

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІГОРЯ СІКРОРСЬКОГО»** імені

**Механіко-машинобудівний інститут
кафедра «Конструювання та дизайн машин»**

До захисту допущено:
завідувач кафедри

_____ 20__р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Конструювання та дизайн
машин»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: «Дисковий шевер для обробки косозубого зубчастого колеса»

Виконав:

студент IV курсу, групи МК-22

Андрусенко Антон Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис) _____

Керівник:

Парненко В.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, піб)

(підпис) _____

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, піб)

(підпис) _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Навчально-науковий Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ **131 Прикладна механіка** _____
(код і назва)

Освітньо-професійна програма _____ **«Конструювання та дизайн машин»** _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ **Олександр САЛЕНКО** _____

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 202_ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____ Андрусенку Антону Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Дисковий шевер для обробки косозубого зубчастого колеса _____

керівник проекту Парненко Валерія Сергіївна _____

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

затверджені наказом по університету від “ _____ ” **202 року №**

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту: розробити конструкцію дискового шевера для обробки косозубого зубчастого колеса з параметрами: модуль зубчастого колеса 6 мм, кількість зубців 27, кут нахилу зубців 15°, товщина зуба 11,94 мм, висота зуба, 14.4 мм, діаметр початкового кола 162 мм, матеріал сталь Р6М5, масове виробництво. Розробити конструкцію стружкових канавок шевера, визначити їх розмірні характеристики. Запропонувати зносостійке покриття шевера та оцінити вплив конструктивних рішень на ефективність процесу шевінгування.

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз конструкцій дискових шеверів обробки косозубих зубчастих коліс, матеріалів, геометричних параметрів стружкових

каналок шевера, аналіз методів електроерозійної обробки, розробка конструкції стружкових каналок шевера, визначення їх розмірних характеристик, побудова 3D-моделі шевера, технологія виготовлення дискового шевера, пристосування для закріплення шевера для обробки зубчастого колеса, 3D-модель пристосування.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) аналіз конструкцій дискових шеверів, геометричних параметрів стружкових каналок шевера та синтез конструкції, робочий кресленик зубчастого колеса, робочий кресленик дискового шевера, етапи побудови 3D-моделі та 3D-модель шевера, ескізи технологічних операцій, складальний кресленик пристосування та 3D-модель пристосування. Презентація до захисту.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз процесу шевінгування	24.04.2026	
2	Аналіз конструкції дискових шеверів	01.05.2026	
3	Побудова 3D моделі інструменту та робочий кресленик шевера	08.05.2026	
4	Технологічний процес виготовлення дискового шевера	15.05.2026	
5	Розробка конструкції пристосування	22.05.2026	
6	Креслення пристосування	29.05.2026	

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту _____

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Дисковий шевер для обробки косозубого
зубчастого колеса»**

Київ – 2026 року

АНОТАЦІЯ

Ця дипломна робота присвячена розробці шевера для обробки косозубих зубчастих коліс. Головним завданням було визначення та створення різального профілю інструмента, розробка технологічного процесу для виготовлення дискового шевера, технологічного пристосування для закріплення інструмента під час обробки ним.

До дипломного проєкту входять:

- аналіз процесу шевінгування;
- аналіз стружкових канавок шевера;
- побудова 3D моделі шевера;
- технологія процесу виготовлення шевера;
- проєктування технологічного пристосування.

Мова - уа

Ключові слова: дисковий шевер, інструмент, зубчасте колесо, пристосування.

ANNOTATION

This diploma project is dedicated to the development of shaving cutter for processing spur gears. The main task was to determine and create cutting profile of a tool, development of the technological process for the manufacture of shaving cutters, technological device for fastening shaving cutter during its use.

The diploma project includes:

- analysis of processing with shaving cutters;
- analysis of serrations in shaving cutters;
- creation of a 3D model of a shaving cutter;
- technology of the process of making a shaving cutter;
- design of a technological device.

Language – ua

Keywords: shaving cutter, tool, spur gear, device.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Аналіз процесу шевінгування.....	7
1.1 Види шевінгування.....	7
1.1.1 Поздовжнє шевінгування.....	8
1.1.2 Шевінгування методом «короткого ходу».....	9
1.1.3 Діагональне шевінгування.....	9
1.2 Переваги процесу шевінгування.....	10
2. Аналіз конструкції дискових шеверів.....	11
2.1 Аналіз стружкових канавок дискових шеверів.....	12
3. Аналіз електроерозійної обробки.....	14
3.1 Занурювальна електроерозійна обробка.....	15
3.2 Сверлильна електроерозійна обробка.....	15
3.3 Дротова електроерозійна обробка.....	16
3.4 Переваги та недоліки електроерозійної обробки.....	16
4. Розроблення конструкції шевера.....	18
4.1 Матеріал для виготовлення дискового шевера.....	18
4.2 Геометричні та конструкторські параметри дискового шевера.....	19
4.3 Побудова 3D моделі дискового шевера.....	20
5. Технологія виготовлення шевера.....	29
5.1 Технологічний процес виготовлення дискового шевера.....	29
5.2 Розрахунок режимів різання.....	39
6. Технологічне пристосування.....	41
6.1 Опис роботи пристосування.....	41
6.2 Розрахунок сили затиску планки.....	42
6.3 Розрахунок моменту різьбового затиску.....	44
6.3 Створення 3D моделі пристосування.....	46
Висновок.....	49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
ДОДАТКИ.....	51

ВСТУП

Зубчасті колеса після їх нарізання часто потребують додаткової чистової обробки через недостатньо низьку шорсткість зуба або нерівностей в профілі, які призводять до биття в зубчастих парах і підвищеного шуму. Шевінговання є одним з методів, які можна використати для усунення цих проблем. Але складна технологія виготовлення стружкових канавок приносить труднощі для масового виробництва шеверів. Саме тому ця робота призначена розробці дискового шевера та пристосування до нього.

1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ШЕВІНГУВАННЯ

Для шевінгування потрібно встановити осі оброблюваної шестерні та шевера так, щоб між ними був кут від 5 до 15°, схрестити їх та обертати. Ковзний рух поверхні зуба дозволяє тонко точити шестерню, зрізаючи невелику кількість матеріалу.

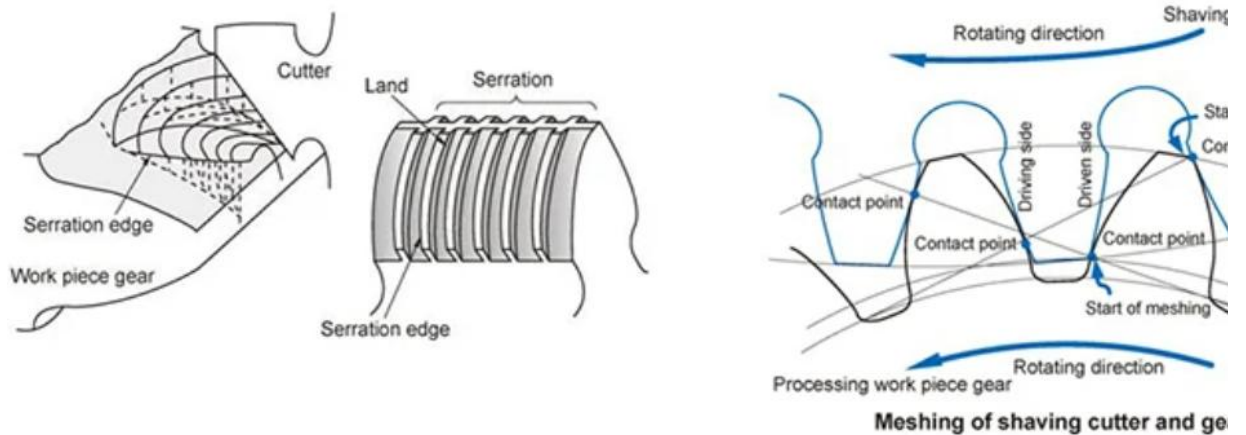


Рисунок 1.1 – Обробка зубів шевером [1]

Шевінгування шестерень виконується лише перед термічною обробкою.

1.1 Види шевінгування

Оброблювати шестерні шевером можна кількома способами, кожний з яких має свої переваги та недоліки.

1.1.1 Поздовжнє шевінгування

Під час обертання рух подачі шевера здійснюється паралельно до осі шестерні. Вісь шевера повертають на кут схрещення φ до осі зубчастого колеса, величина якого визначається за формулою $\varphi = \beta_k \pm \beta_{ш}$ (1.1), де β_k – кут нахилу зуба шевінгувального колеса, а $\beta_{ш}$ – кут нахилу зуба шевера; якщо напрямлення винтових ліній зубців колеса та шевера співпадають, то ставлять знак плюс; якщо вони протилежні – то знак мінус. Після кожного поздовжнього ходу здійснюється радіальна подача стола на 0,02 – 0,06 мм з одночасною зміною напрямлення обертання шевера.

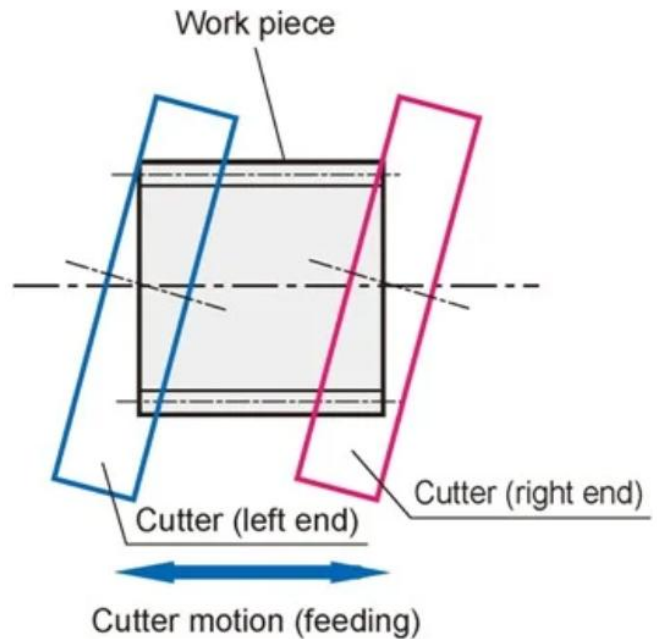


Рисунок 1.2 – поздовжнє шевінгування [1]

Зближення шевера і колеса після кожного проходу здійснюється до того моменту, коли товщина шевру не дійде заданого розміру. Цей метод дозволяє оброблювати ширші деталі вузькими шеверами. Недоліками цього методу є відносно довгий рух подачі та неповне використання інструмента – лише середня частина зубців працює.

1.1.2 Шевінгування методом «короткого ходу»

У випадку, коли оброблюється декілька шестерень, розташованих близько одна до одної, наприклад, як показано на рисунку 1.3, традиційне шевінгування важко застосувати. У такому випадку застосовується шевінгування, для якого рух подачі здійснюється перпендикулярно до осі шестерні. Під час руху точка контакту переходить зліва направо, що дозволяє обробити весь зуб. Для цього методу можна використовувати шевер ширші за шестерню, але перед обробкою шевер необхідно загострити.

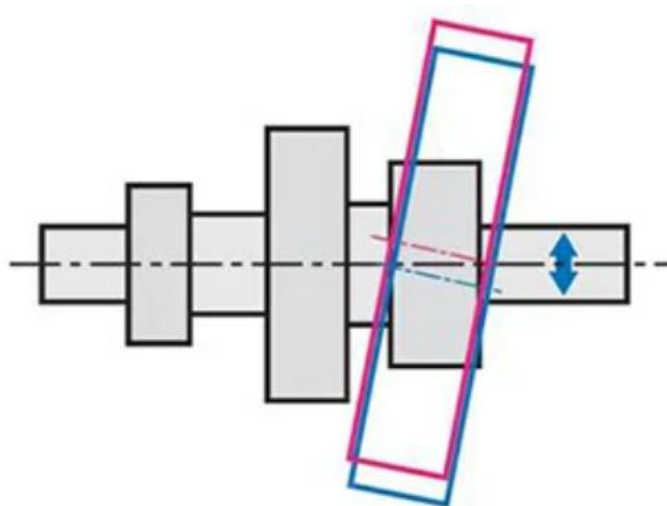


Рисунок 1.3 – шевінгування методом «короткого ходу» [1]

1.1.3 Діагональне шевінгування

Рух подачі здійснюється під кутом ω , значення і напрям якого встановлюються так, щоб у кожного з торців зубчастого вінця колеса профілююча точка на зубцях шевера знаходилась в зоні першої канавки від торця. Так точка контакту з шевером переміщується не лише по довжині зуба колеса, а і по довжині зуба шевера. Зміщення точок контакту на зубцях шевера зменшує знос інструмента, а короткий рух подачі забезпечує короткий час обробки. Може бути використаний лише на верстатах, дозволяючих поворот центрової бабки відносно направляючих шевінговальної бабки на кут ω в площині, паралельній до осей шевера та колеса.

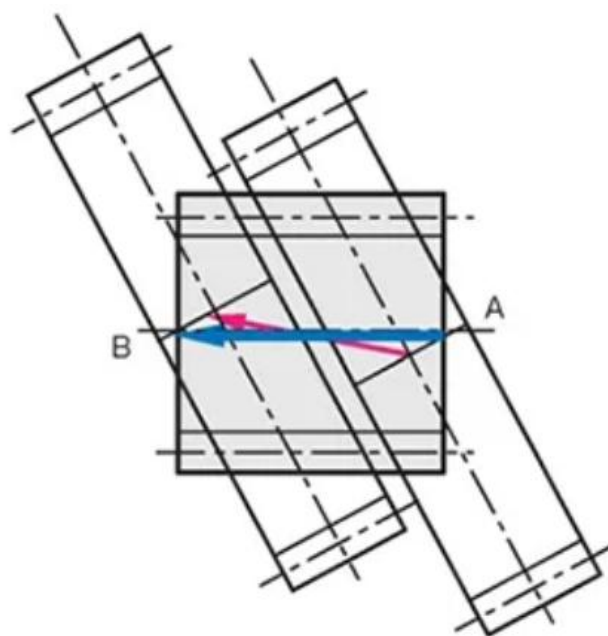


Рисунок 1.4 – діагональне шевінгування [1]

направляючих шевінговальної бабки на кут ω в площині, паралельній до осей шевера та колеса.

1.2 Переваги процесу шевінгування

Процес шевінгування підвищує якість і ефективність виробництва коліс, маючи такі переваги:

- Зменшення шорсткості поверхні зубця за рахунок здирання маленьких частинок зуба колеса, що є важливим для зменшення шуму системи;
- Виправлення невеликих відхилень, які трапляються в профілі зуба колеса, що забезпечує високу точність допусків деталі;
- Висока якість поверхні та точність допусків забезпечує зменшення зносу шестерень;
- Цей процес дешевший, ніж процес тертя профілів зубців, але не поступається якістю обробки деталі.

