

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

**Механіко-машинобудівний інститут**

**Кафедра конструювання машин**

До захисту допущено:

Завідувач кафедру

\_\_\_\_\_ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи та  
технології формоутворення деталей»**

**спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

**на тему: «Розвертка насадна»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи МІ-71

Парникоза Микола Віталійович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Джулій Дмитро Юрійович \_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н., доцент каф. ПГМ, ММІ

Семінська Наталія Валеріївна \_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання машин**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи та технології формоутворення деталей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Парникозі Миколі Віталійовичу**

1. Тема проєкту «Розвертка насадна», керівник проєкту Джулій Дмитро Юрійович, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проєкту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту:

- оброблювана поверхня: матеріал – Алюміній; параметри оброблюваної поверхні: діаметр отвору 26 мм, точність 7Н;

- інструмент: Розвертка насадна;

4. Зміст пояснювальної записки: синтез конструкції інструменту, розробка конструкції насадної розвертки, створення технологічного процесу для виготовлення насадної розвертки, розробка пристосування для закріплення корпусу розвертки на оправці, створення керуючої програми для оброблення деталі на верстаті з ЧПК, аналіз напружено-деформованого стану при роботі інструменту.

5. Перелік графічного матеріалу: Синтез конструкції інструменту, конструкція інструменту, графічне зображення технологічного процесу для виготовлення корпусу розвертки, пристосування для закріплення корпусу розвертки на оправці, створення керуючої програми для оброблення деталей на верстаті з ЧПК, аналіз напружено-деформованого стану.

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Синтез конструкції інструменту	20.03.2021	
2	Розробка конструкції насадної розвертки	09.04.2021	
3	Створення технологічного процесу для виготовлення насадної розвертки	20.04.2021	
4	Пристосування для закріплення корпусу розвертки на оправці	25.04.2021	
5	Створення керуючої програми для оброблення деталі на верстаті з ЧПК	07.05.2021	
6	Аналіз напружено-деформованого стану	16.05.2021	

Студент

Микола ПАРНИКОЗА

Керівник

Дмитро ДЖУЛІЙ

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

\_\_\_\_\_

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

"\_\_" \_\_\_\_\_ "20\_\_ р.

<b>ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУ</b>	
Тема проекту	Розвертка насадна
Зміст проекту	Розробка конструкції насадної розвертки. Синтез конструкції інструменту, розробка конструкції насадної розвертки, створення технологічного процесу для виготовлення корпусу насадної розвертки, пристосування для закріплення корпусу розвертки на оправці, створення керуючої програми для оброблення деталі на верстаті з ЧПК, аналіз напружено-деформованого стану.
Технічні умови до проекту	Оброблювана поверхня: Матеріал – Алюміній; Розміри – діаметр отвору 26 мм; Точність – Н7

	Спосіб підведення ЗОР – внутрішнє підведення;	
Особливі вимоги		
<b>ЛИСТ</b>	<b>ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ</b>	
СП	1. Аналіз конструкцій інструменту для розгортання отворів, синтез конструкції насадної розвертки	
ОП	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Робоче креслення інструменту</li> <li>2) Етапи побудови 3D моделі інструменту</li> <li>3) Складальне креслення інструменту</li> <li>4) Схема складання інструменту</li> </ol>	
ТС	Ескіз технологічних операцій	
КС	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Робоче креслення пристосування для закріплення корпусу розвертки на оправці</li> <li>2) Схема базування та зусиль затиску</li> </ol>	
СС	Розробка керуючої програми на верстаті з ЧПК	
ДС	Аналіз напружено-деформованого стану	
Студент <u>Парникоза М.В.</u> Керівник <u>Джулій Д.Ю.</u>		дата "___" _____ "20__ р дата "___" _____ "20__ р

Прийняті позначення:

СП – стан питання

ОП – об'єкт проектування

ТС – технологічна складова

КС – конструкторська складова

СС – спеціальна складова

ДС – дослідницька складова

## Анотація

Метою дипломного проекту було розроблення конструкції насадної розвертки.

Розвертка призначена для остаточної обробки отворів після операції свердління. Точність отвору після операції розгортання – 7Н.

Розвертка має збірну конструкцію, складається зі змінної робочої частини, байонетного гвинта та оправки. Розвертка оснащена внутрішньою системою подачі мастильно-охолоджувальної рідини в зону різання.

При виконанні дипломного проекту потрібно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати інструмент для розгортання отворів, провести порівняння існуючих конструкцій;
2. Розробити конструкцію розвертки виходячи з проаналізованої інформації;
3. Створити технологічний процес виготовлення корпусу розвертки, розрахувати режими різання;
4. Сконструювати пристосування для закріплення корпусу розвертки на оправці, розрахувати силу затиску та похибку базування;
5. Створити керуючу програму для виготовлення корпусу розвертки на верстаті з ЧПК.
6. Провести аналіз напружень, що діють на інструмент під час його роботи.

## Summary

The objective of the diploma project was to develop head changeable reamer.

Reamer is designed for final processing of holes after the drilling. The accuracy of the hole after reaming operation is 7H.

The reamer has a prefabricated structure, consist of a replaceable working part, bayonet screw and a holder. The reamer equipped with an internal cooling fluid supply system on the cutting area.

When completing a diploma project, you need to solve the following tasks::

1. Analyze the hole reamer tool, compare existing structures;
2. Develop the design of the reamer based on the analyzed information;
3. Create a technological process for the manufacturing the reamer body, calculate the cutting modes;
4. design a device for fixing the reamer body on the holder, calculate the clamping force and basing error;
5. Create a control program for manufacturing the reamer body on a CNC machine.
6. Analyze the stress acing on the tool during its operation.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ РОЗВЕРТОК.....	11
1.1 Загальна інформація.....	11
1.2 Особливості обробки отворів.....	13
1.3 Класифікація інструменту.....	14
1.4 Аналіз інструменту світових виробників.....	16
2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОЗВЕРТКИ.....	27
2.1 Опис роботи інструменту.....	27
2.2 Вибір конструкції інструменту.....	27
2.3 Вибір інструментального матеріалу.....	29
2.3.1 Вибір матеріалу робочої частини.....	29
2.3.2 Вибір матеріалу гвинтового елемента.....	30
2.3.3 Вибір матеріалу оправки.....	31
2.4 Вибір конструктивних елементів розвертки.....	32
2.4.1 Діаметр розвертки.....	32
2.4.2 Кількість зубів та їх кутовий крок.....	33
2.4.3 Пази для відводу МОР.....	34
2.4.4 Похила площина.....	35
2.4.5 Кріпильна частина розвертки.....	35
2.5 Вибір геометричних параметрів розвертки.....	36
2.5.1 Кут нахилу гвинтових канавок.....	37
2.5.2 Кут у плані.....	37
2.5.3 Передній кут.....	38
2.5.4 Задній кут.....	38
2.5.5 Циліндрична стрічка.....	38
2.6. Створення 3D-моделей інструменту.....	39
2.6.1 Створення 3D-моделі корпусу розвертки.....	39
2.6.2 Створення 3D-моделі гвинтового елемента.....	45
2.6.3 Створення 3D-моделі оправки.....	49
3. ТЕХНОЛОГІЧНА СКЛАДОВА.....	52
3.1 Вибір заготовки.....	52
3.2 Створення технологічного процесу.....	53
3.3 Розрахунок припусків на обробку.....	58
3.4 Розрахунок режимів різання.....	60
4. РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ.....	70
4.1 Аналіз вихідних даних.....	70
4.2 Розрахунок температури різання.....	71
4.3 Вибір пристосування.....	77

4.4 Силовий розрахунок.....	79
4.5 Розрахунок похибки базування.....	82
5. СТВОРЕННЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК.....	84
5.1 Вибір верстата з ЧПК.....	84
5.2 Створення керуючої програми на верстат з ЧПК.....	87
6. АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ.....	92
6.1 Визначення сили різання.....	92
6.2 Аналіз напружено-деформованого стану.....	94
Список використаних джерел.....	96
Додаток А.....	99
Додаток Б.....	104
Додаток В.....	113
Додаток Г.....	114

## ВСТУП

Вирішення сучасних проблем потребує сучасних рішень, і в машинобудуванні особливо важливо йти в ногу з прогресом. Конкуренція породжує якісь, а тому, стоїть питання у впроваджені сучасного устаткування на підприємствах задля отримання на виході конкурентоспроможної продукції. Оскільки поняття якості межує з поняттям економії, дуже важливо оцінити ту саму межу, та знайти компроміс. Під економією розуміється зменшення часу на обробку деталі, часу на переналаштування інструменту, та зменшення амортизаційних відрахувань. Компромісом у даному випадку буде обрання більш складного та якісного інструменту, що в подальшому вирішить це питання.

Щодо розверток, які використовують для чистової обробки отворів, раціональним рішенням є створення збірної конструкції, що дозволяє отримати універсальний інструмент в плані взаємозамінності. Така конструкція також дозволяє використовувати великі за діаметром робочі корпуси для обробки отворів до 100 мм. Насадні розвертки конструюють з внутрішньою подачею охолоджувальної рідини, що зменшує її витрати, та позитивно позначається на ефективності охолодження. Правильно розроблена система подачі рідини водночас бере участь в направленні стружки та її виведенні з зони різання. Головне питання, -точність отвору після обробки, яке вирішується правильно підбіраною геометрією та правильно підібраними матеріалами.

До виконання поставленої задачі, потрібно: Розробити конструкцію, обрати матеріал корпусу насадної розвертки, розробити технологію виготовлення, сконструювати пристосування, розробити технологію виготовлення та керуючу програму для верстата з ЧПК та провести аналіз напружень, що виникають під час роботи інструменту.

# 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОЗВЕРТОК

## 1.1 Загальна інформація

Розгортання являє собою процес обробки отворів з ціллю отримання точності та чистоти.

Розвертка це багатозубий інструмент, який подібно свердлу та зенкеру в процесі обробки обертається навколо своєї осі (головний рух) та поступально переміщується вздовж осі, виконуючи рух подачі. Розгортання дає можливість отримати точність до 6-9 квалітету і шорсткість поверхні до  $Ra = 0,32 \dots 1,25$  мкм. Завдяки великій кількості ріжучих кромки в парі з невеликим припуском забезпечується висока якість обробки отвору. [1]

Розвертки класифікуються [2]:

За типом оброблюваного отвору:

- циліндрична
- конічні
- ступінчаті

По точності:

- Із зазначенням квалітету, для циліндричних
- Із вказанням якості (чорнові, проміжні, чистові) для конічних
- Циліндричні розвертки з каліброваним припуском, коли потрібний розмір досягається шліфувальною операцією
- Регульовані (розсувні, розтискні, шкворневі)

За способом затискання інструменту:

- Ручні з квадратним хвостовиком під вороток
- Машинні з циліндричним хвостовиком
- Машинні з конічним хвостовиком
- Машинні насадні, які встановлюють на спеціальну оправку

Також розрізняють:

- Із прямими та спіральними стружковими канавками
- За кількістю різальних кромки

- За матеріалом інструменту
- За наявністю системи подачі МОР
- За можливістю регулювання

Області застосування інструменту [3]:

1. Машинобудівна галузь
2. Виготовлення точних виробів
3. Виготовлення побутової техніки та електроніки
4. Верстатобудування

Виготовлення розверток є складним процесом, оскільки всі конструктивні частини повинні володіти високою точністю. За конструкцією, більшість різального інструменту має схожу конструкцію:

- Робоча частина, яка головним чином приймає участь в процесі різання: зняття матеріалу. Робоча частина представлена поєднанням кількох різальних кромки. Варто враховувати, що при заточуванні розвертки потрібно враховувати усі особливості геометрії.
- Перехідна шийка. Її роль полягає в розподіленні навантаження, яке виникає в процесі роботи інструменту.
- Хвостовик. Призначається для фіксації різального інструменту в патроні чи воротку. Саме цей елемент головним чином впливає на надійність закріплення [3]

Конструктивні елементи на прикладі ручної розвертки показані на рис. 1.1:

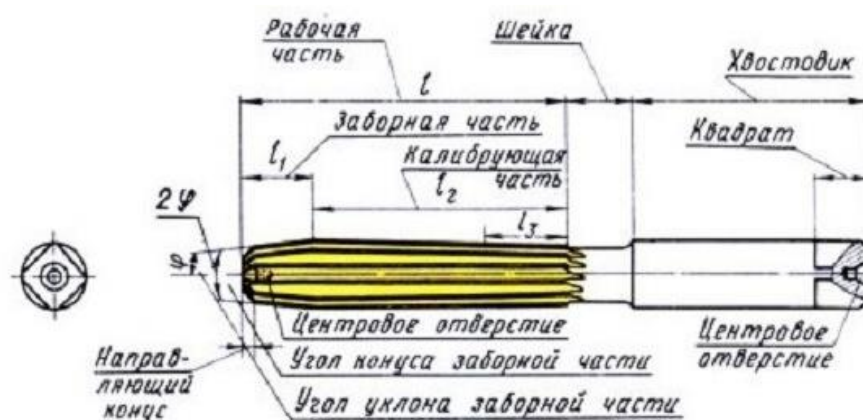


Рис. 1.1 – Конструкція ручної розвертки [3]

При аналізі креслень розверток, найбільше приділяють увагу особливостям робочої частини, яка складається з:

- Головної різальної кромки, яка відповідає за зняття матеріалу. Вона має різноманітну форму, при її виготовленні застосовують метал з підвищеною точністю.
- Стрічок, які відводять стружку з місця різання.
- Передньої, задньої, та затилувальної поверхні. Саме вони визначають особливості геометрії робочої частини.
- Заднього конусу.
- Забірної частини, яка називається різальною.
- Частини, яка відповідає за калібрування інструменту перед його використанням.

Між усіма зубами є канавки, які характеризують різальну кромку. Канавки забезпечують утворення та відведення стружки. Для ручних розверток, щоб забезпечити потрібну чистоту обробки, доцільно застосовувати рівний крок зубів по всій циліндричній поверхні [3].

## **1.2 Особливості обробки отворів**

Головною причиною неточності отвору при свердлінні є високе навантаження як на заготовку так і на саме свердло, в наслідок чого матеріал та різальна частина нагріваються та деформуються. Тому виникає потреба використовувати розвертку для отримання високої якості отриманого отвору [3].

До характеристики розвертки можна віднести:

1) Досягнення точності обробки в межах 6-9 квалітету. Точні отвори потребуються при виготовленні відповідальних деталей.

2) Показники шорсткості знаходяться в діапазоні  $Ra = 0,32 \dots 1,25$  мкм.

3) На поверхні є близько 4-14 різальних кромок, за рахунок чого підвищується якість обробки та точність розмірів. Саме за рахунок великої

кількості кромок при різанні не виникає деформація заготовки та інструмента.

4) При обробці отвору інструмент обертається навколо своєї осі, при цьому виконуючи зворотно-поступальний рух. За рахунок цього видаляється кромка, яка знижує якість поверхні.

Загалом, розгортання являється фінішною обробкою, яка потребує високу швидкість обертання [3].

### **1.3 Класифікація інструменту**

Класифікація інструменту виконується відповідно стандартам ГОСТ:

1) Матеріал, який використовують при виготовленні основної частини розвертки.

2) Конструктивні особливості різальної кромки та стрічки, та також їх взаємне розташування.

3) Тип оброблюваного отвору.

4) Спосіб закріплення в пристосуванні.

5) Можливість регулювання по розмірам оброблюваного отвору.

«В ГОСТі вказується клас точності розвертки. Він залежить від геометричних параметрів та типу застосовуваного матеріалу при виготовленні». [3]

Найбільш популярні варіанти виконання [3]:

1) Розсувна розвертка. Користується популярністю за рахунок можливості застосування для різних діаметрів отвору. Розсувна розвертка з кулькою дозволяє отримувати високу точність розмірів та необхідних показників шорсткості.

2) У зв'язку з високою універсальністю, варіанти виконання з конічним хвостовиком також отримали широке розповсюдження.

3) Гвинтова розвертка може мати напаяні пластини, які використовуються з твердих сплавів. Твердий сплав має вищу міцність та жаростійкість в порівнянні з матеріалом, який використовують для виготовлення основного тіла розвертки.

Ступінчаті розвертки використовуються для отримання більш якісної поверхні, за рахунок розподілення припуску.

За способом використання розрізняють [3]:

а) Ручні розвертки. Як правило, з робочою частиною застосовується вороток, який призначений для передачі обертання. Варто зауважити, що ручний тип призначений для зняття меншого шару.

б) Механічні, які застосовують з верстатами, які забезпечують швидку та точну обробку.

Типи розверток за способом використання зображені на рис. 1.2:

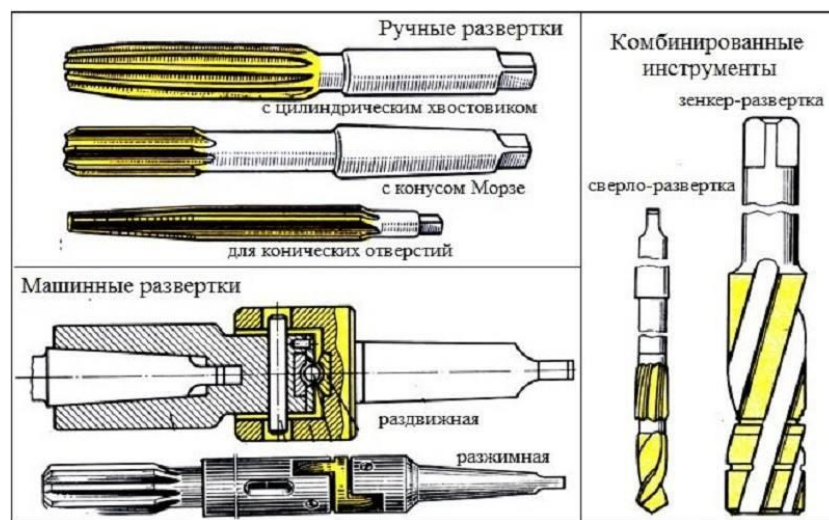


Рисунок 1.2 – Типи розверток за способом використання [3]

Досить широко використовують твердосплавні розвертки, за рахунок того, що тверді сплави можуть витримувати довготривалу експлуатацію, при цьому без зносу її поверхні. Як правило, головною причиною зменшення якості поверхні стає зношення різальної кромки.

По типу оброблюваного отвору, найбільшу популярність мають [3]:

1) Циліндричні отвори, при яких дві поверхні знаходяться паралельно відносно одна одній. Циліндрична розвертка має більш просту форму.

2) Конічні отвори, які характеризуються звужуючою порожниною, при якій кут нахилу може суттєво відрізнятись. Конічну розвертку підбирають спеціально для кожної заготовки. Так як конусна поверхня достатньо складна в обробці, потрібно підбирати відповідний інструмент.

Машинні розвертки:

Верстати значно підвищують продуктивність праці. Свердлильний станок з низьким показником швидкості обертання шпинделя дозволяє отримати якісні отвори за меншу кількість часу.

Розвертка машинна циліндрична характеризується наступними особливостями [3]:

1. Інструмент має велику кількість різальних кромок.
2. При виготовленні різальної частини застосовуються твердосплавні метали, які витримують високі механічні навантаження та високу температуру.
3. Різальна частина має велику довжину.

#### **1.4 Аналіз інструменту світових виробників**

Для вибору найоптимальнішої конструкції розвертки проведемо аналіз серед сучасних рішень світових виробників.

Розвертка компанії Tungaloy зі змінною різальною частиною [4] (рис 1.3)



Рисунок 1.3 – Розвертка компанії Tungaloy [4]

Особливості:

1. Високоточні змінні головки дозволяють розвертати отвори для отримання 7-го квалітету точності.

2. Інструмент дозволяє використовувати більш високу швидкість різання та швидкість подачі в порівнянні з розвертками з твердого карбіду чи розвертками з напаяними пластинами, при цьому забезпечуючи високу продуктивність.

3. В залежності від типів отвору, доступні два типи головок розвертки (рис. 1.4):

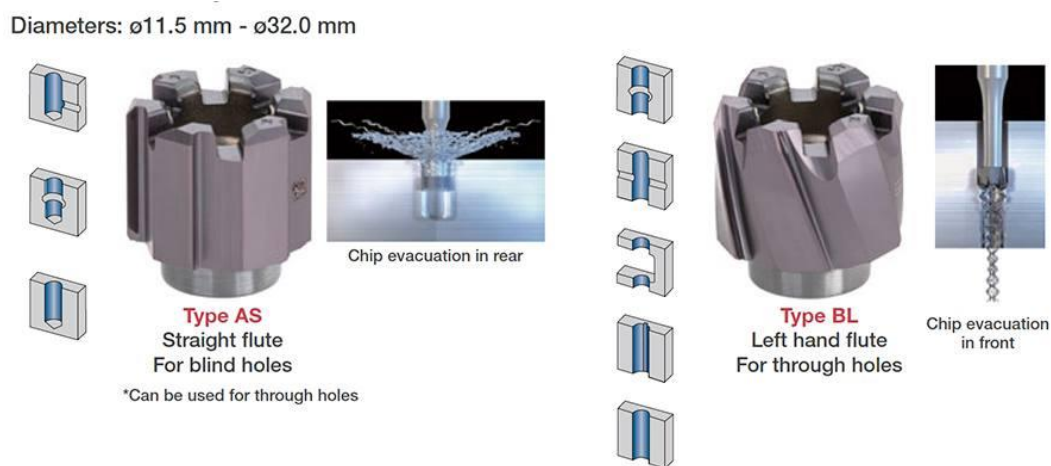


Рисунок 1.4 – Типи змінних головок [4]

- Для глухих отворів використовується тип AS з прямими стружковими канавками; Потік охолоджуючої рідини сприяє відводу стружки, направляючи її назад, де стружка, рухаючись через прямі канавки виходить з отвору, не пошкоджуючи розвертку та сам отвір. Кут у плані для даного типу  $\varphi = 45^\circ$

- Для наскрізних отворів використовується тип BL з гвинтовими стружковими канавками. Лівостороння канавка сконструйована спеціально для обробки наскрізних отворів. Завдяки такій конструкції стружка виштовхується вперед відразу після формування. Кут у плані для даного типу  $\varphi = 25^\circ$

4. Діапазон діаметрів оброблюваних отворів:  $\varnothing 11,5 - 32$  мм

Завдяки збірній конструкції розвертки досягається економічна вигідність в плані використання різних за розміром змінних корпусів на одну оправку.

Доступно 5 розмірів хвостовиків та байонетних гвинтів для діапазону діаметрів насадних корпусів:

- RM-BN5  $\varnothing$ 11.5 – 13.5 мм
- RM-BN6  $\varnothing$ 13.5 – 16 мм
- RM-BN7  $\varnothing$ 16 – 20 мм
- RM-BN8  $\varnothing$ 20 – 25.4 мм
- RM-BN9  $\varnothing$ 25.4 – 32 мм

Інструмент складається зі змінного корпусу розвертки, байонетного гвинта та оправки. За допомогою гвинтового елемента змінний корпус кріпиться до оправки, де базування відбувається по конічних поверхнях [4]. Компоненти збірної розвертки Tungaloy зображені на Рис. 1.5.

Розвертка обладнана внутрішньою системою подачі мастильно-охолоджуючої рідини (МОР) в зону різання. Така система дозволяє більш ефективно використовувати МОР: рідина під тиском подається безпосередньо на різальні кромки, що крім охолодження, сприяє відводу стружки, а також, за рахунок близького розташування каналів кількість витраченої рідини зменшується [4].



