

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

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

До захисту допущено:

Завідувач кафедрою

_____ 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: «Фреза кінцева для оброблення матриці»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи МІ-71

Рясний Артем Олександрович

Керівник:

ас. Майданюк С.В.

Рецензент:

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2021

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
формування деталей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Рясний Артем Олександрович

1. Тема проєкту «Фреза кінцева для оброблення матриці», керівник проєкту Майданюк Сергій Володимирович, асистент, затверджені наказом по університету від «18» 05 2021 р. № 1203-с
2. Термін подання студентом проєкту: 04.06.2021
3. Вихідні дані до проєкту: згідно технічного завдання до проєкту
4. Зміст пояснювальної записки: технологічний розділ, аналіз конструкції фрези, розробка конструкції фрези, розрахунок цангового патрону
5. Перелік графічного матеріалу: кресленик матриці, графічне зображення багатоцільової операції на ЧПК, синтез конструкції фрези, кресленик фрези, аналіз напружень, тривимірна модель фрези, складальний кресленик цангового патрону, кресленики та тривимірні моделі деталей цангового патрону, розрахунок зусиль закріплення фрези у патроні, розрахунок похибок базування

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/ п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Розробка технології виготовлення матриці, написання керуючої програми для обробки на верстаті з ЧПК	19.04.2021	
2	Аналіз конструкції фрези, переваги та недоліки	26.04.2021	
3	Розробка конструкції кінцевої фрези, створення 3д моделі та робочого кресленика, дослідження напружень, що виникають у фрезі під час роботи	03.05.2021	
4	Розрахунок зусиль закріплення фрези у цанговому патроні та розрахунок похибок базування	10.05.2021	

Студент

Артем РЯСНИЙ

Керівник

Сергій МАЙДАНЮК

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО
"___" _____ "20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУ	
Тема проекту	Фреза кінцева для обробки матриці
Зміст проекту	Розробити кінцеву фрезу для обробки матриці на верстаті з ЧПК
Технічні умови до проекту	1. Матеріал заготовки – сталь 40Х13. 2. Фреза твердосплавна. 3. Вид обробки – чорнова. 4. Підведення ЗОР – зовнішнє або внутрішнє. 5. Верстат – HAAS VF-2
Особливі вимоги	

ЛИСТ	ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ
СП	Аналіз конструкції кінцевої фрези.
ОП	Кресленик кінцевої фрези. 3D модель фрези.
ТС	Розробка технології виготовлення деталі матриця Написання керуючої програми для багатоцільової операції на верстаті з ЧПК
КС	Складальний кресленик та 3D модель цангового патрону Кресленики та 3D моделі деталей патрону
СС	Розрахунок зусиль затиску фрези у цанговому патроні Розрахунок похибок базування
ДС	Дослідження впливу геометрії зуба фрези та подачі на сили різання

Анотація

Тема дипломного проекту: «Фреза кінцева для обробки матриці». Дипломний проект містить у собі синтез конструкції кінцевої фрези, вибір геометрії та розробку фрези для чорнової обробки матриці з нержавіючої сталі, загальну технологію виготовлення даної деталі, розрахунок зусиль, що діють на цанговий патрон при закріпленні кінцевої фрези, та розрахунок похибок базування, аналіз фрези під дією навантажень у процесі роботи.

Ключові слова: матриця, механічна обробка, кінцева фреза, аналіз напружень, цанговий патрон.

Abstract

Theme of the diploma project: "The end mill for processing of a matrix". The diploma project includes the synthesis of the end mill, the choice of geometry and the development of the cutter for roughing the stainless steel matrix, the general technology of this part, the calculation of forces acting on the collet chuck when fixing the end mill, and calculation of base errors, analysis the action of loads during operation.