2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДИСКОВИХ ШЕВЕРІВ

Дискові шевера мають конструкцію косозубих коліс, які в зубах містять стружкові канавки, якими вони зрізають метал з зубів шестерень. Вони бувають 2 типів:

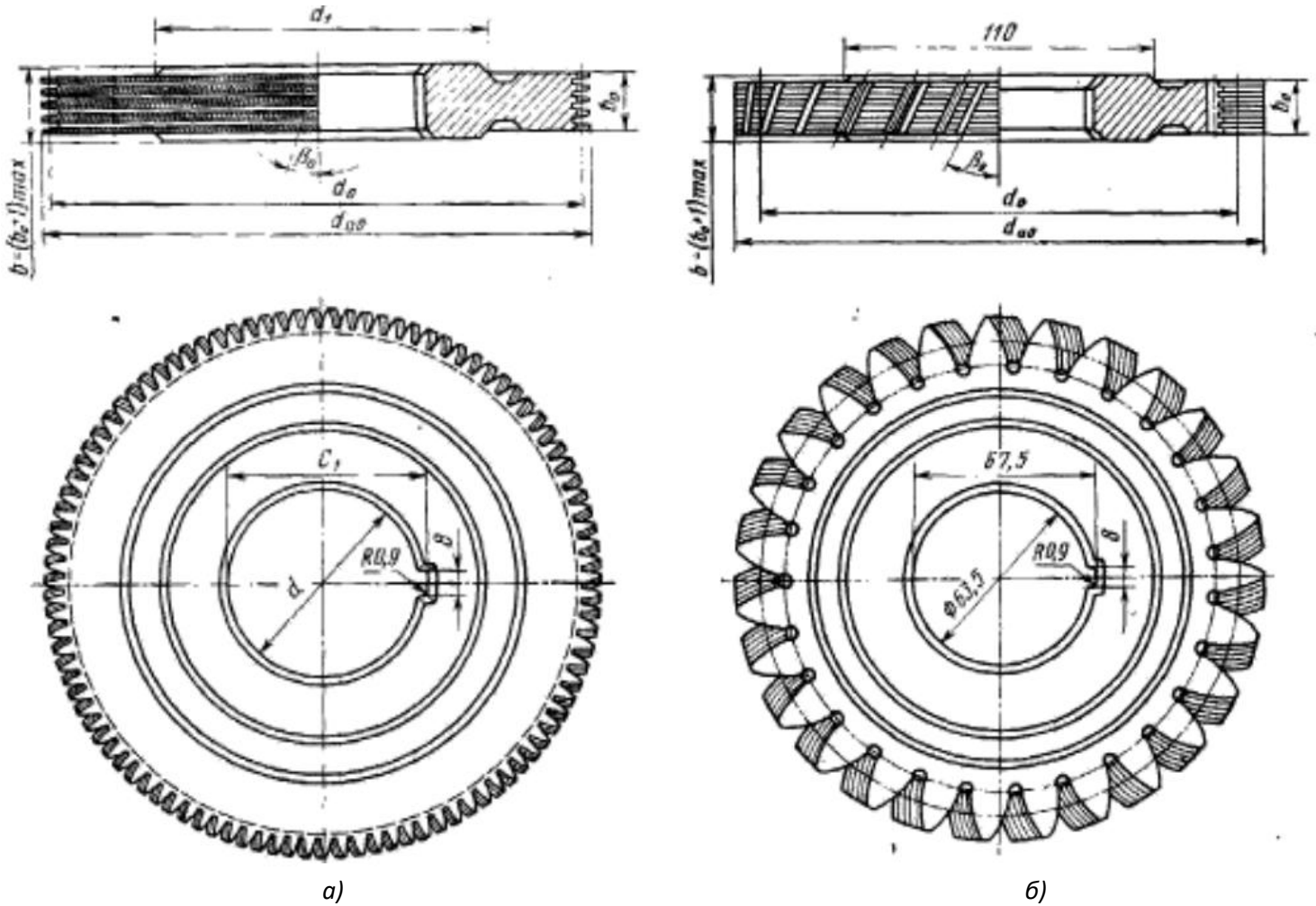


Рисунок 2.1 Типи дискових шеверів:
а – 1-й тип; б – 2-й тип

1-й тип – шевера з маленькими значеннями модулів $m = 1-1,75$ мм та наскрізними стружковими канавками;

2-й тип – шевера з великими значеннями модулів $m = 2-8$ мм та глухими стружковими канавками.

Шевера зазвичай виготовляються з швидкорізальних сталей, наприклад P18, P6M5 або P9K5. Твердість різальної частини шеверів має бути не менше ніж HRC 63...66.

2.1 Аналіз стружкових канавок дискових шеверів

Для шеверів 1-го типу використовуються стружкові канавки 1-го типу:

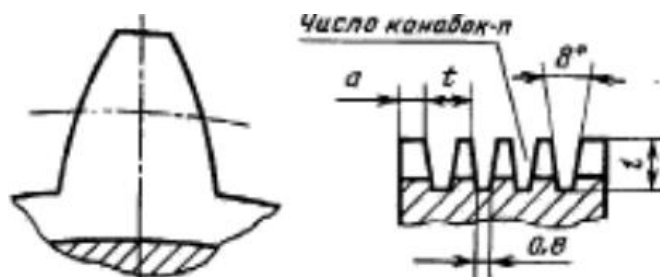


Рисунок 2.2 – стружкові канавки 1-го типу

Вони є трапеціюподільної форми з кутом 8° . Ширина канавок t збільшується в залежності від модуля шевера, але відстань між їх основами завжди дорівнює 0,8 мм.

Для шеверів 2-го типу використовуються стружкові канавки 2-го типу, у 3 різних виконаннях:

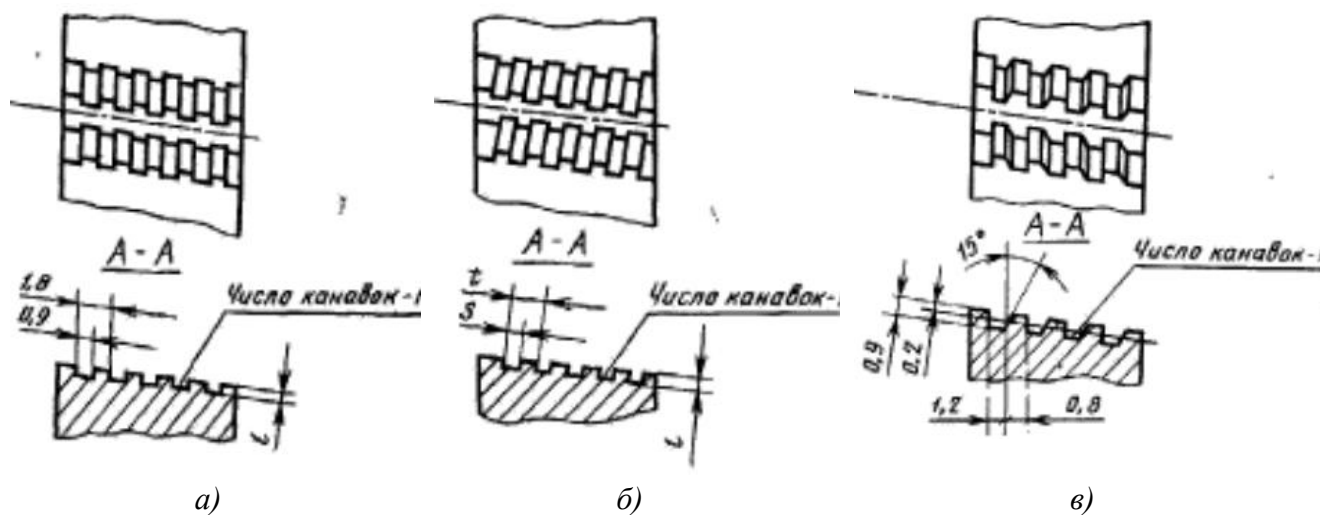


Рисунок 2.3 – стружкові канавки 2-го типу:

а – 1-ше виконання; б – 2-ге виконання; в – 3-тє виконання

Стружкові канавки у 1-му та 2-му виконанні мають прямокутну форму, але у 1-му виконанні їх ширина та відстань між ними незмінні, на відміну від 2-го виконання. У 3-му виконанні одна з сторін канавки нахилена під кутом 15° , утворюючи нерінобічну трапецію. Також вони мають постійну глибину, на відміну від усіх інших стружкових канавок.

3. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ

Процес електроерозійної обробки полягає в під'єднанні деталі та електрода до блоку живлення, зануренні оброблюваної деталі в діелектричну рідину, наприклад, в мінеральну оливу або дистильовану воду, піднесенні до неї електрода та та подання напруги для створення періодичних електричних розрядів між заготовкою та електродом, які утворюють локалізовані температури від 8000 до 12000 °С, за рахунок яких руйнується матеріал.

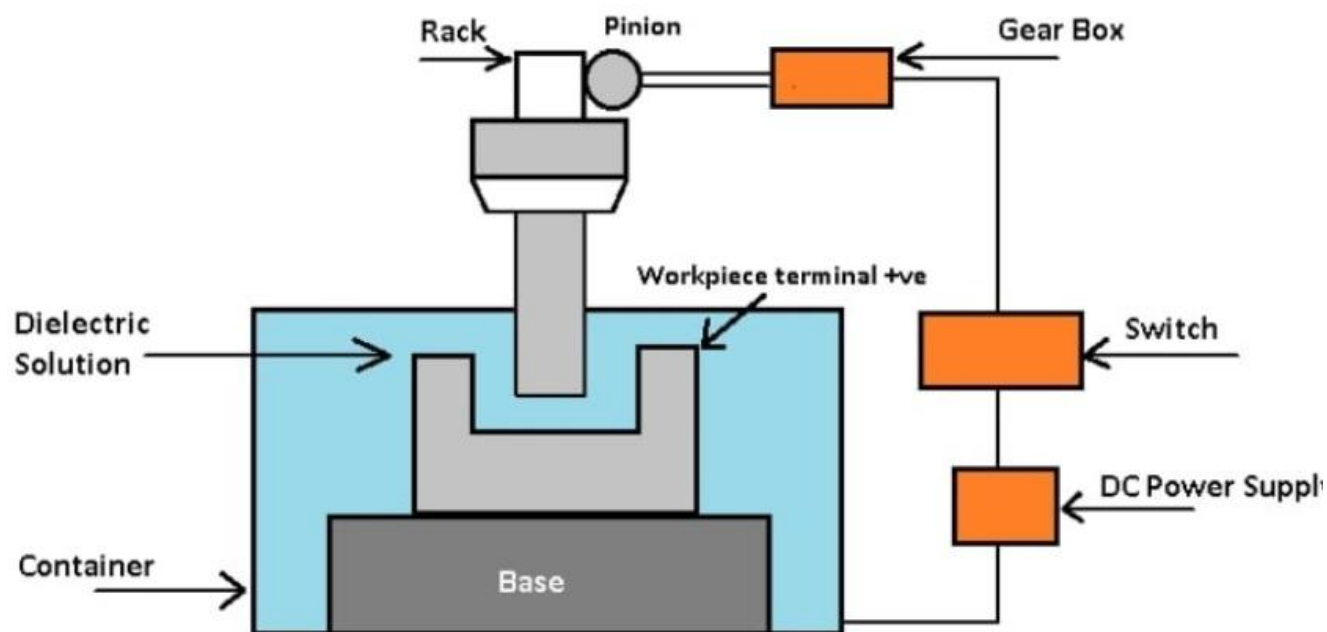


Рисунок 3.1 – схема електроерозійної обробки [3]

Під час обробки електрод має знаходитись на відстані 0,005-0,05 мм від деталі. Один іскровий розряд має тривалість $10^{-5} \dots 10^{-7}$ с.

Всю електроерозійну обробку можна поділити на 3 основні категорії: занурювальну (Sinker EDM [3]), сверлильну (Hole drilling EDM [3]) та дротову (Wire EDM [3]). Кожна з них використовується для обробки конкретних деталей.

3.1 Занурювальна електроерозійна обробка

Ця обробка полягає в вирізанні трьохвимірних форм в заготовках графітним або мідним електродом. Електрод формується під форму, яку потрібно вирізати на заготовці. Цей метод зазвичай використовується для створення складних прес-форм та впадин в твердих матеріалах.

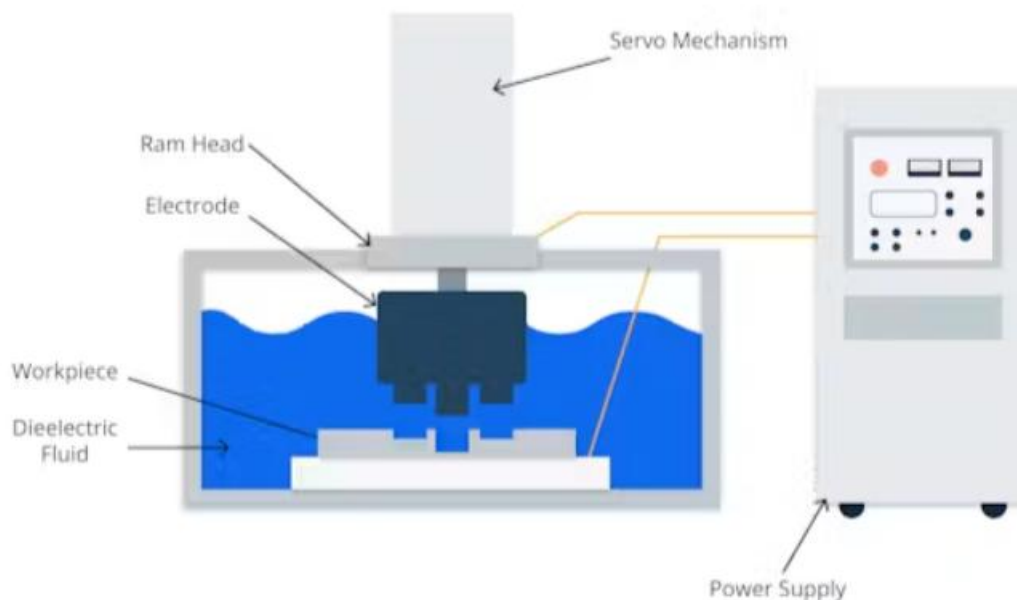


Рисунок 3.2 – схема занурювальної електроерозійної обробки [4]

3.2 Сверлильна електроерозійна обробка

Ця обробка полягає в обертанні трубчастого електрода з вертикальною подачею для утворення глибоких отворів з невеликим діаметром в електропровідних матеріалах. Діелектрична рідина під високим тиском протікає через електрод з метою змивання зруйнованого матеріалу.