Рисунок 1.5 – Компоненти розвертки [4]

Компанія ISCAR пропонує високошвидкісну систему розвертування серії INDEXH-REAM з каналами для внутрішнього підводу МОР, яка представляє з себе однолезвійну розвертку зі змінними пластинами [5] .



Рисунок 1.6 – Розвертка INDEXH-REAM [5]

Обіцяна точність отвору після обробки: 7H

Змінна пластина має два різальних кута з 4-ма варіантами кутів в плані та 3-ма опціями переднього кута, що дозволяє працювати з більшістю матеріалів. Змінна пластина з твердосплавними направляючими забезпечує економічний та високоточний результат при обробці широкого спектру матеріалів.

Існує умова: Тип кута інструмента (направляючих пластин) повинен бути сумісним з типом кута пластини. Використання неправильної пластини може призвести до пошкодження інструмента та оброблюваної деталі.

Направляючі пластини шліфуються під визначений діаметр, та можуть використовуватись для розвертування отворів тільки відповідних діаметрів.

Доступно 4 стандартних варіацій кута у плані, які зображені на рис. 1.7:

- тип А, який застосовується для отримання високої якості поверхні при нижчих параметрах обробки.

- Тип В, який являється універсальним. Працює на високих режимах обробки. Може застосовуватись для широкого спектру матеріалів.

- Тип С, який підходить для обробки алюмінію та латуні. Працює на високих швидкостях різання.

- Тип D, який зазвичай застосовують для обробки глухих отворів. Працює на малій подачі [5].

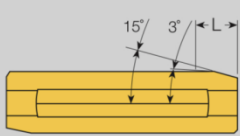
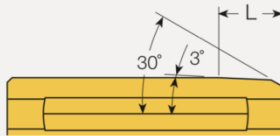
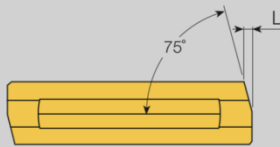
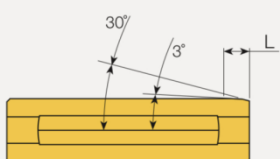
Тип фаски	L [мм]	
A	3	
B	1.3	
C	0.55	
D <sup>(1)</sup>	0.6	

Рисунок 1.7 – Варіації кута у плані [5]

Існує 3 стандартні варіанти переднього кута, які зображені на рис. 1.18:




	Угол [град.]	
00	0°	
06	6°	
12	12°	

Рисунок 1.8 – Варіації переднього кута [5]

- $\gamma = 0^\circ$ . Даний варіант застосовується для обробки чавуну
- $\gamma = 6^\circ$ . Універсальний варіант загального застосування.
- $\gamma = 12^\circ$ . Застосовують для обробки сталі та алюмінію.

Серія розверток доступна з двома різними геометриями хвостовика: з короткою та довгою канавкою для відводу стружки. Варіації хвостовиків зображені на рис. 1.19:



Рисунок 1.9 – Варіації хвостовиків [5]

Тип хвостовика обирається в залежності від типу отвору:

- Глухий отвір. Обирають хвостовик з довгою канавкою, який має фронтальні канали для підводу МОР. Потік рідини досягає дна глухого отвору та виштовхує стружку. Стружка рухається назад через довгу стружкову канавку на корпусі хвостовика.
- Наскрізний отвір. Використовують хвостовик з короткою канавкою. Цей хвостовик також обладнаний каналами для підводу МОР, які розташовані прямо над пластиною. Потік рідини направляється на різальну кромку для змазування та виштовхування стружки вперед. Додаткові отвори розташовані перед направляючими планками. Їх ціль полягає в зменшенні високого тертя між направляючими пластинами та поверхнею оброблюваного отвору [5].

Розвертка зі змінною різальною частиною від компанії Alvan [6] (рис.1.10)

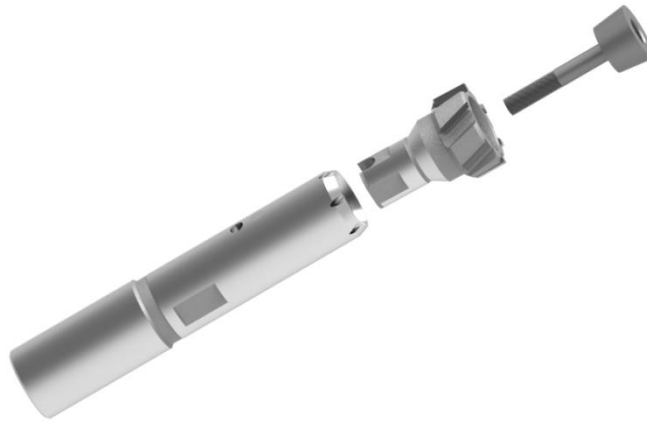


Рисунок 1.10 – Розвертка Alvan [6]

Характеристики:

- Точність отвору після обробки: 7Н.
- Можливість змінювати різальні головки.
- Геометрія різальної частини передбачає прямі та спіральні стружкові канавки в залежності від типу оброблюваного отвору.
- Передбачена різна геометрія різальної частини в залежності від оброблюваного матеріалу.
- Отвори для підводу охолоджувальної рідини розташовані на хвостовику.
- Існує варіант модульного та циліндричного хвостовика.

Переваги:

- Швидке та просте налаштування.
- Для одного хвостовика передбачено декілька насадних головок різних розмірів.
- Висока повторюваність при обробці.
- Биття зібраної конструкції  $\pm 0,005$  мкм.

Закріплення змінної головки на оправці відбувається за допомогою конусного гвинта з поглибленням під шестигранний ключ [6].

Розвертка Precimaster plus компанії SECO зі змінними різальними головками [7] (рис. 1.11)



$10 \times D$ , представлені відповідні хвостовики малої, середньої та великої довжини.

- Твердосплавні головки, в порівнянні з традиційними головками з напаяними пластинами, дозволяють використовувати більшу кількість зубів при такому ж діаметрі головки, та збільшувати подачі аж до 30%.

- Твердосплавний матеріал збільшує строк служби інструмента аж на 30%, забезпечує додаткову стійкість при обробці міцних матеріалів та підвищує економічність системи.

- Щоб забезпечити стружкоутворення та відвід стружки, хвостовики розверток Precimaster Plus можуть використовувати різні типи промивання для глухих та наскрізних отворів. Отвори подачі MOP в передній частині корпусу інструмента виштовхує стружку наверх по канавкам до головки та назовні з глухих отворів, в той час як стандартна система внутрішньої подачі MOP викидає стружку з інструмента, забезпечуючи ефективне розвертування наскрізних отворів.

- Патентоване з'єднання системи дозволяє швидко та легко змінювати головку розвертки, при цьому забезпечуючи повторюваність повторного встановлення та биття менше 3 мкм [7].

Змінна головка Precimaster з прямими стружковими канавками (рис. 1.12)



Рисунок 1.12. Головка Precimaster з прямими канавками [7]

Розвертка CoroReamer 830 від Sandvik Coromant [8] зі змінною головкою для обробки наскрізних отворів з високою подачею, рис. 1.13.

Особливості:

- Діапазон діаметрів: 10,00-31,5 мм
- Точність оброблюваного отвору: 7H
- Напаяні металокерамічні пластини зі сплаву P10R
- Коротке та довге виконання хвостовика
- Змінна головка
- Внутрішня подача МОР
- Закріплення та розкріплення різальної головки виконується

поворотом затискного механізму всього на четверть оберту за допомогою шестигранного ключа.

Область застосування:

- Для обробки сталі, чавуну с шаровидним графітом та ковкого чавуна
- Наскрізні отвори, отвори в похилих площинах та пересічних отвори [8].



Рисунок 1.13 – Розвертка CoroReamer 830 від Sandvik Coromant [8]

Проаналізувавши розвертки світових виробників можна дійти висновку що насадна конструкція користується великою популярністю, оскільки вона вирішує ряд проблем, які виникають в процесі їх використання на підприємствах. До проблем, які вирішує така конструкція можна віднести неможливість оброблювати отвори великих діаметрів, дороговизна інструменту за рахунок цільності конструкції, коли при заміні зношеної розвертки разом з робочою частиною замінюється і хвостовик, та в цілому

універсальність інструменту. Також, вартою уваги є така конструктивна особливість як внутрішня подача МОР, яка на відміну від зовнішньої являється більш ефективною в плані охолодження та більш економною при витраті рідини. Для розверток великих діаметрів є доцільним використання змінних пластин, які кріпляться до корпусу за допомогою гвинта. Змінні пластини мають ряд переваг у порівнянні напаяними, оскільки досягається висока міцність, менші витрати на зміну та утилізацію та менші витрати дефіцитних матеріалів. Компромісним рішенням для корпусів розверток невеликих діаметрів є виготовлення їх з цільного прутка.

## 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОЗВЕРТКИ

### 2.1 Опис роботи інструменту:

Робоча частина 1 циліндричної розвертки складається з трьох ділянок:

Ділянка  $A = l_1$  представляє собою забірну частину розвертки, яка безпосередньо виконує різання, - зняття стружки. Глибина різання рівна половині припуску на обробку  $t = \frac{(D-d)}{2}$ .

Циліндрична ділянка  $B$  слугує для калібрування отвору

Ділянка  $C$  являє собою обернений конус, який призначений для зменшення тертя розвертки об стінки отвору та для зменшення його «розбивання» [9].

Схема різання при розгортанні зображена на рис. 2.1:

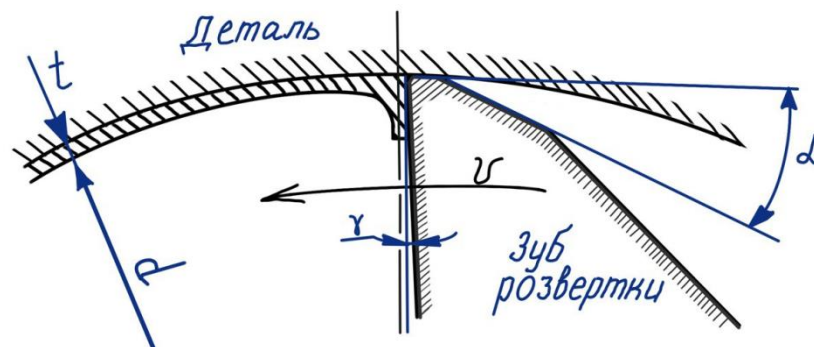


Рисунок 2.1 – Схема різання при розгортанні

### 2.2 Вибір конструкції інструменту

Для оброблення отвору  $\varnothing 26H7$  у якості базового інструменту було обрано насадну розвертку.

Насадна розвертка має ряд переваг:

- Можливість оброблювати отвори великих діаметрів: від 20 до 100 мм, на відміну від розверток що мають циліндричний та конічний хвостовик.
- Така конструкція є більш економічно вигідною, оскільки на одну оправку можна кріпити різні за діаметром змінні корпуси розверток. Після того, як вони зносяться, їх можна легко та швидко замінити на нові.

Оскільки змінний корпус розвертки має невеликий розмір, -26 мм, то доцільно виготовляти її цільною, без напаювання пластинок або кріплення їх спеціальним гвинтом до корпусу.

Розвертка складається з корпусу 1, який має гвинтові стружкові канавки, та гвинтового елемента 2 (байонетний гвинт), за допомогою якого корпус 1 кріпиться до оправки 3. (Рис. 2.2)

Гвинтовий елемент 2 оснащений отворами для подачі МОР.

Базування відбувається конічними поверхнями на корпусі 1 та на гвинтовому елементі 2. На корпусі гвинтового елемента 2 знаходяться три затискні виступи, які слугують для фіксації змінного корпусу розвертки 1.

Взаємне базування всіх трьох елементів по конічних поверхнях дозволяє отримати безлюфтове з'єднання.

Послідовність закріплення інструменту:

1. В оправку 3 за допомогою різьбового з'єднання на 2-3 оберти за часовою стрілкою вкручується гвинтовий елемент 2

2. На гвинтовий елемент 2 насаджується корпус розвертки 1, який прокручують до появи невеликого зусилля.

3. Остаточне затягування виконують спеціальним ключем з внутрішнім восьмигранником.

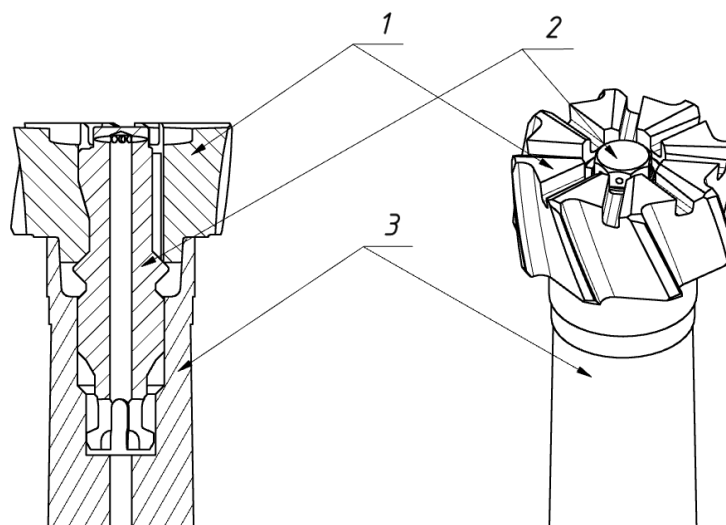


Рисунок 2.2 – Насадна розвертка

## **2.3 Вибір інструментального матеріалу**

### **2.3.1 Вибір матеріалу робочої частини**

Відповідно ГОСТ 1672-80 машинні цільні розвертки та ножі збірних розверток виготовляють зі швидкорізальної сталі по ГОСТ 19265.

Допускається виготовлення машинних розверток з інших марок швидкорізальної сталі, які не поступаються по міцності розверткам, які виготовляються зі швидкорізальної сталі Р6М5 по ГОСТ 19265.

Для обробки заготовки з алюмінію, обираємо швидкорізальну сталь марки Р6М5. Головною відмінністю швидкорізальної сталі від звичайних вуглецевих сплавів є те, що вона дає можливість обробляти будь-який твердий матеріал на високій швидкості, при цьому, маючи високу зносостійкість [10].

Ключові характеристики сталі марки Р6М5 [11]:

- Твердість при нагріванні. Ця сталь здатна зберігати свої початкові властивості не втрачаючи міцності при нагріванні аж до 6000°C.
- При роботі в середовищі високої температури має високий опір розжарюванню.
- Довгий час тримає заточування.
- Має високу в'язкість.
- Добре обробляється шліфуванням.
- Має високу міцність при ударі.

Розшифрування сталі:

Р – означає, що сталь швидкорізальна. Цифра 6 після букви Р означає що вміст вольфраму 6%.

М – означає що сталь легована молібденом, а цифра 5 вказує що вміст молібдену 5%.

Таблиця 2.1 –Хімічний склад у % сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73

Марка сталі	Масова частка елементу, %											
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Co	Mo	Ni	Cu	S	P
Р6М5	0.73-0.83	0.20-0.50	0.20-0.50	3.80-4.40	17.00-18.5	1.00-1.40	≤0.50	≤1.00	≤0.60	≤0.25	≤0.03	≤0.03

Таблиця 2.2 –Фізичні властивості сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73

Параметри	Значення
Твердість HRC	65
Щільність	8,55 г/см <sup>3</sup>
Межа міцності при згинанні	3000 МПа
Теплостійкість	620°C

### 2.3.2 Матеріал гвинтового елемента.

У збірному інструменту корпуси та елементи кріплення виготовляють з конструкційних сталей марок: 45, 50, 60, 40Х, У7, 9ХС и інші. Найбільш поширеною є сталь 45, з неї виготовляють державки різців, хвостовики свердел, зенкерів, розверток, корпусів збірних фрез, розточні оправки [1].

Оскільки інструмент працює в важких умовах, застосовують сталь 40Х. Вона після загартування в маслі і відпуску забезпечує збереження точності всіх пазів та отворів.

Тому для виготовлення корпусу гвинтового елемента обираємо сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Хімічний склад та механічні властивості наведені в таблиці 2.3 та таблиці 2.4

Таблиця 2.3 –Хімічний склад у % сталі 40Х ГОСТ 4543-71

Марка сталі	Масова частка елементу, %							
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
40Х	0,36-0,44	1,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	0,035	0,035	0,8-1,1	до 0,3

Таблиця 2.4 –Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543-71

Параметри	Значення
Границя міцності при розтязі	980 МПа
Відносне подовження	45 %
Відносне звуження	10 %
Твердість по Бріннелю	156-197 НВ

### 2.3.3 Матеріал оправки.

Матеріалом оправки було обрано сталь 45 ГОСТ 1055-88. Як було зазначено вище, сталь 45 є самою поширеною для виготовлення оправок, так як це самий оптимальний варіант для роботи в середніх умовах навантаження.

Хімічний склад та механічні властивості сталі 45 наведені в таблиці 2.3 та таблиці 2.4

Таблиця 2.5 –Хімічний склад у % сталі 45 ГОСТ 1055-88

Марка сталі	Масова частка елемента, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
45	0,42-0,5	1,17-0,37	0,5-0,8	до 0,25	0,04	0,035	до 0,25	до 0,25	до 0,08

Таблиця 2.6 –Механічні властивості сталі 45 ГОСТ 1055-88

Параметри	Значення
Границя міцності при розтязі	640 МПа
Відносне подовження	6 %
Відносне звуження	30 %
Твердість по Роквеллу	45 HRC

## 2.4 Вибір конструктивних елементів розвертки.

### 2.4.1 Діаметр розвертки

Ключовим конструктивним розміром розвертки є її діаметр  $D$ . Неправильний розрахунок допуску може призвести до неповного використання дорогого інструменту, подорожання його виготовлення та необхідності в повторному заточуванні, та не менш важливо,- недотримання розміру оброблюваного отвору[12].

Щоб розрахувати діаметр інструменту потрібно в першу чергу врахувати діаметр оброблюваного отвору та його допуск. Також потрібно врахувати такі параметри як величина розбивки  $P_{max}$  та  $P_{min}$ , допуск на виготовлення розвертки,  $-H = VD$  та допуск на її зношування,-  $I = DF$ .

Величина розбивки відрізняється в кожному конкретному випадку, та приймаються по експериментальним даним. Орієнтовно, можливо прийняти наступні значення:

$$P_{min} = 5 \text{ мкм}$$

$$P_{max} = 11 \text{ мкм}$$

Допуск  $H$  на виготовлення розвертки приймають рівним  $0,2 \cdot \sigma_0$ , звідки  $\sigma_0$  – допуск на оброблюваний отвір. Найбільший граничний діаметр розвертки  $D_{p.max}$  повинен бути меншим найбільшого граничного розміру отвору  $D_{o.max}$  на величину максимальної розбивки  $P_{max}$ .

Маючи  $D_{p.max}$  та  $H$ , можна визначити найменший граничний діаметр розвертки  $D_{p.min}$ .

Отже, нижнє відхилення нової розвертки лежить на лінії  $CD$ , а верхнє,- на лінії  $AB$ . Гарантований запас на зношення розвертки  $I = DF$ ; лінія  $EF$ , -границя допустимого найбільшого зносу розвертки, при якій вона ще придатна до роботи та забезпечує отримання найменшого граничного діаметра  $D_{o.min}$ .

Звідси, найбільший граничний розмір розвертки:

$$D_{max} = 26,021 - 0,011 = 26,010$$

Найменший граничний розмір розвертки:

$$D_{min} = 26,010 - 0,007 = 26,003$$

Отже, виконавчий розмір розвертки  $\varnothing 26_{-0,007}$

Діаметр розвертки та допуск на її виконання наведено на рис. 2.3.

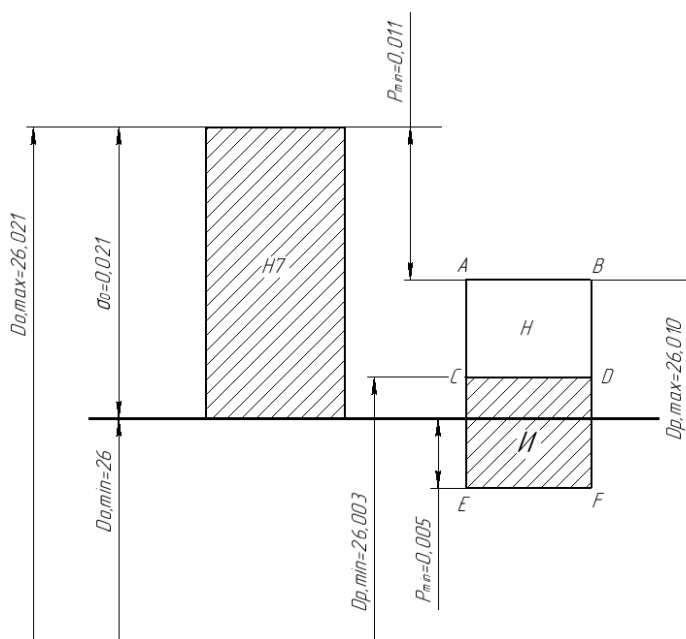


Рисунок 2.3 – Допуск на виконання розвертки

#### 2.4.2 Кількість зубів розвертки та їх кутовий крок

Згідно з ГОСТ 1672-80 для розвертки діаметром 26 мм обираємо кількість зубів  $z = 8$ .

Розвертки зазвичай мають парну кількість зубів, що полегшує вимірювання їх діаметра.

Нерівномірне розподілення зубів по окружності позитивно впливає на роботу розвертки. Це сприяє гасінню вібрацій, які виникають при роботі, особливо на підвищених режимах різання та підвищенню чистоти оброблюваної поверхні.

Для розвертки з числом зубів  $z = 8$  кутовий крок приймається рівним  $\omega_1 = 42^\circ, \omega_2 = 44^\circ, \omega_3 = 46^\circ, \omega_4 = 48^\circ, \omega_5 = 42^\circ, \omega_6 = 42^\circ, \omega_7 = 42^\circ, \omega_8 = 42^\circ$ , при середньому значенні  $\omega = 45^\circ$ . При такому розподіленні кроку

кожна пара протилежних зубів лежить на одному діаметрі, що спрощує виготовлення та контроль розвертки [3, с.131].

Схема кроку зубів зображена на Рис. 2.4:

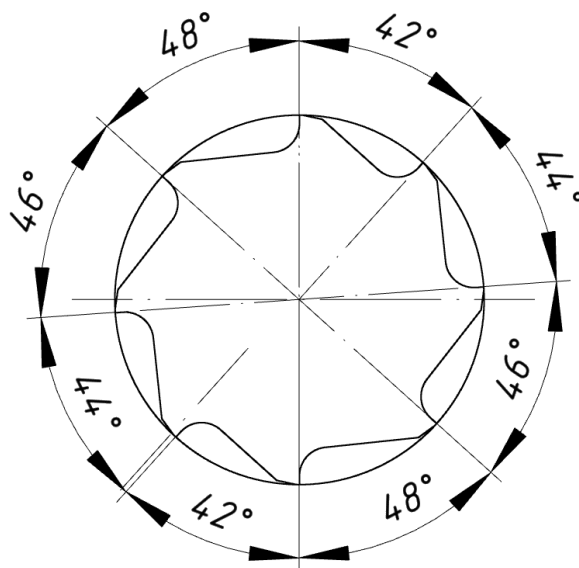


Рисунок 2.4 – Схема кроку зубів розвертки

### 2.4.3 Пазы для відводу МОР

В корпусі розвертки відповідно патенту [13] передбачені пази 1, які позначені на Рис. 2.4. Вони виконують функцію для відводу мастильно-охолоджуючої рідини МОР, яка під тиском виходить з радіально-направлених отворів, які розташовані на гвинтовому елементі. Конструктивно, пази розташовані так, що при щільному затисканні корпусу розвертки на оправці вони співпадають з вищевказаними отворами.