Keywords: matrix, machining, end mill, stress analysis, collet chuck.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	10
1.1 Вихідні дані.....	10
1.2 Маршрутна технологія виготовлення деталі.....	11
1.3 Розрахунок припусків на обробку.....	16
1.4 Розрахунок режимів різання.....	19
1.5 Розробка керуючої програми.....	23
2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗИ.....	28
2.1 Аналіз конструктивних елементів фрез.....	28
2.1.1 Конструктивне виконання фрези.....	28
2.1.2 Кут нахилу гвинтової канавки	29
2.1.3 Напрямок нахилу гвинтової канавки.....	31
2.1.4 Окружний крок зубів.....	31
2.1.5 Форма зуба.....	32
2.1.6 Спосіб подачі ЗОР.....	33
2.2 Синтез конструкції фрези кінцевої.....	34
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗИ.....	36
3.1 Вибір матеріалу фрези.....	36
3.2 Вибір діаметру фрези.....	37
3.3 Геометричні параметри фрези.....	38
3.3.1 Рекомендовані геометричні параметри.....	38
3.3.2 Визначення геометричних параметрів фрези.....	40
3.4 Технічні вимоги виготовлення фрези.....	48

3.5 Поновлення працездатності фрези.....	49
4 РОЗРОБКА ЦАНГОВОГО ПАТРОНУ.....	53
4.1 Вимоги до цангових патронів.....	53
4.2 Розрахунок похибки базування.....	54
4.3 Розрахунок сил затиску	55
4.4 Створення моделі цангового патрону в Autodesk Inventor 2019	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ.....	64

ВСТУП

В сучасному машинобудівному виробництві все частіше використовують верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), процес обробки в такому випадку проходить без участі працівника, а якість обробки майже не залежить від його кваліфікації. Як елемент технологічної системи, різальний інструмент відіграє рішучу роль в досягненні необхідних технологічних і економічних показників процесу механічної обробки.

Одним з найпоширеніших методів обробки є фрезерування. Оскільки фрези мають різні типи, форму та розміри, перелік можливих операцій металообробки на фрезерних верстатах є доволі широким.

По завданню дипломного проекту слід розробити технологію виготовлення матриці. Основний об'єм роботи буде виконуватися саме на фрезерному верстаті з ЧПК. В свою чергу основним різальним інструментом є кінцева фреза, оскільки мова йде про обробку пазів, уступів та виїмок на деталі. Для реалізації більш швидкої, точної та якісної обробки слід підібрати правильну геометрію фрези та режимі різання. Для цього слід провести синтез конструкції кінцевих фрез, обрати необхідні конструктивні, геометричні параметри та проаналізувати поведінку інструменту в процесі оброблення.

Новизною даного проекту є розробка конструкції кінцевої фрези та її дослідження в процесі механічної обробки. За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок про надійність інструменту, а саме про вплив геометричних параметрів та режимів різання на виникаючі напруження у фрезі.

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вихідні дані

Згідно завдання на дипломне проектування необхідно розробити технологічний процес виготовлення деталі – матриці для прес-форми (рис. 1.1).

Кресленик матриці, з технічними вимогами на виготовлення, наведений в додатку.

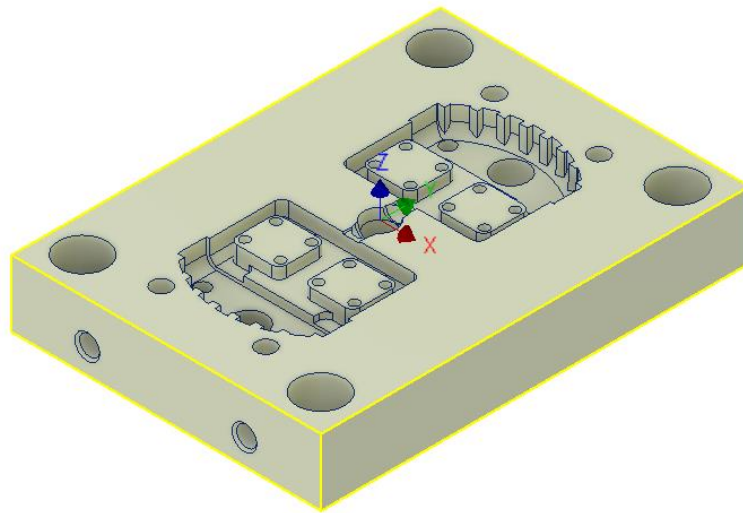


Рисунок 1.1 – 3D-модель матриці

Основні операції обробки реалізуються на 3-х осьовому свердлильно-фрезерному верстаті з ЧПК HAAS VF-2.

