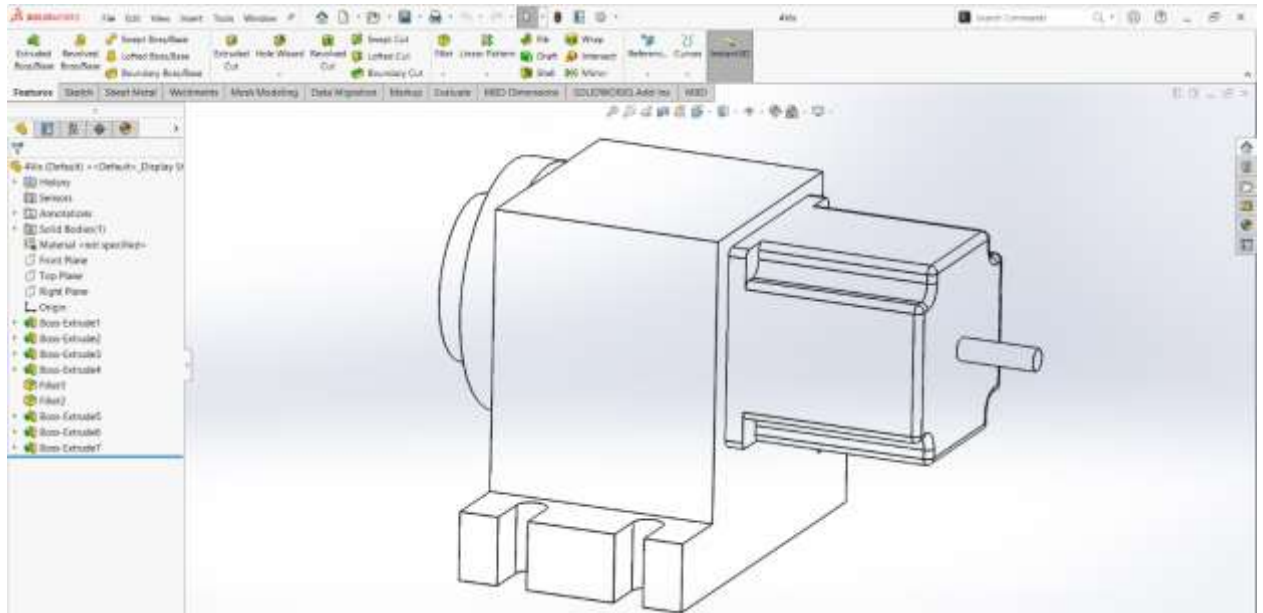


Рисунок 2.13 – Механізм повороту конусної оправки

На рисунку 2.14 представлено трикулачковий патрон в якому закріплюється конусна оправка.

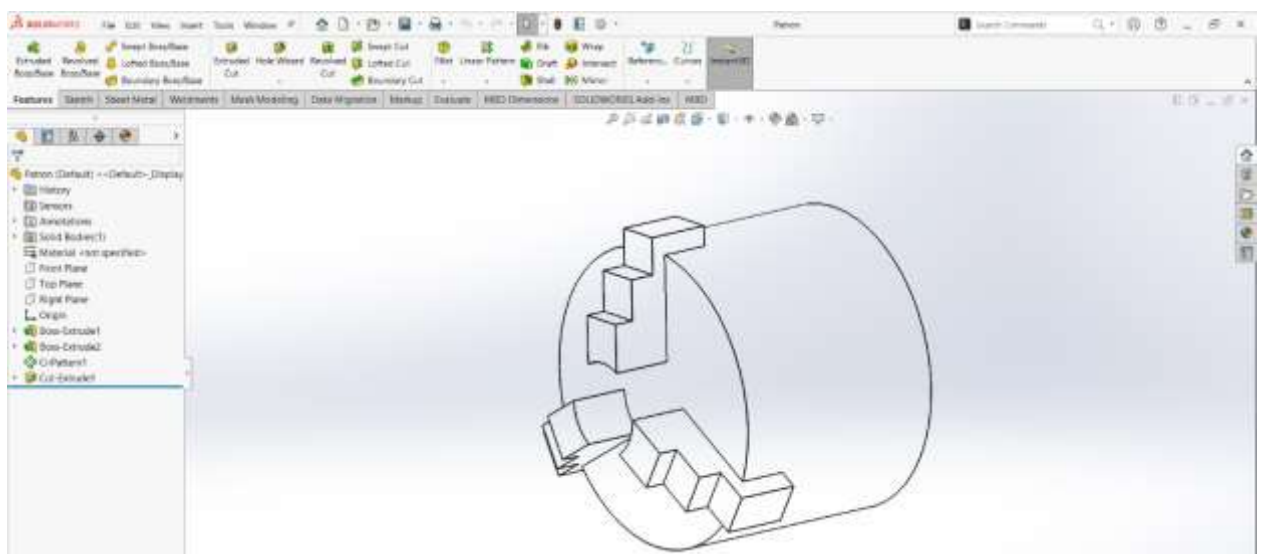


Рисунок 2.14 – Трикулачковий патрон

Для розташовування поворотного механізму з конусною оправкою під визначеним кутом необхідно спроектувати спеціальну похилу платформу на якій буде закріплено поворотний механізм. Отже на рисунку 2.15 представлено вертикальну бокову стінку платформи. варто відмітити, що таких деталей необхідно 2 штуки.

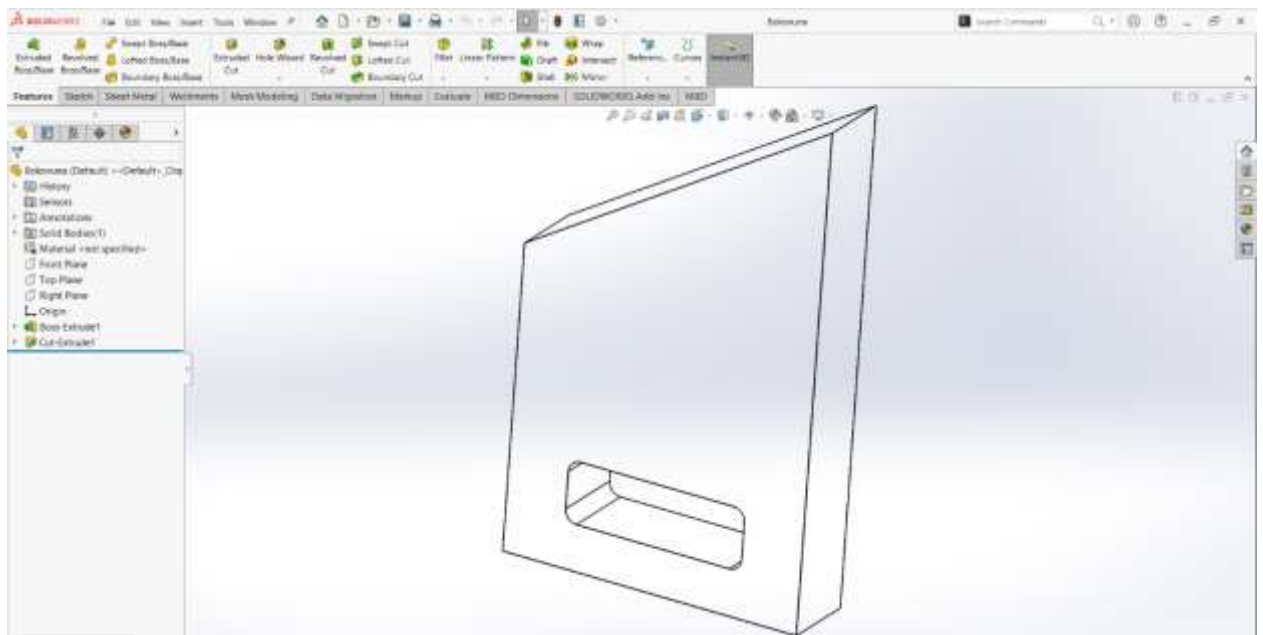


Рисунок 2.15 – Вертикальна стінка похилої платформи

На рисунку 2.16 представлена горизонтальна площадка похилої платформи на яку кріпиться поворотний механізм конусної оправки.

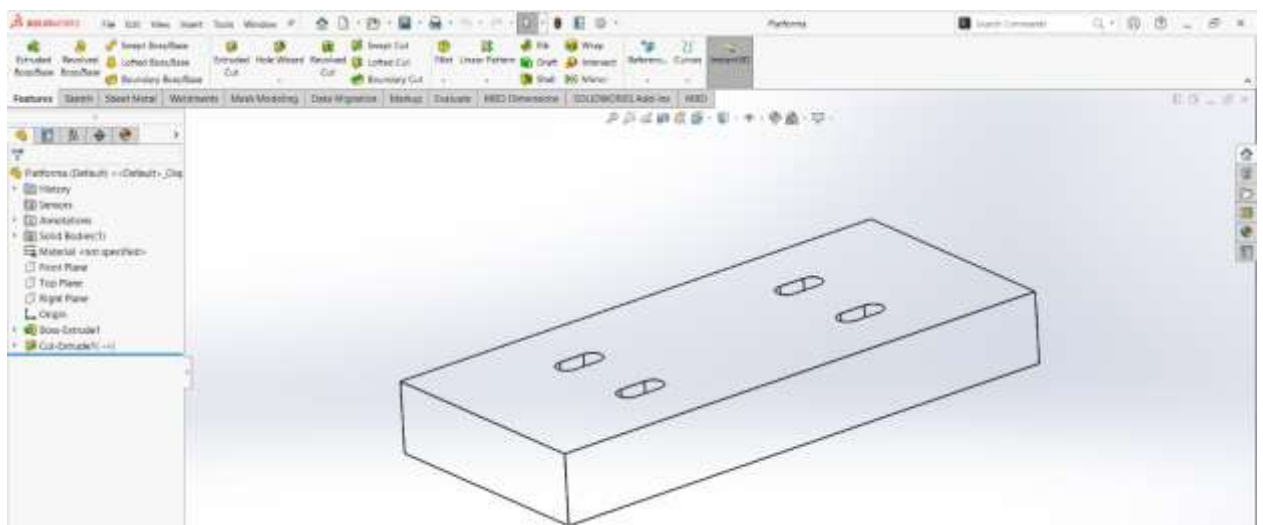


Рисунок 2.16 – Горизонтальна площадка похилої платформи

Здійснивши моделювання усіх необхідних важливих деталей можна переходити до збирання усіх елементів оснастки для вальцювання конусів.

2.3 Збірка 3D моделей у загальний робочий вузол

Моделювання 3D деталей не дає повною мірою впевненості в тому що коли вони будуть виготовлені, то правильно зберуться в складальну одиницю. Щоб зменшити ризики варто здійснити віртуальне складання усіх елементів системи. Відповідно в результаті успішного складання деталей в САПР SolidWorks, то і реальне складання буде правильним.

Спершу у вікно програми завантажуюмо усі деталі які будуть складатися (рис. 2.17).

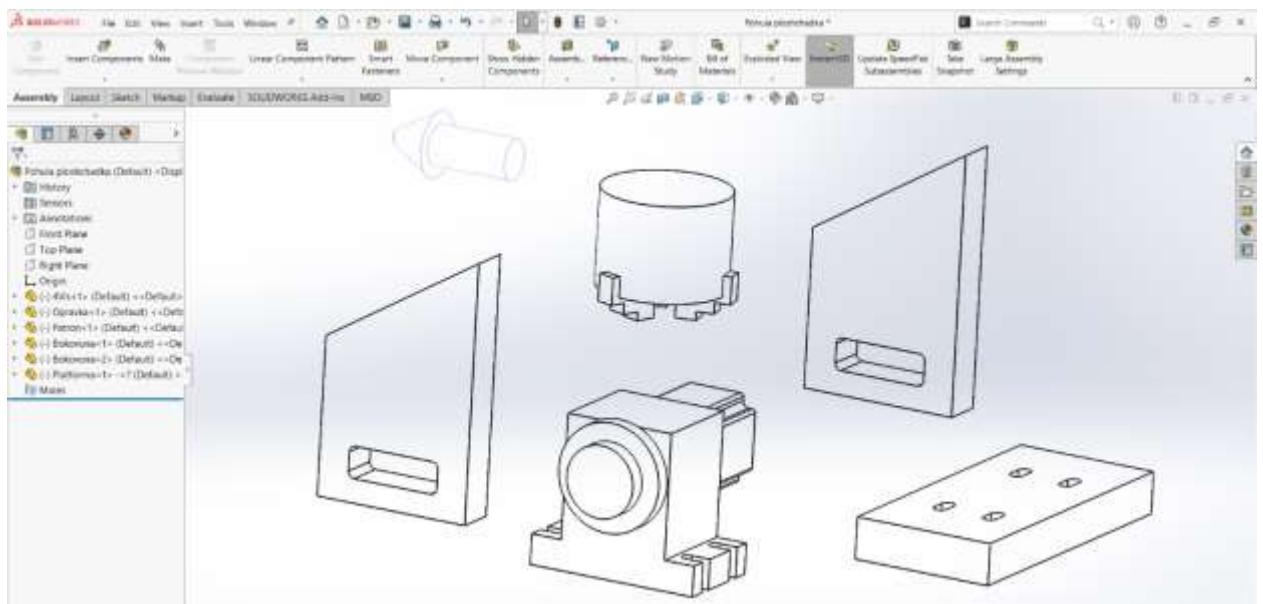


Рисунок 2.17 – Деталі що підлягають складанню в САПР SolidWorks

Виберемо площину площадки похилої платформи та похилу сторону бокової стінки та надамо їм прив'язку бути суміщеними (рис. 2.18).