Додатково, в патенті вказано, що під розмір пазів передбачений спеціальний ключ, яким можна з оправки викрутити змінний корпус розвертки, але, оскільки така операція має ряд недоліків, а саме: утворюються механічні пошкодження розвертки; існує можливість поранення; а також, у разі сильного затиску під час роботи розвертки відкручування корпусу унеможлиблюється, було прийнято рішення змінити стандартну конструкцію гвинтового елемента. Було створено форму вершини під восьмигранний ключ, де кількість граней відповідає кількості отворів для

відводу МОР. Процес розбору інструменту безпосередньо через відкручування гвинтового елемента потребує менших зусиль.

#### **2.4.4 Похила площина**

Наявність похилої площини 2, яка позначена на Рис. 2.5 дає можливість стружці, яка утворюється в процесі різання, згинатися в напрямку переднього торця робочої частини. Це запобігає виникненню необхідності шліфування стружкових канавок, а також позитивно впливає на сам процес відводу стружки. Похила площина має виконання подібне фасці розміром  $0,8 \times 30^\circ$ .

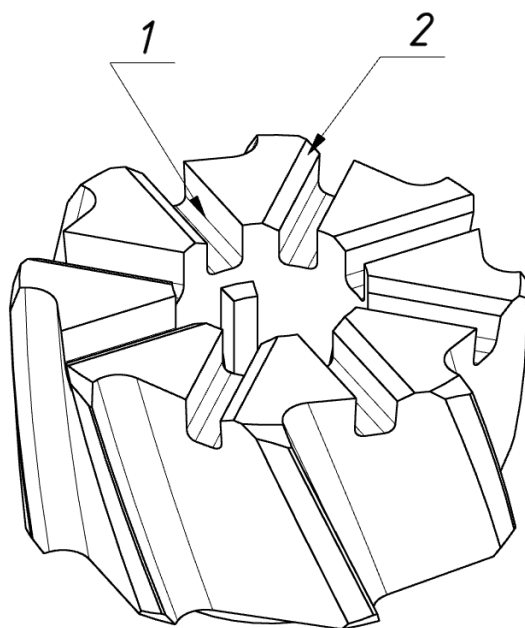


Рисунок 2.5 – Паз та похила площина

#### **2.4.5 Кріпильна частина розвертки.**

Розвертка кріпиться на оправці по конічні поверхні з конусністю 1:10. Оправка має установочний отвір, який знаходиться на передньому кінці. Установочний отвір має передню конічну ділянку, та ділянку з внутрішньою різьбою, яка знаходиться за конічною ділянкою.

Корпус розвертки має наскрізний осьовий отвір, який обмежений бічною поверхнею, та розташованих на боковій поверхні вздовж осі замикаючі виступи, які радіально виступають всередину. Кожен з виступів



### **2.5.1 Кут нахилу гвинтових канавок.**

Кут нахилу головного ріжучого леза  $\omega$  розташований між головною ріжучою кромкою та лінією, яка проведена через вершину розвертки, паралельно основній площині. Кут  $\omega$  впливає на напрямок сходу стружки [15].

Варіант виконання розвертки з гвинтовими канавками використовують коли працюють з переривчастими та наскрізними отворами. Також, гвинтовими канавками оснащують розвертки для обробки легких сплавів. Направлення гвинтових канавок роблять зворотнім до направлення обертання розвертки з ціллю запобігання самозатягування та заїдання розвертки в отворі.

Для отримання високої чистоти оброблюваної поверхні використовують розвертки з великим кутом нахилу гвинтової канавки. Кут нахилу гвинтових зубів у розверток може доходити до  $30 - 40^\circ$  [1, с.132].

Користуючись порадами ГОСТ 18121-72 приймаємо кут нахилу гвинтової канавки  $\omega = 22^\circ$ .

### **2.5.2 Кут у плані.**

Кут у плані  $\varphi$  – кут між проекцією головної різальної кромки леза на основну площину та напрямком подачі.

Кут  $\varphi$  впливає на шорсткість обробленої поверхні: Шорсткість оброблюваної поверхні зменшується зі зменшенням кута в плані. Одночасно зменшується товщина й збільшується ширина шару матеріалу, який зрізається. Це призводить до того, що збільшується активна довжина головного ріжучого леза. Сила та температура різання зменшується, а це в свою чергу знижує зношення інструмента. Зі зменшенням кута в плані різко зростає складова сили різання, яка спрямована перпендикулярно до осі заготовки, за рахунок чого підвищується її деформація. Також, зі зменшенням кута в плані можливе виникнення вібрацій у процесі різання, що знижує якість оброблюваної поверхні [15].

Згідно з каталогом Tungaloy [4], для розверток з гвинтовими канавками для обробки наскрізних отворів приймаємо  $\varphi = 25^\circ$ .

### **2.5.3 Передній кут.**

Передній кут  $\gamma$  – кут, замкнений між передньою поверхнею і площиною, яка перпендикулярна до площини різання. Зі збільшенням кута  $\gamma$  зменшується деформація шару, який зрізається, тому що інструмент легше врізається в матеріал, знижується сила різання та витрати потужності. Одночасно поліпшуються умови сходу стружки та підвищується якість обробленої поверхні заготовки. Надмірне збільшення кута  $\gamma$  приводить до ослаблення головного ріжучого леза, зниження його міцності, збільшення зношування внаслідок викрашування, погіршення умов тепловідведення від ріжучого леза [15].

Передній кут  $\gamma$  розверток зазвичай приймають рівним нулю, оскільки розвертка працює в зоні малих товщин шару, який зрізається. Характер протікання процесу залежить головним чином не від переднього кута, а від радіусу заокруглення різальної кромки [1].

Отже, приймаємо передній кут  $\gamma = 0^\circ$ .

### **2.5.4 Задній кут.**

Заднім кутом  $\alpha$  називають кут між головною задньою поверхнею та площиною різання. Наявність кута  $\alpha$  зменшує тертя між головною задньою поверхнею інструмента й поверхнею різання заготовки, що дає зменшення зносу інструмента по головній задній поверхні. Збільшення кута  $\alpha$  приводить до зниження міцності ріжучого леза. Кут  $\alpha$  призначають виходячи з величини пружного деформування оброблюваного матеріалу.

Згідно ГОСТ 1672-80 [10] приймаємо значення заднього кута  $\alpha = 12^\circ$ .

### **2.5.5 Циліндрична стрічка.**

Стрічка виконує калібрування та вигладжування поверхні оброблюваного отвору. Зменшення її ширини знижує стійкість розвертки, але, при цьому підвищує точність обробки та знижує шорсткість, так як

зменшує тертя. В залежності від діаметра розвертки, ширину стрічки приймають в діапазоні 0,08-0,5мм. Для розвертки діаметром 26мм приймаємо ширину стрічки  $f = 0,2$  мм.

## **2.6 Створення 3D-моделей інструменту**

### **2.6.1 Створення 3D-моделі корпусу розвертки**

Створюємо 3D-модель корпусу розвертки в САПР системі Autodesk Inventor 2019.

Етапи побудови:

1. Створюємо параметричну таблицю користувача в розділі «Параметри».

Вносимо до таблиці основні розміри майбутньої 3D-моделі (Рис. 2.7):

D- діаметр розвертки

d- діаметр хвостовика

d<sub>o</sub> - діаметр посадкового отвору

H<sub>o</sub> - загальна висота корпусу розвертки

h<sub>o</sub> - висота робочої частини корпусу розвертки

a- довжина стрічки зуба

b- довжина задньої площини зуба

omega- кут нахилу гвинтової канавки

alpha- задній кут

fi- кут в плані

z- кількість зубів

Имя параметра	Используется	Единица	Формула	Номин. знач.	Доп.	Значение в	Ключ	Э	Примечание
d284	Фаска12	мм	0,8 мм	0,800000	●	0,800000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d286	Фаска12	град	30 град	30,000000	●	30,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ссылочные параметры									
d120		град	360,00 град	360,000000	●	360,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d197		мм	11,204 мм	11,203639	●	11,203639	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d220		град	47,93 град	47,933334	●	47,933334	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Пользовательские									
L01	d58	мм	9,8 мм	9,800000	●	9,800000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
D	d3	мм	26 мм	26,000000	●	26,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d_o	d54	мм	7,2 мм	7,200000	●	7,200000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
H_		мм	16 мм	16,000000	●	16,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
h_	d2	мм	12,8 мм	12,800000	●	12,800000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
omega		град	22 град	22,000000	●	22,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
fi		град	25 град	25,000000	●	25,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
alpha		град	12 град	12,000000	●	12,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
a		мм	0,2 мм	0,200000	●	0,200000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
b		мм	1,6 мм	1,600000	●	1,600000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
z		бр	8 бр	8,000000	●	8,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d	d69	мм	14 мм	14,000000	●	14,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 2.7 – Таблица з параметрами користувача

2. Створюємо ескіз корпусу, використовуючи параметри користувача, рис 2.8:

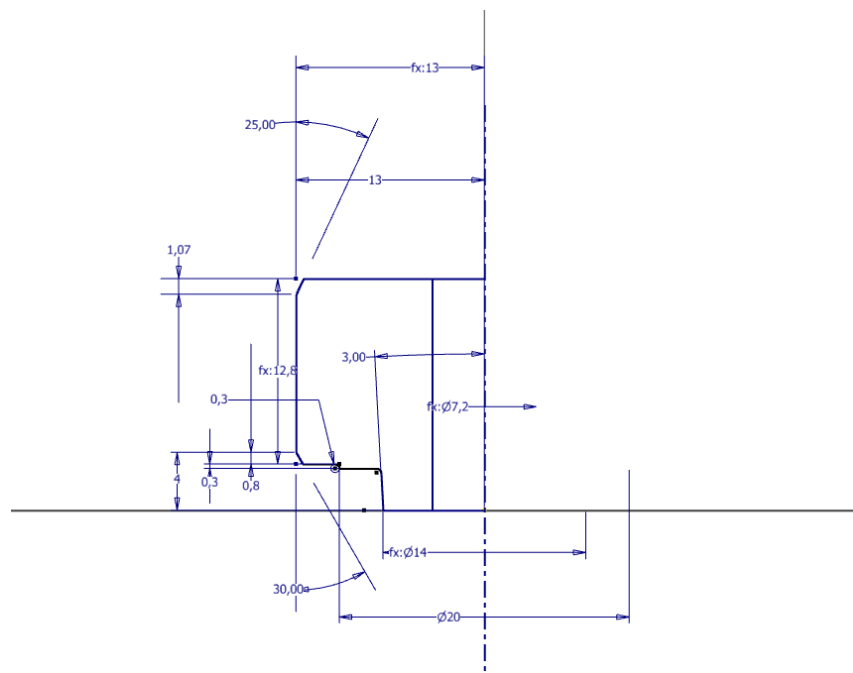


Рисунок 2.8 – Ескіз корпусу розвертки

3. Використовуючи ескіз корпусу, командою «Обертання» створюємо 3D-заготовку, рис. 2.9:

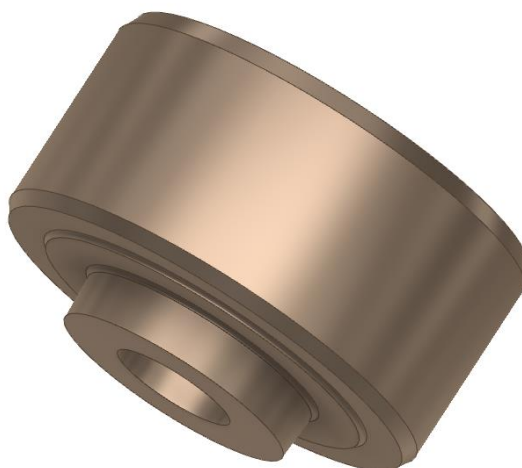


Рисунок 2.9 – 3D-заготовка корпусу розвертки

4. На посадковому отворі створюємо шліци для проходу виступів гвинтового елемента, рис 2.10:



Рисунок 2.10 – Шліци для гвинтового елемента

5. Створюємо запираючі виступи, які приймають участь в закріпленні корпусу розвертки байонетним гвинтом. Використовуємо команду «Видавлювання», попередньо зробивши ескіз. Виступи зображені на рис. 2.11:

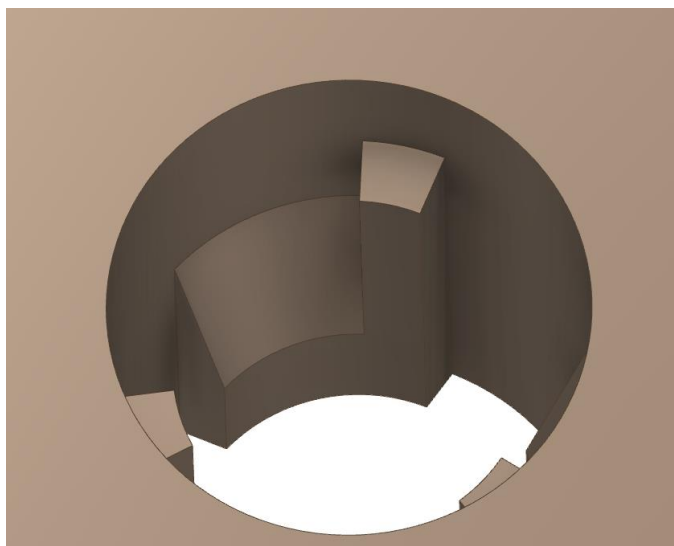


Рисунок 2.11 – Запираючі виступи

6. На верхньому торці заготовки створюємо ескіз зубів зі мінним кроком (рис. 2.12):

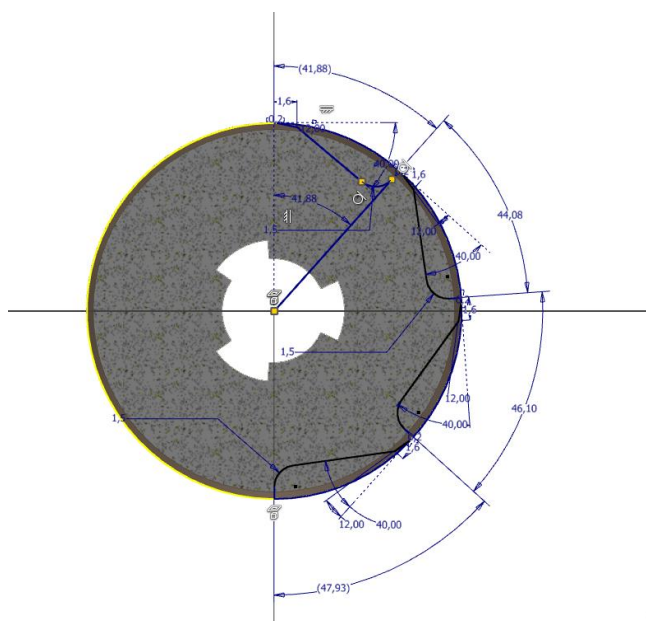


Рисунок 2.12 – Ескіз зубів розвертки

7. Командою «Пружина», «Круговий масив», використовуючи ескіз зубів, створюємо зуби на 3D-моделі розвертки. В команді «Пружина» для отримання бажаного кута нахилу зубів, було розраховано крок пружини за формулою  $P = \pi \cdot D \cdot \text{ctg } \omega$ .  $P = \pi \cdot 26 \cdot \text{ctg } 22^\circ$ .  $P = 202$  мм.

Результат зображено на рис. 2.13:

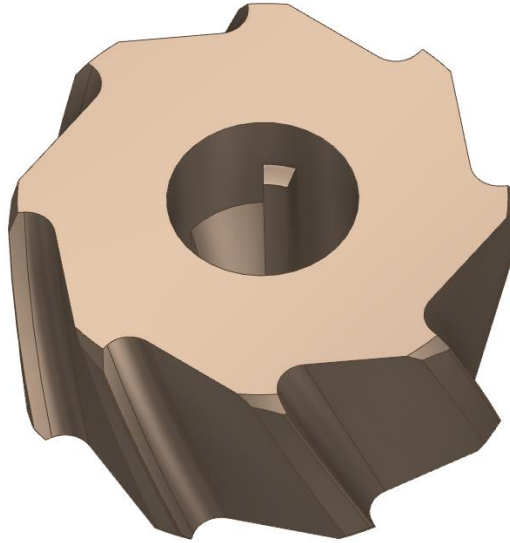


Рисунок 2.13 – Створення зубів

8. Командою «Видавлювання» створюємо пази для відводу МОР, попередньо зробивши ескіз, рис 2.14:

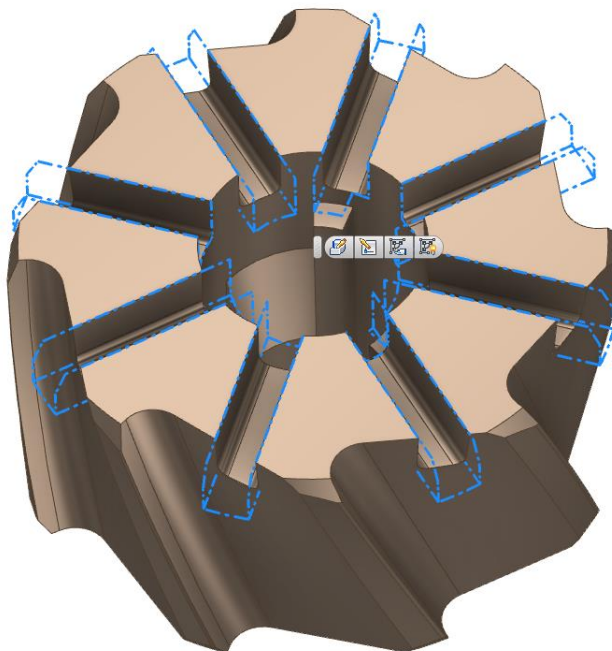


Рисунок 2.14 – Пази для відводу МОР

9. Створюємо похилу площину для відводу стружки, користуючись командою «Фаска», розмножуємо її командою «Круговий масив», рис. 2.15:

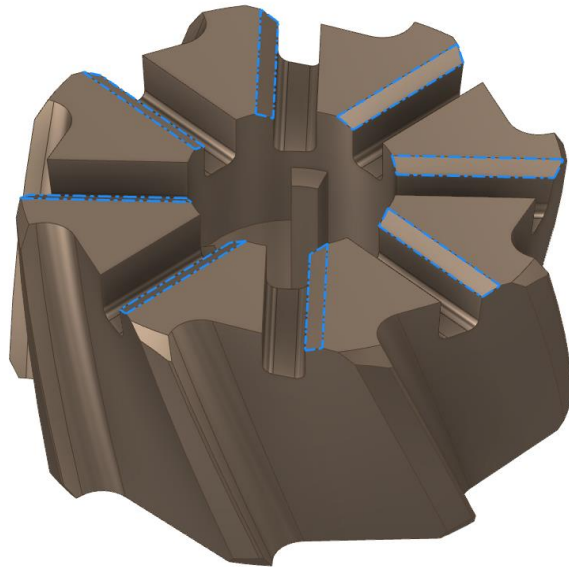


Рисунок 2.15 – Похилі площини

10. Створюємо конусну ділянку  $1.3 \times 45^\circ$  (рис. 2.16), яка буде контактувати з конусною ділянкою на байонетному гвинті. Використовуємо команду «Фаска».

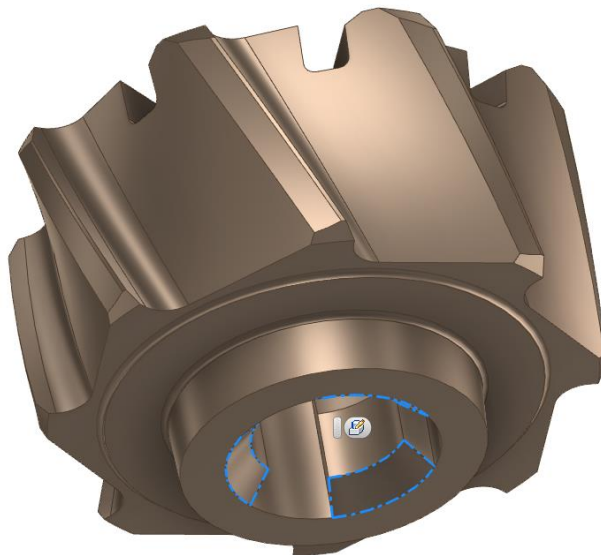


Рисунок 2.16 – Конусна ділянка

3D-модель корпусу розвертки зображена на рис. 2.17:



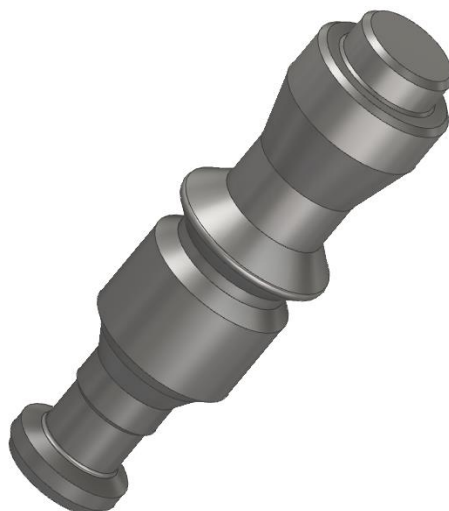


Рисунок 2.19 – 3D-модель заготовки байонетного гвинта

3. Створюємо пружні елементи, які приймають участь в фіксації гвинта в оправці інструмента. Пружні елементи зображені на рис. 2.20:

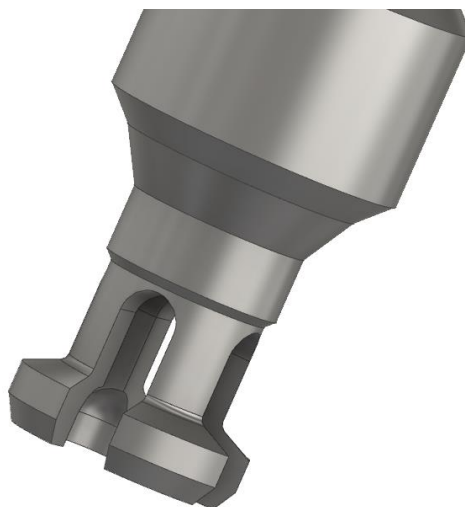


Рисунок 2.20 – Пружні елементи

4. Створюємо виступи (рис. 2.21), які приймають участь в процесі фіксації різальної частини, для подальшого її закріплення на оправці. Виступи створюємо командою «Обертання-віднімання», попередньо зробивши допоміжний ескіз. На виступах робимо фаски.

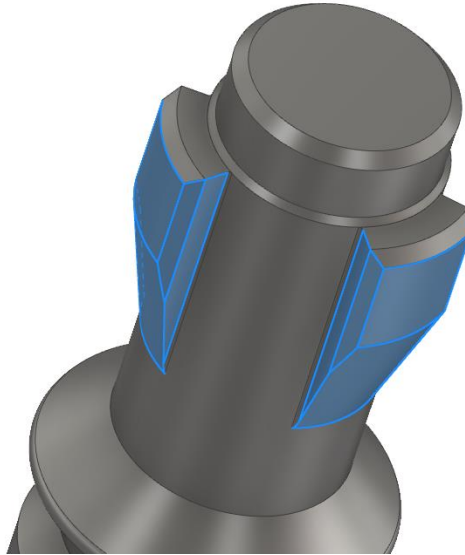


Рисунок 2.21 – Виступи

5. Створюємо восьмигранну форму на верхньому кінці гвинтового елемента, рис. 2.22; Використовуємо команду «Видавлювання-віднімання», попередньо зробивши допоміжний ескіз восьмигранника.