Матеріал деталі - сталь 40X13 – жароміцна, корозійно стійка, з наступними характеристиками:.

- питома вага 7650 кг/куб.м;
- твердість 143-229 МПа;
- температурний режим ковки 850-1250°C;
- жароміцність до 650°C.

1.2 Маршрутна технологія виготовлення деталі

Маршрутна технологія виготовлення матриці, з врахуванням можливостей використання верстатів з ЧПК, наступна:

05. Заготівельна.

Відрізання заготовки з припуском на шліфування.

10. Шліфувальна.

Чорнове шліфування усіх поверхонь.

15. Фрезерна.

Фрезерування бокових поверхонь.

20. Термічна. Відпуск.

25. Свердлильна.

Свердління отворів на бокових поверхнях на всю довжину.

30. Багатоцільова на ЧПК.

1-й установ:

Свердління отворів.

Фрезерна обробка отворів до необхідних розмірів.

Фрезерування фасок.

2-й установ:

Фрезерування форми під вироблену деталь.

35. Термічна. Закалювання.

40. Шліфувальна. Шліфувати усі поверхні до необхідних розмірів.

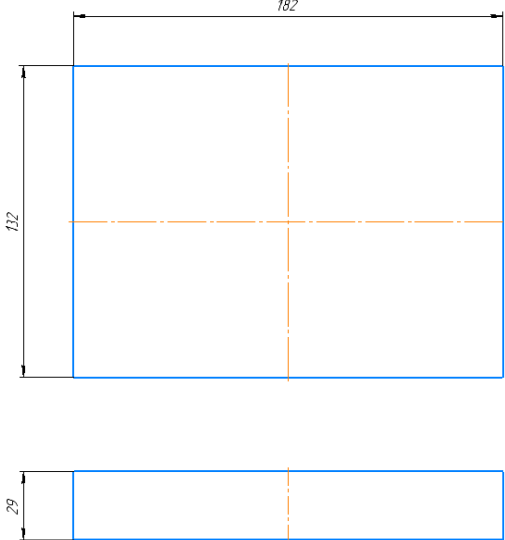
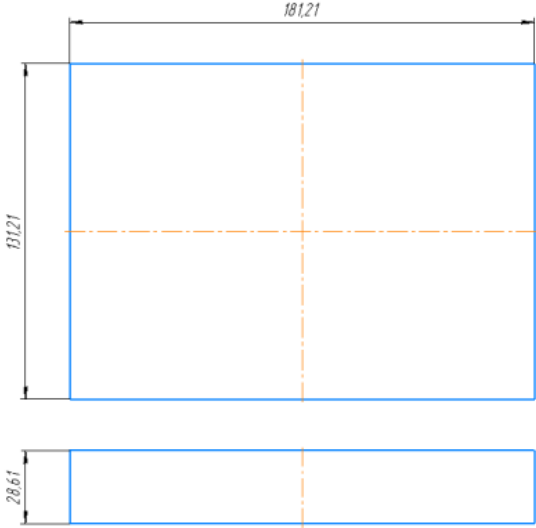
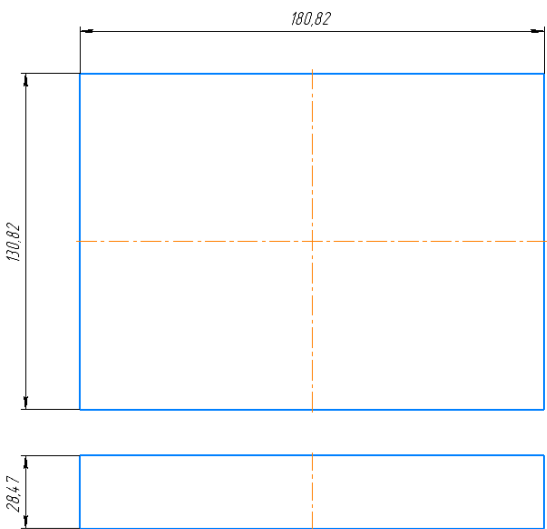
45. Електроерозійна.