Далі виберемо бокову сторону бокової стінки та бокову коротшу стінку похилої платформи та знову їх сумістимо (рис. 2.19).

Далі виберемо кромку на боковій стінці та довшу бокову стінку похилої платформи та також зробимо їх сумісними (рис. 2.20).

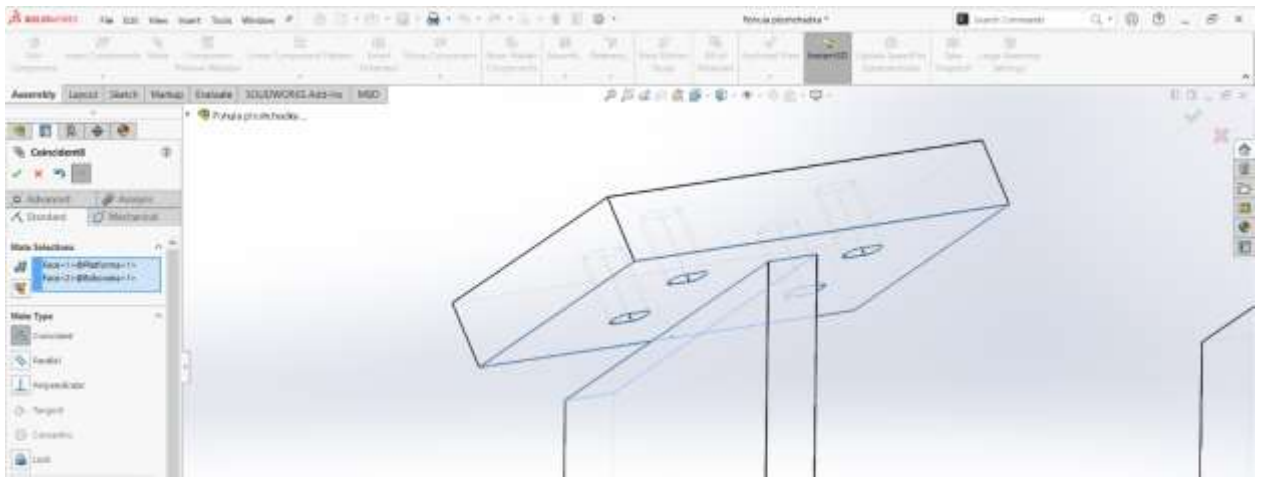


Рисунок 2.18 – Суміщення двох деталей

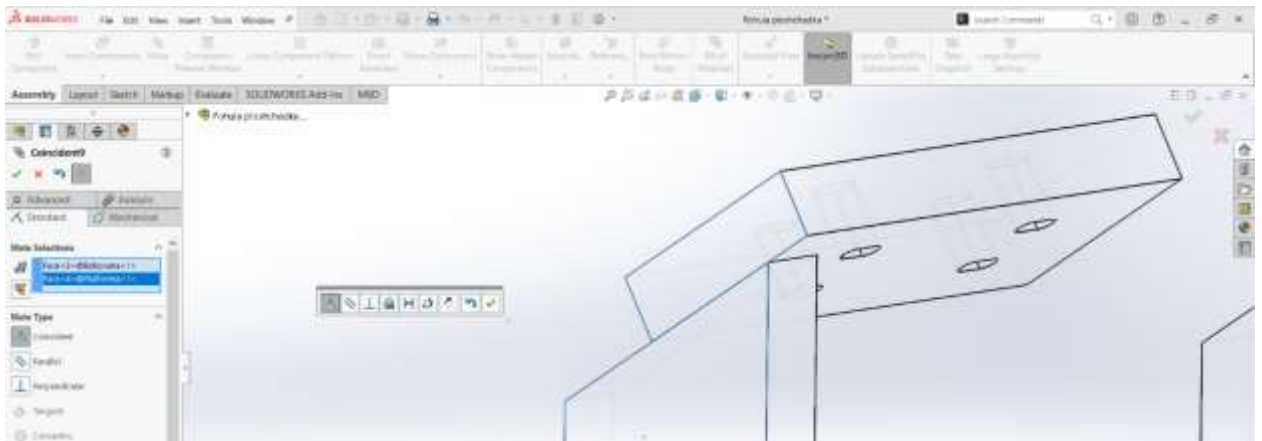


Рисунок 2.19 – Подальше суміщення двох деталей

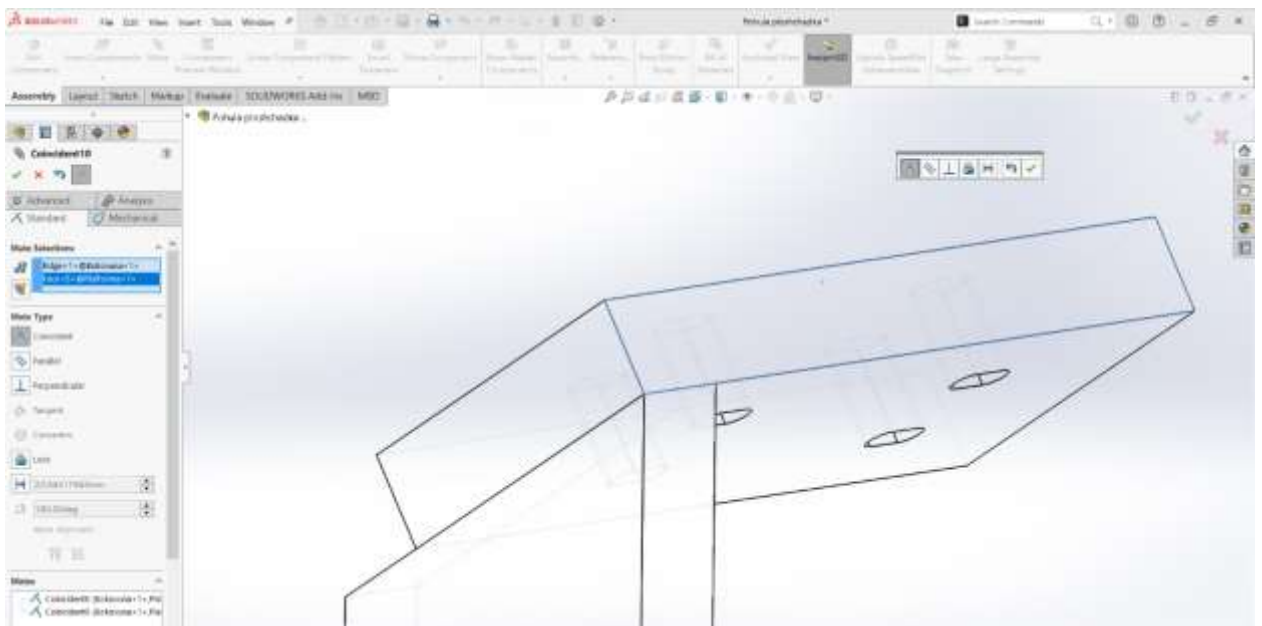


Рисунок 2.20 – Правильне розташування двох деталей

Аналогічне налагодження робимо і з іншою боковою стінкою щоб розмістити її з протилежного боку (рис. 2.21).

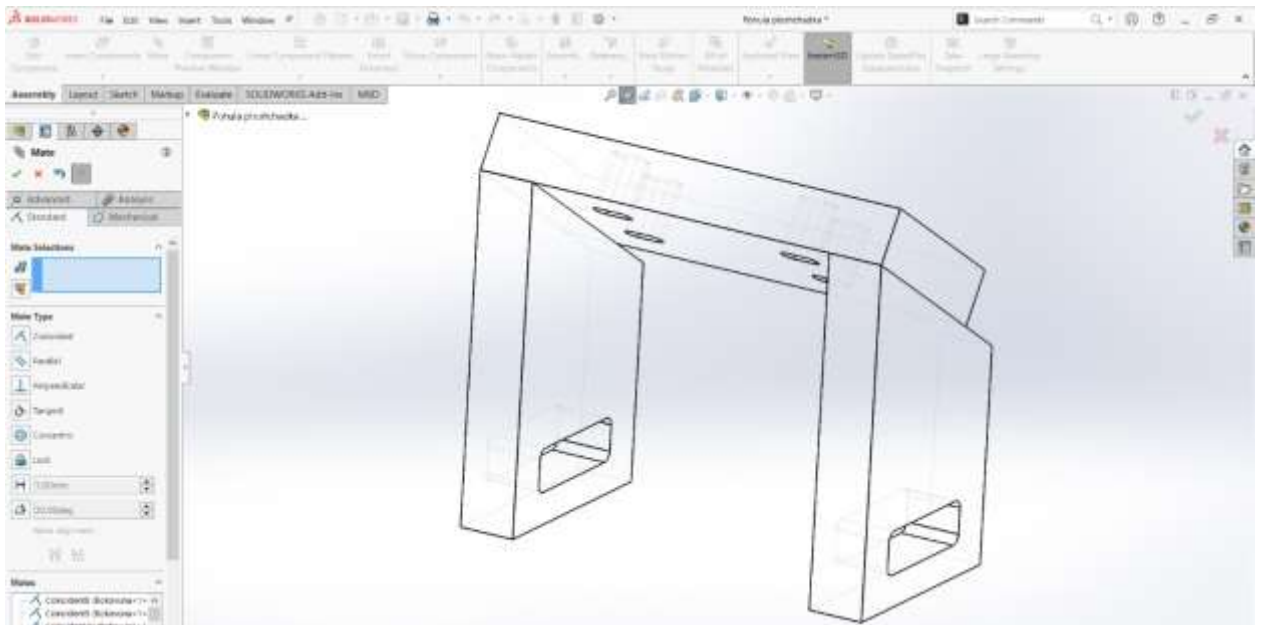


Рисунок 2.21 – Формування похилої платформи

Подібними маніпуляція розташовуємо поворотний механізм на похилій площадці, але з додатковим розміщенням концентричності отворів на площадці та на поворотному механізмі (рис. 2.22).