Дана ділянка зроблена для вкручування/викручування гвинтового елемента з корпусу оправки за допомогою спеціального ключа.

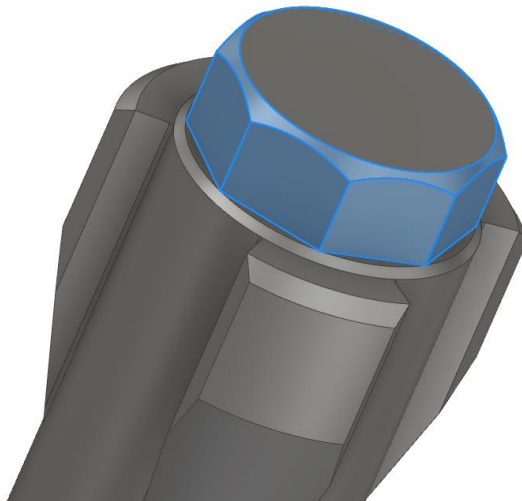


Рисунок 2.22 – Форма під ключ

6. Командою «Видавлювання», попередньо зробивши ескізи, створюємо канали для подачі мастильно-охолоджувальної рідини, рис. 2.23:



Рисунок 2.23 – Канали для відводу МОР

7. Командою «Різьба» створюємо зовнішню різьбову ділянку M10x1 (рис. 2.24), яка буде контактувати з внутрішньою різьбовою ділянкою на оправці.

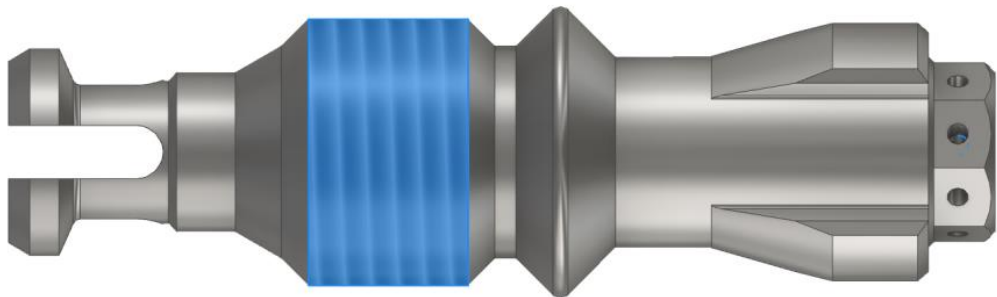


Рисунок 2.24 – Різьбова ділянка

3D-модель корпусу розвертки гвинтового елемента зображена на рис. 2.25:



2. Командою «Обертання», використовуючи ескіз, утворюємо 3D-модель корпусу оправки, рис. 2.27:



Рисунок 2.27 – 3D-модель корпусу оправки

3. Командою «Різьба» створюємо зовнішню різбову ділянку M10x1 (рис. 2.28), яка буде контактувати з зовнішньою різбовою ділянкою на гвинтовому елементі

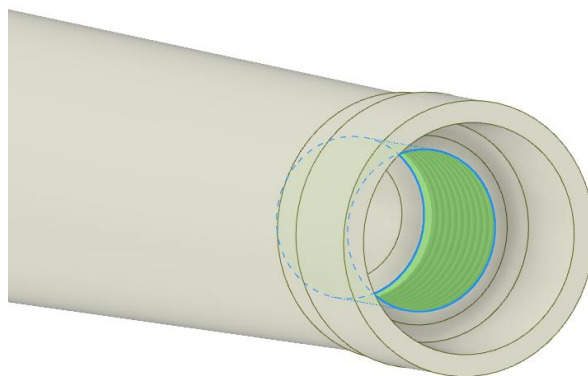


Рисунок 2.28 – Різьбова ділянка

4. Командою «Видавлювання-Віднімання» створюємо канал для подачі МОР, попередньо зробивши ескіз отвору, рис 2.29:

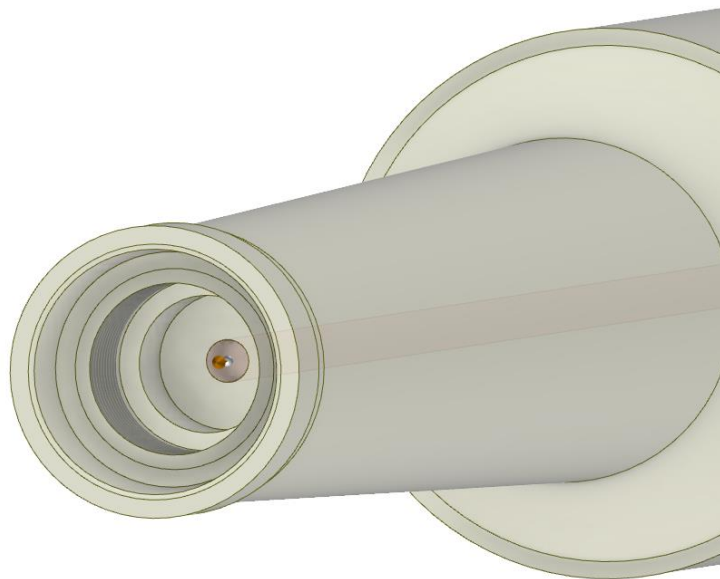


Рисунок 2.29 – Канал для подачі МОР

### 3. ТЕХНОЛОГІЧНА СКЛАДОВА

#### 3.1 Вибір заготовки.

Розвертка є тілом обертання, тому найбільш вигідно постачати заготовки у вигляді круглого прутка. Отримувати заготовки штампуванням не вигідно, тому що для цього потрібні дорогі штампи. В умовах середньосерійного виробництва оптимальним буде виготовлення заготовок прокатом. Прутки виготовляються кованими, гарячекатаними, холоднотягнуті (калібровані) та холоднотягнуті шліфовані. Гарячекатаний прокат є найбільше економічно вигідним [1].

Матеріалом заготовки було обрано швидкорізальну сталь Р6М5, хімічний склад та фізичні властивості якої вказано в таблиці 3.1 та таблиці 3.2 відповідно:

Таблиця 3.1 –Хімічний склад у % сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73

Марка сталі	Масова частка елемента, %											
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Co	Mo	Ni	Cu	S	P
Р6М5	0.73-0.83	0.20-0.50	0.20-0.50	3.80-4.40	17.00-18.5	1.00-1.40	≤0.50	≤1.00	≤0.60	≤0.25	≤0.03	≤0.03

Таблиця 3.2 –Фізичні властивості сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73

Параметри	Значення
Твердість HRC	65
Щільність	8,55 г/см <sup>3</sup>
Межа міцності при згинанні	3000 МПа
Теплостійкість	620°C

### 3.2. Створення технологічного процесу

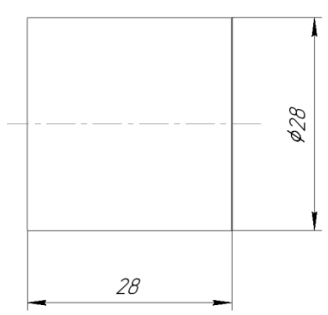

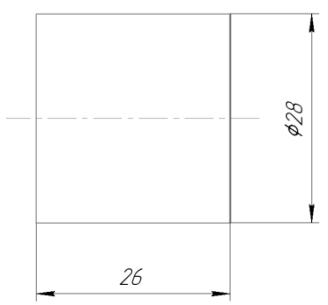
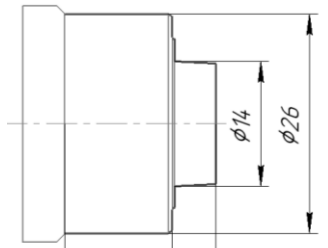
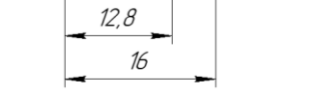

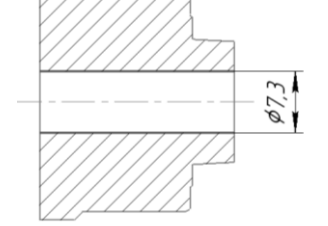
Базовий технологічний процес [16, с.309]:

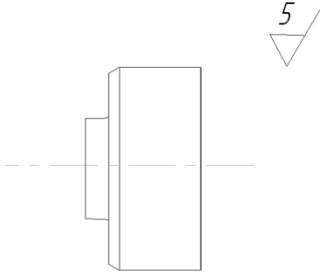
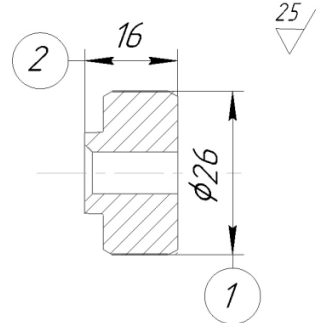
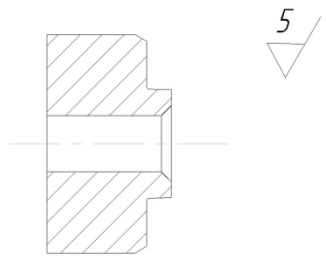
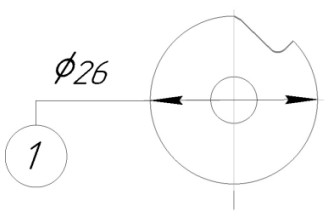
Операції:

1. Заготівельна: Відрізати заготовку
2. Шліфувальна: Зняти залишок після відрізання з однієї сторони
3. Токарна: Обробити отвір та перший торець
4. Токарна: Обробити другий торець та зовнішній діаметр
5. Підрізати торець хвостової частини та підправити фаску
6. Розточна: Розточити виточку
7. Фрезерна: Фрезерувати пази під МОР та похилу площину
8. Фрезерна: Фрезерувати стружкові канавки
9. Слюсарна: Зняти задирки після операції фрезерування
10. Термічна: Загартування, відпуск.
11. Електроерозійна: Обробити посадковий отвір
12. Шліфувальна: Шліфувати отвір
13. Шліфувальна: Шліфувати по зовнішньому контуру попередньо
14. Шліфувальна: Шліфувати по зовнішньому контуру з припуском під остаточне шліфування
15. Заточна: Заточити передні поверхні зубів
16. Заточна: Заточити задні поверхні зубів
17. Шліфувальна: Шліфувати зуби розвертки по зовнішньому діаметру остаточно
18. Хіміко-термічна, ціанування.

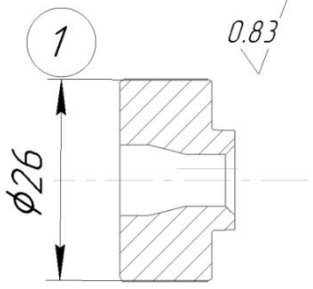
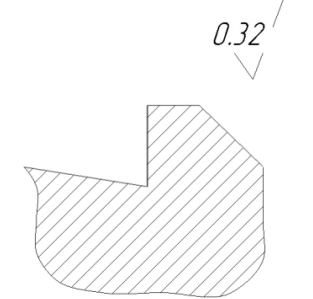
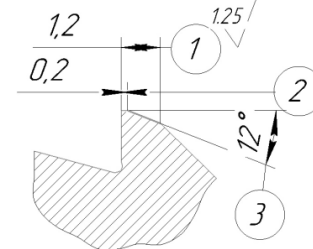
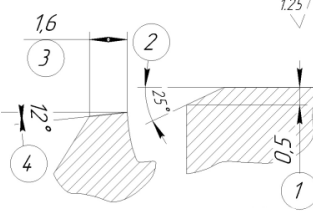
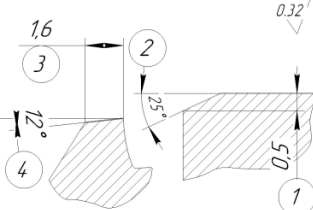
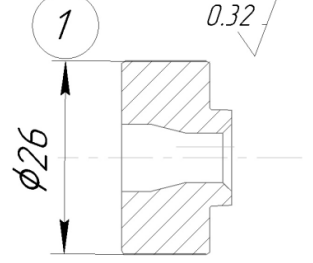
Оптимізована маршрутна технологія виготовлення розвертки зображена в таблиці 3.3 [16, с.309]:

Таблиця 3.3 – Маршрутна технологія виготовлення розвертки

№ операції	Назва операції	Ескіз операції	Обладнання та інструмент	Режими обробки	
				V	S
005	Відрізна. Відрізати заготовку дотримуючись розмірів.		Токарно-відрізний напівавтомат моделі МК-244. Різець відрізний b=4мм	20 м/хв	0.2 мм/об
010	Шліфувальна. Зняти залишок після відрізання з однієї сторони		Точильно-шліфувальний верстат. Шліфувальний круг ПП80х20х20х2А ГОСТ 2424-67	20 м/с	Ручна
015	Токарна. Обродити отвір та перший торець		Токарний верстат НААС DS-30Y Різець підрізний Т15К6	35 м/хв	S <sub>поп</sub> =1,2 мм/об
	Перехід I: Центрувати Підрізати торець				
	Перехід II: Проточити по зовнішньому діаметру попередньо		Різець прохідний Т15К6	35 м/хв	S <sub>поп</sub> =1.2мм/об
	Перехід III: Проточити по зовнішньому діаметру		Різець прохідний Т15К6	57 м/хв	S <sub>поп</sub> =0.1мм/об
	Перехід IV: Свердлити наскрізь		Свердло спіральне	20 м/хв	S <sub>пр</sub> =0.43мм/об
Перехід V: Розвернути отвір		Розвертка чистова	8 м/хв	S <sub>пр</sub> =0.1мм/об	

020	<p>Токарна. Обробити другий торець Перехід I: Підрізати торець попередньо</p> <p>Перехід III: Підрізати торець остаточно проточити фаску</p>		<p>Токарний верстат HAAS DS-30Y</p> <p>Різець підрізний T15K6</p> <p>Різець прохідний T15K6</p>	<p>35 м/хв</p> <p>57 м/хв</p>	<p><math>S_{пр}=1.2\text{мм/об}</math></p> <p><math>S_{пр}=0.1\text{мм/об}</math></p>
025	<p>Токарна. Остаточно одточити по зовнішньому діаметру, підрізати торець робочої частини, дотримуючись розмірів 1 та 2</p>		<p>Токарний верстат HAAS DS-30Y</p> <p>Різець прохідний прямий T15K6</p>	<p>57 м/хв</p>	<p><math>S_{пр}=0.1\text{мм/об}</math></p> <p><math>S_{пр}=0.1\text{мм/об}</math></p>
030	<p>Токарна. Підрізати торець хвостової частини та підправити фаску</p>		<p>Токарний верстат HAAS DS-30Y</p> <p>Різець прохідний прямий T15K6</p>	<p>120 м/хв</p>	<p><math>S=0.1\text{мм/об}</math></p>
035	<p>Електроерозійна обробка</p>	<p>---</p>	<p>Станок Agie Integral 2</p>		
040	<p>Фрезерна. Фрезерувати стружкові канавки</p>		<p>Фрезерний напівавтомат моделі СИ-017 Дискова фреза D=50 мм</p>	<p>40 м/хв</p>	<p><math>S=0.032\text{ мм/зуб}</math></p>

045	Фрезерна. Фрезерувати пази під ключ		Фрезерний верстат HAAS VR-9 Фреза кінцева Kannametel 2mm 2BN0200DD007A	182 м/хв	$S=0.014$ мм/од
050	Фрезерна. Фрезерувати похилу площину		Фрезерний верстат HAAS VR-9 Фреза фасочна Drillpro 2mm 120°	246 м/хв	$S=0.014$ мм/од
055	Слюсарна обробка. Зачистити задирки після фрезерування	---	Слюсарний верстат Напилек №1-2 В=125		
060	Маркувати. Клеймити	---	Прес П472А. Клейма твердосплавні ВК-20		
065	Термічна. Загартувати Відпустити	---	Напівавтоматичний агрегат для комплексної термообробки		$T, ^\circ\text{C}$  1260-1280 560
070	Шліфувальна. Шліфувати отвір та пази під байонет		Внутрішньо- шліфувальний напівавтомат моделі ЗА-225 Шліфувальний круг ПП5х2х2-6С-5—СТ1-5- К-35 м/с-А, ГОСТ 2424-67	$v_{кр} = 18\text{м/с}$ $v_{изд} = 25\text{м/х}$ в	$S_{пр} = 4$ м/хв $S_{поп} =$ 0,01 мм/подв.х ід
075	Шліфувальна. Шліфувати по зовнішньому діаметру, попередньо		Кругло-шліфувальний верстат моделі ЗУ132М Шліфувальний круг ПП80х20х20-2А. 25/40-СМ1/СМ2-2-5К- 35 м/с-А, ГОСТ 2424-67	$v_{кр} = 35\text{м/с}$ $v_{изд} = 25\text{м/х}$ в	$S_{пр} = 1\text{м/хв}$

080	Шліфувальна. Шліфувати по зовнішньому діаметру, з припуском під остаточне шліфування,		Кругло-шліфувальний верстат моделі ЗУ132М Шліфувальний круг ПП80х20х20-6С-5—СТ1-5-К-35 м/с-А, ГОСТ 2424-67	$v_{кр} = 35 м/с$ $v_{изд} = 20 м/хв$	$S_{пр} = 4 м/хв$
085	Заточна. Заточити передні поверхні зубів		Заточний верстат моделі ЗА64Д Шліфувальний круг Л08-ЛО10 МО4 100%	$v_{кр} = 40 м/с$	$S_{пр} = 10 м/хв$
090	Заточна. Заточити задні поверхні зубів на калібруючій частині під кутом 12° дотримуючись розмірів 1-3		Заточний верстат моделі ЗА64Д Шліфувальний круг	$v_{кр} = 25 м/с$	$S_{пр} = 4 м/хв$ $S_{п} = 0,04 м/дв.х од$
095	Заточна. Заточити задні поверхні зубів на забірному конусі попередньо під кутом 12° дотримуючись розмірів 1-4		Заточний станок моделі ЗА64Д. Шліфувальний круг ЧК 150х50х32-2А-16/25 СМ1/СМ2-5-К-25-м/с-А ГОСТ 2424-67	25 м/с	$S_{пр} = 4 м/хв$
100	Заточна. Заточити задні поверхні зубів на забірному конусі остаточно під кутом 12° дотримуючись розмірів 1-4		Заточний станок моделі ЗА64Д. Шліфувальний круг 2724-0028 АСР 100/63 75Б1 ГОСТ 16172-70	4 м/с	$S_{пр} = 1 м/хв$
105	Шліфувальна. Шліфувати зуби розвертки по зовнішньому діаметру остаточно, дотримуючись розміру 1		Круглошліфувальний станок моделі ЗБ153 Шліфувальний круг 2720-0150 А63/50 100К ГОСТ 16167-70	35 м/с	$S_{пр} = 1 м/хв$ Глибина різання $t=0.03$ мм
110	Хіміко-термічна, ціанування	---	Напівавтоматичний верстат		

### 3.3 Розрахунок припусків на обробку

Розраховуємо припуски на обробку насадної машинної розвертки  $\varnothing 26_{+0,013}^{+0,017}$  мм.

Довжина обробки 16 мм.

Технологічний маршрут обробки:

- чорнове точіння (обробка токарним різцем)
- чистове точіння (обробка токарним різцем)
- термообробка
- шліфування

Відхилення поверхні при консольному закріпленні враховуємо за формулою [17, с. 177]:

$$\Delta_{\Sigma k} = \Delta_k \cdot l$$

Звідки

$$\Delta_k =$$

1,3 мкм – похибка короблення заготовки на 1 мм довжини, табл. 4

$l$  – довжина оброблювальної поверхні

$$\Delta_{\Sigma k} = 1,3 \cdot 16 = 0,0208 \text{ мм}$$

Залишкові просторові відхилення:

$$\Delta_{\Sigma k} = k_y \cdot \Delta_{\Sigma k}$$

Звідки  $k_y$  – коефіцієнт зменшення похибки, таблиця 29. [1, с. 190]:

а) Після чорнового обточування:  $\Delta_{\Sigma 0} = 0,06 \cdot 208 = 12,48$  мкм

б) Після чистового обточування:  $\Delta_{\Sigma 1} = 0,04 \cdot 208 = 8,32$  мкм

в) Після чорнового шліфування:  $\Delta_{\Sigma 2} = 0,03 \cdot 208 = 6,24$  мкм

г) Після чистового шліфування:  $\Delta_{\Sigma 3} = 0,02 \cdot 208 = 4,16$  мкм

Розрахунок мінімальних значень припусків знаходимо за формулою [16, с. 175]:

$$2z_{\min i} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma k-1} + \varepsilon_i^2}),$$

Де  $Rz$  – висота нерівностей профілю, мкм

$h$  – глибина дефектного шару, мкм

$\rho$  – значення просторових відхилень, мкм

$\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки на виконуваному переході

Похибка установки  $\varepsilon$  розраховується за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}$$

Звідки  $\varepsilon_{6T}$  – похибка базування для обточування,  $\varepsilon_{6T} = 0$  мкм;

$\varepsilon_{6Ш}$  – похибка базування для шліфування,  $\varepsilon_{6Ш} = 0$  мкм;

$\varepsilon_{3T}$  – похибка закріплення для обточування,  $\varepsilon_{3T} = 100$  мкм;

$\varepsilon_{3Ш}$  – похибка закріплення для шліфування,  $\varepsilon_{3Ш} = 40$  мкм;

$$\varepsilon_y^{\text{точіння}} = \sqrt{0^2 + 100^2} = 100 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_y^{\text{шліфування}} = \sqrt{0^2 + 40^2} = 40 \text{ мкм}$$

а) Під чорнове точіння:  $2z_{\min 1} = 2(100 + 75 + \sqrt{20,8^2 + 100^2}) =$   
 $= 2 \cdot 277,1 \text{ мкм}$

б) Під чистове точіння:  $2z_{\min 2} = 2(63 + 60 + \sqrt{12,48^2 + 100^2}) =$   
 $= 2 \cdot 223,8 \text{ мкм}$

в) Під відпуск та гартування:  $2z_{\min 3} = 2(32 + 30 + \sqrt{8,32^2 + 0^2}) =$   
 $= 2 \cdot 70,3 \text{ мкм}$

г) Під попереднє шліфування:  $2z_{\min 4} = 2(10 + 20 + \sqrt{6,24^2 + 40^2}) =$   
 $2 \cdot 70,5 \text{ мкм}$

д) Під остаточне шліфування:  $2z_{\min 5} = 2(0 + 0 + \sqrt{4,16^2 + 40^2} = 2 \cdot 40,2 \text{ мкм}$

Мінімальний припуск :  $\sum_{i=1}^5 2z_{\min 5} = 2 \cdot 681.6 = 1,363 \text{ мм}$

З ГОСТ 2590-2006 [19] обираємо круглий прокат  $\varnothing 28 \text{ мм}$

### 3.4 Розрахунок режимів різання

Розраховуючи режими різання, враховують характер обробки, тип та розміри інструменту, матеріал його різальної частини, матеріал та стан заготовки, тип та стан обладнання [18, с.261].