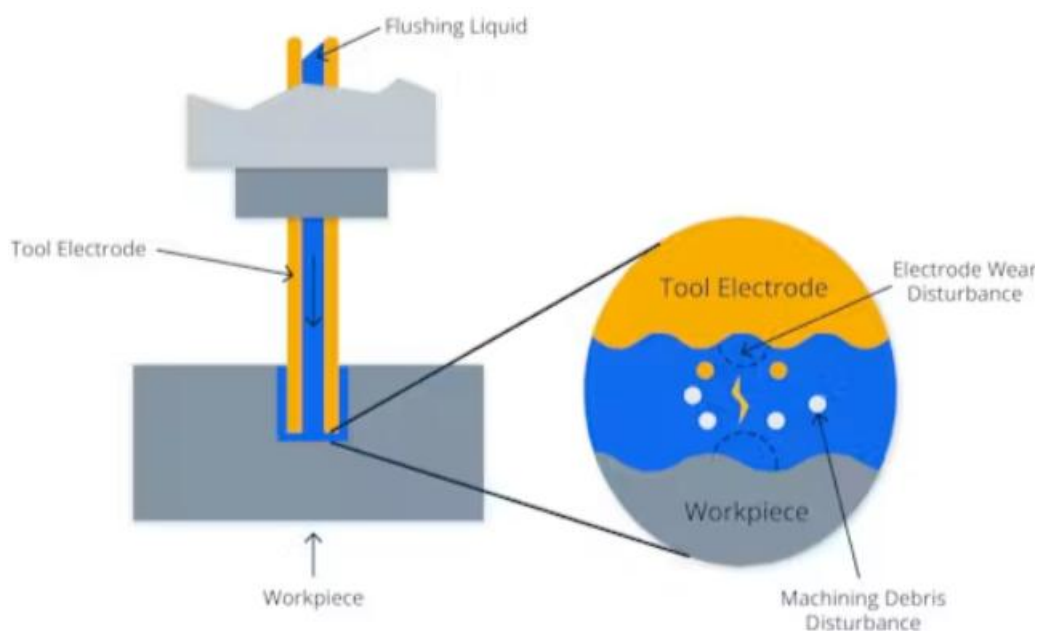


Рисунок 3.2 – схема занурювальної електроерозійної обробки [4]

3.3 Дротова електроерозійна обробка

Ця обробка полягає в вирізанні двохвимірних форм в електропровідних металах постійно рухаючимся тонким дротом. Цим методом можна вирізати складні мілкі контури, що робить цю обробку оптимальною для вирізання стружкових канавок шевера. Дроти можуть бути зроблені з міді, олова або олова з цинковим покриттям. Мідні та олов'яні дроти є дешевшими, але цинкове покриття забезпечує вищу стабільність іскри, що призводить до меншої шорсткості обробленої поверхні.

3.4 Переваги та недоліки електроерозійної обробки

Переваги:

- Обробка здатна забезпечити точність в $\pm 0,02$ мм;
- Відсутність механічної деформації за рахунок відсутності контакту;

- Здатність обробляти всі електропровідні метали в незалежності від їх твердості;
- Здатність виготовлення складної геометрії.

Недоліки:

- Нездатність оброблювати матеріали, які погано проводять струм, наприклад, кераміку;
- Обробка відбувається повільніше, ніж обробка при інших металорізальних операціях;
- Висока вартість;
- Електроди зношуються та потребують частої заміни.

4. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ШЕВЕРА

4.1 Матеріал для виготовлення дискового шевера

Вибір матеріалу. При обробці сталевих виробів приймаємо матеріал різальної частини Р6М5

Хімічний склад швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73

Таблиця 4.1 – Хімічний склад Р6М5 ГОСТ 19265-73

Хімічний склад	Відсоткова частка %
C	0,82 – 0,9
Si	0,2 – 0,5
Mn	0,2 – 0,5
Ni	До 0,6
S	До 0,025
P	До 0,03
Cr	3,8 – 4,4
Mo	4,8 – 5,3
W	5,5 – 6,5
V	1,7 – 2,1
Co	До 0,5
Cu	До 0,25

Характеристика та дані про сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73

Таблиця 4.2 – Властивості швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73

Питома вага	7750 кг/м ³
Температура критичних точок	$A_{c1} = 815^{\circ}\text{C}$ $A_{r1} = 730^{\circ}\text{C}$
Твердість матеріалу	255 НВ
В'язкість	Підвищена
Зносостійкість	Хороша
Шліфувальність	Хороша

Таблиця 4.3 – Призначення швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73

Марка сталі	Особливості та умови роботи інструмента	Призначення
Р6М5	Працює при нагріванні до 580-600°C, з великими подачами в умовах підвищених механічних і ударних навантажень. Можливе застосування методів гарячої пластичної деформації	Різці, черв'ячні фрези, свердла, протяжки, машинні мітчики

4.2 Геометричні та конструкторські параметри шевера

Приймаємо ширину шевера $b = 20$ мм, ділильний діаметр $d = 180$ мм, модуль $m = 6$ мм, число зубців $z = 27$, кут нахилу зуба $\beta = 15^\circ$, діаметр вершин зубців $da = 187,85$ мм, діаметр западин зубців $df = 158,45$ мм, висота зуба $h' = 14,7$ мм, товщина зуба $Sn = 11,94$ мм.

4.3 Побудова 3D моделі дискового шевера

Починаю моделювати шевер у програмі Inventor

1. Створюю зубчасту передачу з необхідними параметрами

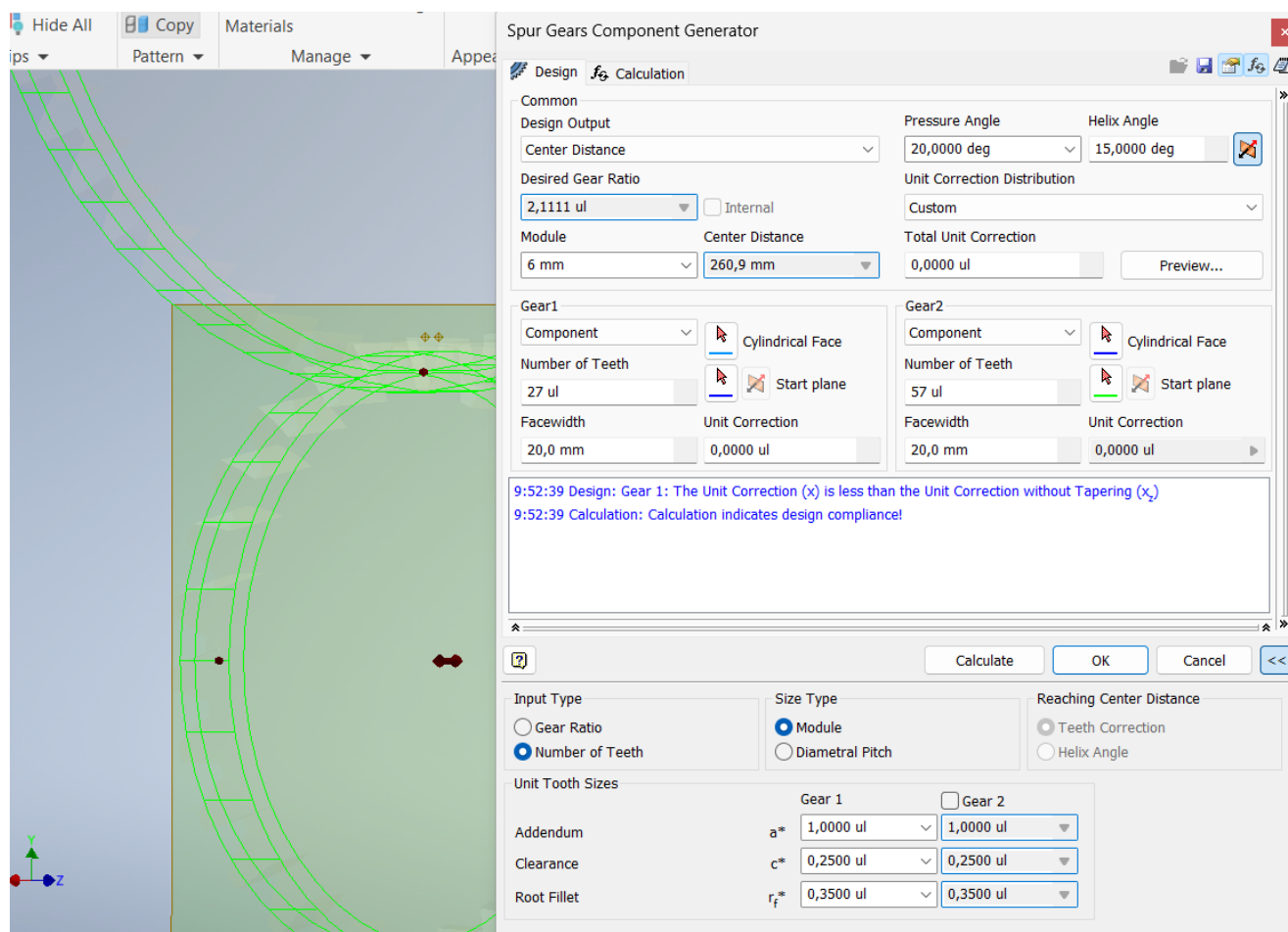


Рисунок 4.1 – створення зубчастої передачі

2. Налаштовую незалежність шестерень одна від одної та вимикаю видимість непотрібного колеса