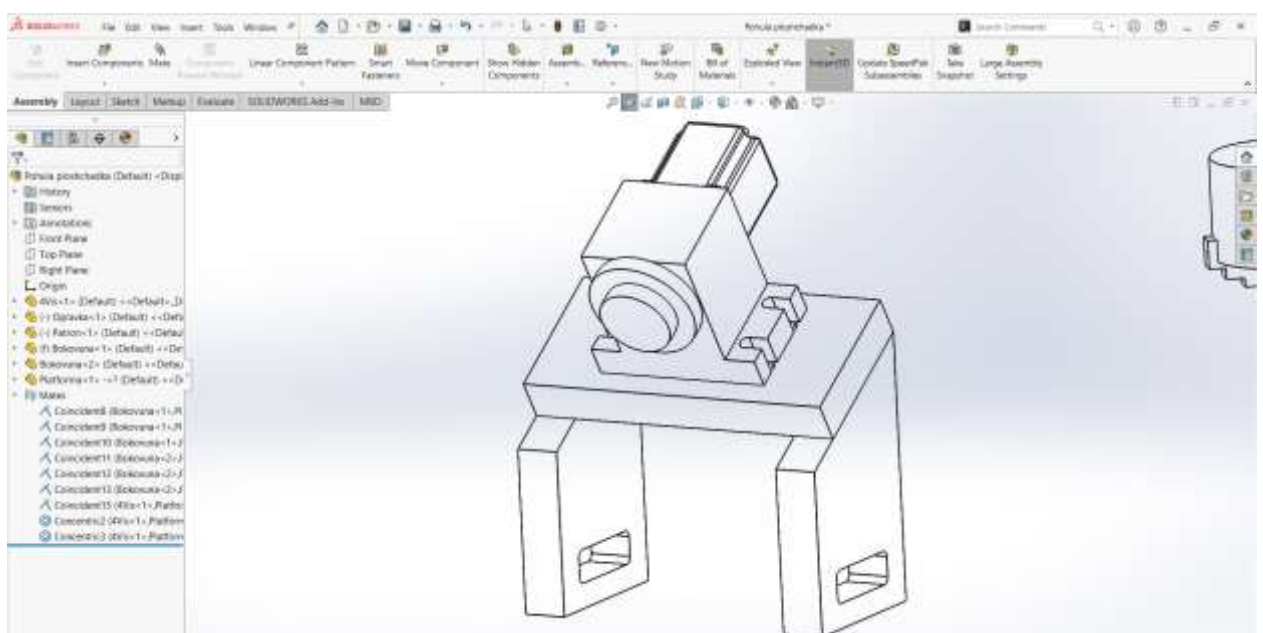


Рисунок 2.22 – Розташування поворотного механізму на похилій платформі

Оберемо циліндричну поверхню на патроні та циліндричну поверхню на поворотному механізмі і розташуємо їх концентрично один відносно одного (рис. 2.23).

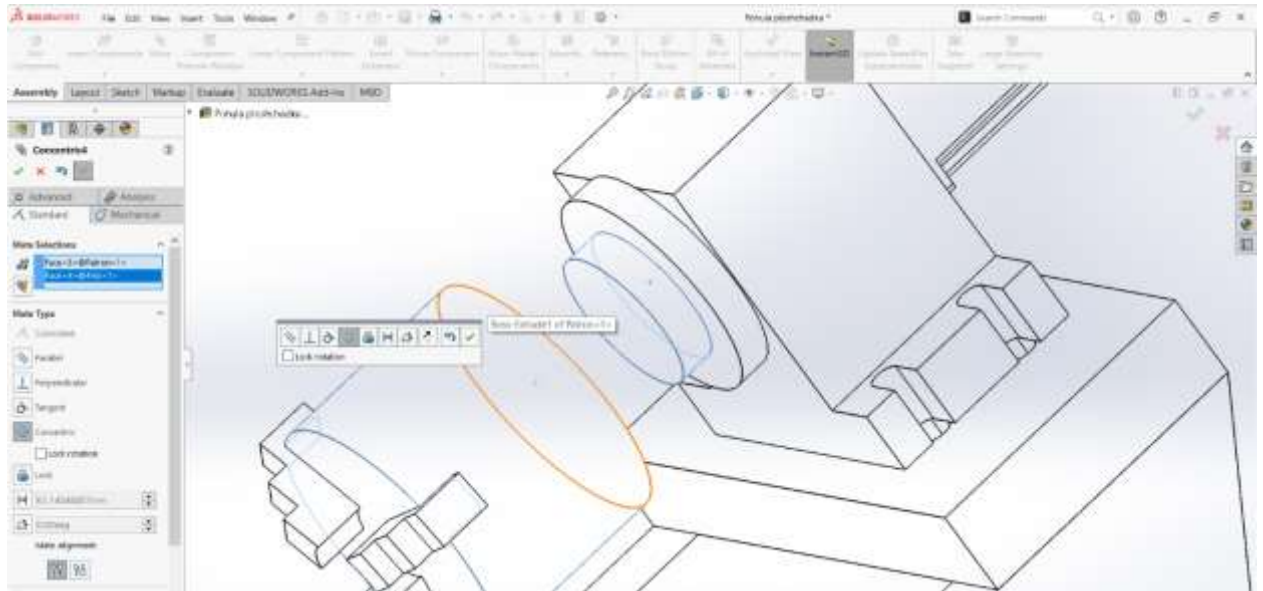


Рисунок 2.23 – Розташування циліндричних поверхонь концентрично

Далі виберемо торцеві поверхні цих двох деталей та також сумістимо їх, таким чином деталі з'єднаються одна з одною (2.24).

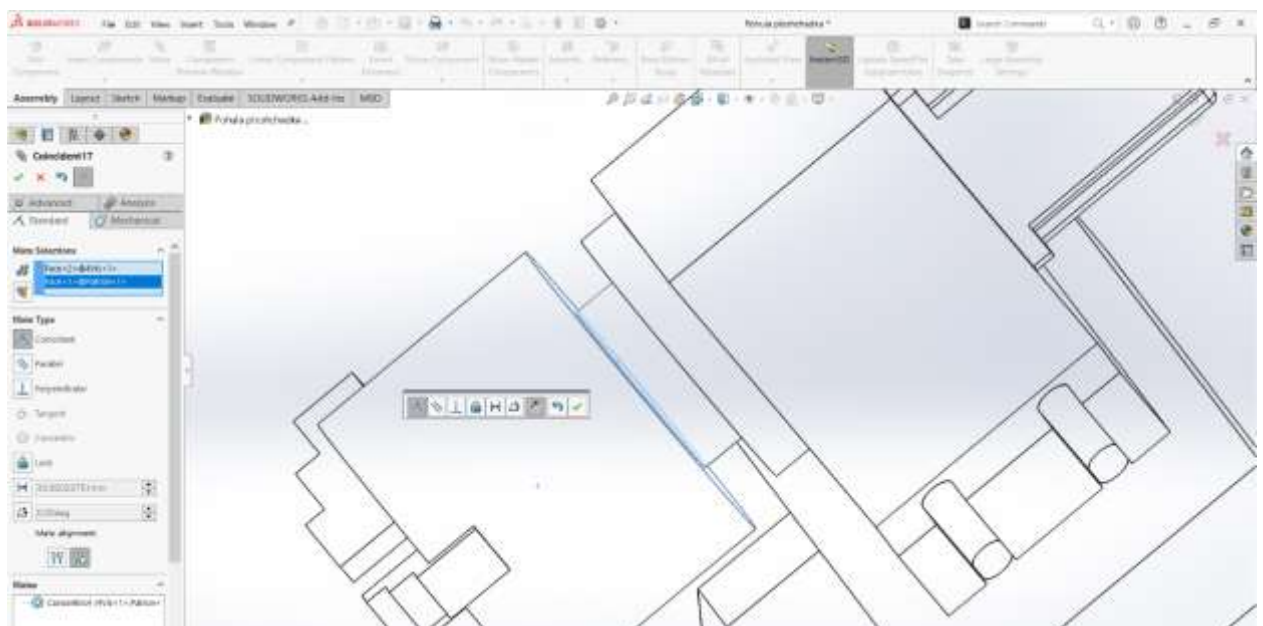


Рисунок 2.24 – З'єднання патрона з поворотним механізмом

Аналогічним чином поєднуємо циліндричну оправку з патроном, загалом результат роботи приведено на рисунку 2.25.

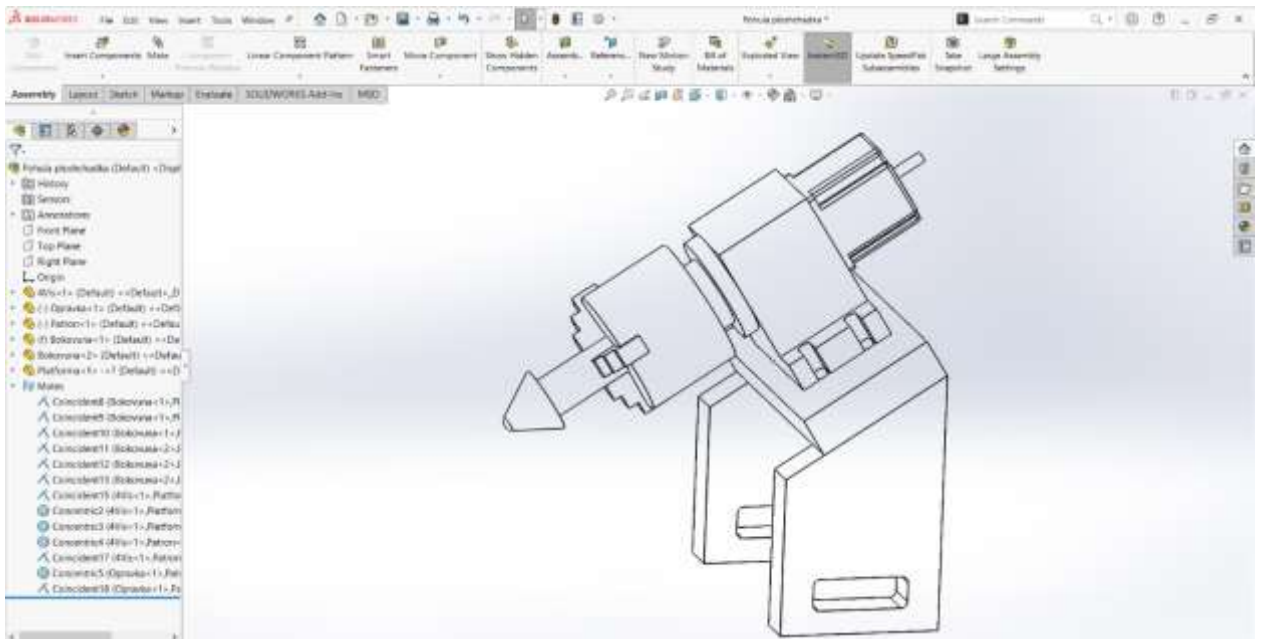


Рисунок 2.25 – Повністю зібраний вузол

Аналогічним функціоналом користуємося для збирання усіх інших елементів оснастки. Результат роботи наведено на рисунку 2.26.

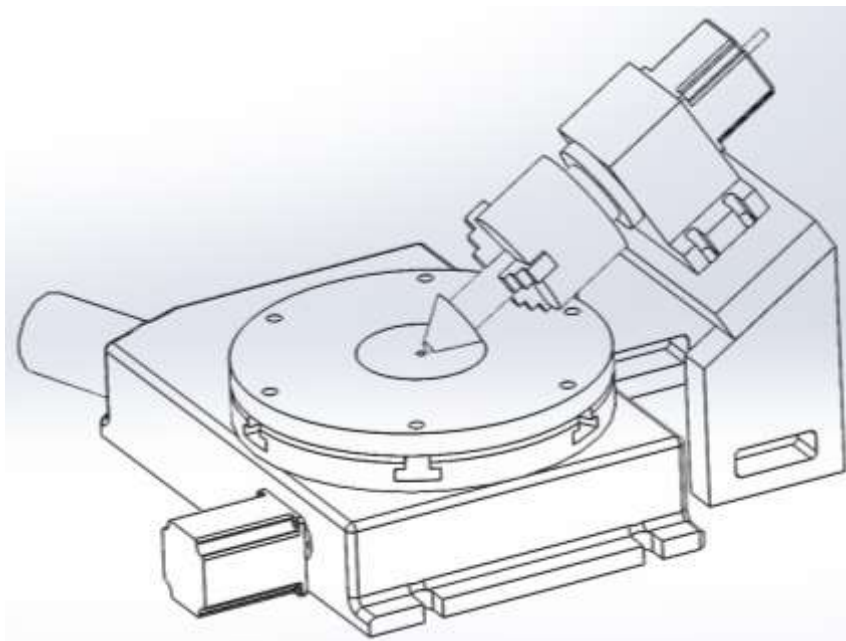


Рисунок 2.26 – Зібрана оснастка для прокатування конусів з листового матеріалу

Здійснивши збірку деталей та переконавшись в тому що вони добре складаються одна з одною можна переходити до наступного етапу, а саме створенню техпроцесу виготовлення деяких деталей.

2.4 Висновки до розділу

В даному розділі було здійснено розробку схеми функціонування обладнання для вальцювання конусів з листового матеріалу. Відповідно виконано проектування усіх необхідних елементів обладнання. Також з метою перевірки коректного з'єднання усіх деталей та вузлів в один цілий та функціональний, в програмному забезпеченні SolidWorks було здійснено збирання раніше спроектованих 3D деталей та вузлів.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Налагодження технологічного процесу виготовлення деталі на фрезерному верстаті з ЧПК

Для розробки технологічного процесу обробки деталі платформа будемо користуватися програмним забезпеченням FeatureCAM.