Поправочний коефіцієнт  $K_{mv}$  враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання. Для сталі [18]:

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$$

$$K_{mv} = 0,6 \left( \frac{750}{2050} \right)^1 = 0,219$$

$K_{\Gamma} = 0,6$  – коефіцієнт, що характеризує матеріал по оброблюваності [18]

$\sigma_B = 2050 \text{ МПа}$  – границя міцності для сталі Р6М5 [18]

Згідно таблиці 3.4, обираємо значення степені  $n_v$  у відповідності до матеріалу інструмента та виду обробки.

Таблиця 3.4 – Значення степені  $n_v$  для різних операцій [18]

Показник	Назва інструменту					
	Різець		Свердло		Фреза	
	Із швидко-різальної сталі	Із твердого сплаву	Із швидко-різальної сталі	Із твердого сплаву	Із швидко-різальної сталі	Із твердого сплаву
$n_v$	1,25	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0

### Точіння.

Щоб отримати шорсткість поверхні  $Ra = 3,2$  обираємо глибину різання у діапазоні  $t = 0,5 \dots 2,0$  мм, для  $Ra = 0,8$   $t = 0,1 \dots 0,4$  мм. Для обробки зовнішнього контуру обираємо  $t = 1$  мм.

Рекомендована подача при чорновій обробці зовнішніх поверхонь операцією точіння:  $s = 1,2$  мм/об. Для чистової обробки  $s = 0,1$  мм/об.

Швидкість різання [18]:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_v$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}$$

$T = 60$  хв, – середнє значення стійкості

$$C_v = 420,$$

$$x = 0,15$$

$$y = 0,2$$

$$m = 0,2$$

$K_{pv} = 0,9$ , –коефіцієнт, який відображає стан поверхні заготовки

$K_{iv} = 1$ , –коефіцієнт якості матеріалу інструменту, Т15К6 [18]

Для чорнового точіння зовнішньої поверхні [18]:

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 10^{0,15} \cdot 1,2^{0,2}} 0,219 \cdot 0,9 \cdot 1 = 35,119 \text{ м/хв}$$

Для чистового точіння зовнішньої поверхні [18]:

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 10^{0,15} \cdot 0,1^{0,2}} 0,219 \cdot 0,9 \cdot 1 = 57,885 \text{ м/хв}$$

### Сила різання.

Сила різання складається з сил, які направлені по осям координат верстата:

- тангенціальна  $P_z$ ;
- радіальна  $P_y$ ;
- осьова  $P_x$ .

$$P_{z,y,x} = 10C_p t^x S^y v^n K_p$$

$K_p$ , –поправочний коефіцієнт

$$K_p = K_{mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp}$$

$K_{mp}$  -поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу.

В залежності від характеристик різального інструменту, розрізняються значення коефіцієнтів, табл. 3.5.

Для сталі, поправочний коефіцієнт розраховують за формулою [18]:

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

Показник степені  $n$  наведено в таблиці 3.6:

Таблиця 3.6 – Значення показника степені n [18]

Значення n при визначенні		
Складової сили $P_z$ сили різання при обробці різцем	Крутний момент $M_{кр}$ і осьовий момент $P_0$ при свердлінні	Круговій силі різання $P_z$ при фрезеруванні
0,75	0,75	0,3

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{2050}{750} \right)^{0,75} = 2,123$$

Значення коефіцієнтів для розрахунку  $K_p$  в таблиці 3.5:

Таблиця 3.5 – значення поправочних коефіцієнтів в залежності від геометричних параметрів різальної частини [18].

Параметри		Поправочні коефіцієнти		
		Тангенціальна $P_z$	Радіальна $P_y$	Осьова $P_x$
Головний кут в плані $\varphi$ , град	30	1,08	1,3	0,78
	45	1	1	1
	60	0,94	0,77	1,11
	90	0,89	0,5	1,17
Передній кут $\gamma$ , град	-15	1,25	2	2
	0	1,1	1,4	1,4
	10	1	1	1
Кут нахилу леза $\lambda$ , град	-5	1	0,75	1,07
	0		1	1
	5		1,25	0,85
	15		1,7	0,65
Радіус при вершині $r$ , град	0,5	0,87	0,66	1
	1	0,93	0,82	
	2	1	1	
	3	1,04	1,14	
	4	1,10	1,33	

$$K_p = 2,123 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,123 [18]$$

Величина коефіцієнта  $C_p$  та показників степені  $x, y, n$ , для визначення сили різання показана в таблиці 3.7

Таблиця 3.7 – Величина коефіцієнта  $C_p$  та показників степені  $x, y, n$ , для складових сил різання [18]

Тангенціальна $P_z$				Радіальна $P_y$				Осьова $P_x$			
$C_p$	$x$	$y$	$n$	$C_p$	$x$	$y$	$n$	$C_p$	$x$	$y$	$n$
300	1	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1	0,5	-0,4

Для зовнішнього діаметру:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 35,119^{-0,15} \cdot 2,123 = 660,943 \text{ Н}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,1^{0,6} \cdot 35,119^{-0,3} \cdot 2,123 = 445,357 \text{ Н}$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1^1 \cdot 0,1^{0,5} \cdot 35,119^{-0,4} \cdot 2,123 = 547,984 \text{ Н}$$

$$P_{z,y,x} = \sqrt{660,943^2 + 445,357^2 + 547,984^2} = 967,199 \text{ Н}$$

**Потужність різання.**

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}$$

Для зовнішніх поверхонь:

$$N = \frac{660,943 \cdot 37,885}{1020 \cdot 60} = 0,409 \text{ кВт}$$

**Свердління.**

**Глибина різання.**

Глибина різання при свердлінні визначається за формулою:

$$t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 7,2 = 3,6 \text{ мм}$$

По міцності свердла, максимально допустима

подача при свердлінні [16]

$$s = 0,43 \dots 0,48 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y}$$

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} = \frac{9,8 \cdot 7,2^{0,4}}{20^{0,2} \cdot 0,43^{0,5}} = 20.477 \text{ м/хв}$$

Де  $T = 20$  хв, –період стійкості інструменту.

Марка різальної частини ВК8. Показники степені:

$$C_v = 9,8$$

$$q = 0,4$$

$$y = 0,5$$

$$m = 0,2 [18]$$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, який враховує фактичні умови різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv} = 1,16 \cdot 1 \cdot 1 = 1,16$$

#### Крутний та осьовий моменти

$$M_{кр} = 10C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p =$$

$$= 10 \cdot 0,041 \cdot 7,3^2 \cdot 0,43^{0,7} \cdot 2,123 = 25,68 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$P_0 = 10C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p =$$

$$= 10 \cdot 143 \cdot 7,3^1 \cdot 0,43^{0,7} \cdot 2,123 = 12273 \text{ Н}$$

Величина показників степені та коефіцієнтів  $C_m$  та  $C_p$  для визначення крутного та осьового моментів показані в таблиці 3.8

Таблиця 3.8 значення показників степені та коефіцієнтів  $C_m$  та  $C_p$  [18]

Крутний момент			Осьовий момент		
$C_m$	q	y	$C_p$	q	y
0,041	2,0	0,7	143	1,0	0,7

$$K_p = K_{mp} = 2,123$$

Потужність різання [18]:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{25,68 \cdot 469,611}{9750} = 1,256 \text{ кВт}$$

$$\text{Звідки } n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 20,477}{\pi \cdot 7,3} = 469,611 \text{ об/хв}$$

### **Фрезерування.**

#### **Глибина та ширина фрезерування.**

Стружкова канавка

$$t = 2,2 \text{ мм}$$

$$B = 7,85 \text{ мм}$$

Паз під МОР

$$t = 2,5 \text{ мм}$$

$$B = 2 \text{ мм}$$

Похила площина

$$t = 0,5 \text{ мм}$$

$$B = 0,8 \text{ мм}$$

### **Подача.**

При фрезеруванні розрізняють подачу на зуб  $S_z$ , подачу на один оберт фрези  $S$  та хвилинну подачу  $S_m$

Існує співвідношення:  $S_m = Sn = S_z zn$  [18],

Звідки  $n$  – частота обертання фрези, об/хв;

$z$  – число зубів фрези

Рекомендована подача при чорновому фрезеруванні кінцевими фрезами Kennametal [20]  $S_z = 0,014$

При фрезеруванні дисковою фрезою  $S_z = 0,09$

### **Швидкість різання.**

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y B^u z^p} K_v, [18]$$

Де  $T = 40$  хв

Величина коефіцієнта  $C_v$  та показників степені  $q, x, y, u, p, m$  для визначення швидкості різання показана в таблиці 3.8:

Таблиця 3.8 – Величина коефіцієнта  $C_v$  та показників степені q,x,y,u,p,m [18]

$C_v$	q	x	y	u	p	m
234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37

Поправочний коефіцієнт

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{пv} = 1,16 \cdot 1 \cdot 0,9 = 1,044$$

Для стружкової канавки:

$$v = \frac{234 \cdot 7,85^{0,44}}{40^{0,37} \cdot 2,2^{0,24} \cdot 0,09^{0,26} \cdot 2^{0,1} \cdot 2^{0,13}} 1,044 = 308,238 \text{ м/хв}$$

Для пазів під МОР:

$$v = \frac{234 \cdot 2^{0,44}}{40^{0,37} \cdot 2,5^{0,24} \cdot 0,014^{0,26} \cdot 2^{0,1} \cdot 2^{0,13}} 1,044 = 182,91 \text{ м/хв}$$

Для похилої площини:

$$v = \frac{234 \cdot 2^{0,44}}{40^{0,37} \cdot 0,5^{0,24} \cdot 0,014^{0,26} \cdot 2^{0,1} \cdot 3^{0,13}} 1,044 = 246,18 \text{ м/хв}$$

**Сила різання.**

$$P_z = \frac{10C_p S_z^y t^x B^u z}{D^q n^w} K_{mp}, [18]$$

Звідки z – число зубів фрези

n – частота обертання фрези, об/хв

Значення коефіцієнтів та показників степені для визначення сили різання наведено в таблиці 3.9

Таблиця 3.9 – Значення коефіцієнта  $C_p$  та показників степені [18]

$C_p$	q	x	y	u	w
82	0,75	0,6	1,0	0,86	0

Для стружкової канавки:

$$P_z = \frac{10C_p S_z^y t^x B^u_z}{D^q n^w} K_{\text{мр}} = \frac{10 \cdot 82 \cdot 0,09 \cdot 2,2^{0,6} \cdot 2^{0,86} \cdot 2}{7,85^{0,75} \cdot 1} 2,123 = 30,263 \text{ Н}$$

Для пазів під МОР:

$$P_z = \frac{10C_p S_z^y t^x B^u_z}{D^q n^w} K_{\text{мр}} = \frac{10 \cdot 82 \cdot 0,014 \cdot 2,5^{0,6} \cdot 2^{0,86} \cdot 2}{2^{0,75} \cdot 1} 2,123 = 256,5 \text{ Н}$$

Для похилої площини:

$$P_z = \frac{10C_p S_z^y t^x B^u_z}{D^q n^w} K_{\text{мр}} = \frac{10 \cdot 82 \cdot 0,014 \cdot 0,5^{0,6} \cdot 2^{0,86} \cdot 2}{2^{0,75} \cdot 1} 2,123 = 90 \text{ Н}$$

### Крутний момент

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}$$

Звідки D, - діаметр фрези, мм.

Для стружкової канавки:

$$M_{\text{кр}} = \frac{30,263 \cdot 2}{2 \cdot 100} = 0,302 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для пазів під МОР:

$$M_{\text{кр}} = \frac{256,5 \cdot 2}{2 \cdot 100} = 5,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для похилої площини:

$$M_{\text{кр}} = \frac{90 \cdot 2}{2 \cdot 100} = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}$$

Для стружкової канавки:

$$N_e = \frac{30,263 \cdot 308,238}{1020 \cdot 60} = 0,15 \text{ кВт}$$

Для пазів під МОР:

$$N_e = \frac{256,5 \cdot 182,91}{1020 \cdot 60} = 0,77 \text{ кВт}$$

Для похилої площини:

$$N_e = \frac{90 \cdot 246,18}{1020 \cdot 60} = 0,36 \text{ кВт}$$

### Шліфування.

#### Ефективна потужність.

Ефективна потужність при шліфуванні периферією круга з повздовжньою подачею визначається за формулою [18]:

$$N = C_N v_3^r t^x S^y d^q$$

Звідки  $d$  – діаметр шліфування, мм.

Показники степені та коефіцієнт  $C_N$  для розрахунку потужності знаходяться в таблиці 3.10.

Параметри різання для шліфувальної операції знаходяться в таблиці 3.11

Таблиця 3.10 – Коефіцієнт  $C_N$  та показники степені [18]

Шліфувальний круг		Коефіцієнт та показники степені				
Зернистість	Твердість	$C_N$	$r$	$x$	$y$	$q$
50	C1	1,3	0,75	0,85	0,7	0,3

Таблиця 3.11 – Параметри різання [18]

Швидкість круга $v_k, \text{ м/с}$	Швидкість заготовки $v_3, \text{ м/с}$	Глибина шліфування $t, \text{ мм}$	Повздовжня подача $S$
30-35	15-20	0,005-0,015	(0,2-0,3) В

$$N = C_N v_3^r t^x S^y d^q = 1,3 \cdot 20^{0,75} 0,01^{0,85} 0,2^{0,7} 26^{0,3} = 0,210 \text{ кВт}$$

## 4. РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ

### 4.1 Аналіз вихідних даних

**Об'єкт проектування** – цільна насадна розвертка

**Матеріал:** швидкорізальна сталь Р6М5

**Габаритні розміри:**

Діаметр розвертки: 26 мм

Довжина різальної частини: 12.6 мм

Загальна довжина розвертки: 16 мм

**Вимоги до точності:**

- граничні відхилення розмірів розвертки не повинні бути більше:

а) діаметру робочої частини розвертки – Н7

б) загальної довжини, довжини робочої частини, довжини хвостовика – h16

в) діаметру посадкового отвору – Н6

**Вимоги до шорсткості:**

- передні та задні поверхні головних різальних кромок – Rz 1.6

- стрічки на калібруючій частині – Rz 1.6

- поверхні посадкового отвору – Ra 0.8

- Торцевої поверхні різальної частини – Rz 3.2

**Агресивні середовища:**

- Високі температури, та перепади температур загалом

- Підвищена вологість

- Механічні навантаження

- Вплив хімічних речовин

**Режими різання:**

- подача на зуб: 0.05-0.27 мм/зуб

- подача на оберт: 0,4-2,16 мм/об
- швидкість різання: 100-300 м/хв

Діаметр отвору до обробки:  $D_p = D_r - \Delta$

$$\Delta = 0.2 - 0.5 \text{ мм}$$

Глибина різання:  $t = 0.5 \cdot (D_r - D_p)$

$$D_p = 26 - 0.2 = 25.8$$

$$t = 0.5 \cdot (26 - 25.8) = 0.1$$

#### 4.2 Розрахунок температури різання:

Формула температури в зоні різання [22]:

$$T = T_0 + T_\varepsilon + T_{п.п} + T_{з.п.} + T_{зор} + T_c$$

де  $T_0$  – температура навколишнього середовища

$T_\varepsilon$  – температура у площині здвигу

$T_{п.п}$  – температура на передній поверхні

$T_{з.п.}$  – температура на задній поверхні

$T_{зор}$  – температура змащувально – охолоджувальної рідини

Матеріал інструменту – швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73

Матеріал деталі - Алюміній

Температура навколишнього середовища:

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

Температура у площині зсуву [22]:

$$T_{\varepsilon} = \varepsilon \cdot \frac{(0,8 \cdot S_B)}{C_v}$$

$$S_B = 0,95(1 + \delta) = 1,266$$

—дійсна границя міцності оброблюваного матеріалу при розтягу

При температурі відпуску 550° для швидкорізальної сталі Р6М5, відносне подовження  $\delta = 0,28$

$\varepsilon$  — відносний зсув [22]

$$\varepsilon = \frac{[(1 + \frac{1}{K}) - 2 \cdot \sin(\gamma)]}{\cos(\gamma)} = \frac{[(1 + \frac{1}{0,213}) - 2 \cdot \sin(0^\circ)]}{\cos(0^\circ)} = 5,705$$

$\gamma = 0^\circ$  — передній кут розвертки

$\alpha = 12^\circ$  — задній кут розвертки

$$\beta = 90^\circ - \gamma - \alpha = 90^\circ - 0^\circ - 12^\circ =$$

$$= 78^\circ \text{ — кут ріжучого клину розвертки}$$

$K$  — коефіцієнт усадки стружки [22]

$$K = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin(\beta)} = \frac{\cos(78^\circ - 0^\circ)}{\sin(78^\circ)} = 0,213$$

Теплопровідність швидкорізальної сталі Р6М5 при 20°:  $C_v = 510 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$

Переводимо дану величину в  $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}$  :

$$\rho = 8200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$C_v = \frac{510}{\rho} = \frac{510}{8200} = 0,062 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}$$

Температура в площині зсуву [22]:

$$\begin{aligned} T_\varepsilon &= \varepsilon \cdot \frac{(0,8 \cdot S_B)}{C_v} = \varepsilon \cdot \frac{(0,8 \cdot 0,95(1 + \delta))}{C_v} = \\ &= \frac{(0,8 \cdot 0,95(1 + 0,28))}{0,062} = 89,227^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Температура на передній поверхні [22]:

$$T_{\text{п.п.}} = 0,45 \cdot \left(\frac{c}{c+h}\right) \cdot \left(\frac{S_B}{C_v}\right) \cdot \sqrt{v \cdot \frac{B}{\omega}}$$

Звідки  $B = 26$  - товщина зрізаного шару

$c = 1,5 \cdot B = 39$  - довжина контакту стружки по передній поверхні різця

$h = 0,1$  - знос інструменту по задній поверхні

$$v = 1,6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - \text{швидкість різання}$$

Коефіцієнт теплопровідності:

$$\omega = \frac{\mu}{C_{v1}}$$

При температурі  $20^\circ$ :

$$\varepsilon = 25 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$C_{v1} = 510 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\omega = \frac{\epsilon}{C_{V1}} = \frac{25}{510} = 0,049 \frac{\text{M}^2}{\text{c}}$$

Температура на передній поверхні [22]:

$$\begin{aligned} T_{\text{п.п.}} &= 0,45 \cdot \left(\frac{c}{c+h}\right) \cdot \left(\frac{S_B}{C_V}\right) \cdot \sqrt{v \cdot \frac{B}{\omega}} = \\ &= 0,45 \cdot \left(\frac{39}{39+0,1}\right) \cdot \left(\frac{1,266}{0,062}\right) \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{26}{0,049}} = 255,646 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Температура на задній поверхні [22]:

$$\begin{aligned} T_{\text{з.п.}} &= 0,45 \cdot \left(\frac{c}{c+h}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_B}{C_V}\right) \cdot \sqrt{v \cdot \frac{B}{\omega}} = \\ &= 0,45 \cdot \left(\frac{39}{39+0,1}\right) \cdot \left(\frac{2,050}{0,062}\right) \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{26}{0,049}} = 68,534 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$\sigma_B = 2050 \text{ МПа}$  – границя міцності для сталі Р6М5

Температура від ЗОР:

При розрахунках температури в зоні різання температуру від змащувально – охолоджувальної рідини не враховуємо.

$$T_{\text{зор}} = 0^\circ\text{C}$$

Температура стружки [22]:

$$T_C = \alpha_0 \left[ \frac{[(1 - \beta_0) - (\cos(\gamma) + \mu_0 \cdot \cos(\gamma))]}{E \cdot C_{V1} \cdot \rho \cdot \epsilon} \right] \cdot \frac{P_Z}{a \cdot B}$$

Головна сила різання [17]:

$$P_Z = \left[ \frac{(10 \cdot C_p \cdot t^{xp} \cdot s_z^{yp} \cdot B^{up} \cdot z)}{D^{qp} \cdot n^{wp}} \right] \cdot K_{Mp}$$

Табличні коефіцієнти пропорційності та показники степенів:

(Інструментальний матеріал: Р6М5

Оброблювальний матеріал: Алюміній

Вид обробки: Розвертування)

$$C_p = 67$$

$$xp = 1.2$$

$$yp = 0.65$$

$$up = 1.1$$

$$qp = 1.3$$

$$wp = 0.2[22]$$

$K_{Mp}$  – коефіцієнт, що враховує вплив якості

оброблюваного матеріалу на силу різання  $P_Z$  [22]:

$$K_{Mp} = \left( \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_B} \right)^{0,3}$$

$$\sigma_B = 2,05 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{B1} = 1176 \text{ МПа}$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_{B1}}{\sigma_B}\right)^{0,3} = K_{Mp} = \left(\frac{1176}{2050}\right)^{0,3} = 0,846$$

Діаметр розвертки:  $D = 26$  мм

Ширина різання:  $B = 26$  мм

Подача на зуб:  $s_z = 0.05$  мм/зуб

Кількість зубів:  $z = 8$

Глибина різання:  $t = 0.1$  мм

Частота обертання розвертки [22]:

$$n = 1000 \cdot \frac{V}{\pi \cdot D} = 19.588 \text{ об/хв}$$

$$P_z = \left[ \frac{(10 \cdot C_p \cdot t^{xp} \cdot s_z^{yp} \cdot B^{up} \cdot z)}{D^{qp} \cdot n^{wp}} \right] \cdot K_{Mp} =$$

$$= \left[ \frac{(10 \cdot 67 \cdot 0,1^{1,2} \cdot 0,05^{0,65} \cdot 26^{1,1} \cdot 8)}{26^{1,3} \cdot 19,588^{0,2}} \right] \cdot 0,846 = 11,741$$

$\alpha_0 = 0,95$  – втрата теплоти на скриту енергію деформації

$\beta_0 = 0,024$  – перехід частини тепла в деталь

$\mu_0 = 0,39$  – тертя стружки

$E = 2.2 \cdot 10^{-5}$  – модуль пружності при температурі 20°C

$a = 0,1$  – товщина зрізу

$\rho_1 = 8,3 \frac{\text{г}}{\text{мм}^3}$  – густина сталі Р6М5 [22]

$$T_c = \alpha_0 \left[ \frac{[(1 - \beta_0) - (\cos(\gamma) + \mu_0 \cdot \cos(\gamma))]}{E \cdot C_{V1} \cdot \rho_1 \cdot \varepsilon} \right] \cdot \frac{P_Z}{a \cdot B} =$$

$$= \alpha_0 \left[ \frac{[(1 - 0,024) - (\cos(0^\circ) + 0,39 \cdot \cos(0^\circ))]}{2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 510 \cdot 8,3 \cdot 5,705} \right] \cdot \frac{11,741}{0,1 \cdot 26} = 126,99 = 127^\circ\text{C}$$

Отже, сумарна температура в зоні різання [22]:

$$T = T_0 + T_\varepsilon + T_{п.п} + T_{з.п.} + T_{зор} + T_c =$$

$$= 20 + 89,227 + 255,646 + 68,534 + 0 + 127 = 560,406 \text{ }^\circ\text{C}$$

### 4.3 Вибір пристосування

В якості пристосування будемо розглядати гвинтовий елемент (байонетний гвинт).