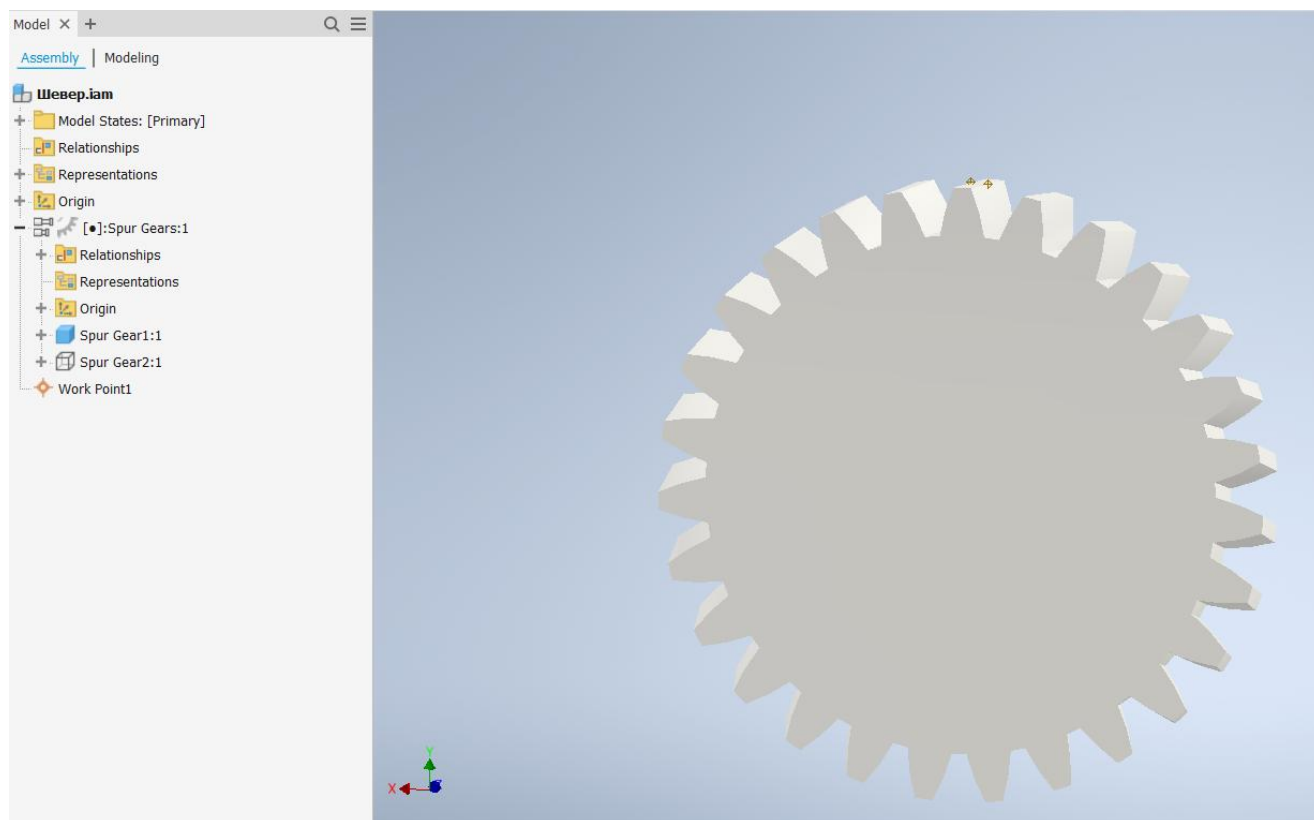


Рисунок 4.2 – створене колесо

3. Змінюю діаметри вершин і западин зубців

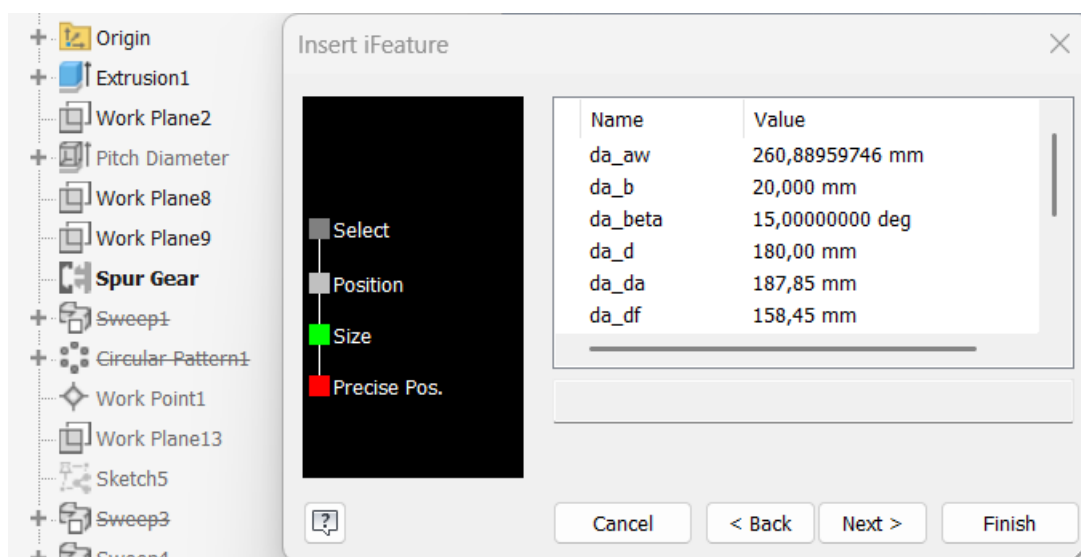


Рисунок 4.3 – задання діаметру вершин і западин зубців

4. Створюю отвір між зубцями функцією Sweep

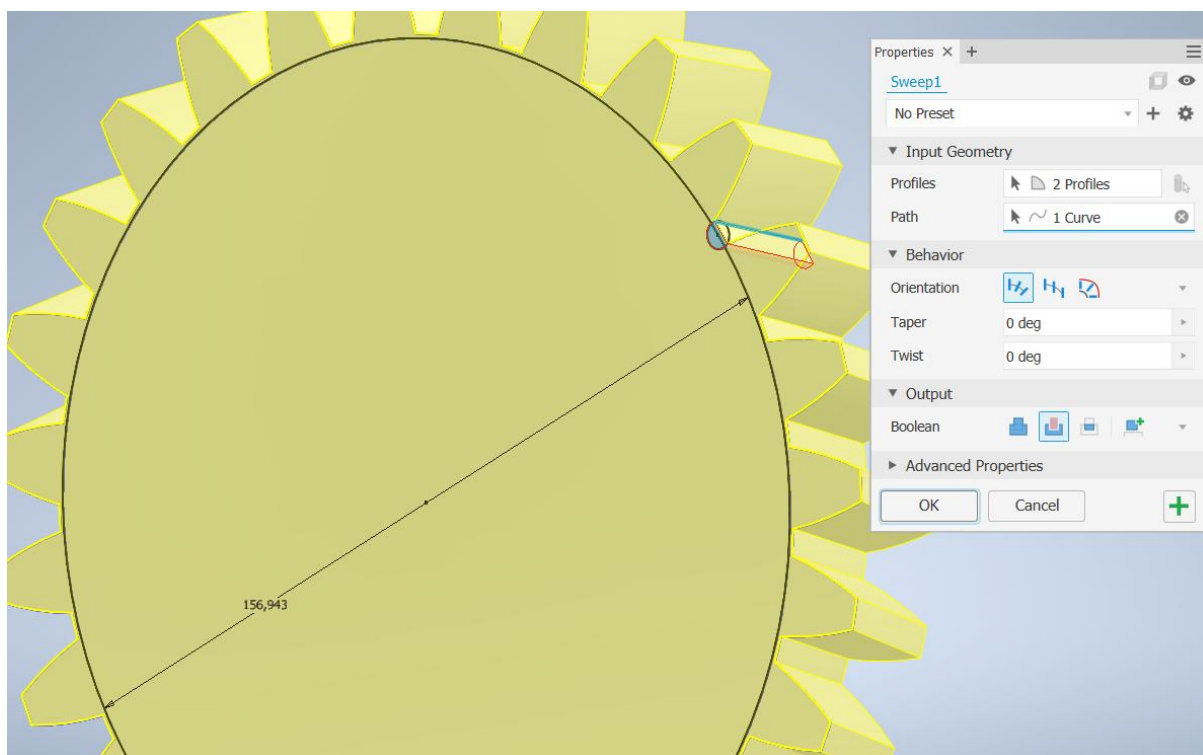


Рисунок 4.4 – створення отвору між зубцями

5. Розмножую отвір між усіма зубцями

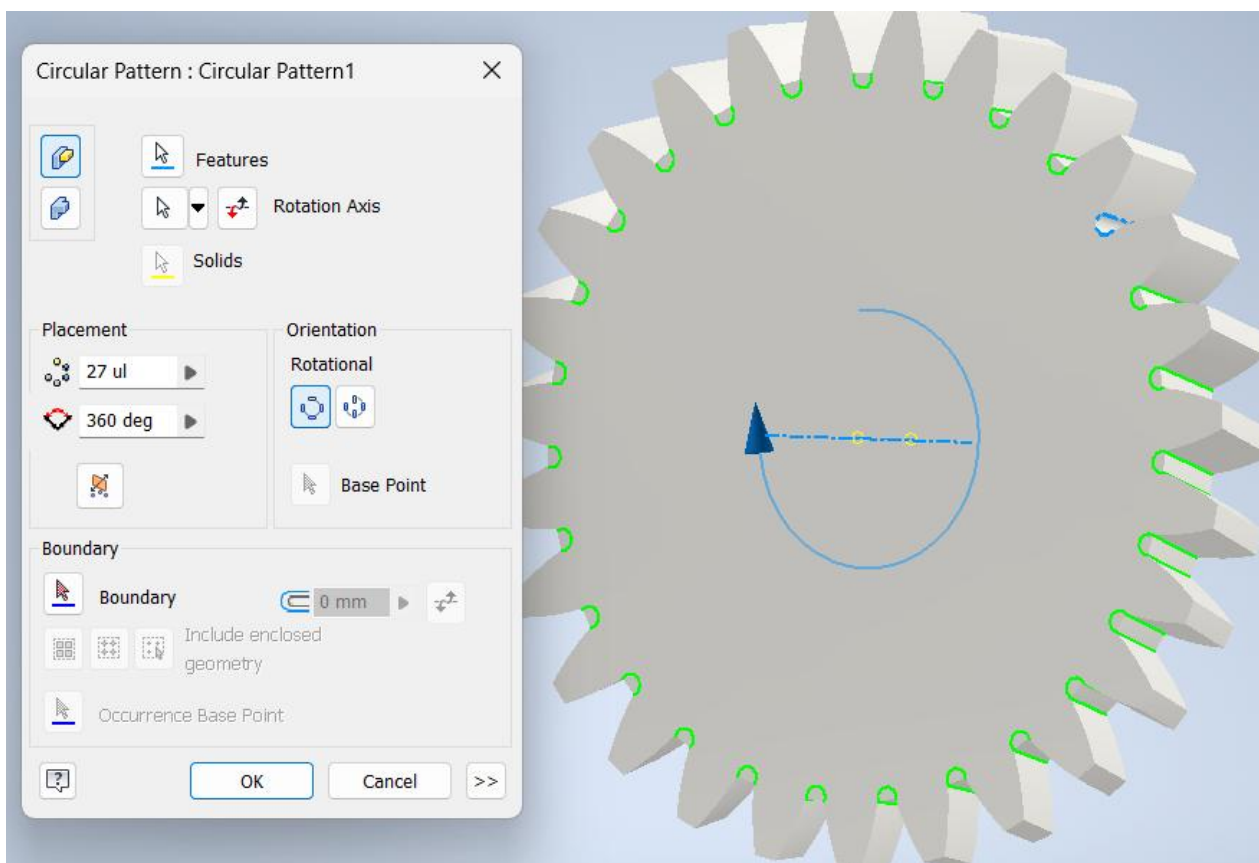


Рисунок 4.5 – розмноження отворів по колу

6. Створюю площину на зубці, від якої я буду канавку

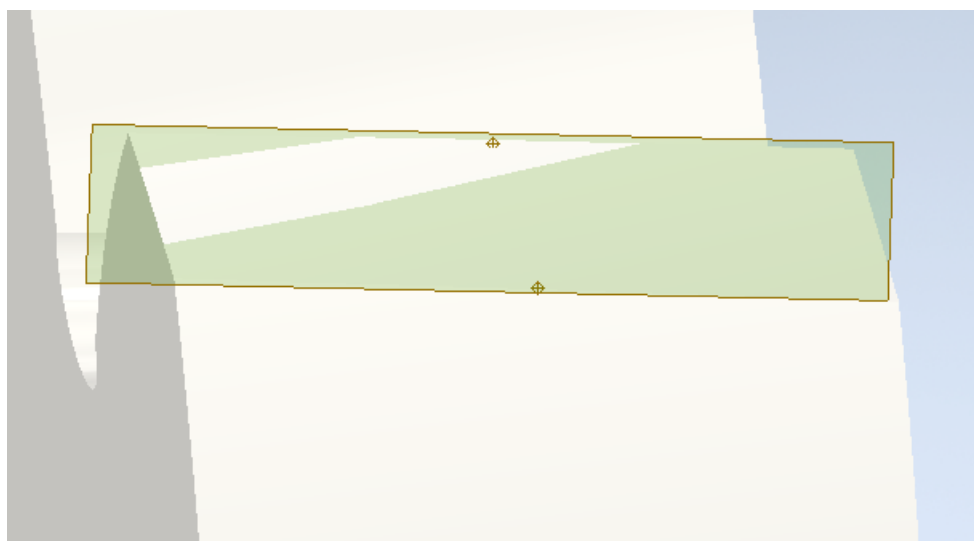


Рисунок 4.6 – створення площини для канавки

7. Формую канавку функцією Sweep по профілю зуба

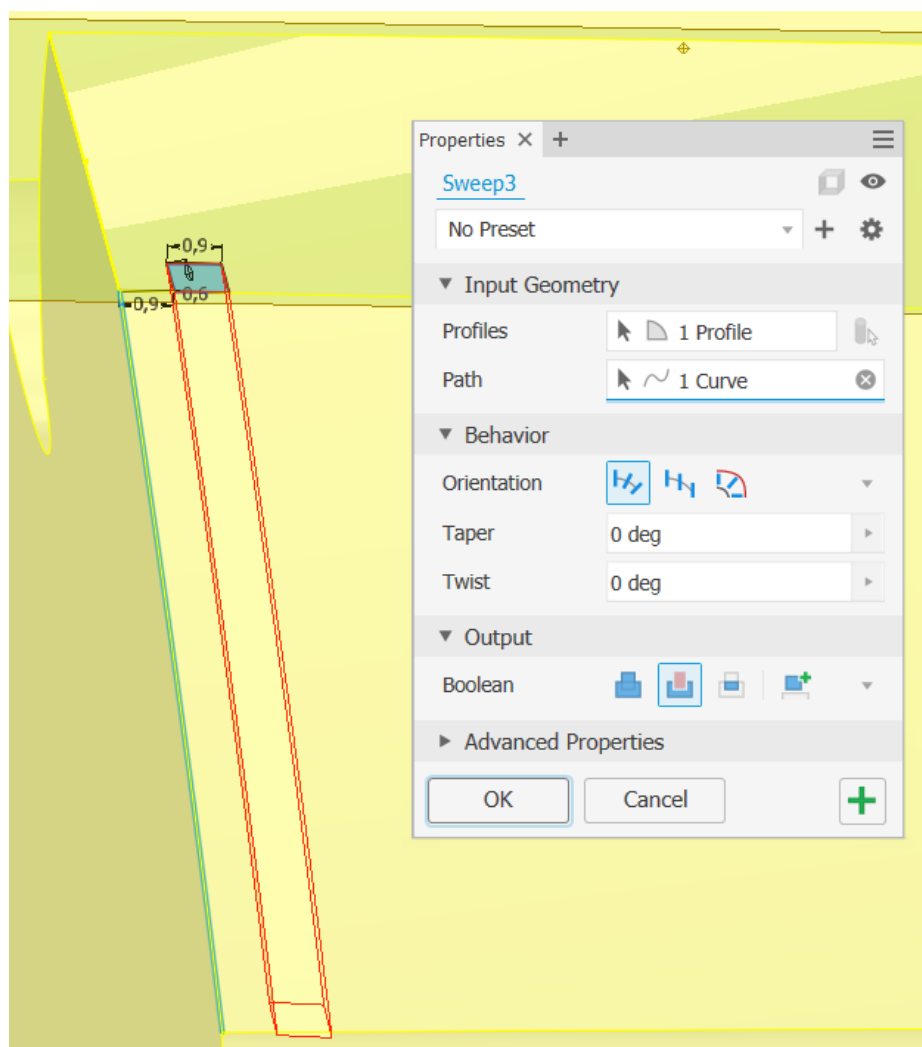


Рисунок 4.7 – створення канавки

8. Формую наступні канавки функцією Sweep по профілю попередньої канавки, до середини зуба