Отже використаємо раніше змодельовану 3D модель. Перед налагодженням обробки треба обрати тип обробки ФРЕЗЕРУВАННЯ та одиниці вимірювання в ММ (рис. 3.1).

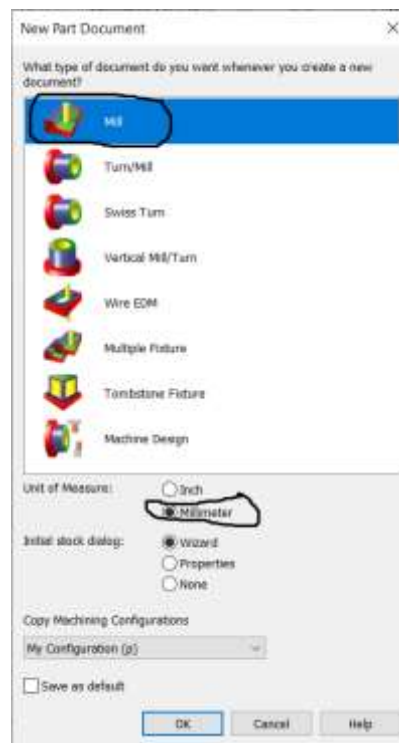


Рисунок 3.1 – Призначення виду обробки та системи вимірювання

Далі необхідно розташувати майбутню обробку так як вона буде проходити на фрезерному верстаті. Враховуючи деякі обмеження фрезерного верстата обробка може проходити виключно вертикально, тобто згідно осі Z. Налагодження системи координат представлено на рисунку 3.2.

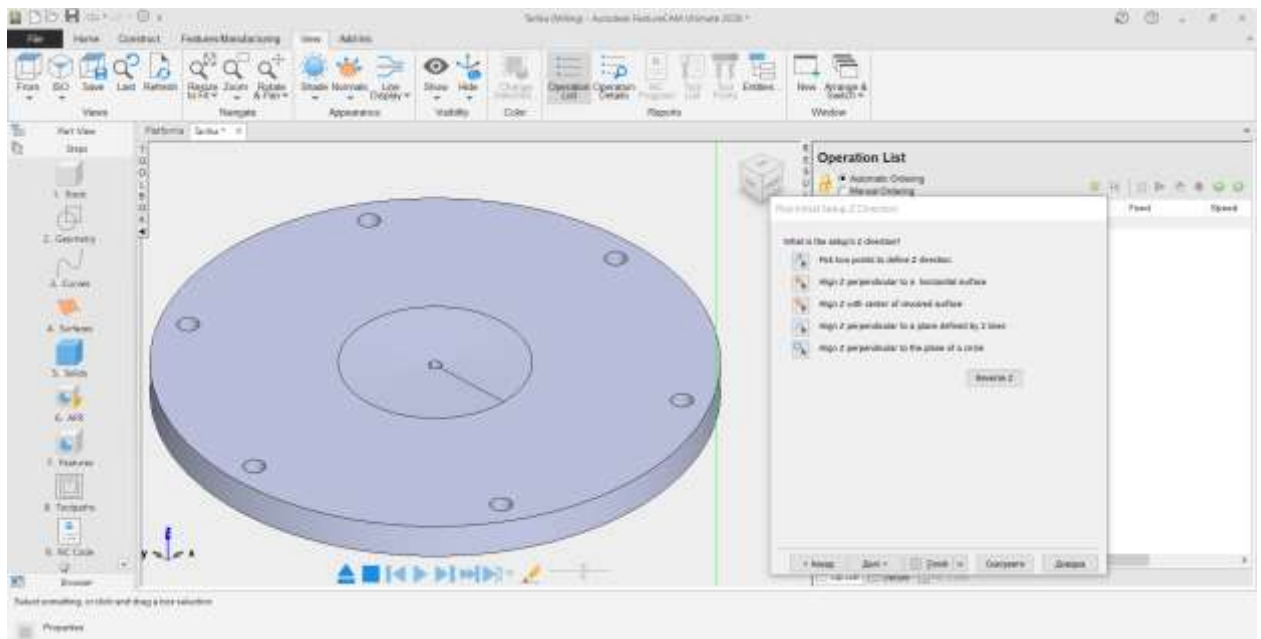


Рисунок 3.2 – Налаштування розташування деталі згідно осі Z

Налаштування розміщення деталі згідно осі X та Y не є принциповим, оскільки деталь є тарілко-подібною. Довжина та ширина деталі однакова вздовж осей X та Y. Результат налаштування показано на рисунку 3.3.

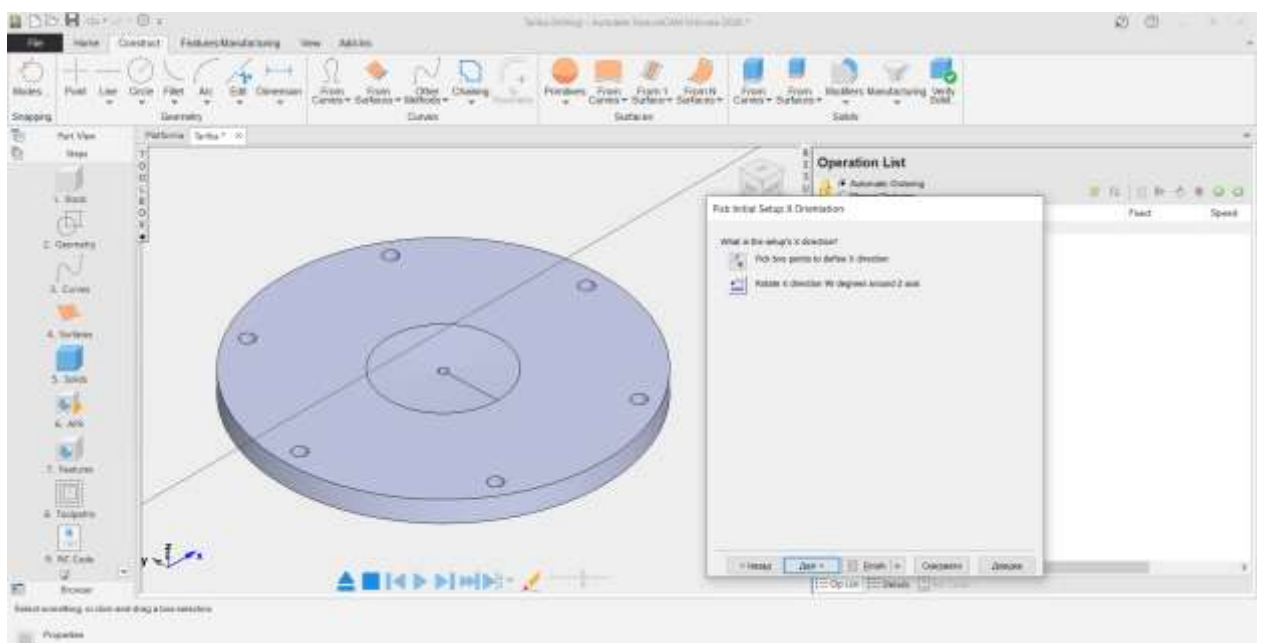


Рисунок 3.3 – Налаштування розташування деталі згідно осей X та Y

Далі йде процес вибору форми та розміру заготовки (рис. 3.4). Форма заготовки – паралелепіпед, а розмір – такий як габаритний розмір деталі.

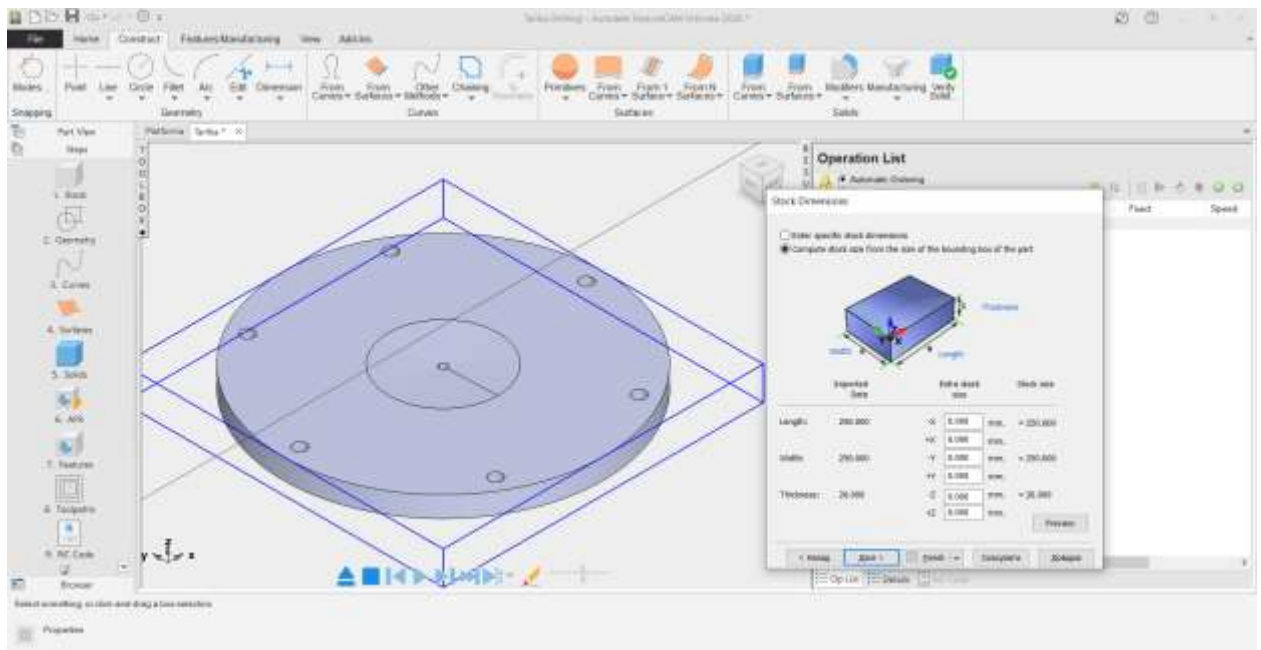


Рисунок 3.4 – Вибір форми та розміру заготовки

Далі необхідно призначити початкове розташування положення фрези, це буде на поверхні заготовки та в її центрі (рис. 3.5).

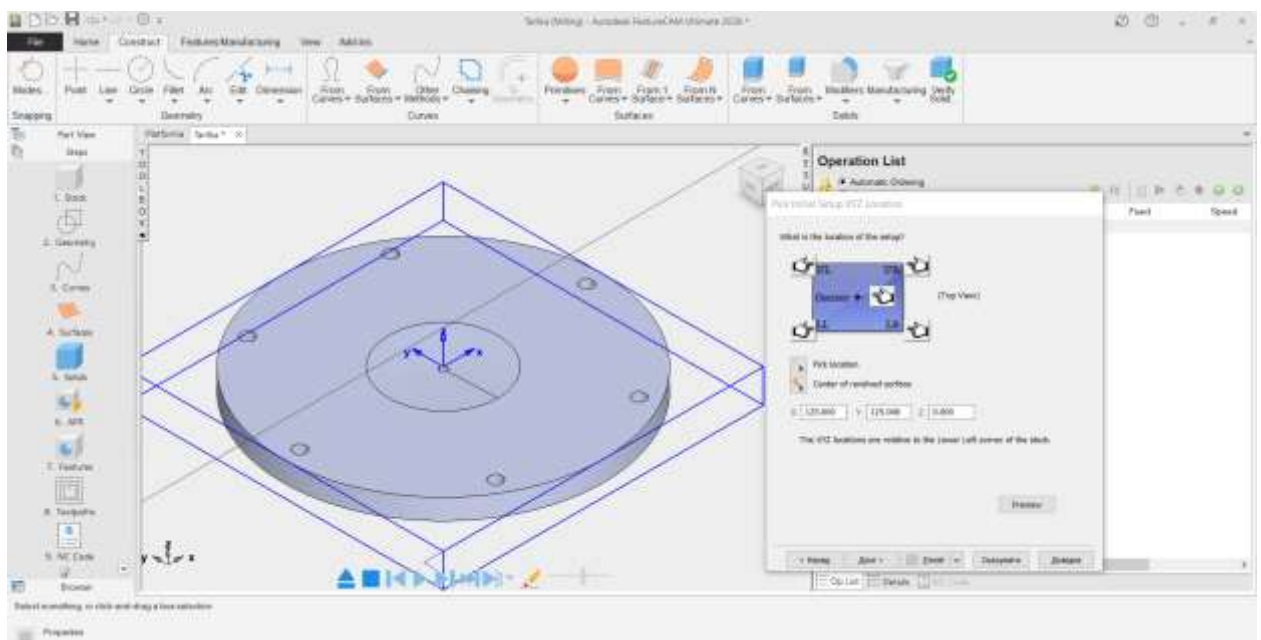


Рисунок 3.5 – Призначення початкового місця розташування інструменту

Далі розпочинаємо налагодження обробки елементів які розташовані на деталі. Виберемо центральну западину (вона має нахил в 2°) та призначимо

тип обробки ФРЕЗЕРУВАННЯ ПОВЕРХНІ. Результат початкового налагодження представлено на рисунку 3.6.