3D-модель гвинтового елемента, розроблена в програмі Autodesk Inventor зображена на рис. 4.1:

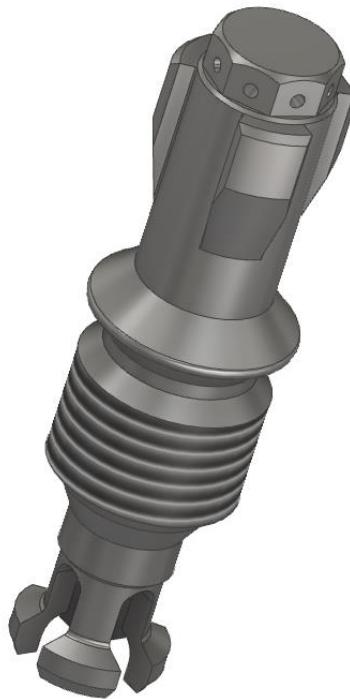


Рисунок 4.1 – Гвинтовий елемент, розроблений в програмі Autodesk Inventor

Даний елемент було запатентовано компанією ISCAR [13]

Гвинтовий елемент має зі сторони переднього кінця затискні виступи, які розташовані вздовж осі, та які виходять радіально назовні. Кожен затискний виступ має похилу затискну поверхню та бічну опорну поверхню. За затискними виступами розташована різьба.

Зовнішня різьба гвинтового елемента взаємодіє з внутрішньою гвинтовою ділянкою оправки інструмента. Конічна ділянка різальної частини розташована всередині конічної ділянки оправки, затискні та запираючі виступи розташовані попарно із взаємодією в кожній парі запираючих та затискних поверхонь та з взаємодією кожної упорної поверхні з відвальною бічною опорною поверхнею.

Оправка інструмента має канал, з'єднаний з отвором гвинтового елемента, яке в свою чергу з'єднане з радіально-направленими отворами для подачі МОР. При цьому, отвори для охолоджуючої рідини співпадають з канавками на різальній частині, які розташовані поблизу різальних кромки.

Також, байонетний гвинт має пружні елементи, які розташовані за зовнішньою різьбою.

Спосіб складання включає в себе наступні етапи:

- Розміщення гвинтового елемента в установчому отворі оправки до початку взаємодії зовнішньої різьби з внутрішньою різьбою;
- Установлення різальної частини на гвинтовий елемент при розташуванні запираючих виступів між затискними виступами;
- Поворот різальної частини до розташування попарно один напроти одного запираючих та затискних виступів та взаємодії упорних поверхонь з бічними опорними поверхнями;
- Остаточний поворот байонетного гвинта до взаємодії запираючих та затискних поверхонь кожної пари запираючих та затискних виступів та повного вгвинчування байонетного гвинта в ділянку внутрішньої різьби для закріплення внаслідок цього різальної частини на оправці інструмента [13].

Для виготовлення корпусу гвинтового елемента обираємо сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Хімічний склад та механічні властивості наведені в таблиці 4.1 та таблиці 4.2

Таблиця 4.1 –Хімічний склад у % сталі 40Х ГОСТ 4543-71

Марка сталі	Масова частка елемента, %							
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
40X	0,36-0,44	1,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	0,035	0,035	0,8-1,1	до 0,3

Таблиця 4.1 –Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543-71

Параметри	Значення
Границя міцності при розтязі	980 МПа
Відносне подовження	45 %
Відносне звуження	10 %
Твердість по Бріннелю	156-197 НВ

#### 4.4 Силовий розрахунок

Схема сил затиску зображена на рисунку 4.2:

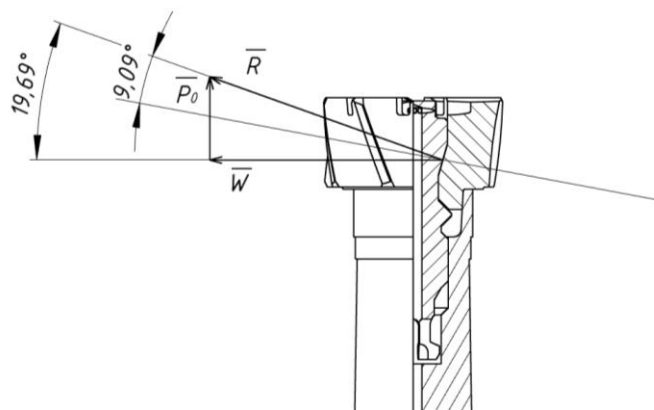


Рисунок 4.2 – Сили затиску

В пристосуванні використовується різьба М10×1

з ГОСТ 24705-81 [23]:

$d_2 = 9,350$  – середній діаметр різьби

$P = 1,0$  – крок різьби

$\alpha_1 = 60^\circ$  – кут профілю різьби

$\psi$  – кут підйому гвинтової лінії

$$\psi = \arctg\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{1}{\pi \cdot 9,350}\right) = 0,034 \text{ рад.} = 1,949^\circ$$

$f = 0.16$  – коефіцієнт тертя матеріалу, сталь по сталі

Кут тертя:

$$\varphi = \arctg(f) = 9.090^\circ$$

Приведений кут тертя різьби:

$$\rho' = \frac{\varphi}{\cos\left(\frac{\alpha_1}{2}\right)} = \frac{9.090}{\cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right)} = 10.496^\circ$$

Приведений коефіцієнт тертя в упорі гвинтової пари:

$$f_{\text{пр}} = \frac{f}{\cos\left(\frac{\alpha_1}{2}\right)} = \frac{0.16}{\cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right)} = 0.1847$$

$M_{\text{зат}} = 11,27 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – допустимий момент затяжки різьби

$D = 9.8 \text{ мм}$  – діаметр конусу байонета

Осьова сила затяжки [24, с.79]:

$$P_0 = \frac{M_{\text{зат}}}{\frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\psi + \rho') + f_{\text{пр}} \cdot D} =$$

$$\frac{11,27}{\frac{9,350}{2} \cdot \text{tg}(1,949 + 10,496) + 0,1847 \cdot 9,8}$$

$$= 3,971 \text{ Н}$$

Сила, направлена по нормалі до конічної поверхні, визначається з відношення сил [24]:

$$W = \frac{P_0}{\text{tg}(\alpha + \varphi) + \text{tg}(\varphi)} =$$

$$\frac{3,971}{\text{tg}(16^\circ + 1,949^\circ) + \text{tg}(1,949^\circ)} = 11,095 \text{ Н}$$

Де  $\alpha = 16^\circ$  – кут нахилу конічної поверхні

Визначаємо рівнодіючу силу R з трикутника векторів (рис. 4.3):

$$R = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = \sqrt{(0 - 3.971)^2 + (0 - 11.095)^2}$$

$$= 11.784 \text{ Н}$$

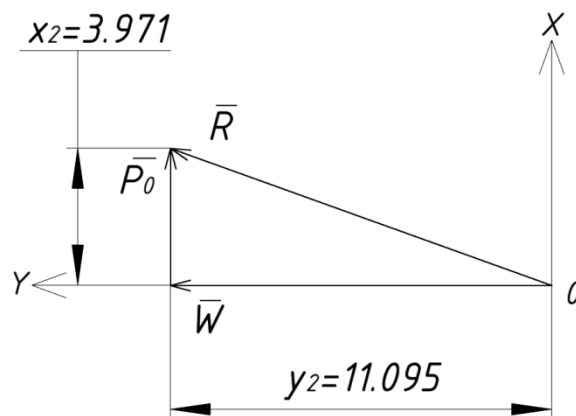


Рисунок 4.3 – Трикутник векторів

## Порівняння результату.

Умова: Момент затиску повинен витримати момент різання.

$$M_z < M_{\text{зат}}$$

$M_{\text{зат}} = 11,27 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – момент затиску

Крутний момент  $M_{\text{кр}}$  при розгортанні визначається

за формулою [18, с. 277]:

$$M_{\text{кр}} = 10C_M \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p$$

$$C_M = 0,012, q = 2,0, y = 0,8 \text{ (табл. 32 [18, с. 281])}$$

$$K_p = K_{\text{мп}} = 1,0, \text{ (табл. 32 [10, с. 265])}$$

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,012 \cdot 26^2 \cdot 0,1^0 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1 =$$

$$= 10 \cdot 676 \cdot 1 \cdot 0,48 \cdot 1 = 3,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$3,24 \text{ Н} \cdot \text{м} < 11,27 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отже, умова виконана

## 4.5 Розрахунок похибки базування

В даній схемі конічна поверхня позбавляє корпус розвертки трьох ступенів свободи: переміщення вздовж осей X, Y, Z (рис. 4.4)

Торцева поверхня позбавляє переміщення вздовж осі X та обертів відносно осей Y та Z.

Бічна поверхня позбавляє обертання відносно осі X.

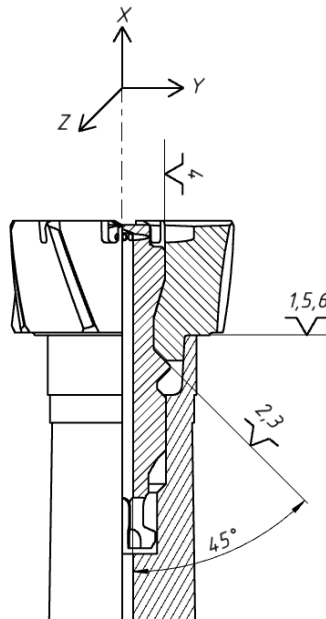


Рис. 4.4 – Схема базування

### Розрахунок похибки базування

Маємо самоцентрівний пристрій, тому розраховуємо похибку базування тільки по довжині

Похибка базування по довжині визначається за формулою [24]:

$$\varepsilon_L = \frac{IT}{2} \cdot ctg\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\varepsilon_L = \frac{0.021}{2} \cdot ctg\left(\frac{45}{2}\right) = 0.0105 \cdot 2.4155 = 0.025 \text{ мкм}$$

## 5. СТВОРЕННЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

### 5.1. Вибір верстата з ЧПК

Для виготовлення корпусу розвертки потрібно підібрати токарно-фрезерувальний та фрезерний верстат.

Для виконання токарної операції №15 з таблиці 3.3 потрібен токарно-фрезерувальний верстат, який призначений для обробки тіл обертання.

Було обрано верстат DS-30Y від компанії HAAS з системою ЧПУ [25].

Токарно-фрезерні центри HAAS серії DS-30Y ідеально підходять для високопродуктивної роботи великих об'ємів, для яких потрібна економічно ефективна токарна обробка з подальшою фрезерною чи свердлильною обробкою. Економія часу та точність забезпечується за рахунок однієї установки деталі та миттєвого перемикання деталі. Центри HAAS обладнані шпинделем та противошпинделем, укомплектовані осями Y та C, а також приводним інструментом. Вони являються потужним універсальним обладнанням для будь-яких задач. Їх конструкція дозволяє синхронно обробляти та миттєво перехоплювати деталь, суттєво скорочуючи часові затрати [26].

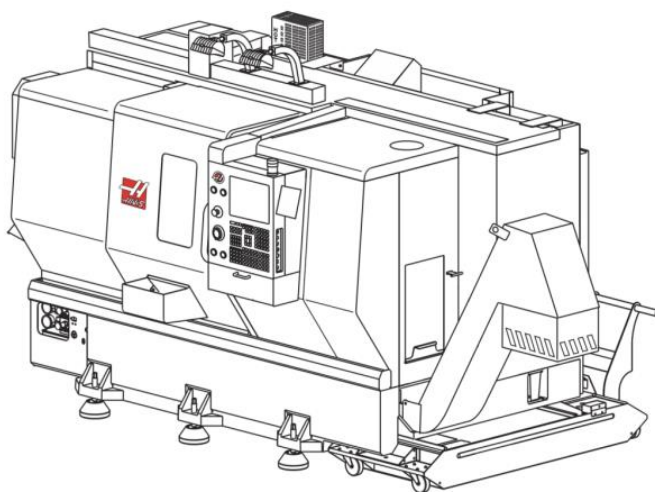


Рисунок 5.1 – Токарно-фрезерувальний верстат HAAS DS-30Y [25]

Параметри верстата наведені в таблиці 5.1 [27]:

Таблиця 5.1 Параметри токарно-фрезерувального верстата HAAS DS-30Y

Параметри робочої зони		
Максимально установлюваний діаметр заготовки	Над станиною:	806 мм
	Над кареткою:	527 мм
Максимально оброблюваний зовнішній діаметр	457 мм	
Максимальна довжина точіння (без урахування патрона)	584 мм	
Параметри головного шпинделя		
Посадка шпинделя	A2-6	
Максимальна частота обертання шпинделя	4500 об/хв	
Максимальний крутний момент на шпинделі (при $n = 600$ об/хв)	373 Нм	
Максимальна потужність на шпинделі	22,4 кВт	
Діаметр отвору в шпинделі	88,9 мм	
Максимальний діаметр оброблюваного прутка	76 мм	
Діаметр трьохкулачкового гідравлічного патрону	254 мм	
Параметри контршпинделя		
Посадка шпинделя	A2-5	
Максимальна частота обертання шпинделя	4800 об/хв	
Максимальний крутний момент на шпинделі (при $n = 700$ об/хв)	149 Нм	
Максимальна потужність на шпинделі	14,9 кВт	
Максимальний діаметр оброблюваного прутка	51,0 мм	
Діаметр трьохкулачкового гідравлічного патрону	210 мм	

Параметри подач		
Величина робочих переміщень по осям	По осі OX	318 мм
	По осі OY	±50,8 мм
	По осі OZ	584 мм
	По осі OB (контршпиндель)	1015 мм
Максимальна швидкість холостих переміщень робочих органів	По осі OX	12 м/хв
	По осі OY	12 м/хв
	По осі OZ	42 м/хв
Максимально допустимі зусилля по осям	По осі OX	18,2 кН
	По осі OY	10,2 кН
	По осі OZ	22,7 кН
Параметри інструментального револьвера		
Тип інструментального револьвера	BMT65	
Кількість позицій у револьвері	12 шт	
Макс. число привідних станцій	12 шт	
Переріз корпусів різців	25x25 мм	
Параметри привідного інструменту		
Максимальна частота обертання	4000\6000(опція) об/хв	
Макс. потужність привідного інструменту	9,0 кВт	
Параметри С-осі головного шпинделя		
Точність позиціонування	±0,01 град	
Притискне зусилля гальма	4448 Н	
Діаметр гальма	366 мм	
Параметри позиціонування контршпинделя		
Точність орієнтації (повороту)	±0,15 град	
Притискне зусилля гальма	2228 Н	
Діаметр гальма	178 мм	
Параметри точності		
Точність позиціонування супорта	±0,0050 мм	
Повторюваність позиціонування супорта	±0,0025 мм	
Параметри пристрою ЧПК		
Тип пристрою	HAAS	

Кількість інтерполюючих осей	4	
Швидкість обробки програм	До 1000 блоків/сек	
Мінімальна дискретність заданих значень	0,001 мм	
Параметри підключення та установки		
Електроспоживання	3 ф. 400 В, 50Гц	
Споживана ел. потужність	28 кВА	
Габаритні розміри верстата	Довжина	3810 мм
	Ширина	2540 мм
	Висота	7260 мм

## 5.2. Створення керуючої програми на верстат з ЧПК

Для створення керуючої програми використовуємо програмне забезпечення Autodesk Fusion 360, яке має САМ-модуль.

Імпортуємо 3D-модель деталі за допомогою команди Open → Import from computer. Переходимо в модуль Manufacture, який призначений для налаштування операцій обробки деталей та подальшого отримання керуючої програми для верстату.

В розділі Setup створюємо нове налаштування для заготовки, вказуємо тип обробки (токарне оброблення), налаштовуємо осі та обираємо відповідний верстат, рис. 5.2:

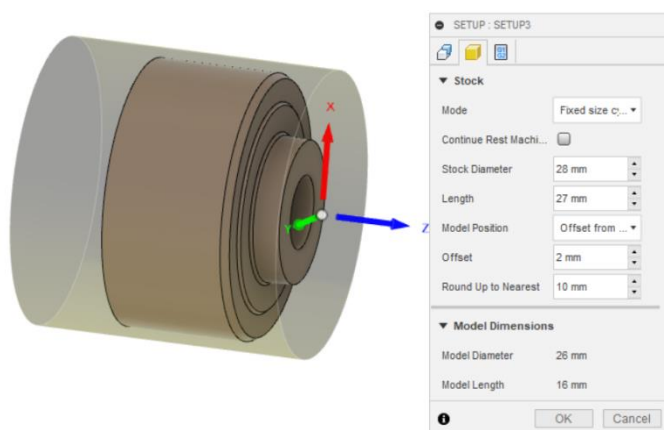


Рисунок 5.2 – Створення налаштувань в Setup

При налаштуванні операції в бібліотеці різців знаходимо необхідний інструмент, налаштовуємо режими різання відповідно технології. На вкладці

Geometry налаштуємо ділянку для обробки. Глибину різання та припуск налаштуємо на вкладці Passes.

Виконуємо наступні операції:

Перехід 1:

Симулюємо підрізання торця, операція Turning Face, рис. 5.3

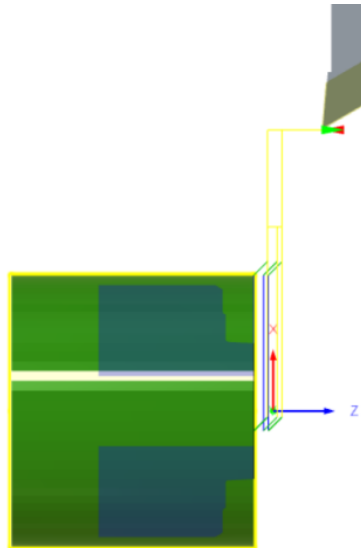


Рисунок 5.3 – Підрізання торця

Перехід 2:

Чорнове точіння по зовнішньому діаметру, операція Turning Profile Rounding, рис. 5.4

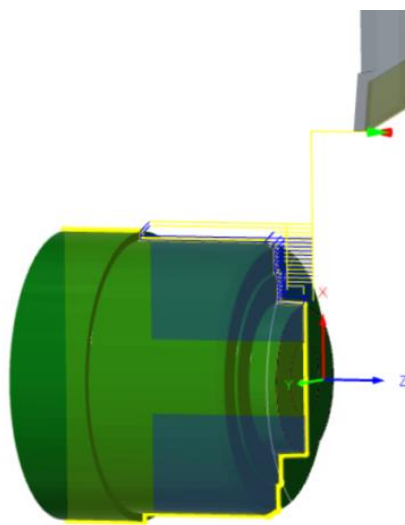


Рисунок 5.4 – Чорнове точіння по зовнішньому діаметру

Перехід 3:

Чистове точіння зовнішнього контуру, операція Turning Profile Finishing, рис. 5.5

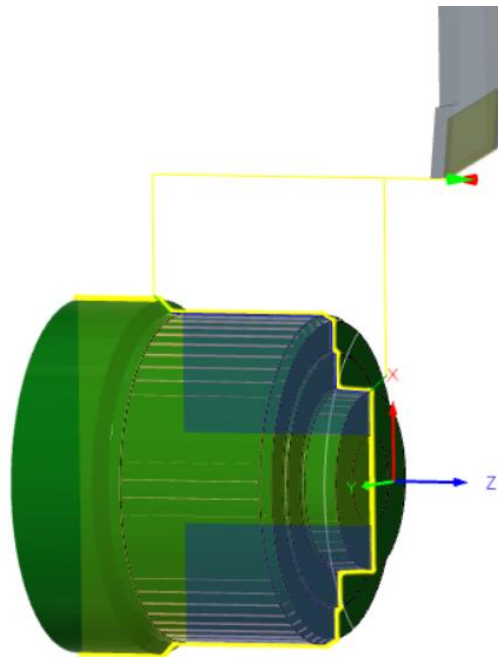


Рисунок 5.5 – Чистове точіння зовнішнього контуру

Перехід 4:

Свердління, операція Drilling, рис 5.6

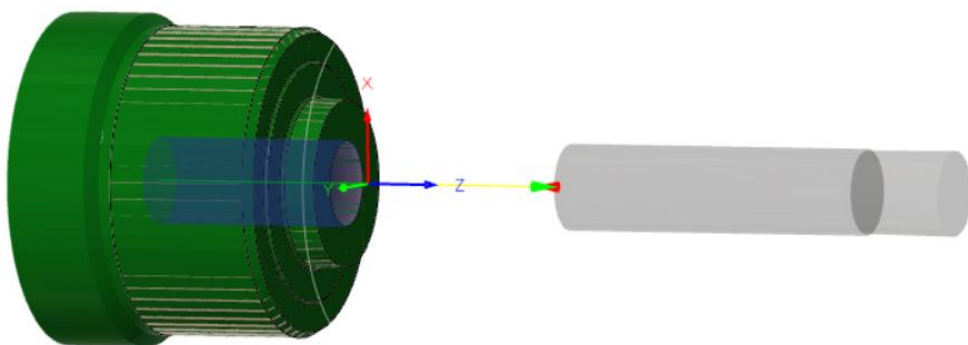


Рисунок 5.6 – Свердління

Перехід 5:

Розгортання отвору, операція Drilling-Reaming, рис. 5.7

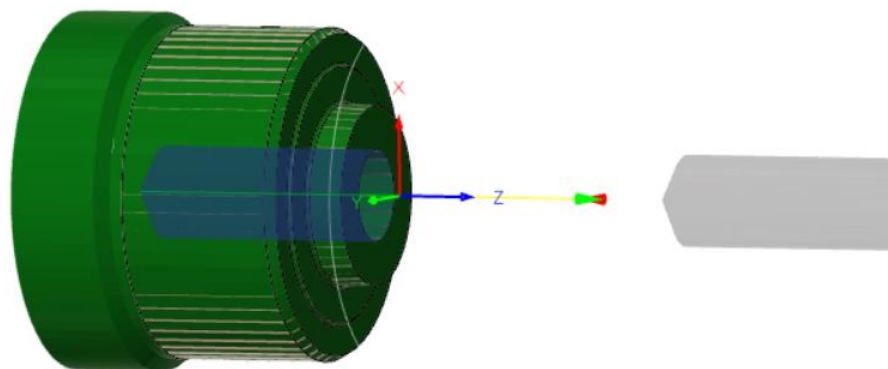


Рисунок 5.7 – Розгортання отвору

Результат симуляції зображено на рис. 5.8:

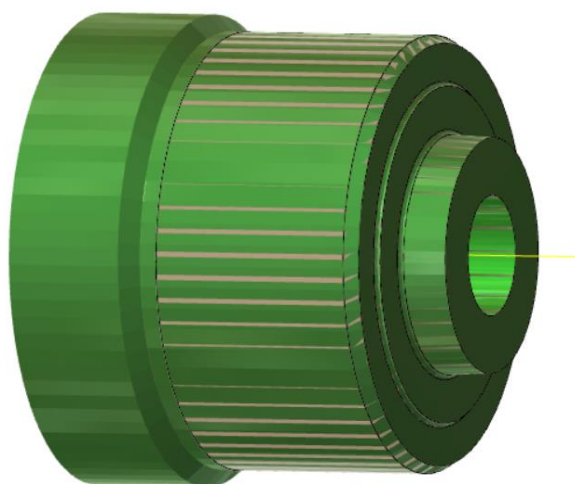


Рисунок 5.8 – Симуляція обробки заготовки

В розділі Actions→Post Process отримуємо G-code, фрагмент якого зображено на рис. 5.9:

```
1 %
2 O10011
3 G98 G18
4 G21
5 G50 S4000
6 G53 G0 Y0.
7 G53 X0.
8 G53 Z0.
9 G53 B0.
10
11 (Face4)
12 G15
13 T100
14 M155
15 G99
16 G97
17 S2271 M3
18 G54
19 M8
20 G18
21 G0 Z5.
22 X60. Y0.
23 G50 S4000
24 G96
25 S428 M3
26 Z-0.086
27 X40.
28 G1 X32.828 F1.2
29 X30. Z-1.5
30 X-0.08
31 X2.748 Z-0.086
32 G0 X60.
33 Z5.
34 G97
35 S2271 M3
36 M9
37 G53 Y0.
```

Рисунок 5.9 – Фрагмент G-code

Повний код програми знаходиться у додатку А

## 6. АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ РОБОТІ ІНСТРУМЕНТУ

### 6.1 Визначення сили різання

Сила різання  $R$ , - результуюча сил опору переміщенню, діючих на інструмент.