50. Електрохімічна. Полірування формотворчих поверхонь.

55. Технічний контроль. Контроль всіх розмірів отриманих при обробці на верстаті з ЧПК.

Маршрутна технологія виготовлення матриці, з ескізами, наведена в табл. 1.1

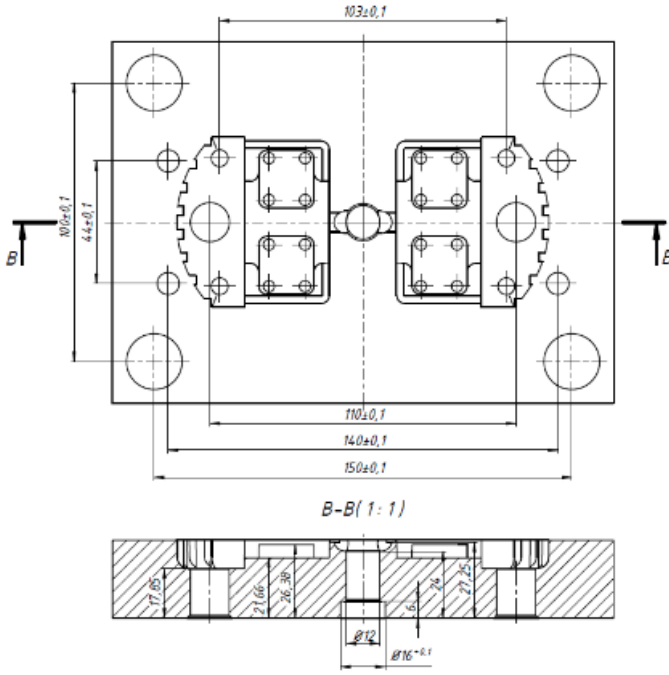
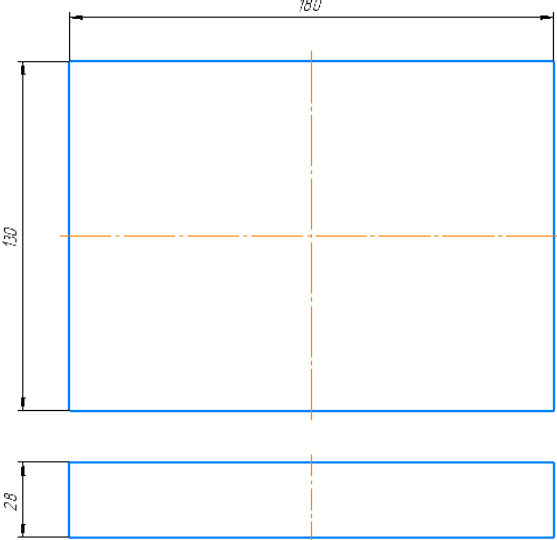
Таблиця 1.1 – Маршрутна технологія виготовлення матриці для прес-форми

	Операція	Операційний ескіз
05	Заготівельна. Відрізання заготовки.	
10	Шліфувальна. Чорнове шліфування усіх поверхонь	
15	Фрезерна. Фрезерування усіх поверхонь	