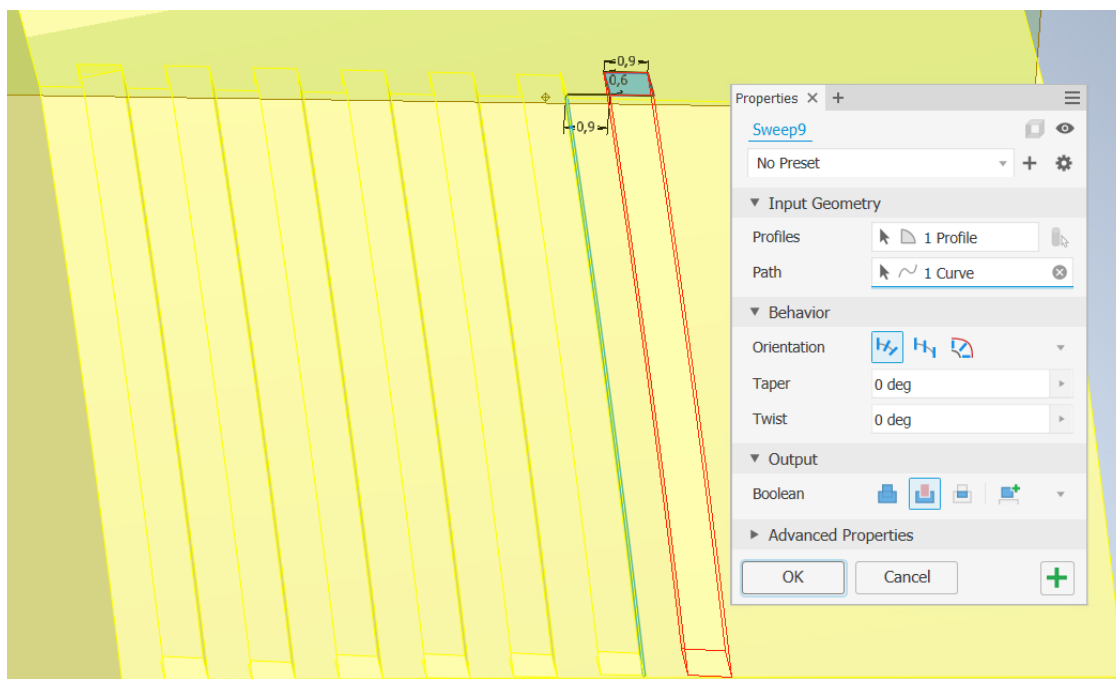


Рисунок 4.8 – створення наступних канавок

9. Повторюю дії 6-8 з іншого боку зуба, утворюючи решту канавок

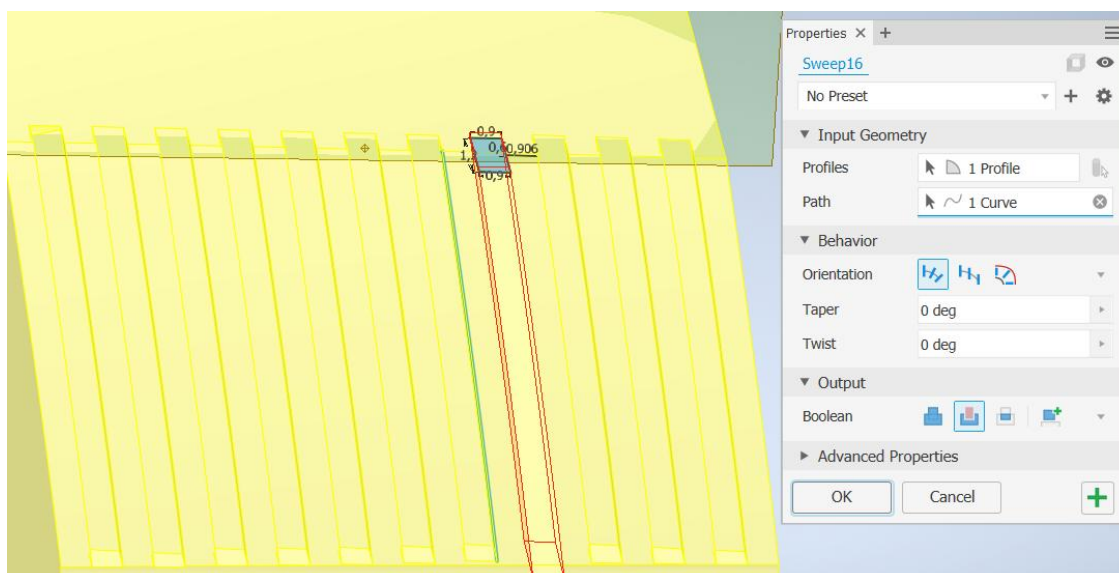


Рисунок 4.9 – створення решти канавок

10. Розмножую канавки з однієї сторони зуба між усіма ними

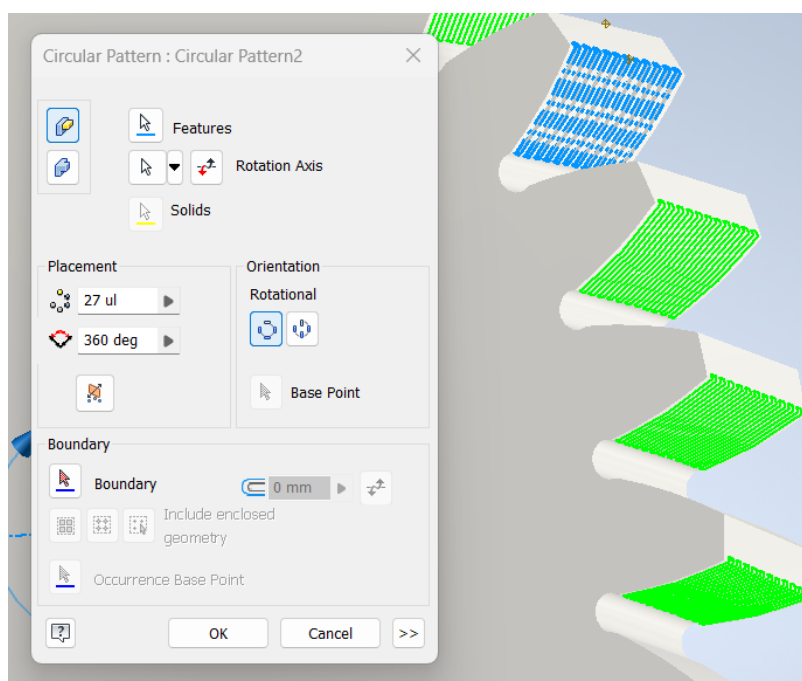


Рисунок 4.10 – розмноження канавок з однієї сторони зуба

11. Повторюю дії 6-10 з іншої сторони зуба

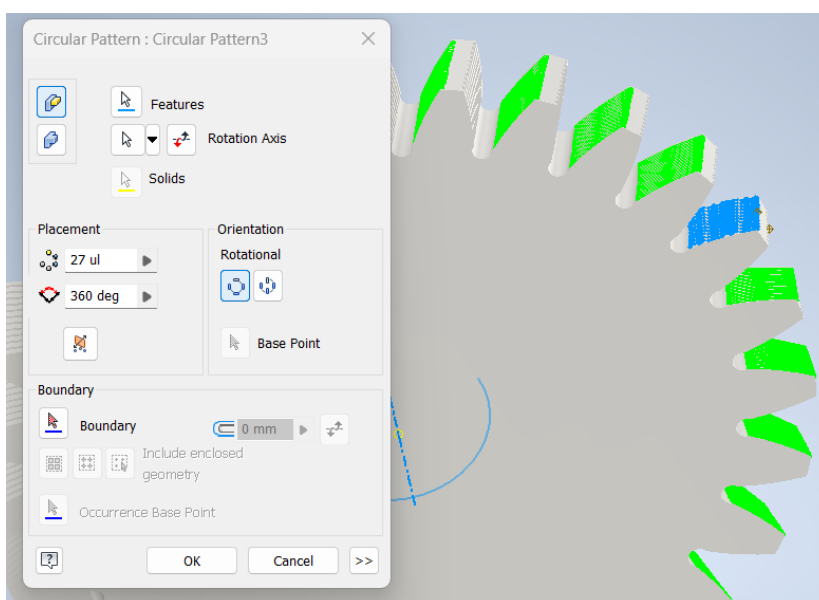


Рисунок 4.11 – розмноження канавок з іншої сторони зуба

12. Створюю обід шевера та відзеркалюю його відносно площини, яка проходить по центру шевера, додаю фаску

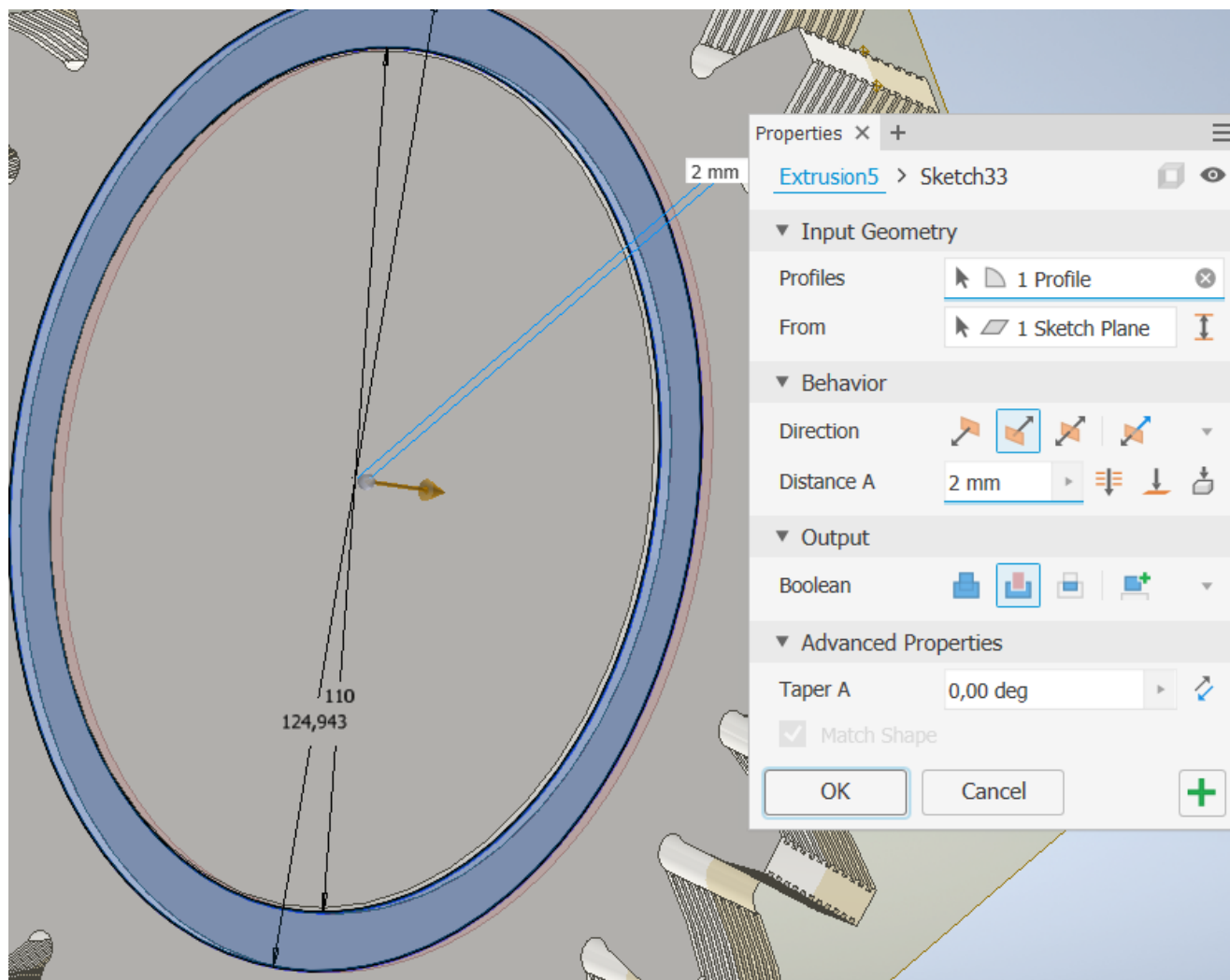


Рисунок 4.12 – створення ободу

13. Створюю центровий отвір з шпоночним перерізом шевера, додаю фаску

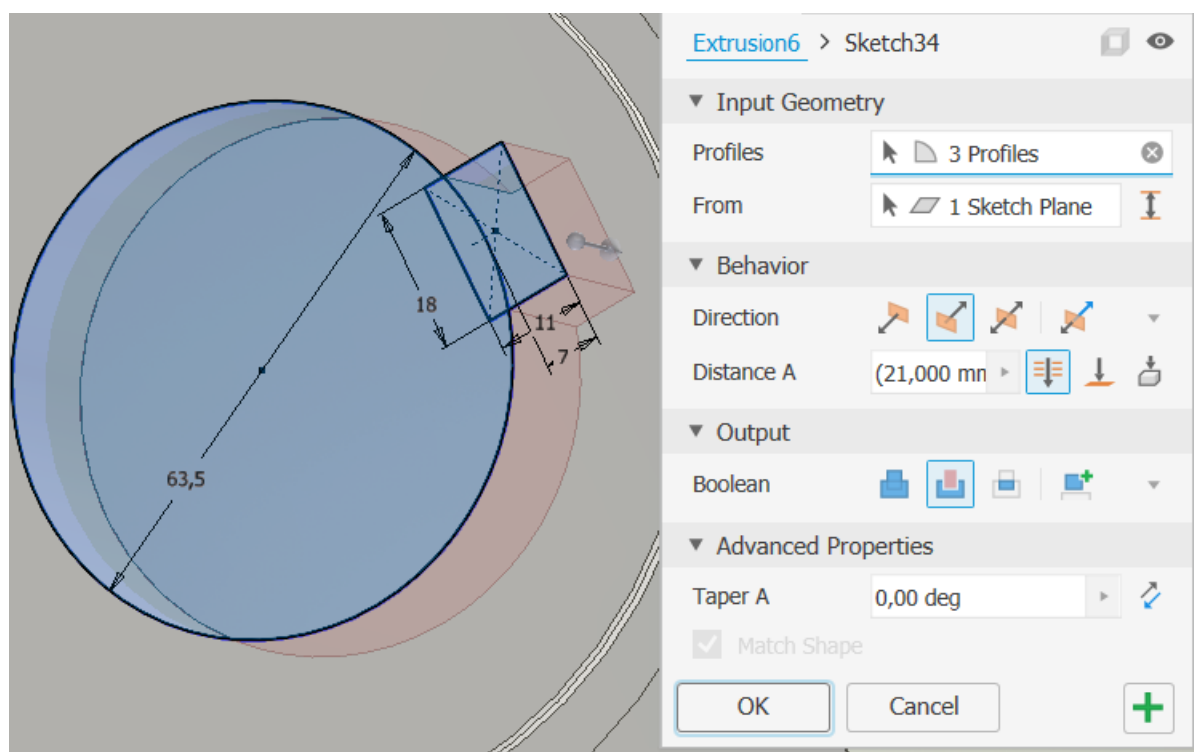
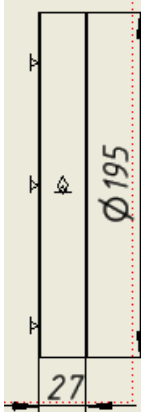


Рисунок 4.13 – створення центрального отвору

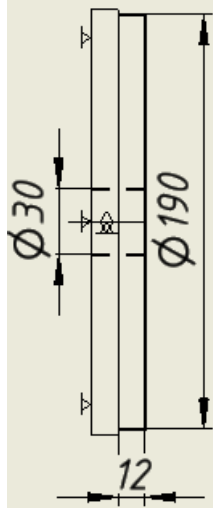
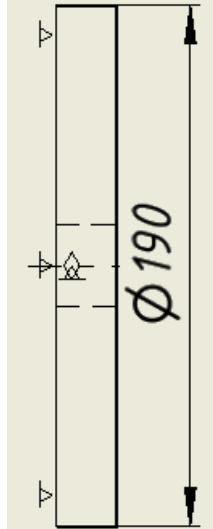
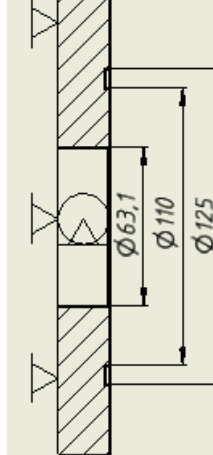
5. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕВЕРА

5.1 Технологічний процес виготовлення дискового шевера

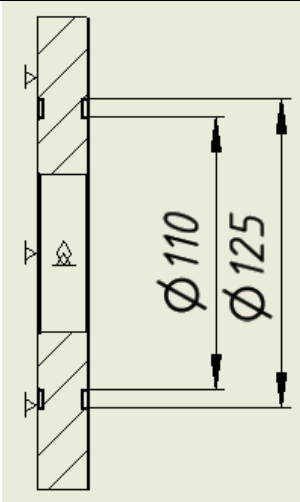
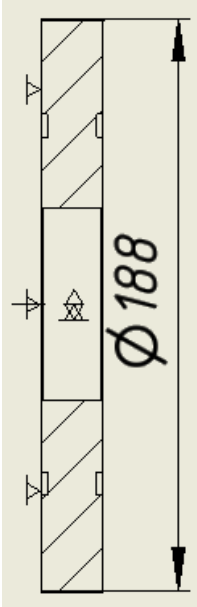
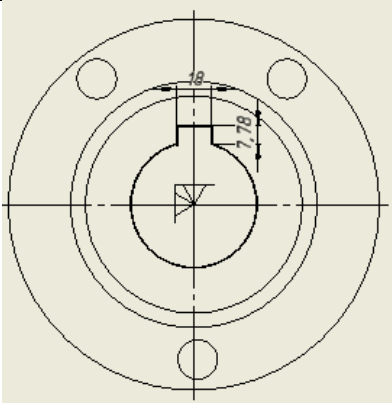
Таблиця 5.1 – Технологічний процес виготовлення дискового шевера

№	Найменування операції	Ескіз заготовки та базування	Верстат, інструмент	Пристосування
1	2	3	4	5
005	Заготівельна операція. Відрізка заготовки розміром 27 мм.		Токарно-гвинторізний верстат 1А62, токарний різець прохідний	Трьохкулачковий патрон
010	Кувальна операція. Відкувати заготовку			
015	Термічна операція. Відпалити.			
020	Галтувальна операція. Очистити в галтувальному барабані.			