Силу різання прийнято розкладати на складові сили:

$P_z$  – тангенційна, яка діє в площині різання;

$P_y$  – радіальна, яка діє в горизонтальній площині;

$P_x$  – осьова, яка діє вздовж осі  $X$ , паралельно до заготовки

При розгортанні сили  $P_y$  не враховують, оскільки вони урівноважуються.

Тангенційна сила  $P_z$  створює момент опору різанню  $M$ , який долає механізм головного руху верстата.

$P_x$  – сила, яка діє вздовж осі, яка долається механізмом відповідною осьовою силою  $P_o$  [28].

Вхідні дані для визначення сили різання:

Операція: Розгортання отвору

Матеріал деталі: Алюміній

Інструмент: Розвертка насадна

Матеріал різальної частини: Швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73

Режими різання:

Глибина різання,  $t$ :

Діаметр отвору до обробки:  $D_p = D_r - \Delta$

$\Delta = 0.2 - 0.5$  мм

Глибина різання:  $t = 0.5 \cdot (D_r - D_p)$

$D_p = 26 - 0.2 = 25.8$

$t = 0.5 \cdot (26 - 25.8) = 0.1$

Подача,  $S = 0,4$  мм/об [4]

Розраховуємо величину швидкості різання  
при розгортанні [18, с. 276]:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m t^x S^y} K_v$$

$$C_v = 10,5, q = 0,3, x = 0,2,$$

$$y = 0,65, m = 0,4 \text{ (табл. 29 [18, с. 279])}$$

$T$  – період стійкості розвертки,  $T=80$ хв (табл. 30 [18, с. 280])

$K_v$  – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість  
різання, який враховує фактичні умови різання [18, с. 276]

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv}$$

$K_{mv} = 0,8$ , коефіцієнт на оброблюваний матеріал, (табл. 1  
– 4 [18, с. 263])

$K_{iv} = 1,0$ , коефіцієнт на інструментальний  
матеріал, (табл. 6 [18, с. 263])

$K_{lv} = 1,0$ , коефіцієнт, який враховує  
глибину розгортання, (табл. 31 [18, с. 271])

$$K_v = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8$$

$$v = \frac{10,5 \cdot 26^{0,3}}{80^{0,4} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 0,4^{0,65}} \cdot 0,8 = =$$
$$\frac{10,5 \cdot 2,657}{5,77 \cdot 0,63 \cdot 0,551} \cdot 0,8 = 11,143 \text{ м/хв}$$

Крутний момент  $M_{кр}$  при розгортанні визначається  
за формулою [18, с. 277]:

$$M_{кр} = 10C_M \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p$$

$$C_M = 0,012, q = 2,0, y = 0,8 \text{ (табл. 32 [18, с. 281])}$$

$$K_p = K_{mp} = 1,0, \text{ (табл. 32 [10, с. 265])}$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,012 \cdot 26^2 \cdot 0,1^0 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1 = 10 \cdot 676 \cdot 1 \cdot 0,48 \cdot 1 =$$
$$= 3,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Осьова сила  $P_o$  при розгортанні визначається за формулою [18, с. 277]:

$$P_o = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p$$

$$C_p = 31,5, q = 1,0, y = 0,8 \text{ (табл. 32 [18, с. 281])}$$

$$P_o = 10 \cdot 31,5 \cdot 0,1^0 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1 = 151,2 \text{ Н}$$

## 6.2 Аналіз напружено-деформованого стану

Аналіз напружено-деформованого стану проводимо в програмі Autodesk Inventor 2019.

Для створення аналізу імпортуємо 3D-модель збірки, переходимо в середовище «Аналіз напружень», встановлюємо опори на прикладаємо навантаження.

Вихідні дані для налізу:

- Матеріал корпусу розвертки: Сталь Р6М5
- Матеріал гвинтового елемента: Сталь 40Х
- Матеріал оправки: Сталь 15
- Сили різання, визначені в п.6.1:
  - $M_{кр} = 3,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , крутний момент, (рис. 6.2);
  - $P_o = 151,2 \text{ Н}$ , осьова сила, (рис. 6.3).

За результатами дослідження отримали наступні значення:

- Напруження інструменту: min – 0 МПа, max – 184,6 МПа;
- Деформація зсуву: min – 0мм, max – 0,0095 мм;
- Коефіцієнт запасу міцності: min – 1,12, max – 15.

Аналіз напружень зображено на рис. 6.1:

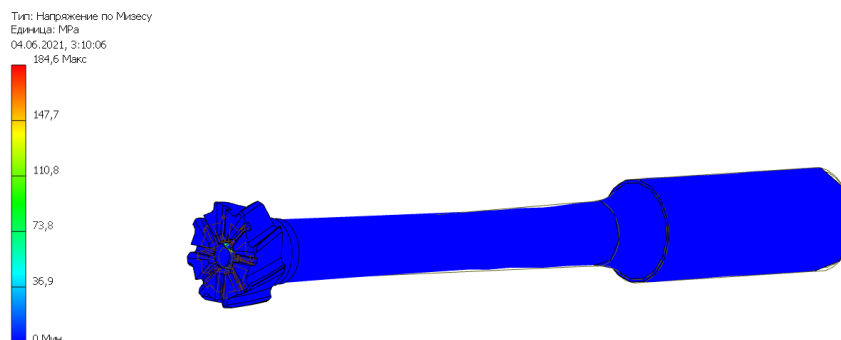


Рисунок 6.1 – Аналіз напружень

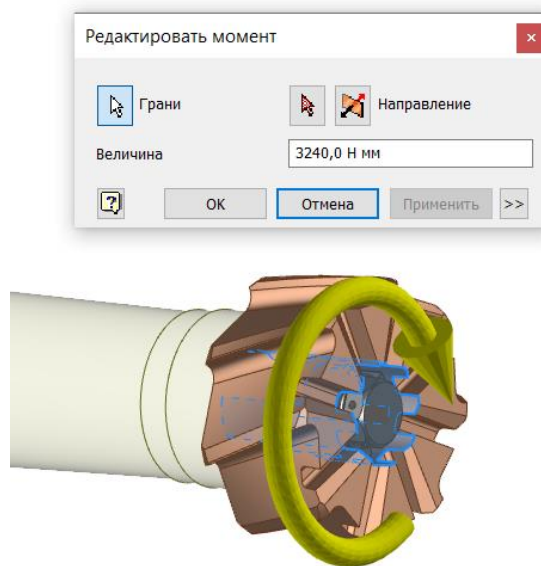


Рисунок 6.2 – Прикладання крутного моменту

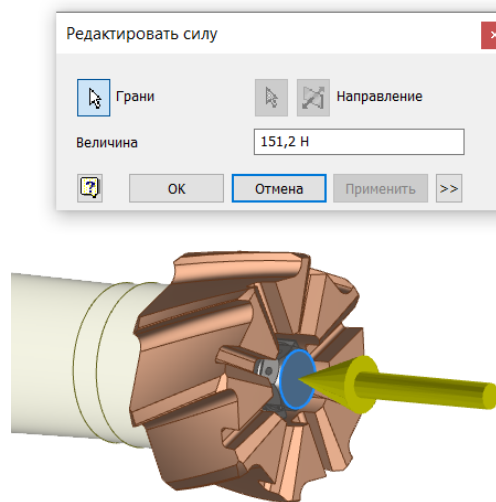


Рисунок 6.3 – Прикладання осевої сили

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Родин. П.Р. Металорежущие инструменты. Издательское объединение «Вища школа», 1974, 400с.
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Развёртка\\_\(инструмент\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Развёртка_(инструмент))
3. <https://stankiexpert.ru/tehnologicheskaya-osnastka/instrument/razvertki-po-metallu.html>
4. <https://tungaloy.com/product/hole-making/reammeister/>
5. <http://www.prominst.ru/uploads/files/catalogs/Инструмент%20для%20обработки%20отверстий.pdf>
6. <https://www.alliedmachine.com/Products/Reaming/ALVAN-Reamers-by-S-C-A-M-I/Replaceable-Head-Style/Overview.aspx>
7. <https://www.secotools.com/article/589?language=ru>
8. [https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/reamer\\_830/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/reamer_830/pages/default.aspx)
9. [https://books.google.com.ua/books?id=3rI3BAAAQBAJ&pg=PT302&lpg=PT302&dq=резанье+разверткой&source=bl&ots=a4gXThowj-&sig=ACfU3U3\\_UPP8M2SfX2hfS6QqeckmhhsIEQ&hl=ru&sa=X&ved=2ahUK-EwjSsdmcrvLwAhVshP0HHfMPAMsQ6AEwEXoECAkQAw#v=onepage&q=резанье%20разверткой&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=3rI3BAAAQBAJ&pg=PT302&lpg=PT302&dq=резанье+разверткой&source=bl&ots=a4gXThowj-&sig=ACfU3U3_UPP8M2SfX2hfS6QqeckmhhsIEQ&hl=ru&sa=X&ved=2ahUK-EwjSsdmcrvLwAhVshP0HHfMPAMsQ6AEwEXoECAkQAw#v=onepage&q=резанье%20разверткой&f=false)
10. <https://docs.cntd.ru/document/1200015709>
11. [https://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/stal-р6м5.html#%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0](https://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/stal-р6м5.html#%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0)
12. <https://www.metalcutting.ru/content/dopusk-na-diametr-razvertki>
13. <http://www.freepatent.ru/patents/2311269>
14. <http://www.freepatent.ru/patents/2456134>
15. [https://studopedia.su/2\\_43140\\_kuti-tokarnogo-riztsya.html](https://studopedia.su/2_43140_kuti-tokarnogo-riztsya.html)

16. Ю.С. Звягольский, В.Г. Солоненко, А.Г. Схиртладзе. Технология производства режущего инструмента. Высш. шк., 2010,- 334с., ил.
17. Справочник технолога-машиностроителя В 2-х т. С74 Т. 1. Под ред. А.Г. Косиловой та Р.К. Мещерякова.- 4е изд, перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986. 657 с., ил
18. Справочник технолога-машиностроителя В 2-х т. С74 Т. 2. Под ред. А.Г. Косиловой та Р.К. Мещерякова.- 4е изд, перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986. 496 с., ил
19. <https://docs.cntd.ru/document/1200066543>
20. [https://www.kennametal.com/ru/ru/products/fam.gomill-gp-2bndd-2andnbsp-.100036035.html?pdpQuery=:catalog-id:cuttingDiameter\\_M:=|4.0&sort=&pageSize=16&category=undefined](https://www.kennametal.com/ru/ru/products/fam.gomill-gp-2bndd-2andnbsp-.100036035.html?pdpQuery=:catalog-id:cuttingDiameter_M:=|4.0&sort=&pageSize=16&category=undefined)
21. <https://docs.cntd.ru/document/1200009073>
22. <https://ppt-online.org/162795>
23. <https://docs.cntd.ru/document/1200008423>
24. Маслов А.Р. Приспособление для металлообрабатывающего инструмента: Справочник. – М.: Машиностроение, 1996. – 240 с.: ил
25. <https://www.haascnc.com/ru/machines/lathes/dual-spindle/models/ds-30y.html>
26. <https://www.informdom.com/metalloobrabotka/2012/5/universalnye-tokarnye-centry-haas-serii-ds-30.html>
27. <https://www.abamet.ru/stanki-pdf/haas/ds/ds-30y.pdf>
28. <https://mash-xxl.info/page/097037041046233106126080177210120029212142071107/>

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

Керуюча програма для оброблення корпусу розвертки на верстаті з ЧПК

%

O01001

G98 G18

G21

G50 S4000

G53 G0 Y0.

G53 X0.

G53 Z0.

G53 B0.

(Face4)

G15

T100

M155

G99

G97

S2349 M3

G54

M8

G18

G0 Z5.

X58. Y0.

G50 S4000

G96

S428 M3

Z0.914

X38.

G1 X30.828 F1.2

X28. Z-0.5

X-4.08

X-1.252 Z0.914

G0 X38.

Z0.414

G1 X30.828 F1.2

X28. Z-1.

X-4.08

X-1.252 Z0.414

G0 X38.

Z-0.586

G1 X30.828 F1.2

X28. Z-2.

X-4.08

X-1.252 Z-0.586

G0 X58.

Z5.

G97

S2349 M3

(Profile Roughing1)

G99  
G18  
G0 Z5.  
X48. Y0.  
G50 S4000  
G96  
S428 M3  
Z-1.  
X27.2  
G1 Z-19.04 F1.2  
X28.  
X30. Z-18.04  
G0 Z-1.  
X26.4  
G1 Z-6.039 F1.2  
Z-6.04  
Z-19.04  
X27.2  
X29.2 Z-18.04  
G0 Z-1.  
X25.6  
G1 Z-5.283 F1.2  
X26.336 Z-5.92  
X26.371 Z-5.957  
X26.392 Z-5.997  
X26.4 Z-6.039  
X28.4 Z-5.039  
G0 Z-1.  
X24.8  
G1 Z-5. F1.2  
X24.996  
X25.096 Z-5.005  
X25.191 Z-5.021  
X25.278 Z-5.046  
X25.353 Z-5.079  
X25.412 Z-5.12  
X25.6 Z-5.283  
X27.6 Z-4.283  
G0 Z-1.  
X24.  
G1 Z-5. F1.2  
X24.8  
X26.8 Z-4.  
G0 Z-1.  
X23.2  
G1 Z-5. F1.2  
X24.  
X26. Z-4.  
G0 Z-1.  
X22.4  
G1 Z-5. F1.2  
X23.2  
X25.2 Z-4.

G0 Z-1.  
X21.6  
G1 Z-5. F1.2  
X22.4  
X24.4 Z-4.  
G0 Z-1.  
X20.8  
G1 Z-5. F1.2  
X21.6  
X23.6 Z-4.  
G0 Z-1.  
X20.  
G1 Z-4.703 F1.2  
G3 X20.4 Z-4.94 I-0.04 K-0.237  
G1 X20.409 Z-4.963  
X20.435 Z-4.982  
X20.474 Z-4.995  
X20.52 Z-5.  
X20.8  
X22.8 Z-4.  
G0 Z-1.  
X19.2  
G1 Z-4.7 F1.2  
X19.92  
X20. Z-4.703  
X22. Z-3.703  
G0 Z-1.  
X18.4  
G1 Z-4.7 F1.2  
X19.2  
X21.2 Z-3.7  
G0 Z-1.  
X17.6  
G1 Z-4.7 F1.2  
X18.4  
X20.4 Z-3.7  
G0 Z-1.  
X16.8  
G1 Z-4.7 F1.2  
X17.6  
X19.6 Z-3.7  
G0 Z-1.  
X16.  
G1 Z-4.7 F1.2  
X16.8  
X18.8 Z-3.7  
G0 Z-1.  
X15.2  
G1 Z-4.7 F1.2  
X16.  
X18. Z-3.7  
G0 Z-2.  
X16.4

G1 X14.4 F1.2  
Z-2.038  
X14.674 Z-4.643  
X14.692 Z-4.672  
X14.735 Z-4.692  
X14.793 Z-4.7  
X15.2  
X17.2 Z-3.7  
G0 X30.  
Z-1.  
X48.  
Z5.  
G97  
S2838 M3

(Profile Finishing1)

G99  
G18  
G0 Z5.  
X48. Y0.  
G50 S4000  
G96  
S428 M3  
Z-0.552  
X17.08  
G1 X16.676 F0.1  
X14. Z-2.038  
X14.274 Z-4.654  
G2 X14.793 Z-4.9 I0.26 K0.014  
G1 X20.006  
G2 X20.52 Z-5.2 I0.257 K-0.04  
G1 X25.042  
X26. Z-6.029  
Z-19.04  
X28.828 Z-20.454  
G0 X48.  
Z5.  
G97  
S2838 M3  
M9  
G53 Y0.  
G53 X0.  
G53 Z0.  
M5

(Drill1)

M1  
T202  
M154  
G28 H0.  
G98  
G50 S4000  
G97

P4043 M133  
G54  
M8  
G18  
M15  
G0 C0.  
M14  
G0 Z15.  
X0. Y0.  
Z5.  
G81 X0. Y0. Z-22. R3. F1617.014  
G80  
G0 Z15.  
M155  
M9  
G53 Y0.  
G53 X0.  
G53 Z0.

(Drill4)

M1  
T303  
(0)  
M154  
G28 H0.  
G98  
G97  
P1000 M133  
G54  
M8  
G18  
M15  
G0 C0.  
M14  
G0 Z15.  
X0. Y0.  
Z5.  
G85 X0. Y0. Z-19. R3. F400.  
G80  
G0 Z15.  
M155

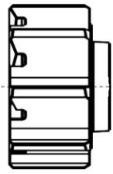
M9  
G53 X0. Y0.  
G53 Z0.  
M135  
M155  
G53 G0 Y0.

M30  
%

# Додаток Б

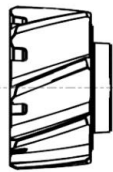
## Листи

### Синтез конструкції насадної розвертки



**Прямий**

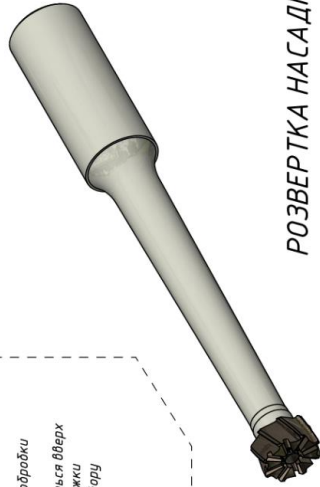
Застосовується для обробки глухих отворів  
Стружка виштовкується вгору  
- Поганий відвід стружки  
- Менша чистота отвору



**Гвинтовий**

Застосовується для обробки наскрізних отворів  
Стружка спадає вниз  
+ Покращений відвід стружки  
+ Підвищена чистота отвору

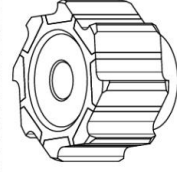
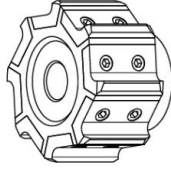
### Варіант виконання



**РОЗВЕРТКА НАСАДНА**

### Зі змінними пластинками

- + Більш висока міцність в порівнянні з напайними
- + менші витрати на зміну та утилізацію
- + менші простой обладнання при заміні та наладці інструменту
- + менші витрати дифузійних матеріалів при виготовленні інструменту
- висока вартість через їх високу точність
- більш складні в проєктуванні
- неможливість повного забезпечення точності геометрії при складанні

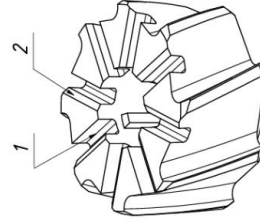


### З напайними пластинками

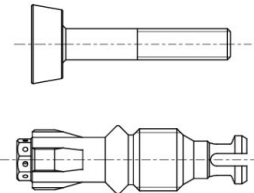
- + низька собівартість
- + менші витрати дифузійних матеріалів при виготовленні інструменту
- при напайванні викликає напруження, які призводять до утворення тріщин
- неможливість повного забезпечення точності геометрії при напайванні

### Суцільна

- + висока точність
- + висока міцність, надійність та стійкість
- + проста технологія виготовлення
- висока вартість
- важкість обробки матеріалу



### Додаткові геометричні елементи



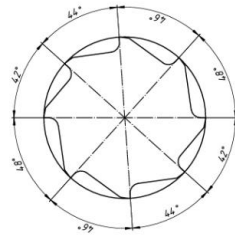
**Байонетний гвинт**

- + висока точність закріплення
- + Матильно-охолоджувальна рідинка (МОР) подається з середньої інструменту, прямо в зону різання
- + Економія МОР
- складність проєктування та виготовлення
- Є вірогідність заклинення при великих осьових силах, через те, що кінці з'єднання самогільбне

**Звичайний гвинт**

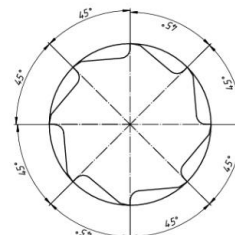
- + Проста виготовлення
- + Надійність
- + Простота встановлення
- Відсутність системи подачі МОР, що погіршує або проєктування додаткового елемента, або системи завітряної подачі рідини
- Порівняно невелика точність закріплення

### Тип кріплення



**Нерівномірний**

- + сприяє гасінню вібрацій
- + підвищена чистота оброблюваного отвору
- складність виготовлення