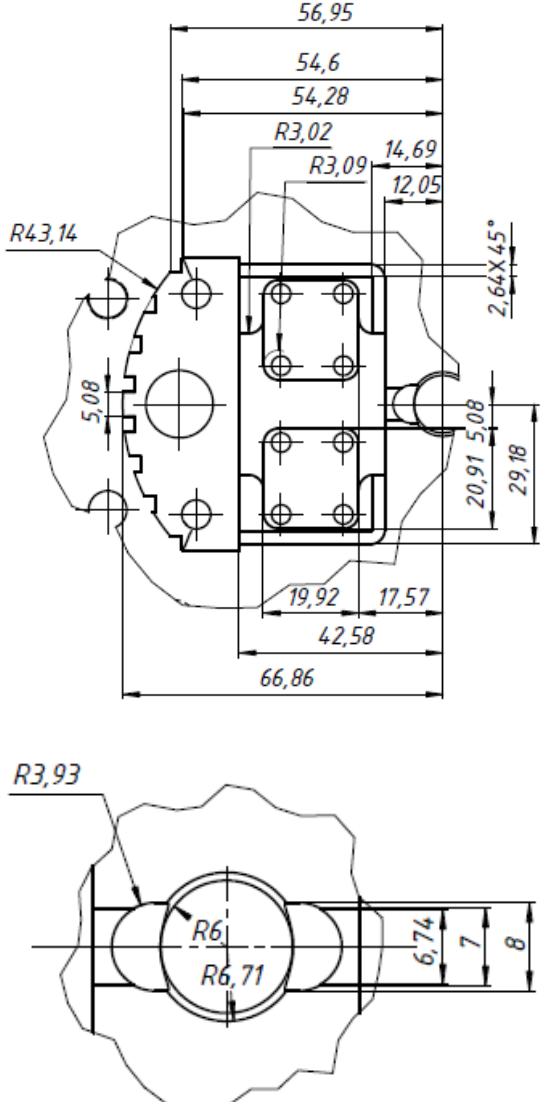
Продовження таблиці 1.1

	Операція	Операційний ескіз
20	Термічна. Відпуск 500°C	
25	Свердлильна. Свердління отворів на бокових поверхнях на всю довжину	
30	Багатоцільова на ЧПК 1-й установ: Свердлильна. Свердління отворів. Фрезерна. Фрезерна обробка отворів до необхідних розмірів. Фрезерна. Фрезерування фасок.	

Продовження таблиці 1.1

	Операція	Операційний ескіз
	2-й установ: Фрезерна. Фрезерування форми під вироблену деталь	
35	Термічна. Закалювання	
40	Шліфувальна. Шліфувати усі поверхні до необхідних розмірів.	

Продовження таблиці 1.1

	Операція	Операційний ескіз
45	Електроерозійна. Обробка важкодоступних зон електроіскровим методом.	
50	Електрохімічна. Полірування формотворчих поверхонь.	
55	Контрольна. Контроль всіх розмірів.	

1.3 Розрахунок припусків на обробку

Мінімальний припуск при односторонній обробці (для поверхонь не тіл обертання) [1, с.4]:

$$z_{\min} = R_z + T_{\text{деф}} + \rho + \varepsilon \quad (1.1)$$

де R_z – шорсткість поверхні;

$T_{\text{деф}}$ – дефектний шар;

ρ – сумарне значення просторових відхилень для елементарної поверхні на минулому переході;

ε – похибка встановлення та закріплення деталі;

$R_z, T_{\text{деф}}, \rho$ визначаємо за таблицею 5.2 [1, с. 6]. Обробка поверхні: чистова (по 7 квалітету) шліфуванням.

ε визначаємо за таблицею 5.3 [1, с.6]. Обираємо в якості пристосування: тиса машинні, поверхня є необробленою.

Мінімальний припуск при чорновому шліфуванні бокових поверхонь після холодного прокату:

$$R_z = 0,06 \text{ мм};$$

$$T_{\text{деф}} = 0,08 \text{ мм};$$

$$\rho = 0,15 \text{ мм}$$

Пристосування: тиса машинні.

Якість базових поверхонь: необроблена поверхня після холодного прокату:

$$\varepsilon = 0,5 \text{ мм};$$

$$z_{\min 1} = R_z + T_{\text{деф}} + \rho + \varepsilon = 0,06 + 0,08 + 0,15 + 0,5 = 0,79 \text{ мм}$$

Мінімальний припуск при чорновому шліфуванні верхньої та нижньої поверхонь (перед цим бокові поверхні шліфувались):

$$R_z = 0,04 \text{ мм};$$

$$T_{\text{деф}} = 0,06 \text{ мм};$$

$$\rho = 0,09 \text{ мм}$$

Пристосування: тиски машинні.