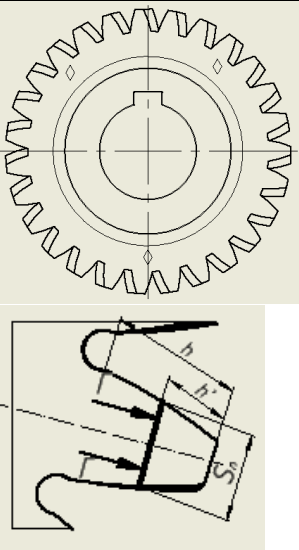
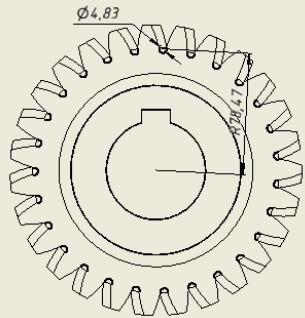
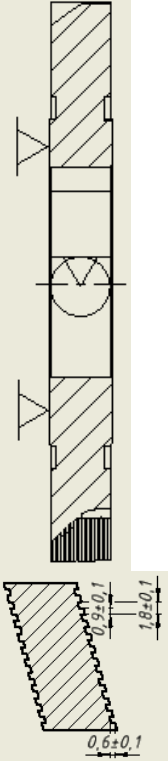
Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
025	Токарна операція. Підрізати торець на 2,5 мм, зенкувати отвір, обточити зовнішню поверхню попередньо.		Токарно-гвинторізний верстат 1K62, токарний різець підрізний T5K10, токарний різець прохідний T5K10, зенкер T15K6	Трьохкулачковий патрон
030	Токарна операція. Підрізати інший торець на 2,5 мм, обточити залишкову частину зовнішньої поверхні попередньо.		Токарно-гвинторізний верстат 1K62, токарний різець підрізний T5K10, токарний різець прохідний T5K10	Трьохкулачковий патрон
035	Токарна операція. Підрізати торець на 1 мм, занизити торець, розточити отвір з припуском під розвертування та шліфування, зняти фаску 0,5 мм, розвернути отвір, зняти припуск 0,45 мм, розточити виточку на торці.		Токарно-гвинторізний верстат 1K62, токарний різець підрізний T5K10, токарний різець розточний T5K10, розвертка T15K6	Трьохкулачковий патрон

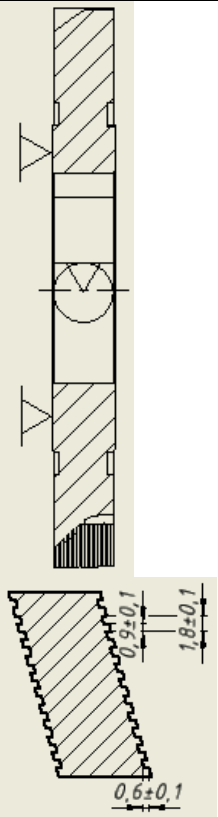
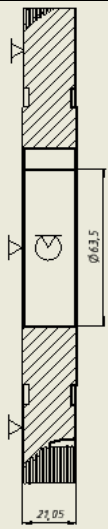
Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
040	Токарна операція. Підрізати інший торець, обточити заниження на торці, зняти фаску по отвору, розточити виточку на торці.		Токарно-гвинторізний верстат 1K62, токарний різець підрізний T5K10, токарний різець розточний T5K10	Трьохкулачковий патрон
045	Токарна операція. Обточити на оправці зовнішню поверхню		Токарно-гвинторізний верстат 1K62, токарний різець прохідний T5K10	Трьохкулачковий патрон
050	Довбальна операція. Довбати шпоночний паз.		Довбальний верстат 7A420. Довб'як твердосплавний T5K10	Трьохкулачковий патрон

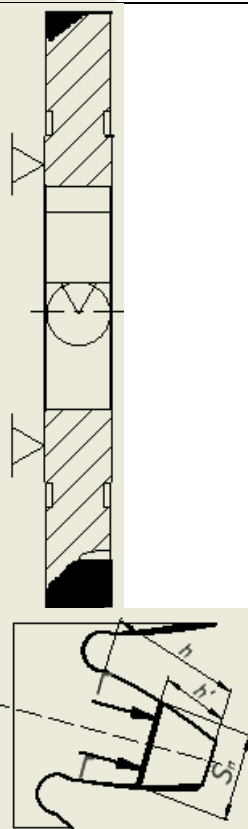
Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
055	Фрезерна операція. Фрезерувати профіль зубців.		Зубофрезерувальний верстат 53A20. Фреза черв'ячна з твердого сплаву М6 15°	Розпірна втулка
060	Свердлильна операція. Свердлити отвори по кондуктору.		Вертикально-сверлильний верстат 2Н150. Свердло твердосплавне Т5К10	Універсальна ділильна головка, кондукторна втулка
065	Електроерозійна операція. Обробити канавки на зубцях з однієї сторони.		Електроерозійний верстат з ЧПУ AGIECUT 350 HSS. Олов'яний дрот з цинковим покриттям	Універсальна ділильна головка, розпірна втулка

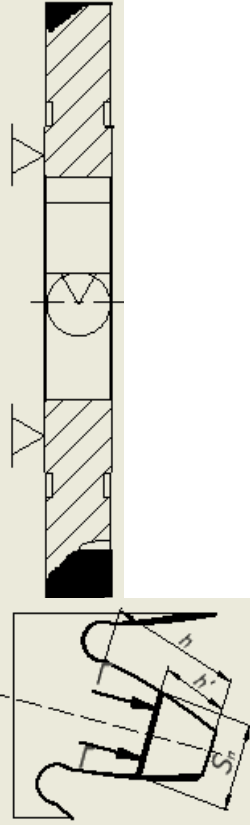
Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
070	Електроерозійна операція. Обробити канавки на зубцях з іншої сторони.		Електроерозійний верстат з ЧПУ AGIECUT 350 HSS. Олов'яний дрот цинковим покриттям 3	Універсальна ділильна головка, розпірна втулка
075	Термічна операція. Гартувати.			
080	Дробеструменева операція. Очистити заготовку в дробеструменевому апараті			
085	Шліфовальна операція. Шліфувати отвір та торець, зняти припуск 0,4 мм з отвору та 0,05 мм з торця.		Плоскошліфувальний верстат 3E710A. Абразивний круг 23A16-25CM1-CM2K	Чотирьохкулачковий патрон

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
090	Шліфувальна операція. Шліфувати інший торець, зняти припуск 0,05 мм.		Плоскошліфувальний верстат 3Е710А. Абразивний круг 23А16-25СМ1-СМ2К	Розпірна втулка
095	Шліфувальна операція. Шліфувати профіль зубців по евольвенті попередньо, зняти припуск 0,3 мм.		Круглошліфувальний верстат 3М150. Абразивний круг 23А16-25СМ2К	Розпірна втулка

Кінець таблиці 3.1

1	2	3	4	5
100	Шліфувальна операція. Шліфувати профіль зубців по евольвенті остаточно, зняти припуск 0,3 мм.		Круглошліфувальний верстат 3М150. Абразивний круг 23А16-25СМ2К	Розпірна втулка
105	Маркування.			

5.2 Розрахунок режимів різання

При визначенні параметрів різання враховується спосіб обробки, тип та розміри інструменту, матеріал, з якого зроблена ріжуча частина інструменту, матеріал та стан заготовки.

Розрахуємо режим різання на зенкерування отвору $\varnothing 30$ мм в операції 025:

Глибина різання t розраховується за формулою $t = \frac{D}{2} = \frac{30}{2} = 15$ мм.

Попередньо приймемо подачу $S = 0,9$ мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$[v] = \frac{C_v K_v D^{z_v}}{60 \cdot T^m \cdot t^{x_v} S^{y_v}},$$

де C_v, m, z_v, x_v, y_v – змінні в залежності від матеріалу заготовки, інструменту та типу обробки;

K_v – поправочний коефіцієнт;

T – період стійкості зенкера, хв.

Для швидкорізальної сталі Р6М5 та зенкера Т15К6 $C_v = 10, z_v = 0.6, x_v = 0.3, y_v = 0.6, m = 0.45$, період стійкості $T = 40$ хв. Поправочний коефіцієнт K_v визначається за формулою:

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{i_v},$$

де K_{M_v} – коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного металу;

K_{i_v} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту.

Для сплаву Т15К6 $K_{i_v} = 1,15$. Коефіцієнт K_{M_v} визначається за формулою:

$$K_{M_v} = \frac{750}{\sigma_B},$$

де σ_B – границя міцності, МПа.

Для швидкорізальної сталі Р6М5 $\sigma_B = 850$ МПа. Тоді:

$$K_{M_v} = \frac{750}{850} = 0,88.$$

Тоді поправочний коефіцієнт K_v дорівнює:

$$K_v = 0,88 \cdot 1,15 = 1,012$$

Отже, швидкість різання $[v]$ дорівнює:

$$[v] = \frac{10 \cdot 1,012 \cdot 30^{0,6}}{60 \cdot 40^{0,45} \cdot 15^{0,3} \cdot 0,9^{0,6}} = 0,117 \text{ м/с.}$$

Оптимальна частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$[n] = \frac{1000 \cdot 60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 0,117}{3,14 \cdot 30} = 74,522 \text{ об/хв.}$$

На верстаті є найближчі частоти: менша $n_k = 63$ об/хв і більша $n_{k+1} = 80$ об/хв.

Визначимо розрахункову подачу, якщо працювати з більшою частотою обертання, за формулою:

$$[S_{k+1}] = S \cdot \left(\frac{[n]}{n_{k+1}} \right)^{y_v} = 0,9 \cdot \left(\frac{74,522}{80} \right)^{\frac{1}{0,6}} = 0,799 \text{ мм/об.}$$

Отже, остаточно приймаємо $S = 0,8$ мм/об та $n = 80$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 80}{60 \cdot 1000} = 0,126 \text{ м/с.}$$

Крутний момент визначається за формулою:

$$M_{кр} = \frac{C_{P_z} \cdot D \cdot S^{0,75} \cdot z}{8000},$$

де C_{P_z} – коефіцієнт дотичної складової сили різання при точінні;

z – кількість зубців зенкера.

Для обробки швидкорізальної сталі твердосплавним зенкером $C_{P_z} = 3000$, кількість зубців зенкера діаметром 30 мм $z = 3$. Тоді:

$$M_{\text{кр}} = \frac{3000 \cdot 30 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 3}{8000} = 28,549 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N_p = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9550} = \frac{28,549 \cdot 80}{9550} = 0,239 \text{ кВт}.$$

Потужність різання менша за потужність верстата.

Основний час різання визначається за формулою:

$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{n \cdot S},$$

де l – глибина, на яку обробляється отвір, мм;

$l_1 + l_2$ – врізання та перебіг інструменту, мм.

Отвір обробляється на глибину $l = 24,5$ мм, врізання та перебіг зенкера діаметром 30 мм $l_1 + l_2 = 5$ мм. Тоді

$$T_0 = \frac{24,5 + 5}{80 \cdot 0,8} = 0,46 \text{ хв}.$$

Отже, зенкерування отвору $\varnothing 30$ мм на глибину 24,5 мм займе 0,46 хв.

Розрахуємо режим різання на розвертання отвору на діаметр $\varnothing 63,1$ мм з зніманням припуску 0,45 мм в операції 035

Глибина різання t розраховується за формулою:

$$t = \frac{(D - d)}{2} = \frac{63,1 - 62,65}{2} = 0,225 \text{ мм}.$$

Обираємо рекомендовану подачу $S = 1,6$ мм/об.

Обираємо рекомендовану швидкість різання $v = 0,15$ м/с.

Оптимальна частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$[n] = \frac{1000 \cdot 60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 63,1} = 45,424 \text{ об/хв}.$$

На верстаті є найближчі частоти: менша $n_k = 40$ об/хв і більша $n_{k+1} = 50$ об/хв. Визначимо розрахункову подачу, якщо працювати з більшою частотою обертання, за формулою:

$$[S_{k+1}] = S \cdot \left(\frac{[n]}{n_{k+1}} \right)^{y_v} = 1,6 \cdot \left(\frac{45,424}{50} \right)^{\frac{1}{0,6}} = 1,363 \text{ мм/об.}$$

На верстаті є найближчі подачі: менша $S_k = 1,25$ мм/об і більша $S_{k+1} = 1,5$ мм/об. Перевіримо можливість використання більшої подачі за формулою:

$$1,1 \cdot [S_{k+1}] = 1,1 \cdot 1,363 = 1,499 \text{ мм/об} \approx S_{k+1} = 1,5 \text{ мм/об.}$$

Отже, остаточно приймаємо $S = 1,5$ мм/об та $n = 50$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 63,1 \cdot 50}{60 \cdot 1000} = 0,165 \text{ м/с.}$$

Крутний момент визначається за формулою:

$$M_{кр} = \frac{C_{P_z} \cdot D \cdot S^{0,75} \cdot z}{8000},$$

для розвертки $\emptyset 63$ кількість зубців $z = 10$. Тоді

$$M_{кр} = \frac{3000 \cdot 63,1 \cdot 1,5^{0,75} \cdot 10}{8000} = 320,722 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N_p = \frac{M_{кр} \cdot n}{9550} = \frac{320,722 \cdot 50}{9550} = 1,679 \text{ кВт.}$$

Потужність різання менша за потужність верстата.

Основний час різання визначається за формулою:

$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{n \cdot S},$$

Довжина отвору $l = 22$ мм, врізання та перебіг розвертки діаметром 60 мм $l_1 + l_2 = 50$ мм. Тоді

$$T_0 = \frac{22 + 50}{50 \cdot 1,5} = 0,96 \text{ хв.}$$

Отже, зенкерування отвору Ø63,1 мм на глибину 22 мм займе 0,96 хв.

6. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРИСТОСУВАННЯ

6.1 Опис роботи пристосування

Для вдалого процесу шевінгування необхідно правильно встановити шевер 2 на шпинделі 1. Спочатку потрібно пересвідчитися, що площина, яка проходить через вісь обертання шпиндельної головки та через вісь хитання столу співпадає середині ширини шевера. Ця установка відбувається за допомогою 2 кілець різної товщини 3. Сам шевер закріплюється за допомогою гайки 4, яка стопориться 5 планкою та гвинтом 6.