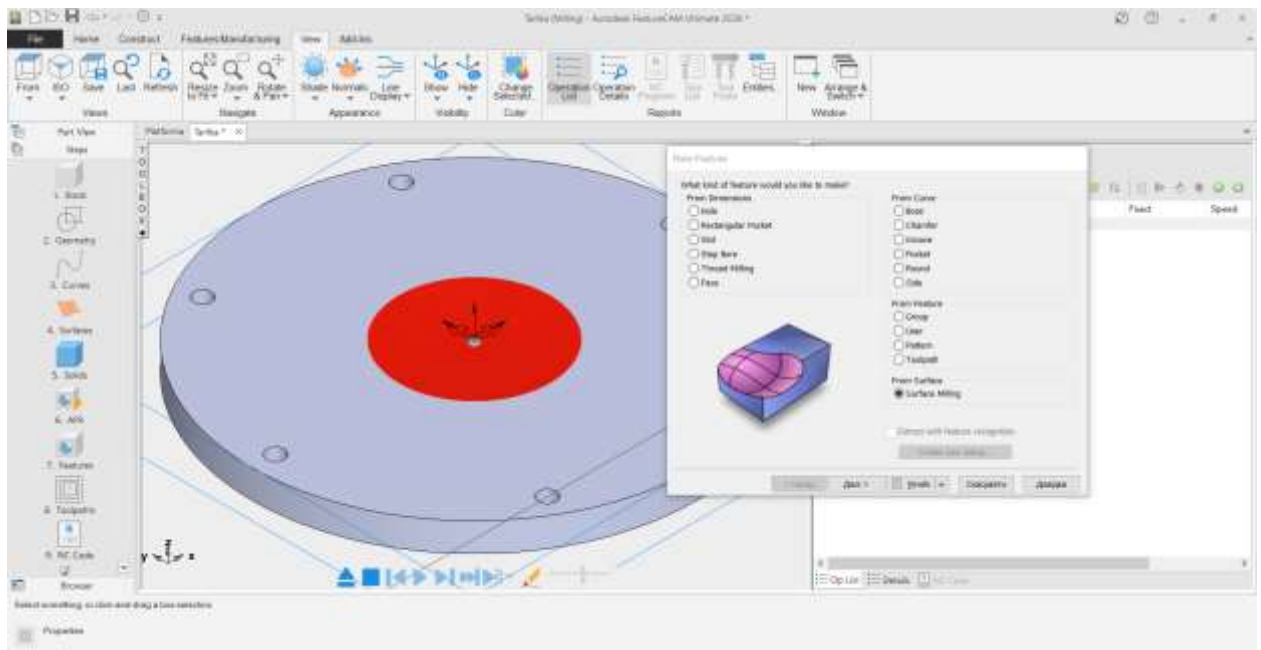


Рисунок 3.6 – Початкове налагодження ФРЕЗЕРУВАННЯ ПОВЕРХНІ

Призначимо стратегію обробки 2D СПІРАЛЬ (рис. 3.7).

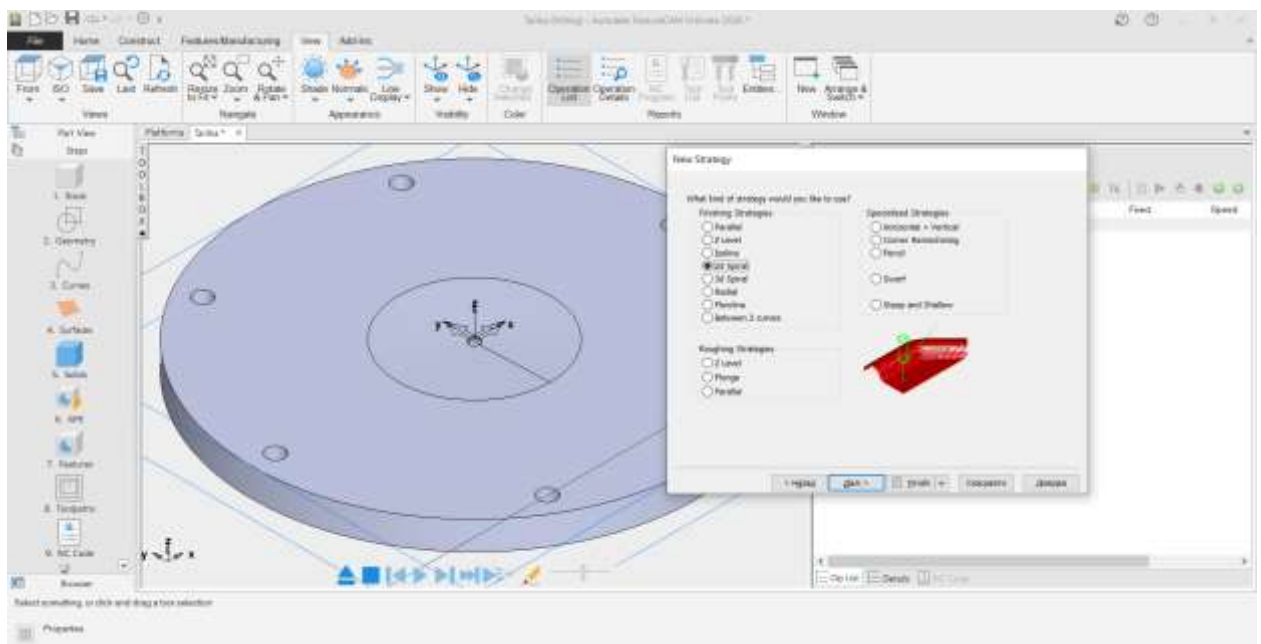


Рисунок 3.7 – Призначення стратегії обробки 2D СПІРАЛЬ

Далі з основних налагоджень необхідно обрати інструмент (рис. 3.8).

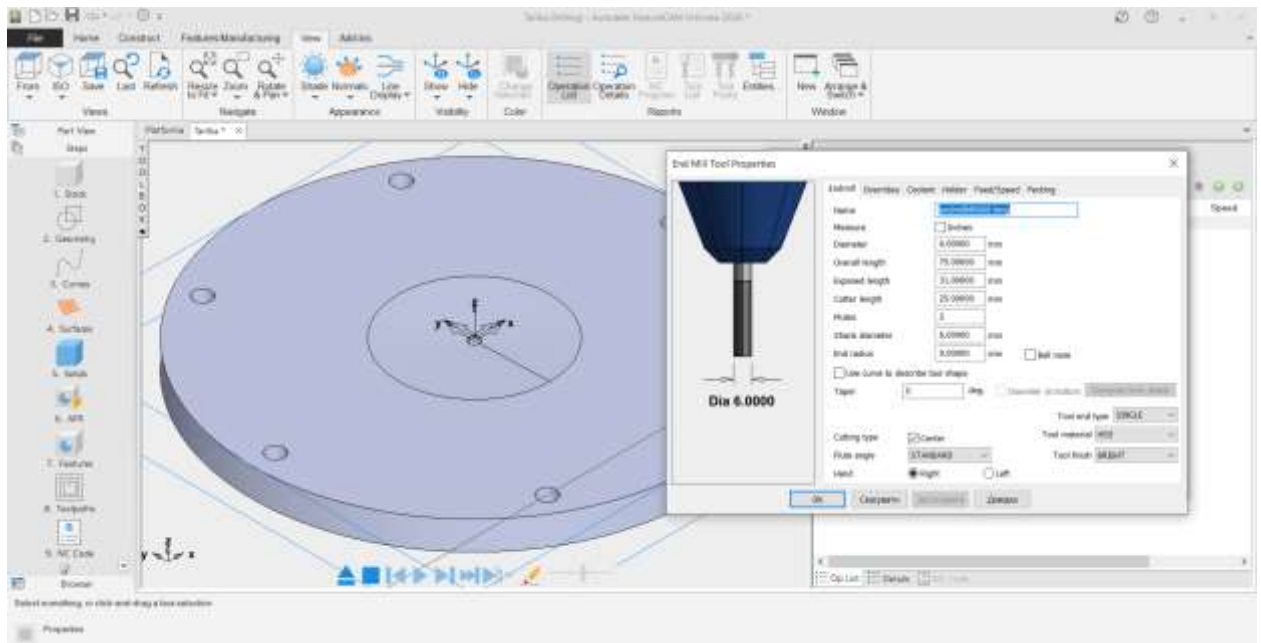


Рисунок 3.8 – Вибір інструменту для обробки

Далі треба призначити режими різання (подача та частота обертання шпинделя) які необхідні для обробки обраної поверхні (рис. 3.9).

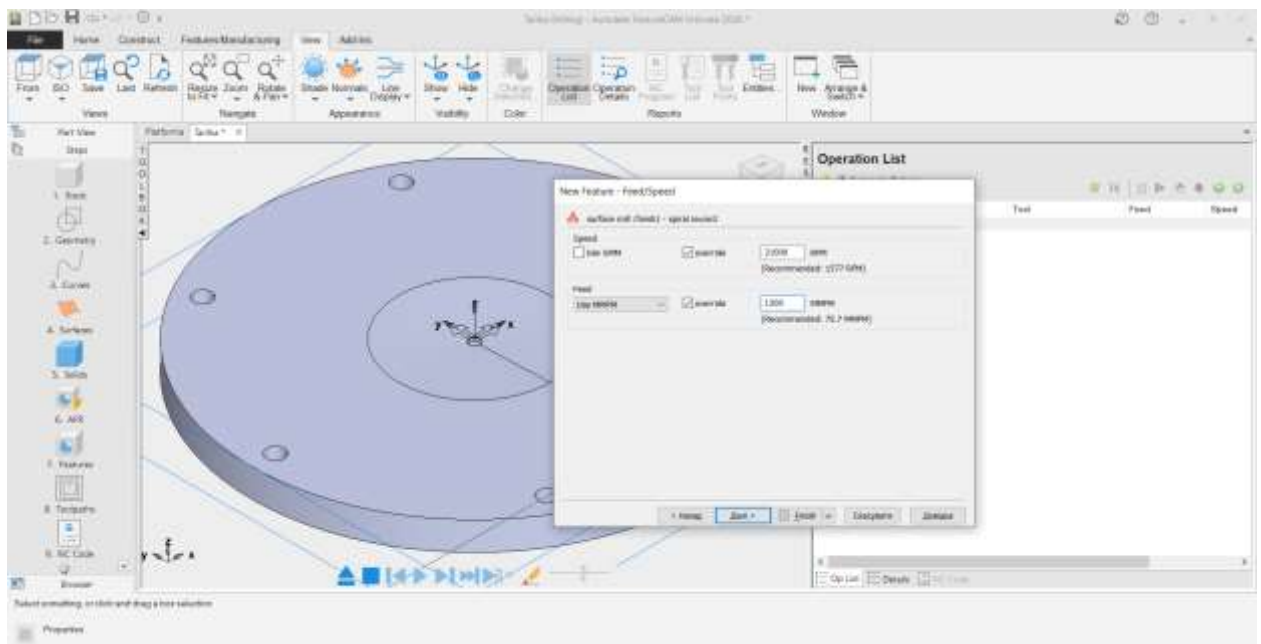


Рисунок 3.9 – Призначення режимів різання на обробку

Усі інші елементи обробки (отвори, обрізка деталі від заготовки) можна налагодити за допомогою функції AFR (автоматичне розпізнавання елементів). Результат роботи представлено на рисунку 3.10.