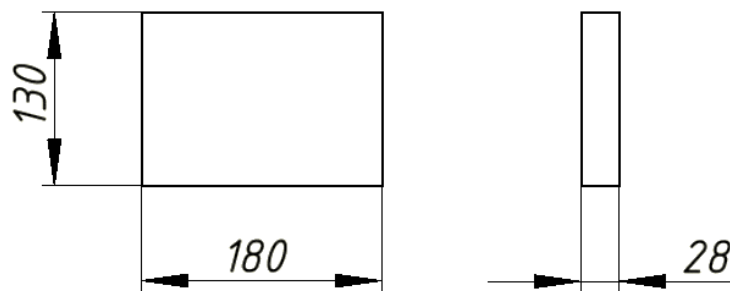


Рисунок 1.2 – Габаритні розміри деталі

Якість базових поверхонь: необроблена поверхня після чорнової обробки:

$$\varepsilon = 0,2 \text{ мм};$$

$$z_{\text{min}2} = R_z + T_{\text{деф}} + \rho + \varepsilon = 0,04 + 0,06 + 0,09 + 0,2 = 0,39 \text{ мм}$$

Мінімальний припуск при получистовому фрезеруванні бокових поверхонь (після чорного шліфування):

$$R_z = 0,04 \text{ мм};$$

$$T_{\text{деф}} = 0,06 \text{ мм};$$

$$\rho = 0,09 \text{ мм}$$

Пристосування: тиса машинні.

Якість базових поверхонь: чорнова обробка:

$$\varepsilon = 0,2 \text{ мм};$$

$$z_{\min 11} = R_z + T_{\text{деф}} + \rho + \varepsilon = 0,04 + 0,06 + 0,09 + 0,2 = 0,39 \text{ мм}$$

Мінімальний припуск при получистовому фрезеруванні верхньої та нижньої поверхонь (після получистового фрезерування):

$$R_z = 0,01 \text{ мм};$$

$$T_{\text{деф}} = 0,04 \text{ мм};$$

$$\rho = 0,045 \text{ мм}$$

Пристосування: тиски машинні;

Якість базових поверхонь: получистова обробка:

$$\varepsilon = 0,05 \text{ мм};$$

$$z_{\min 22} = R_z + T_{\text{деф}} + \rho + \varepsilon = 0,01 + 0,04 + 0,045 + 0,05 = 0,145 \text{ мм}$$

Мінімальний припуск при чистовому шліфуванні бокових поверхонь (після получистового фрезерування):

$$R_z = 0,01 \text{ мм};$$

$$T_{\text{деф}} = 0,04 \text{ мм};$$

$$\rho = 0,045 \text{ мм}$$

Пристосування: тиски машинні;

Якість базових поверхонь: полу чистова:

$$\varepsilon = 0,05 \text{ мм};$$

$$z_{\min 111} = R_z + T_{\text{деф}} + \rho + \varepsilon = 0,01 + 0,04 + 0,045 + 0,05 = 0,145 \text{ мм}$$

Мінімальний припуск при чистовому шліфуванні верхньої і нижньої поверхонь (після чистової обробки):

$$R_z = 0,005 \text{ мм};$$

$$T_{\text{деф}} = 0,02 \text{ мм};$$

$$\rho = 0,03 \text{ мм}$$

Пристосування: тиса машинні

Якість базових поверхонь: чистова:

$$\varepsilon = 0$$

$$z_{\text{min}222} = R_z + T_{\text{деф}} + \rho + \varepsilon = 0,005 + 0,02 + 0,03 + 0 = 0,055 \text{ мм}$$

Сумарний припуск на бокові поверхні:

$$Z_{\text{MIN}1} = z_{\text{min}1} + z_{\text{min}11} + z_{\text{min}111} = 0,79 + 0,39 + 0,145 = 1,325 \text{ мм}$$

Сумарний припуск на верхню і нижню поверхню:

$$Z_{\text{MIN}2} = z_{\text{min}2} + z_{\text{min}22} + z_{\text{min}222} = 0,49 + 0,145 + 0,055 = 0,69 \text{ мм}$$

1.4 Розрахунок режимів різання

1. Операція заготівельна.