**Рівномірний**

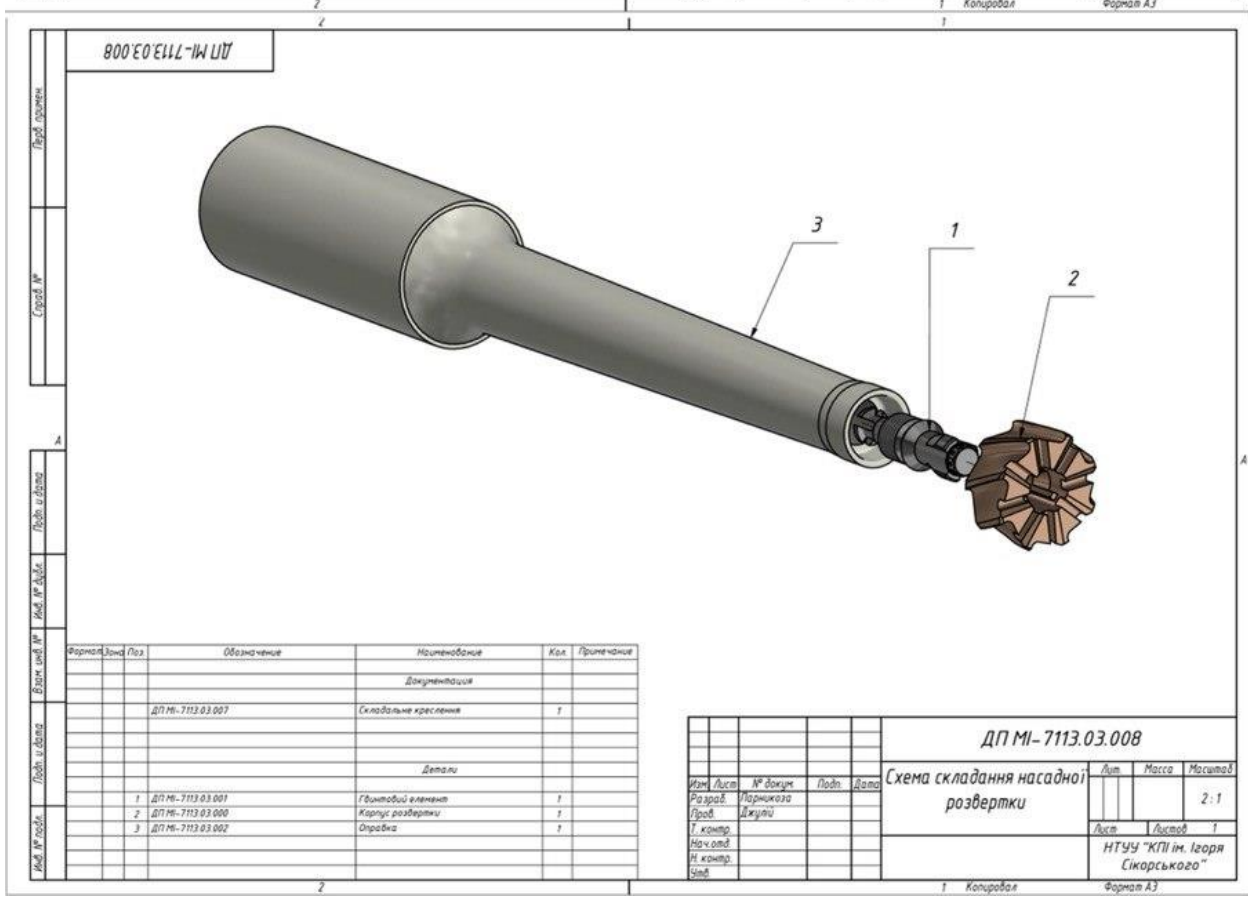
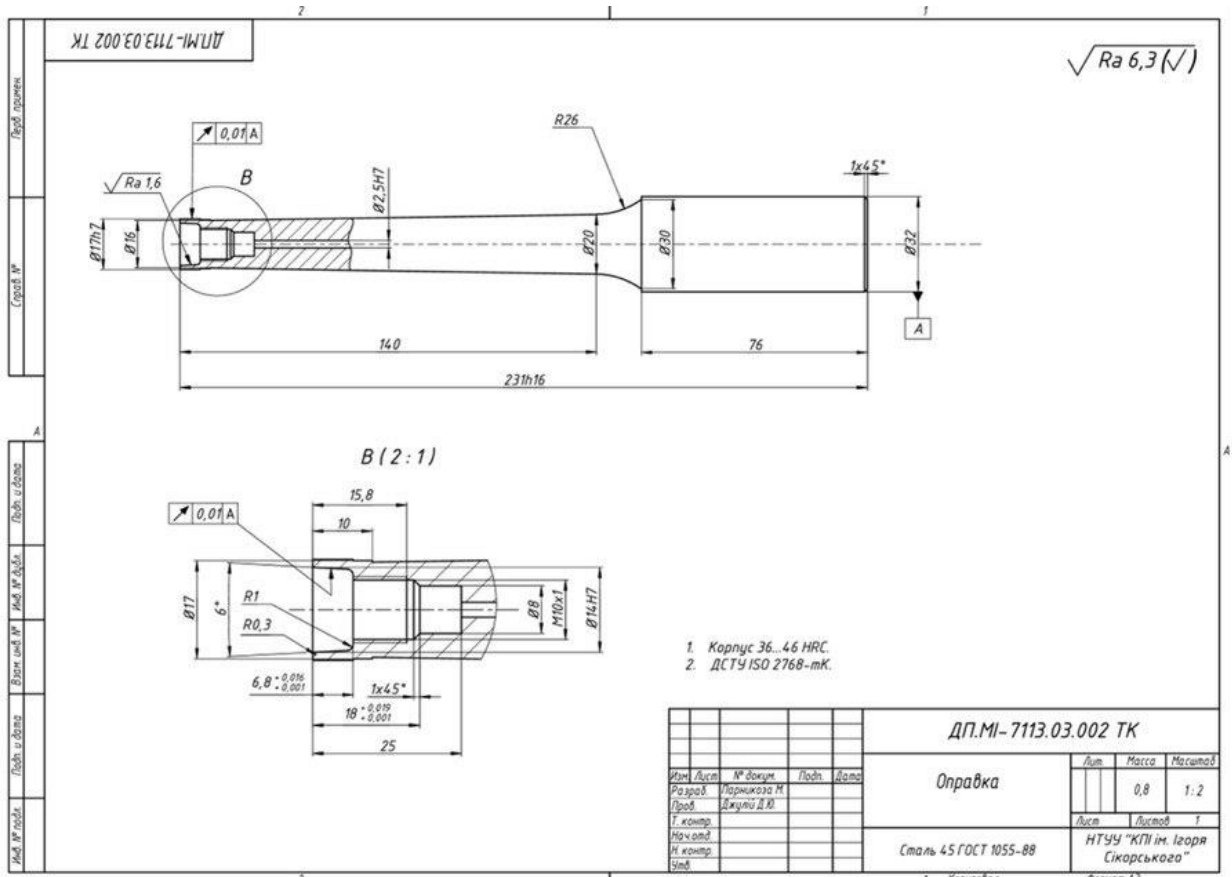
- + проста проєктування
- + проста виготовлення
- підвищені вібрації при високих режимах різання
- відносно мала чистота оброблюваного отвору

### Кутовий крок зубців

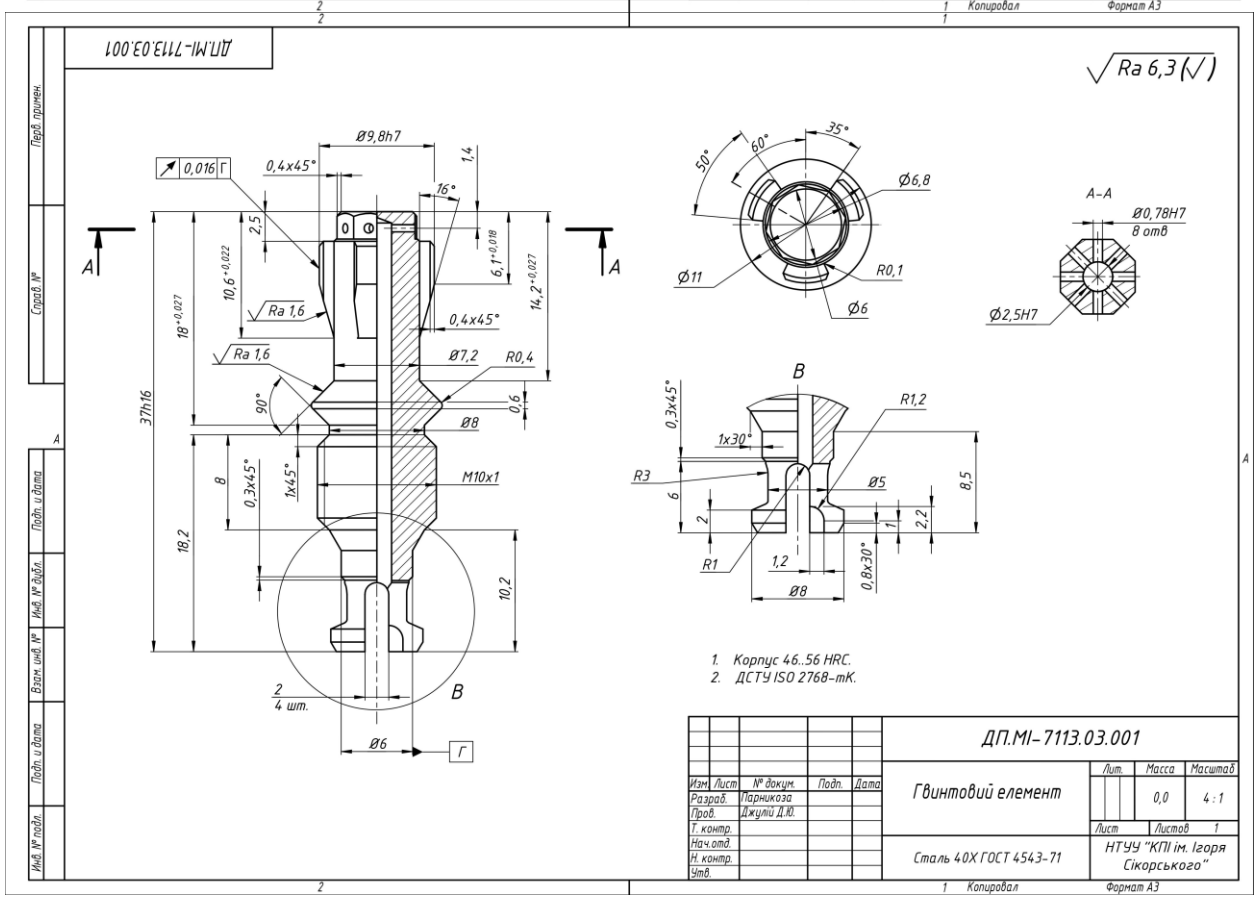
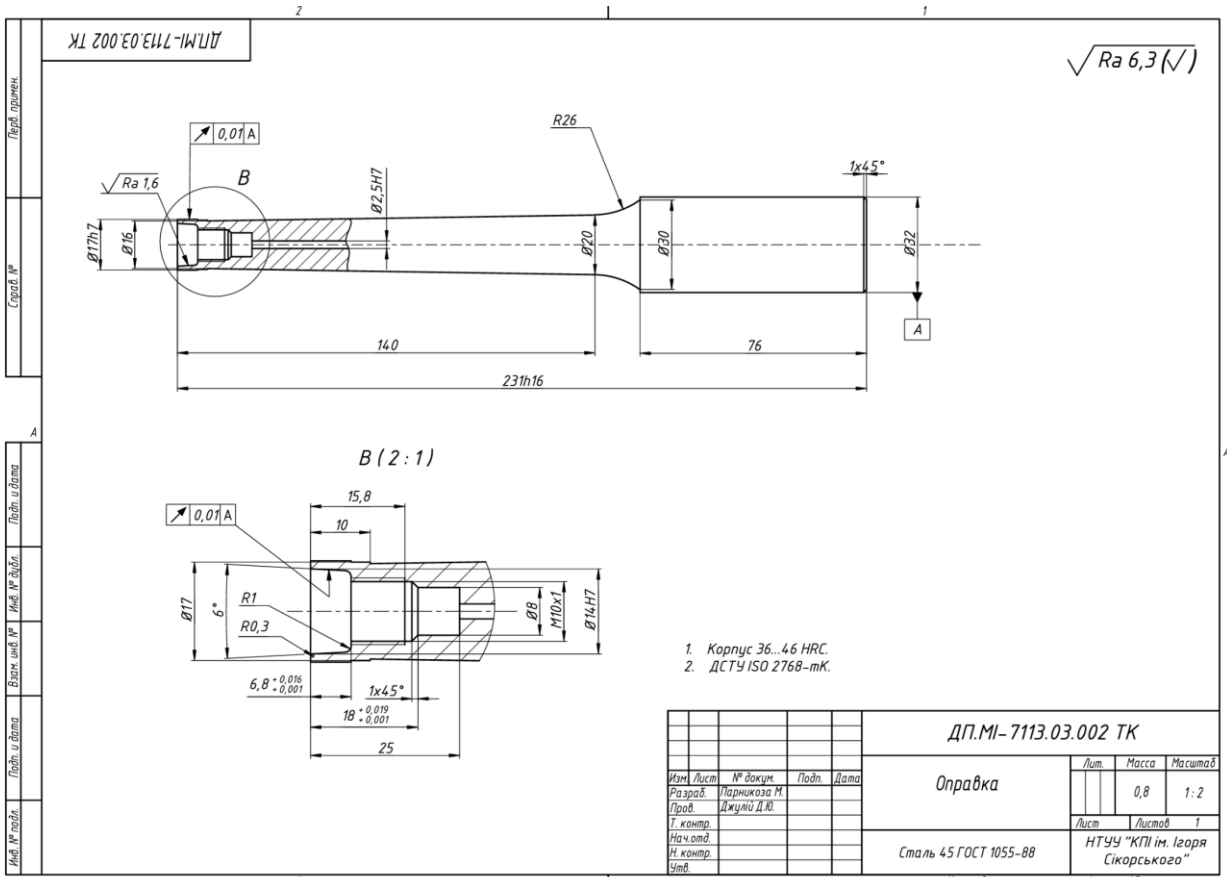
### Паз (1) та похила площина (2)

- + Пази направляють охолоджувальну рідину в зону різання, що додатково економить її витрати
- + з випаду сильною затиску розвертки є можливість відкрити її спеціальним ключем, який вставляється в пази
- + Похила площина сприяє згинанню стружки в напрямку переднього торця робочої частини, пази її відведення
- + Надійність площини запобігає виникненню невідповідної шліфувальна стружка від канавок
- Необхідність виконувати додаткові операції при виготовленні розвертки





























Дубл.										
Взамін.										
Підпис										

Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата
----	----	-------	--------	------

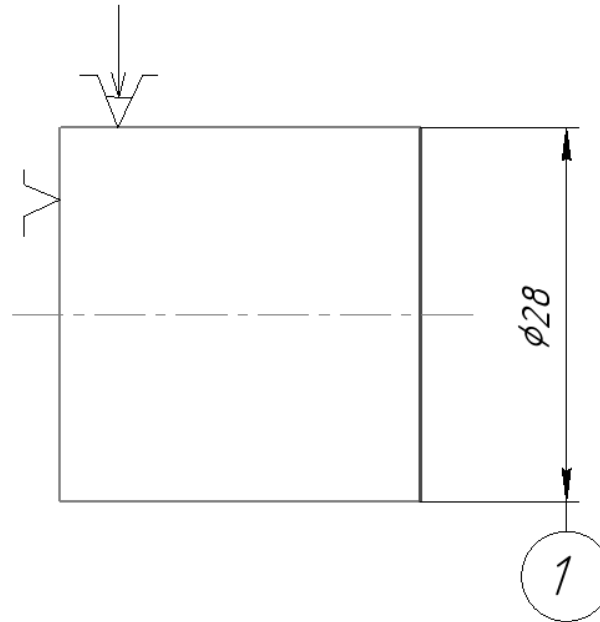
1

1

Розробив	Парникоза М.В.			КПІ ім.Ігоря Сікорського		
Перевірив	Джулій Д.Ю.					
Н. контр.				Корпус розвертки		

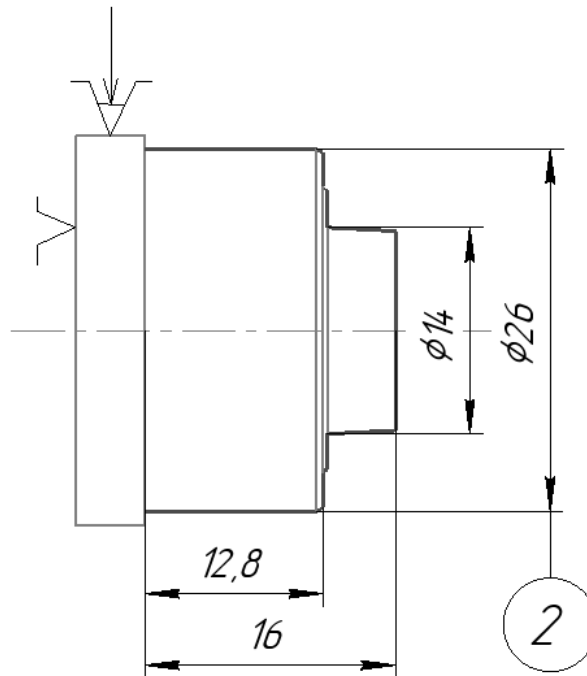
ДП

015



КЕ

Дубл.													
Взамін.													
Підпис									Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата
											1	1	
Розробив	Парникоза М.В.			КПІ ім.Ігоря Сікорського									
Перевірив	Джулій Д.Ю.												
Н. контр.				Корпус розвертки								ДП	015

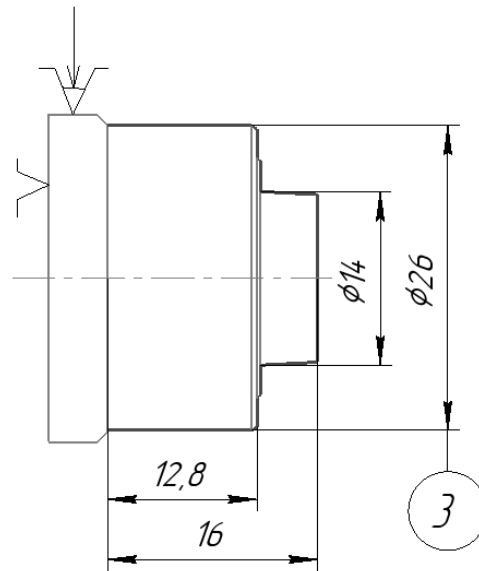


Дубл.										
Взамін.										
Підпис								Зм	Ар	№ док.

1

1

Розробив	Парникоза М.В.			КПІ ім.Ігоря Сікорського		
Перевірив	Джулій Д.Ю.					
Н. контр.				Корпус розвертки		
					ДП	015



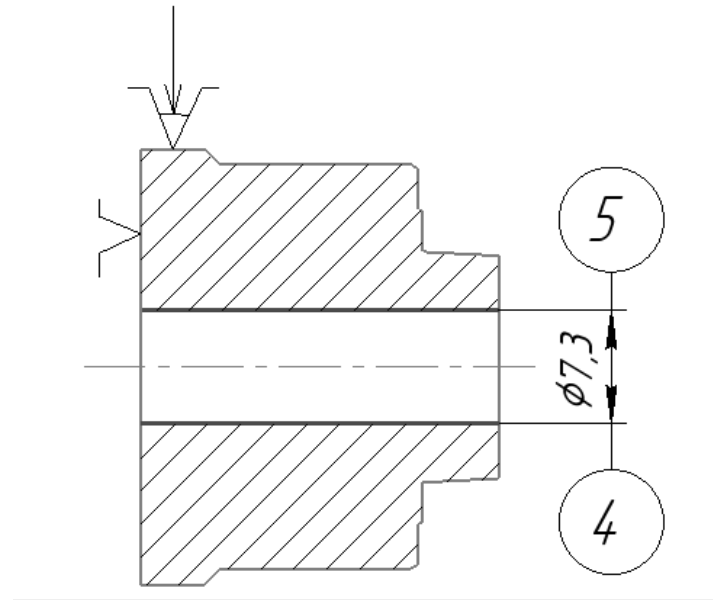
KE

Дубл.										
Взамін.										
Підпис								Зм	Ар	№ док.

1

1

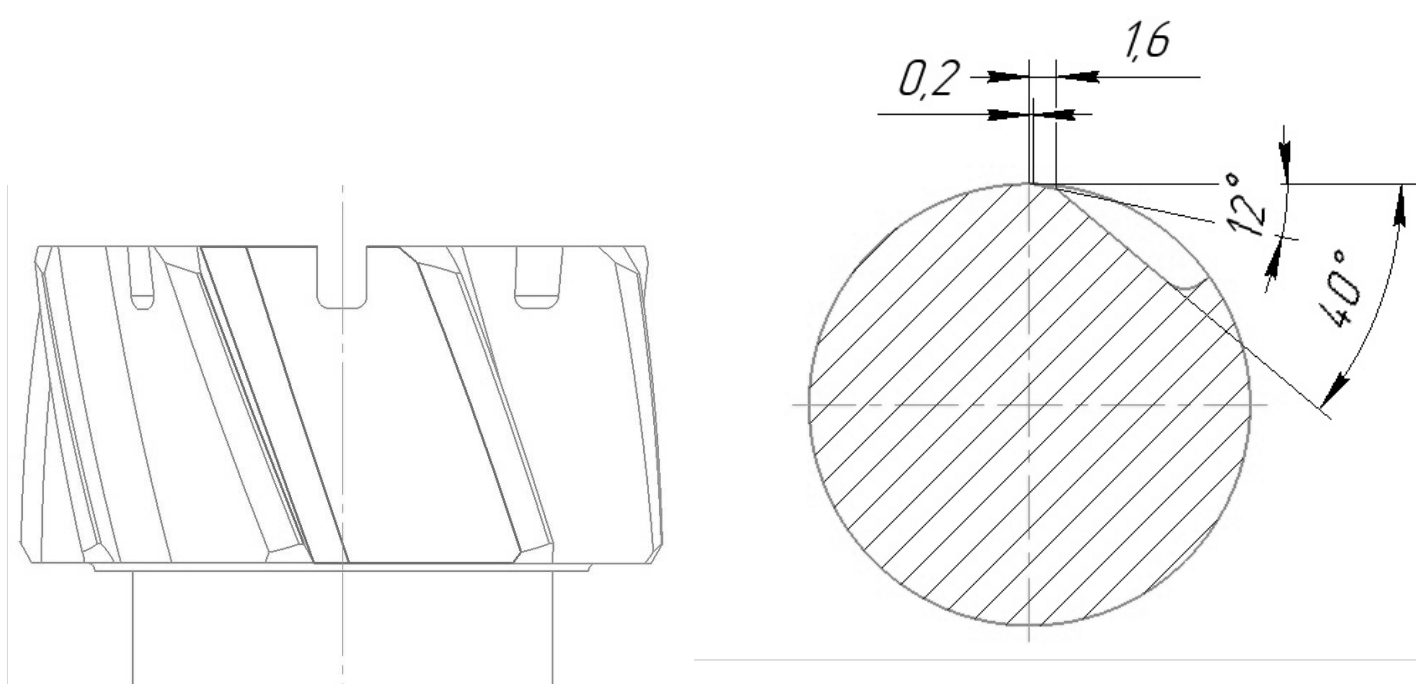
Розробив	Парникоза М.В.			КПІ ім.Ігоря Сікорського		
Перевірив	Джулій Д.Ю.					
Н. контр.				Корпус розвертки		
					ДП	015



KE

Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата

										1	1	
Розробив	Парникоза М.В.			КПІ ім.Ігоря Сікорського								
Перевірив	Джулій Д.Ю.											
Н. контр.				Корпус розвертки							ДП	040

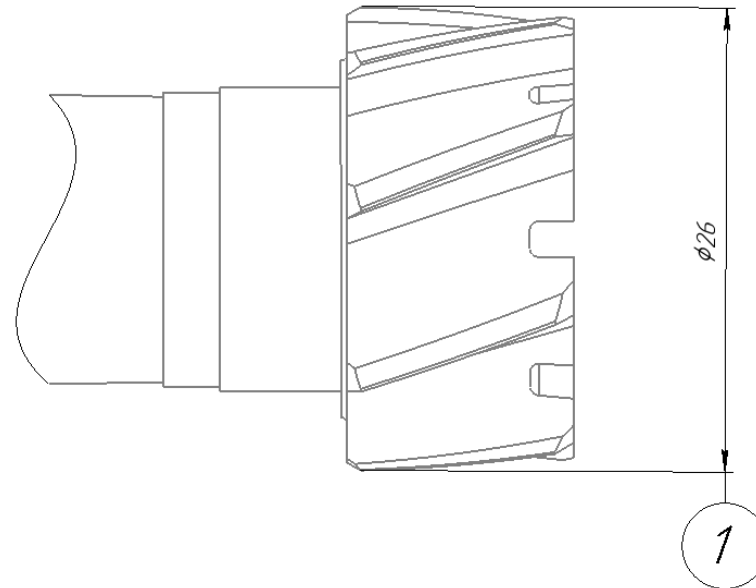




Дубл.										
Взамін.										
Підпис								Зм	Ар	№ док.

									1	1
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---

Розробив	Парникоза М.В.			КПІ ім.Ігоря Сікорського							
Перевірив	Джулій Д.Ю.										
Н. контр.					Корпус розвертки				ДП		080



КЕ	
----	--