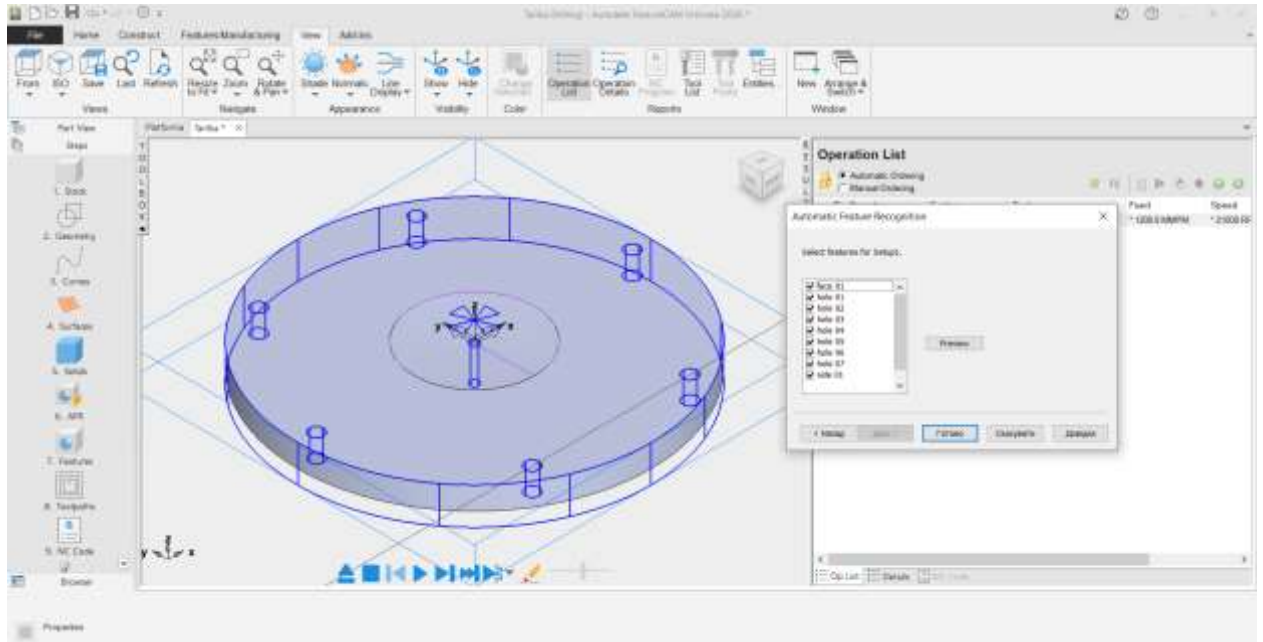


Рисунок 3.10 – Розпізнавання елементів в режимі AFR

Далі програма автоматично призначить усі необхідні інструменти та режими різання. Загалом технологічний процес виготовлення елементів на деталі буде виглядати наступним чином (рис. 11).

Operation List						
<input checked="" type="radio"/> Automatic Ordering <input type="radio"/> Manual Ordering						
R.	Operation	Feature	Tool	Feed	Speed	Depth
	finish	face1	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	
	finish1 - spiral inw...	srf_mill1	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	
	rough	hole1	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	17.000 mm
	rough	hole2	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	17.000 mm
	rough	hole3	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	17.000 mm
	rough	hole4	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	17.000 mm
	rough	hole5	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	17.000 mm
	rough	hole6	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	17.000 mm
	rough pass 1	side1	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	26.000 mm
	finish	side1	endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	26.000 mm
	rough	hole7	*endmillM0600:long	* 1200.0 MPPM	* 21000 RPM	25.221 mm
	Results					

Рисунок 3.11 – Технологічний процес виготовлення елементів на деталі

Варто відмітити, що обробка усіх елементів повинна проходити однаковою фрезою (оскільки верстат не має можливості автоматичної заміни інструментів). Також режими різання будуть однаковими подача 1200 мм/хв, частота обертання шпинделя 21000 об/хв.

Тепер необхідно згенерувати траєкторії руху інструменту щоб обробити деталь. Траєкторії руху показано на рисунку 3.12.

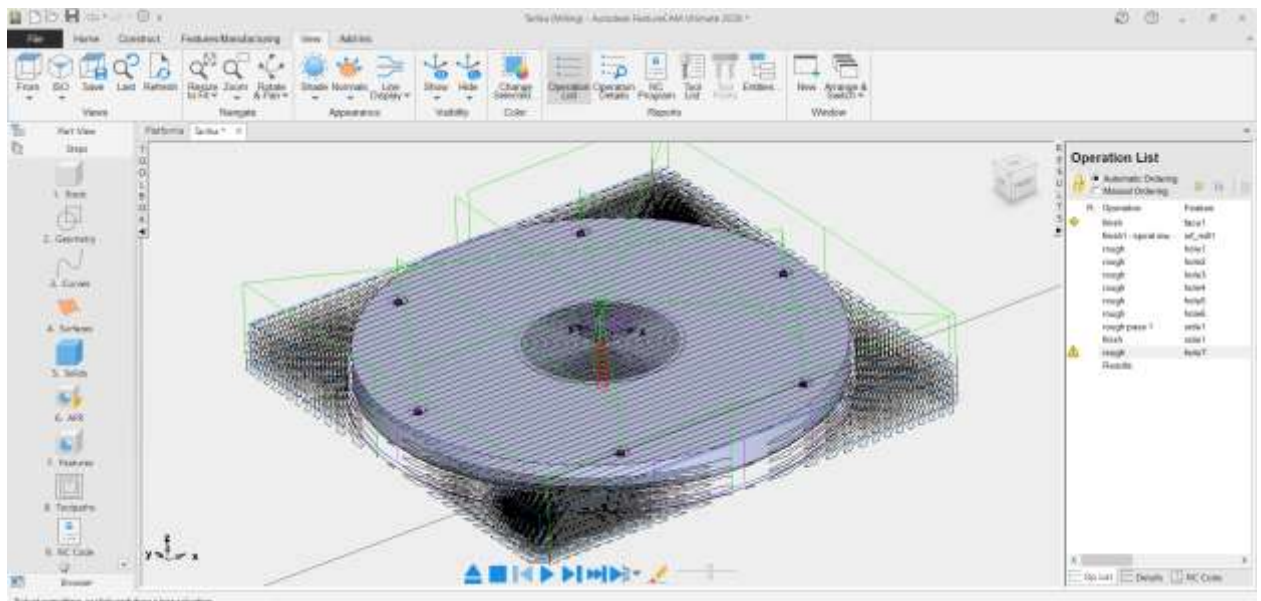


Рисунок 3.12 – Траєкторії руху фрези для обробки деталі

Також один з важливих елементів підготовки роботи для фрезерного верстата з ЧПК є перегляд 3D симуляції обробки (рис. 3.13). Результат такої симуляції повинен повністю задовольняти очікування, оскільки такий же результат буде і при реальній обробці.

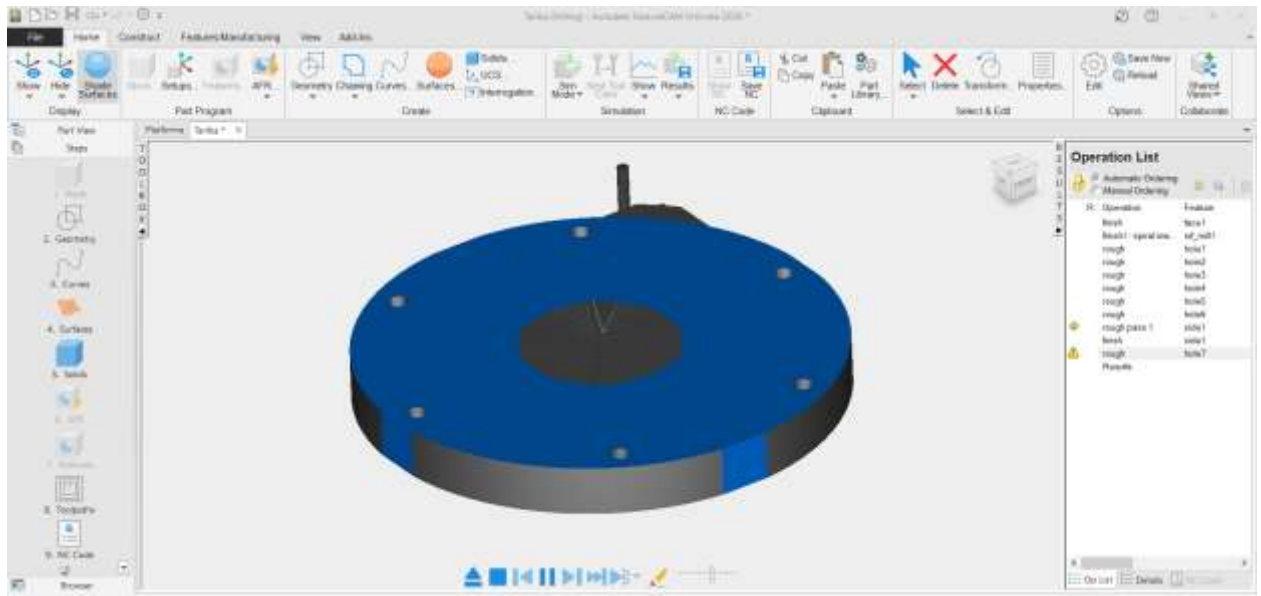


Рисунок 3.13 – 3D симуляція обробки

Переконавшись що все гаразд можна отримати коректний G-код який необхідний для виконання операцій фрезерний верстатом з ЧПК.

Фрагмент G-коду приведемо нижче:

N35 G00 G92 X0 Y0 Z0

N40 (FINISH FACE FACE1)

N45 M6 T1

N50 G94

N55 X128.0 Y-122.988 S21000 M03

N60 M08

N65 Z3.0

N70 G01 Z0. F1200.

N75 X-128.0

N80 Y-117.976

N85 X128.0

N90 Y-112.964

N95 X-128.0

N100 Y-107.952

N105 X128.0

N110 Y-102.94

N115 X-128.0

N120 Y-97.928

N125 X128.0

N130 Y-92.916
N135 X-128.0
N140 Y-87.904
N145 X128.0
N150 Y-82.892
N155 X-128.0
N160 Y-77.88
N165 X128.0
N170 Y-72.868
N175 X-128.0
N180 Y-67.856
N185 X128.0
N190 Y-62.844
N195 X-128.0
N200 Y-57.832
N205 X128.0
N210 Y-52.82
N215 X-128.0
N220 Y-47.808
N225 X128.0
N230 Y-42.796
N235 X-128.0
N240 Y-37.784
N245 X128.0
N250 Y-32.772
N255 X-128.0
N260 Y-27.76
N265 X128.0
N270 Y-22.748
N275 X-128.0
N280 Y-17.736
N285 X128.0
N290 Y-12.724
N295 X-128.0
N300 Y-7.712
N305 X128.0
N310 Y-2.7
N315 X-128.0

N320 Y2.312
N325 X128.0
N330 Y7.324
N335 X-128.0
N340 Y12.336
N345 X128.0
N350 Y17.348
N355 X-128.0
N360 Y22.36
N365 X128.0
N370 Y27.372
N375 X-128.0
N380 Y32.384
N385 X128.0
N390 Y37.396
N395 X-128.0
N400 Y42.408
N405 X128.0
N410 Y47.42
N415 X-128.0
N420 Y52.432
N425 X128.0
N430 Y57.444
N435 X-128.0
N440 Y62.456
N445 X128.0
N450 Y67.468
N455 X-128.0
N460 Y72.48
N465 X128.0
N470 Y77.492
N475 X-128.0
N480 Y82.504
N485 X128.0
N490 Y87.516
N495 X-128.0
N500 Y92.528
N505 X128.0

N510 Y97.54
N515 X-128.0
N520 Y102.552
N525 X128.0
N530 Y107.564
N535 X-128.0
N540 Y112.576
N545 X128.0
N550 Y117.588
N555 X-128.0
N560 Y122.6
N565 X128.0
N570 G00 Z25.0
N575 (FINISH1 SPIRAL INWARD SRF_MILL1)
N580 G94
N585 Z25.0
N590 X-25.248 Y-30.374
N595 F600.
N600 Z3.0
N605 G01 Z0.
N610 X-26.183 Y-29.593 F1200.
N615 X-27.962 Y-27.91
N620 X-29.65 Y-26.106
N625 X-31.232 Y-24.187
N630 X-32.699 Y-22.163
N635 X-34.04 Y-20.044
N640 X-35.246 Y-17.844
N645 X-36.311 Y-15.574
N650 X-37.228 Y-13.248
N655 X-37.994 Y-10.882
N660 X-38.607 Y-8.489
N665 X-39.068 Y-6.083
N670 X-39.413 Y-3.377
N675 X-39.556 Y-0.355
N680 X-39.462 Y2.679
N685 X-39.13 Y5.696
N690 X-38.565 Y8.668
N695 X-37.834 Y11.387