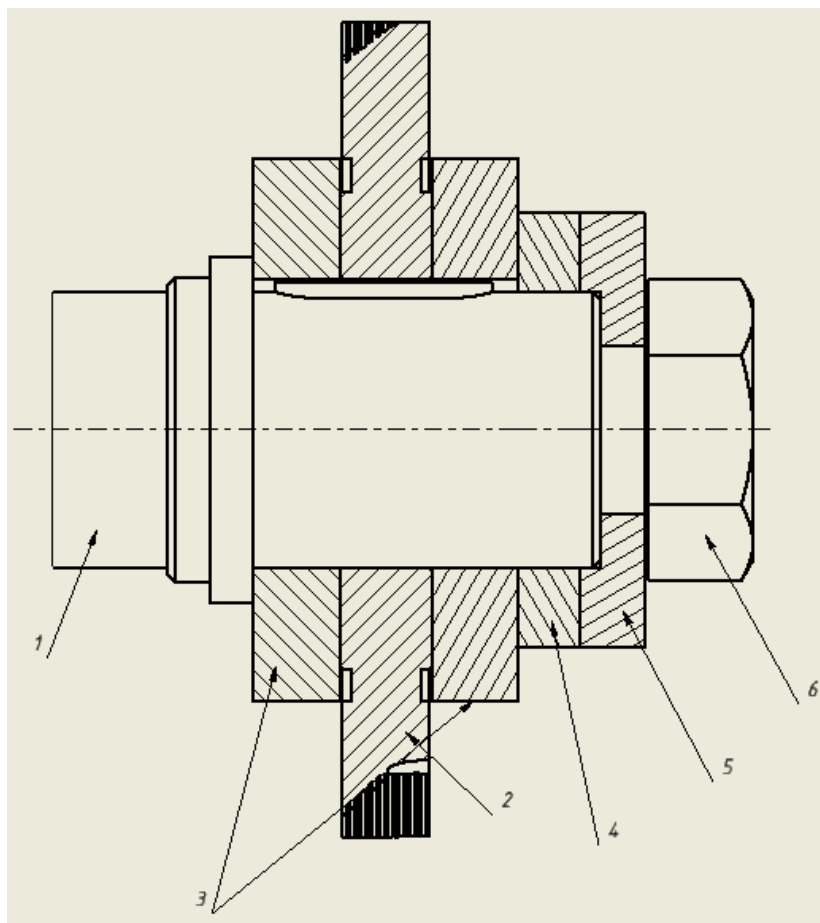


Рисунок 6.1 – шевер у пристосуванні

6.2 Розрахунок сили затиску планки

Сила затиску планки Q розраховується за формулою:

$$Q = \frac{2kP_z D_1}{(D+d)f},$$

де k – коефіцієнт запасу;

P_z – головна складова сили різання, Н;

D_1 – ділильний діаметр шевера, мм;

D – діаметр планки, мм;

d – діаметр валу, мм;

f – коефіцієнт тертя між планкою і валом.

$D_1 = 180$ мм, $D = 100$ мм, $d = 63,5$ мм, приймаємо $k = 1,5$ і $f = 0,15$.

Сила різання P_z розраховується за формулою:

$$P_z = \frac{60 \cdot N_e \cdot 1000}{v},$$

де N_e – потужність різання, кВт;

v – швидкість різання, м/хв.

Потужність різання N_e визначається за формулою:

$$N_e = N_d \cdot \eta,$$

де N_d – потужність електродвигуна, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Прийmemo $N_d = 3$ кВт, $\eta = 0,82$, тоді

$$N_e = 3 \cdot 0,82 = 2,46 \text{ кВт.}$$

Швидкість різання визначається за формулою:

$$v = v_0 \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \beta},$$

де v_0 – частота обертання шевера, м/хв;

φ – кут схрещування осей шевера та колеса, °;

β – кут нахилу зубців колеса, °.

Нехай кут нахилу зубців оброблюваного колеса $\beta = 25^\circ$, гвинтові лінії зубців колеса та шевера протилежні. Тоді згідно формули (1.1):

$$\varphi = \beta_k - \beta_{ш} = 25 - 15 = 10^\circ.$$

Швидкість обертання шевера розраховується за формулою:

$$v_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000},$$

де d – дільний діаметр шевера, мм;

n – число обертів шевера, об/хв.

Прийmemo $n = 250$ об/хв, $d = 180$ мм. Тоді

$$v_0 = \frac{3,14 \cdot 180 \cdot 250}{1000} = 141,3 \text{ м/хв.}$$

Тоді швидкість різання v :

$$v = 141,3 \cdot \frac{\sin 10^\circ}{\cos 25^\circ} = 27,073 \text{ м/хв.}$$

Тоді сила різання P_z :

$$P_z = \frac{60 \cdot 2,46 \cdot 1000}{27,073} = 5451,926 \text{ Н.}$$

Тоді сила затиску планки Q :

$$Q = \frac{2 \cdot 5451,926 \cdot 180}{(100 + 63,5) \cdot 0,25} = 48017 \text{ Н.}$$

6.3 Розрахунок моменту різьбового затиску

Момент, прикладений до гвинту, потрібний для передачі сили Q , визначається за формулою:

$$M_{об} = Q \cdot \left(\frac{d_{ср}}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр}) + \frac{d}{3} f \right),$$

де Q – сила, розрахована в попередньому розділі;

$d_{ср}$ – середній діаметр різьби, мм;

α – кут підйому різьби, °;

$\varphi_{пр}$ – приведений коефіцієнт тертя;

d – діаметр торця гвинта, мм;

f – коефіцієнт тертя на торці гвинта.

Приймаємо різьбу гвинта М39 х 4, зовнішній діаметр $d_3 = 39$ мм, крок $P = 4$ мм.

Середній діаметр різьби розраховується за формулою:

$$d_{ср} = d_3 - 0,6495 \cdot P = 39 - 0,6495 \cdot 4 = 36,402 \text{ мм.}$$

Кут підйому різьби α розраховується за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_{ср}} = \frac{4}{3,14 \cdot 36,402} = 0,035;$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} 0,035 = 2^\circ$$

Приведений коефіцієнт тертя розраховується за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_{пр} = \frac{f}{\cos \beta},$$

де f – коефіцієнт тертя на площині;

β – половина кута при вершині профілю витка різьби, °.

Для трапеційдальних профілів $\beta = 15^\circ$, приймаємо $f_n = 0,16$. Тоді

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{пр}} = \frac{0,16}{\cos 15^\circ} = 0,166;$$

$$\varphi_{\text{пр}} = \operatorname{arctg} 0,166 = 9,4^\circ$$

Діаметр торця гвинта визначається як $d = 0,8 \cdot d_3 = 0,8 \cdot 39 = 31,2$ мм.

Приймаємо коефіцієнт тертя на торці гвинта $f_{\text{т}} = 0,16$. Тоді

$$\begin{aligned} M_{\text{об}} &= 48017 \cdot \left(\frac{36,402}{2} \cdot \operatorname{tg}(2 + 9,4) + \frac{31,2}{3} \cdot 0,16 \right) = 256121 \text{ Н} \cdot \text{мм} \\ &= 256,121 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

6.4 Створення 3D моделі пристосування

Створення моделі було зроблено в програмі Inventor.

Складовими частинами пристосування є деталі:

1. Вал шпинделя;
2. 2 кільця;
3. Гайка;
4. Планка



Рисунок 6.2 – вал шпинделя

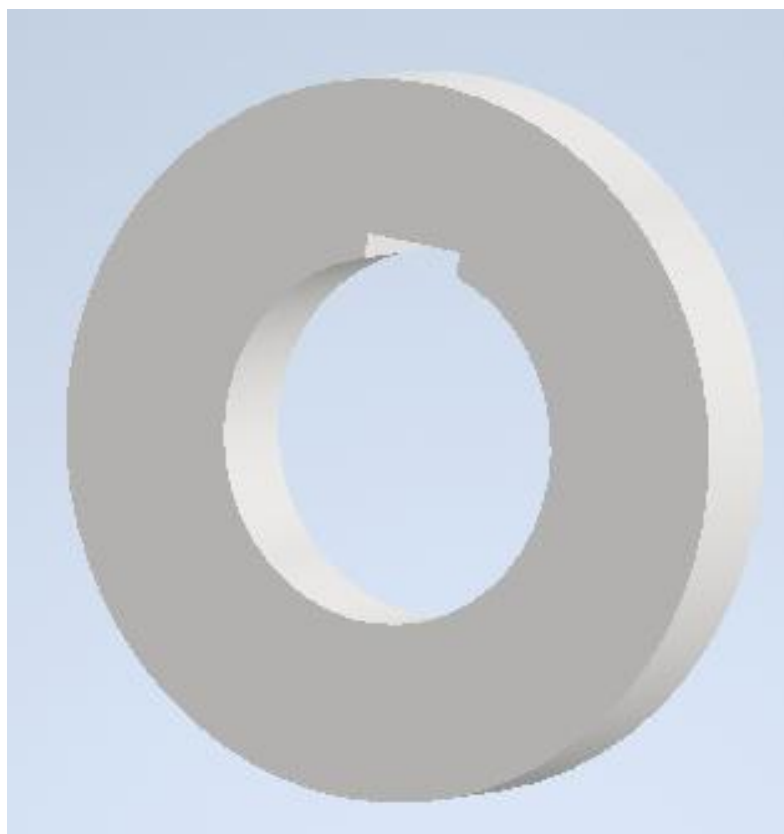


Рисунок 6.3 – кільце

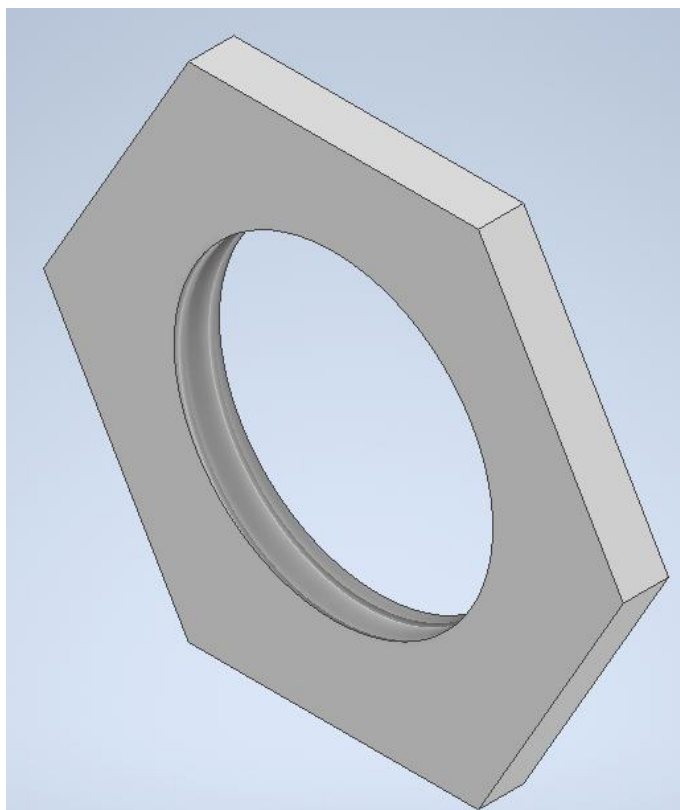


Рисунок 6.4 – гайка

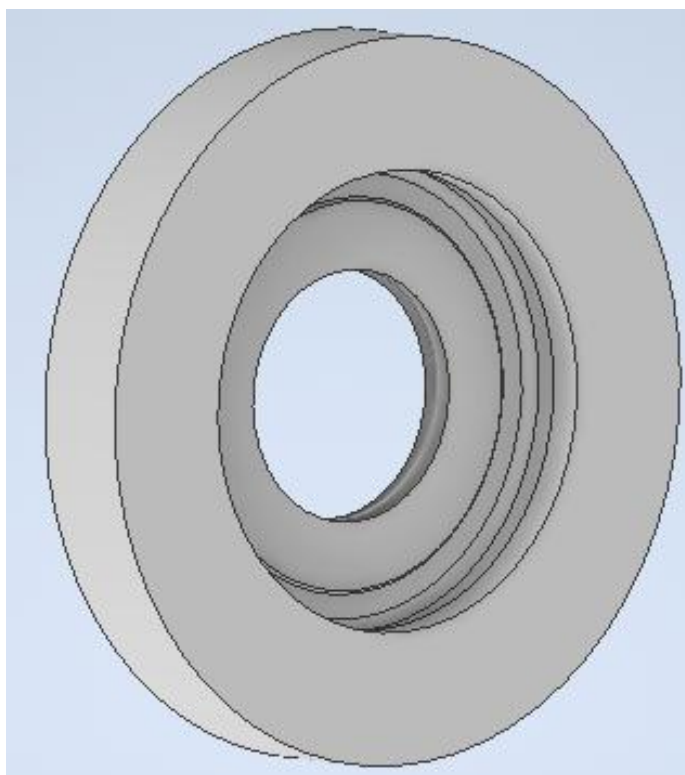


Рисунок 6.5 – планка

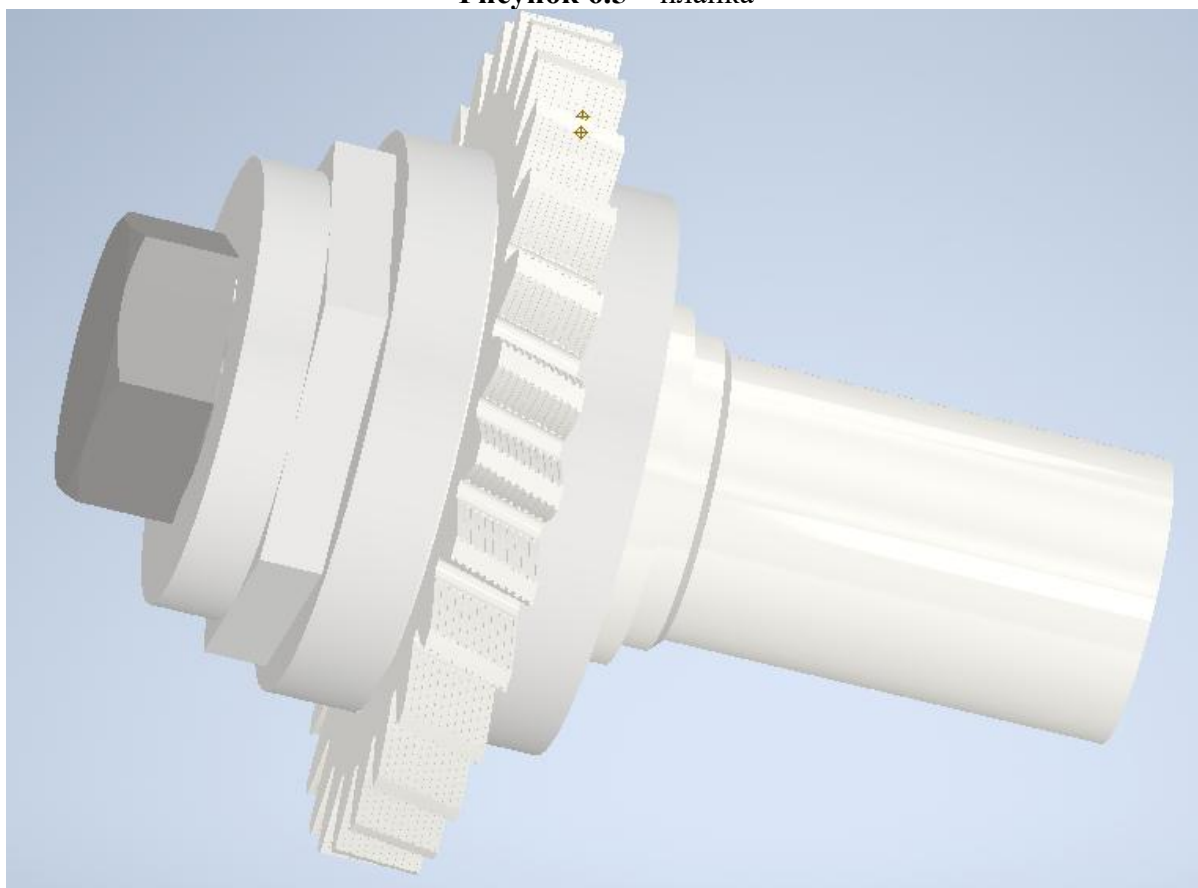


Рисунок 6.6 – модель шевера у пристосуванні

ВИСНОВОК

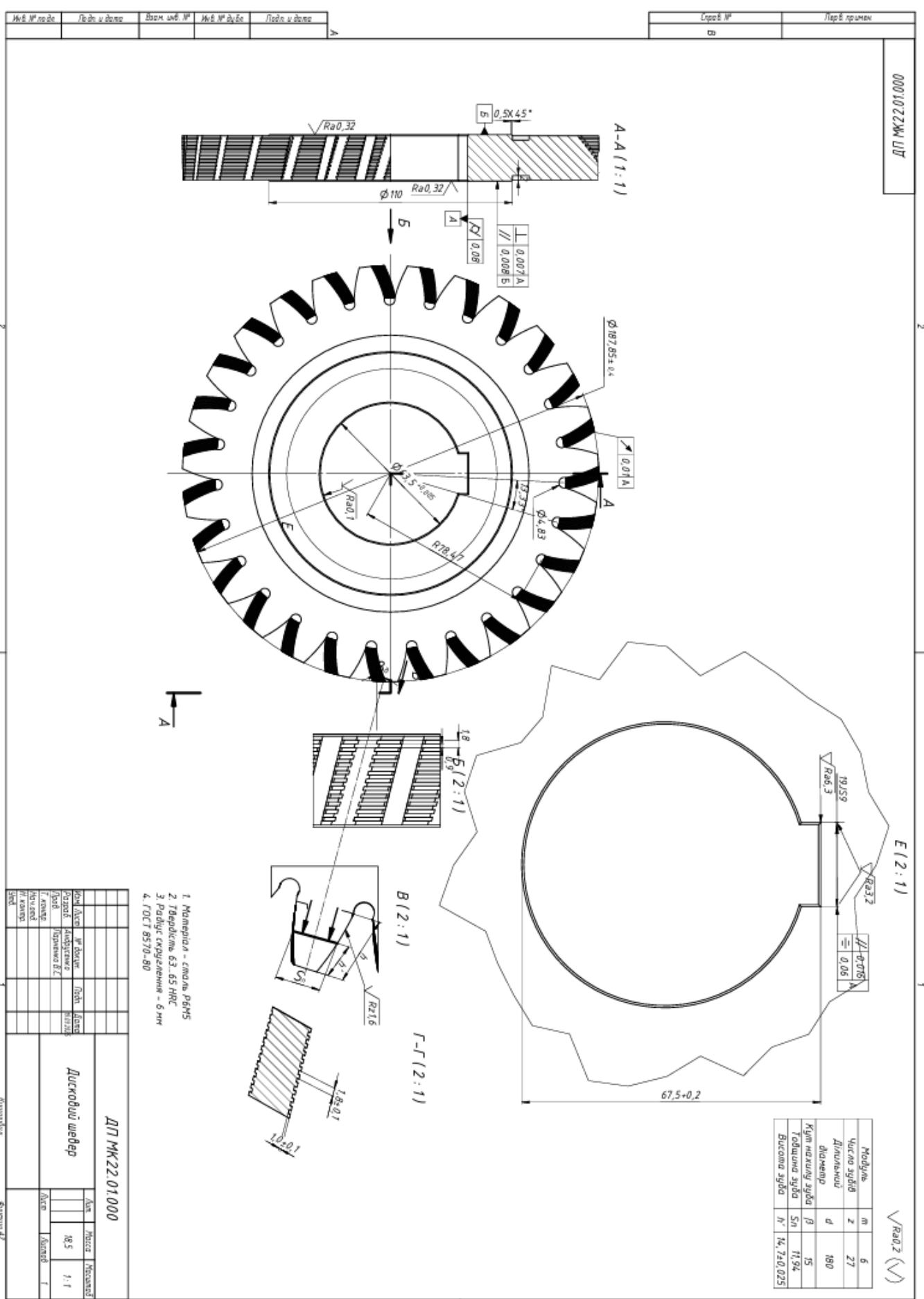
В результаті виконання дипломного проекту було розроблено конструкцію дискового шевера для обробки косозубого зубчастого колеса та пристосування до нього. Це пристосування буде складатися з цільного шевера, валу шпинделя, двох кілець, гайки, планки, гвинта та шпонки. За допомогою наукової літератури були проаналізовані геометричні параметри стружкових канавок для дискових шеверів.

Було розроблено технологічний процес виготовлення дискового шевера, підібрані інструменти та верстати, а також розраховані режими різання операцій. Було спроектовано пристосування, яке потрібне для експлуатації дискового шевера, а також розраховано сили затиску болта на пристосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. [Gear Shaving Cutters | Machine Tools](#)
2. [Gear Shaving Cutter Manufacturer & Supplier in India](#)
3. [Electric Discharge Machining: Diagram, Principle & Uses \[PDF\]](#)
4. [Electrical Discharge Machining: Diagram, Process, and Manufacturing | Xometry](#)
5. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
URL: [1](#)
6. Технологія інструментального виробництва: конспект лекцій /Укладач Л.М. Седінкін.-Суми: Вид-во СумДУ, 2010.-180 с. URL: [Технологія інструментального виробництва - Л.М. Седінкін :: безкоштовна бібліотека для студента](#)
7. ДСТУ 7304:2013 Металопродукція з порошкової швидкорізальної сталі. Загальні технічні умови. Чинний від 01.01.2014
8. Методичні вказівки і контрольні завдання з дисципліни «Теорія різання». Розрахунок режимів різання при свердлінні. Для студентів спеціальностей 12.01 і 12.02 усіх форм навчання, а також слухачів ФПК / Уклад. В.В.Коваленко, В.Г.Біланенко, А.М.Кислюк – К.; КІП, 1993. – 64 с.
9. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 2 [Текст]: навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 188 с.
10. ДСТУ 3321:2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. Чинний від 01.10.2004

ДОДАТКИ



Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		Справ. №		Перв. примен.	
ДП МК22.03.000 ТК А-А (1:1) 63,5h6 80 2x4,5° Ra1,6 39,5h4/h7 63,5 11,5 18N9 Ra3,2 Ra6,3 0,022 A 0,086												✓ Ra6,3 (✓)	
												ДП МК22.03.000 ТК	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Догов.	Вал		Лист	Масштаб
Разраб.	Андрусенко			И.В.Зыб				1:1
Проб.	Парченко В.С.							
Т. конпр.							Лист	Масштаб
Нач. отд.								1
Н. конпр.								
Смб.								

Копировать

Формат А3

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		Справ. №		Перв. примен.	

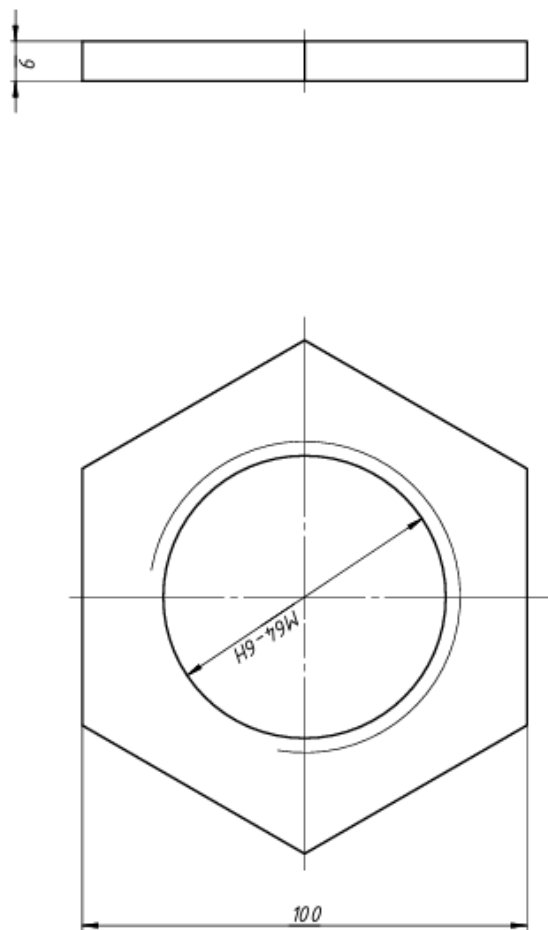
ДП МК22.04.000 ТК

//	0.022	A
=	0.086	A

ДП МК22.04.000 ТК			
Кільце			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дат.
Разраб.	Андрущенко		18.05.2016
Проб.	Паранько В.Г.		
Т. конпр.			
Н. конпр.			
Спроб.			
Лист		Масса	Масштаб
0.2		1:1	
Листов		1	

1 Копировал

Формат А3

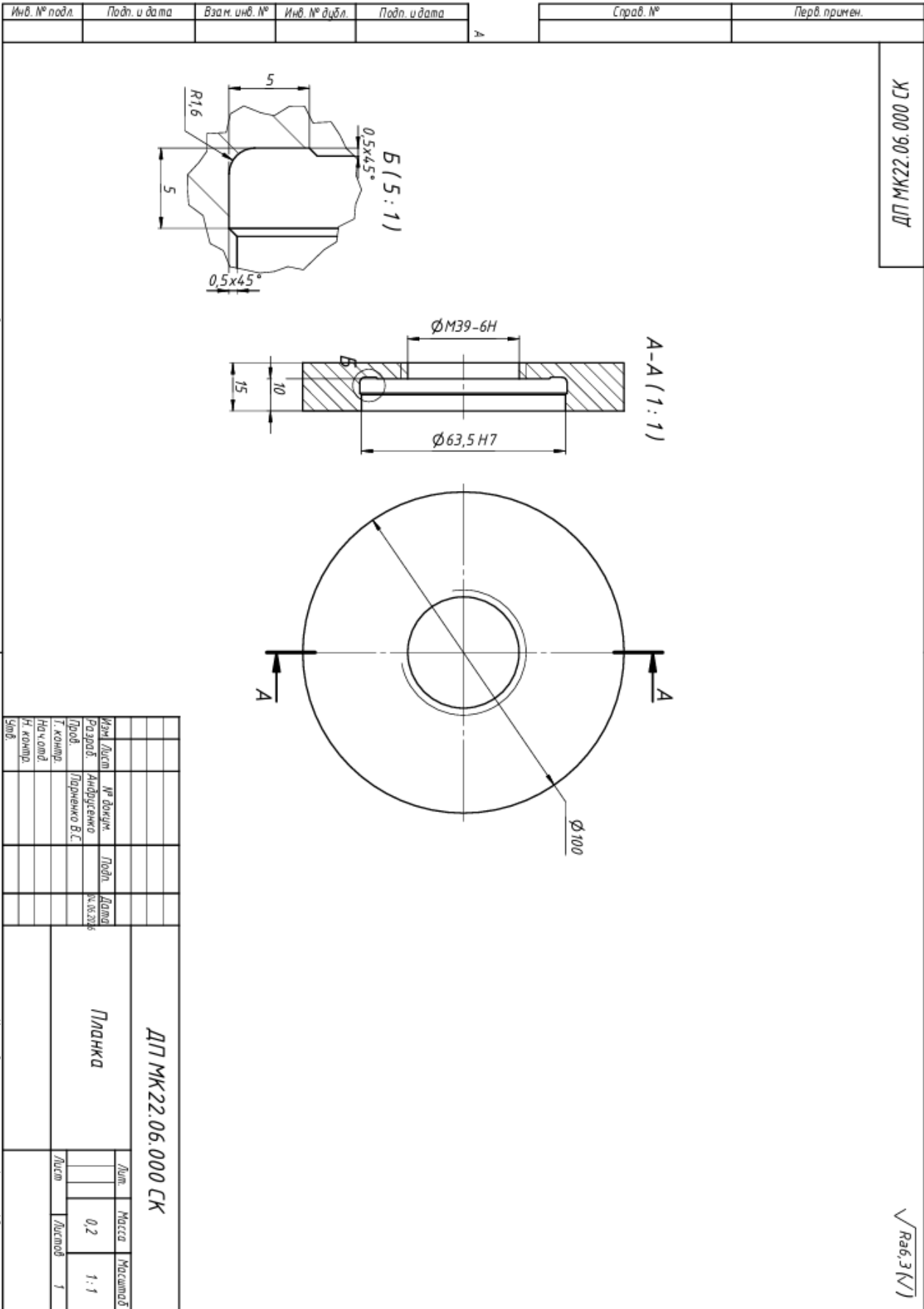
Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		Справ. №		Перв. примен.																																																									
ДП МК22.05.000 ТК 												√ Ra6,3 (V)																																																									
ДП МК22.05.000 ТК Гайка <table border="1"><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td>Лист</td><td>Масса</td><td>Масштаб</td></tr><tr><td>Разраб.</td><td>Андрюшенко</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,1</td><td>1:1</td></tr><tr><td>Проект.</td><td>Порченко В.С.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Т. констр.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Нач. отд.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Н. констр.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Умб.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>														Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб	Разраб.	Андрюшенко					0,1	1:1	Проект.	Порченко В.С.							Т. констр.								Нач. отд.								Н. констр.								Умб.							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб																																																														
Разраб.	Андрюшенко					0,1	1:1																																																														
Проект.	Порченко В.С.																																																																				
Т. констр.																																																																					
Нач. отд.																																																																					
Н. констр.																																																																					
Умб.																																																																					

3

2

1

А



ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХХХХ. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	115	
3	A1	ДП ХХХХ. 01.000 СК	Шевер у пристосуванні	1	
4	A2	ДП ХХХХ. 02.000 ТК	Шевер	1	
5	A3	ДП ХХХХ. 03.000 ТК	Вал	1	
6	A3	ДП ХХХХ. 04.000 ТК	Кільце	1	
7	A3	ДП ХХХХ. 05.000 ТК	Гайка	1	
8	A3	ДП ХХХХ. 06.000 ТК	Планка	1	