N700 X-36.996 Y13.873
N705 X-35.986 Y16.317
N710 X-34.808 Y18.702
N715 X-33.466 Y21.009
N720 X-31.97 Y23.222
N725 X-30.329 Y25.327
N730 X-28.557 Y27.31
N735 X-26.665 Y29.159
N740 X-24.671 Y30.863
N745 X-23.624 Y31.644
N750 X-22.124 Y32.661 Z-0.002
N755 X-21.031 Y33.473 Z0.
N760 X-19.834 Y34.124 Z-0.001
N765 X0.135 Y1.477
N770 X-0.047 Y1.522 Z-1.326
N775 X-0.558 Y1.373 Z-1.328
N780 X-0.809 Y1.202 Z-1.327
N785 X-0.922 Y1.368 Z-1.32
N790 X-1.235 Y1.155
N795 X-1.376 Y1.004
N800 X-1.577 Y0.643
N805 X-1.737 Y0.045 Z-1.319
N810 X-1.678 Y-0.402
N815 X-1.418 Y-0.945 Z-1.32
N820 X-1.217 Y-1.168
N825 X-0.667 Y-1.524 Z-1.321
N830 X-0.552 Y-1.586
N835 X-0.107 Y-1.725 Z-1.319
N840 X0.368 Y-1.684
N845 X0.767 Y-1.472 Z-1.321
N850 X1.214 Y-1.171 Z-1.32
N855 X1.52 Y-0.804 Z-1.319
N860 X1.735 Y-0.111
N865 X1.726 Y0.087
N870 X1.65 Y0.495
N875 X1.354 Y1.032 Z-1.32
N880 X1.241 Y1.152
N885 X0.708 Y1.513 Z-1.321

N890 X0.172 Y1.674

N895 X-0.028 Y1.724 Z-1.319

N900 X-0.12 Y1.721

N905 X-0.657 Y1.548 Z-1.321

N910 X-0.922 Y1.368 Z-1.32

N915 X-1.034 Y1.533 Z-1.314

...

Варто зауважити що код складається з 5440 рядків. Також подібним чином було виготовлено і усі інші необхідні у проекті деталі.

3.2 Електрична схематична компоновка роботи оснастки

Для автоматизованого управління проектованим обладнанням необхідно розробити систему керування яка буде обертати поворотний механізм з конічною оправкою, а також поворотним столом на якому розміщена заготовка з якої буде виготовлятися конус. Результат розробки представлено на рисунку 3.14.

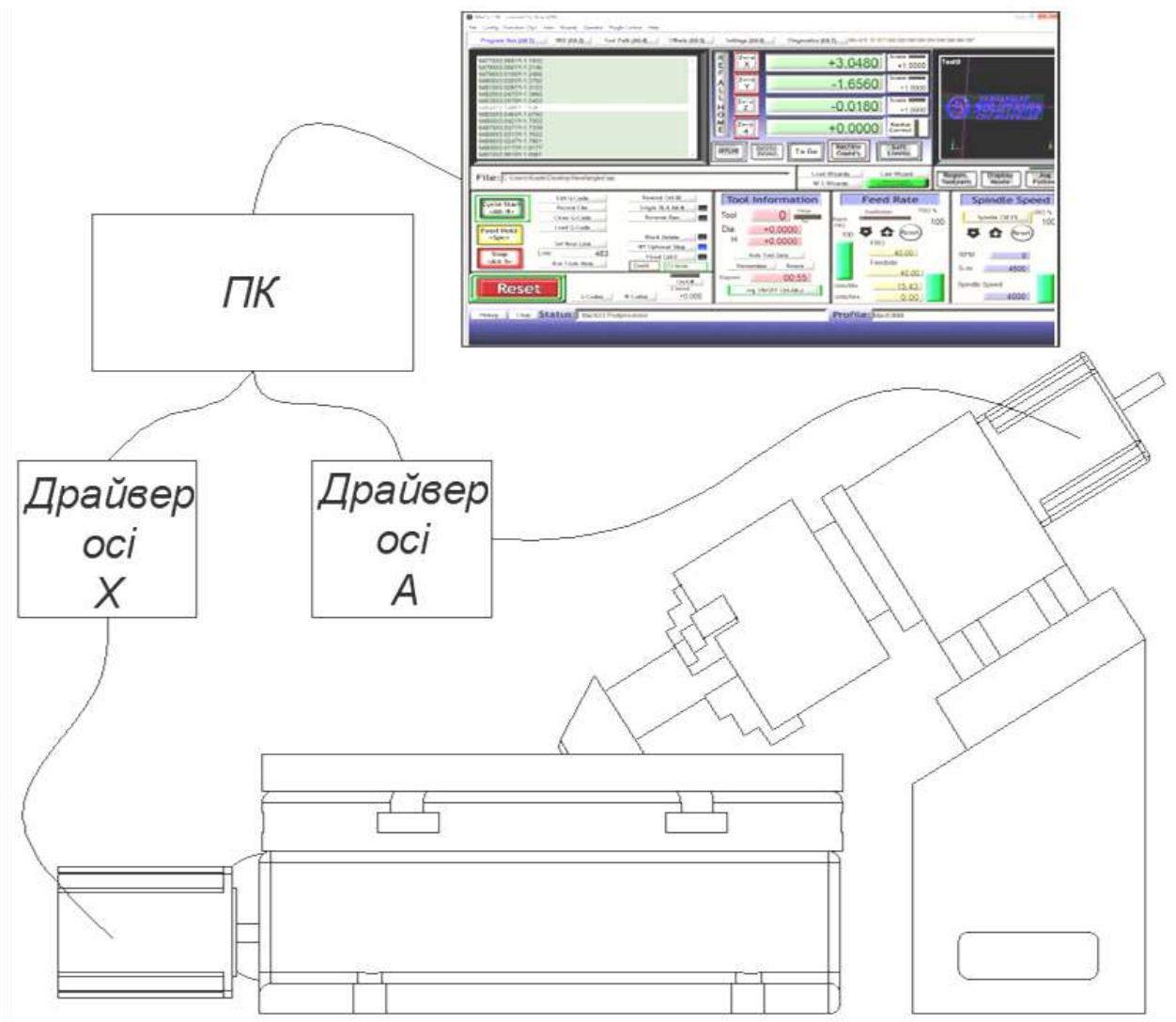


Рисунок 3.14 – Електрична схематична компоновка роботи оснастки

Для даних цілей варто застосувати крокові двигуни, які приєднані до драйверів, які в свою чергу приєднані до персонального комп'ютера. На комп'ютері встановлено програмне забезпечення Mach3, яке дає змогу керувати кроковими двигунами в режимі реального часу. Тобто керуючи віссю А відбувається управління поворотного механізму, а керуючи віссю Х відбувається управління поворотного столу. Для коректної роботи обладнання необхідно правильно налагодити синхронізацію обертання поворотних елементів.

3.3 Висновки до розділу

Загалом в даному розділі було здійснено наступне:

- розроблено технологічний процес виготовлення необхідних деталей для фрезерування на фрезерному верстаті з ЧПК;
- розроблено електричну схему управління обладнанням, а саме поворотним столом на якому розміщено заготовку, а також поворотним механізмом в якому закріплена кінцева оправка.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Виготовлення необхідних деталей на 3х осьовому фрезерному верстаті з системою числового програмного керування

Здійснивши моделювання усіх необхідних деталей обладнання, а згодом формування технологічного процесу виготовлення їх на фрезерному верстаті з ЧПК можна приступати до їх реального виготовлення.

Отже необхідно провести наступні дії:

- Завантажити керуючу програму Mach3 яка інстальована на ПК;
- Закріпити заготовку на столі фрезерного верстата;
- Встановити фрезу в цангу шпинделя верстата;
- Встановити нуль фрези;
- Запустити програму обробки.

На рисунку 4.1 наведено результат проміжної обробки деталі типу платформа першої половини.



Рисунок 4.1 – Результат фрезерування першої половини деталі платформа

На рисунку 4.2 зображено процес фрезерування проміжного етапу виготовлення другої половини деталі типу платформа.

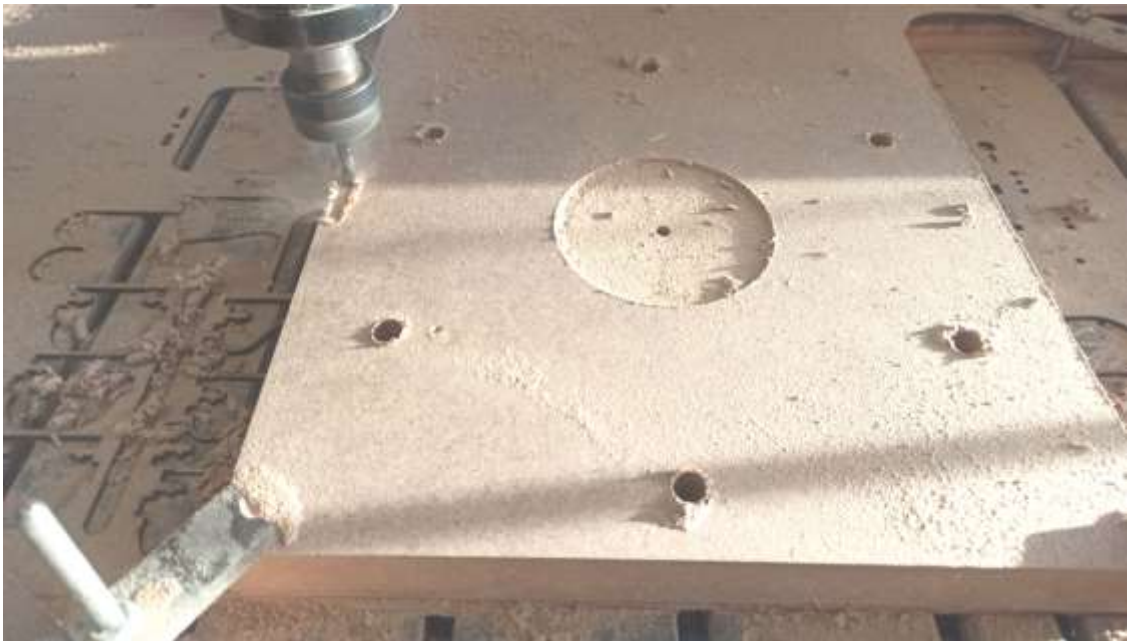


Рисунок 4.2 – Процес фрезерування проміжного етапу виготовлення другої половини деталі типу платформа

В результаті проведеної роботи отримуємо готову деталь (рис. 4.3).

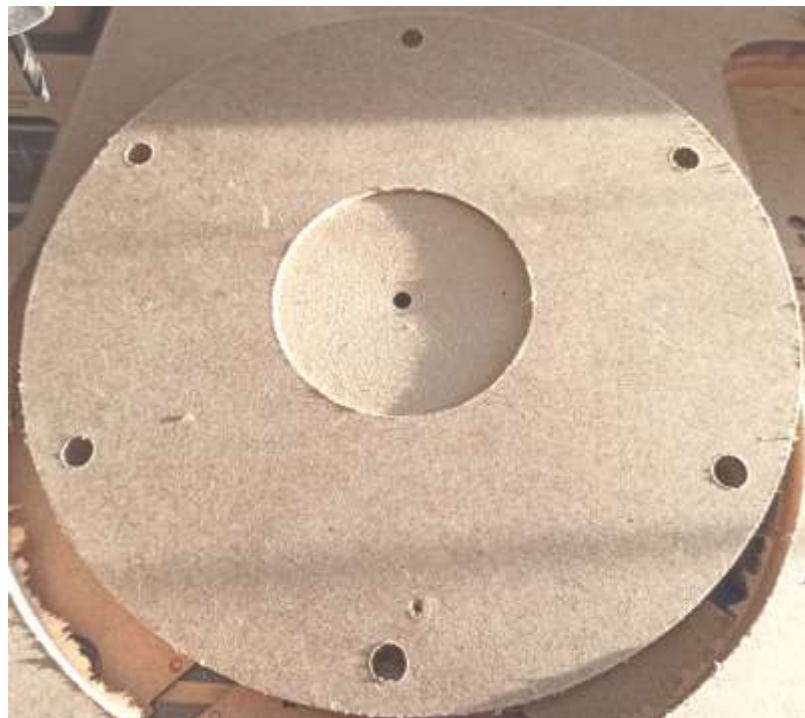


Рисунок 4.3 – Виготовлена деталь типу платформа

Також на рисунку 4.4 зображено процес виготовлення деталі типу площадка на яку прикріплюється поворотний механізм.



Рисунок 4.4 – Процес виготовлення деталі типу горизонтальна площадка

Варто відмітити, що деталь типу бокова стінка виготовлялася подібним чином і їх треба 2 штуки. Маючи в наявності усі необхідні елементи з якого буде складатися обладнання можна переходити безпосередньо до виготовлення.

4.2 Збірка оснастки для вальцювання конусів з листового матеріалу

Для початку розміщуємо поворотний стіл на основу (за основу візьмемо стіл фрезерного верстата). Далі за допомогою болтів М8 та гайок М8 кріпимо тарілкоподібну платформу до плити поворотного столу. Потім скріплюємо бокові стінки з горизонтальною площадкою похилої платформи. виготовлену платформу прикріплюємо до столу фрезерного верстату На площадці похилої платформи за допомогою шпильок М6 та гайок М6 кріпимо поворотний механізм. Також в трикулачковому патроні поворотного механізму кріпимо

конусну оправку. Загалом оснастка є повністю зібраною та зображена на рисунку 4.5 (вид збоку), на рисунку 4.6 (вид спереду).



Рисунок 4.5 – Виготовлена оснастка (вид збоку)



Рисунок 4.6 – Виготовлена оснастка (вид спереду)

Крокові двигуни для обертання поворотного столу та обертального механізму для конусної оправки було приєднано до драйверів які в свою чергу керуються з програми Mach3 що є на ПК в режимі реального часу.

4.3 Експеримент вальцювання конусу з листового матеріалу

Для початку необхідно було змоделювати 3D модель конуса, але не як монолітного, а такого що він сформований з листового матеріалу. Результат роботи приведено на рисунку 4.7. Відповідно коли розгорнути конус, тобто перетворити його на заготовку для подальшої обробки, то він буде виглядати віялоподібним (рис. 4.8).

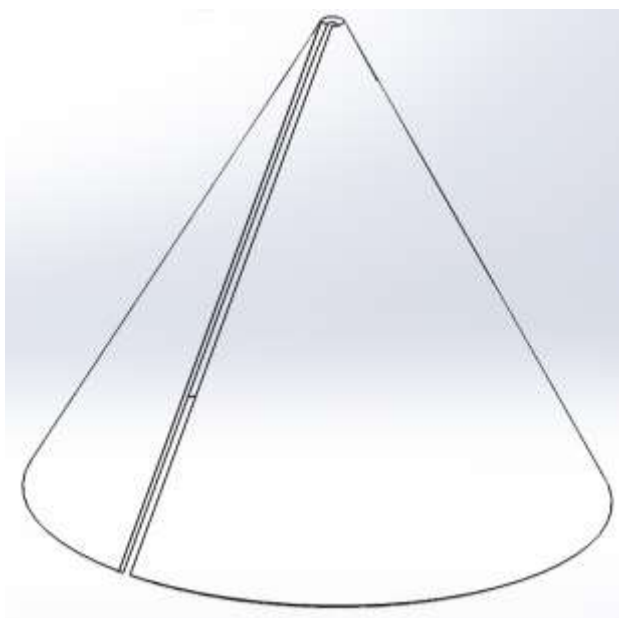


Рисунок 4.7 – 3D модель конуса



Рисунок 4.8 – Віялоподібна заготовка

Далі дану заготовку необхідно вкласти в тарілкоподібну форму на поворотному столі (рис. 4.9). Потім необхідно синхронізувати обертання поворотного столу і поворотного механізму так щоб вони рухалися навпроти один до одного і з певною визначеною швидкістю. Тобто буде відбуватися ефект намотування заготовки на конусоподібну оправку. В результаті отримаємо намотаний на оправку виріб (рис. 4.10).

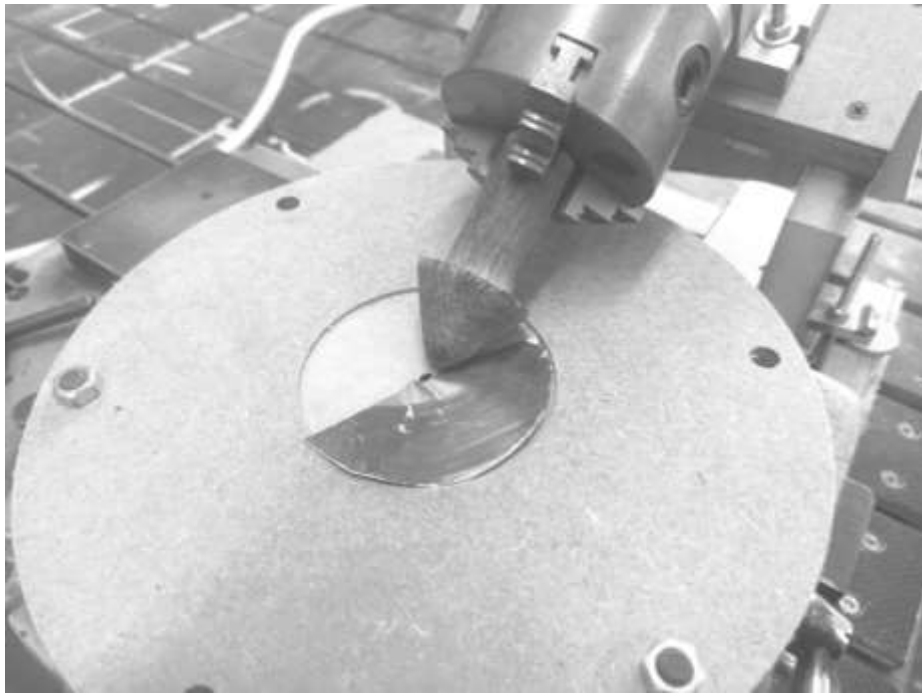


Рисунок 4.9 – Початок процесу вальцювання конусу

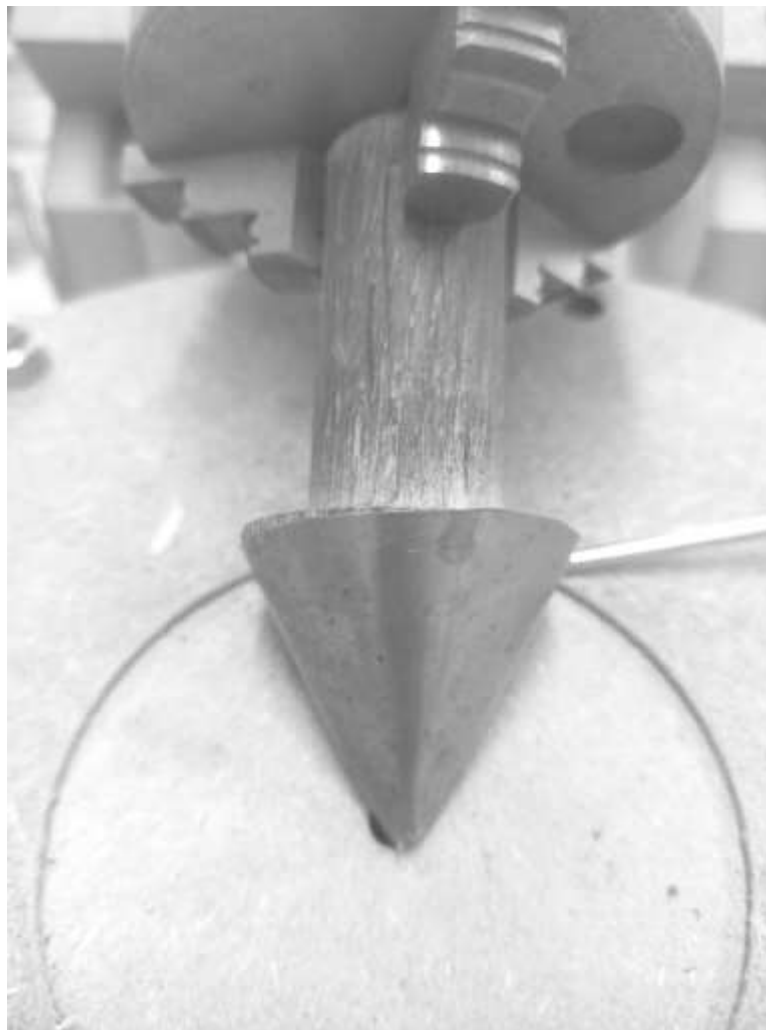


Рисунок 4.10 – Намотаний на конусну насадку виріб

В результаті проведеної роботи отримаємо готовий необхідний по формі виріб (рис. 4.11).



Рисунок 4.11 – Готовий виріб

Варто відмітити, що даним способом можна виготовляти конуси з різним кутом та різних геометричних розмірів.

4.4 Висновки до розділу

В даному розділі виконано наступне:

- Виготовлено усі необхідні деталі на фрезерному верстаті з ЧПК;
- Здійснено збірку усіх елементів проектного обладнання;
- Здійснено приєднання електричної частини, що обладнання могло працювати в контрольованому режимі;
- Проведений успішний експеримент в якому проведено виготовлення конусу з листового матеріалу.

ВИСНОВКИ

В першому розділі були розглянуті наступні питання: конусна прокатка листового металу; основні технологічні особливості конусної прокатки металевих листів; опис операційних етапів конусної прокатки металу; технологія прокатування конуса; запобіжні заходи щодо прокатки конусів.

В другому розділі здійснено розробку схеми функціонування обладнання для вальцювання конусів з листового матеріалу. Відповідно виконано проектування усіх необхідних елементів обладнання. Також з метою перевірки коректного з'єднання усіх деталей та вузлів в один цілий та функціональний, в програмному забезпеченні SolidWorks було здійснено збирання раніше спроектованих 3D деталей та вузлів.

Загалом в третьому розділі було здійснено наступне:

- розроблено технологічний процес виготовлення необхідних деталей для фрезерування на фрезерному верстаті з ЧПК;
- розроблено електричну схему управління обладнанням, а саме поворотним столом на якому розміщено заготовку, а також поворотним механізмом в якому закріплена кінцева оправка.

В четвертому розділі виконано наступне:

- Виготовлено усі необхідні деталі на фрезерному верстаті з ЧПК;
- Здійснено збірку усіх елементів проектного обладнання;
- Здійснено приєднання електричної частини, що обладнання могло працювати в контрольованому режимі;
- Проведений успішний експеримент в якому проведено виготовлення конусу з листового матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матеріали за посиланням <https://www.shen-chong.com/ultimate-guide-to-sheet-metal-cone-rolling/>
2. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
3. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
4. Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158с.
5. Технологія конструкційних матеріалів [Текст] : навч. посіб. / П. І Літовченко, Л. П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с. : іл.
6. Вайнтрауб М. А. Теорія і практика професійної підготовки майбутніх кваліфікованих робітників з обробки металу : монографія / М. Вайнтрауб. – вид. 2-ге, доповн. – К. : Т. Ключко, 2013. – 328 с.
7. Сичук ВА Практики модернізацій систем ЧПУ металорізальних верстатів/ВА Сичук, ОВ Заболотний, ПМ Харчук//Наукові нотатки.-2019.-Вип. 66.-С. 313-318.-Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_66_50.
8. Somov, D., Zabolotnyi, O., Polinkevich, R., Valetskyi, B., Sychuk, V. Experimental vibrating complex for the research of pressing processes of powder materials Lecture Notes in Mechanical Engineering Open source preview, 2020, pp. 321–329
9. Божко Т. Є. Впровадження засобів САПР у навчальному процесі в Луцькому національному технічному університеті / Т. Є. Божко, Т. Н. Гальчук, В. А.

Сичук // Наукові нотатки. - 2016. - Вип. 54. - С. 49-52. - Режим доступу:
http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2016_54_10.

10. Довідкові матеріали програмного забезпечення FeatureCAM.
11. Довідкові матеріали програмного забезпечення Mach3.
12. Довідкові матеріали програмного забезпечення SolidWorks.