Теоретичний час різання:

$$T = \frac{S}{Q}$$

де $Q = 45 \text{ см}^2/\text{хв}$ – продуктивність (вибирається за довідниковими даними)

$S1$ – площа поперечного перерізу:

$$S1 = 29 \cdot 132 = 3828 \text{ мм}^2 = 38,28 \text{ см}^2$$

$$T = \frac{S1}{Q} = \frac{38,28}{45} = 0,85 \text{ хв}$$

Величина подачі:

$$s = \frac{132}{0,85} = 155,3 \text{ мм/хв}$$

2. Операція шліфувальна чорнова.

Частота обертання круга:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 50}{\pi \cdot 80} = 198,94 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \approx 200 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$\text{де } v = 3000 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Повздовжня подача:

$$S_{\text{пов}} = (0,25 \dots 0,3) \cdot H = 0,25 \cdot 20 = 5 \text{ мм/об}$$

де H — ширина круга;

Хвилинна подача:

$$S = S_{\text{пов}} \cdot n = 5 \cdot 200 = 1000 \text{ мм/хв}$$

3. Операція свердлильна.

Інструмент — свердло $\varnothing 8$:

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 16}{\pi \cdot 8} = 636,613 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \approx 640 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Подача:

$$S = S_{\text{об}} \cdot n = 0,08 \cdot 640 = 51,2 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$$

Інструмент – свердло Ø8,5:

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 15}{\pi \cdot 8,5} = 561,798 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \approx 562 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Подача:

$$S = S_{\text{об}} \cdot n = 0,08 \cdot 562 = 44,96 \frac{\text{мм}}{\text{хв}} = 45 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$$

Режими різання на кожній операції технологічного процесу наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Режими оброблення

№	Верстат	Інструмент	Подача, мм/хв	Кількість обертів, об/хв	Швидкість, м/хв
05	PMS 650/700 ACN Pilana	Твердо сплавна стрічкова пила Lenox Armor VP. - ширина 34 мм; - товщина 1,07 мм; - крок зуба 2/3;	155,3	-	55

Продовження таблиці 1.2

№	Верстат	Інструмент	Подача, мм/хв	Кількість обертів, об/хв	Швидкість, м/хв
10	Zenitech M7150/M7 163	Шліфувальний круг Ø80 мм. Абразивний матеріал: еклектрокорунд нормальний. Зернистість - 33.	18 м/хв 0,05 мм/подв. хід	8000	35м/с
15	HAAS VF- 2	Фреза торцева Ø30 мм	0,15 мм/зуб	430	40
25	BO T 130 CNC	Свердло Ø8 мм	51,2	640	16
		Свердло Ø8,5 мм	45	562	15
30	HAAS VF- 2	Центрувальне свердло Ø4	30	2670	34
		Свердло Ø4	48	1210	15,2
		Свердло Ø6	49	810	15,2
		Свердло Ø6,8	48	710	15,1
		Свердло Ø8	51,2	640	16
		Свердло Ø12	48	400	15
		Свердло Ø14	49	350	15,4
		Свердло Ø20	48	240	15
		Фреза Ø8	30	1330	33,4
		Фреза Ø4	30	2670	33,6
		Фреза Ø 2	30	3560	22,4
		Фасочна фреза Ø10	500	5000–	157,1
		Фасочна фреза Ø3	333,3	5000	47,1

Продовження таблиці 1.2

№	Верстат	Інструмент	Подача, мм/хв	Кількість обертів, об/хв	Швидкість , м/хв
40	Zenitech M7150/M71 63.	Шліфувальний круг Ø80 мм. Абразивний матеріал: електрокорунд нормальний. Зернистість - 13.	18 м/хв 0,05 мм/подв. хід	8000	35м/с

1.5 Розробка керуючої програми

Згідно з технологічним процесом виготовлення матриці прес-форми розроблено керуючу програму для операції «30 – Багатоцільова».

Графічне зображення технологічного процесу на даній операції з траєкторіями оброблення наведено в додатку.

У стандартній версії Autodesk Inventor 2019 Professional можливість написання керуючої програми відсутня. Тому для вирішення цієї задачі слід встановити додатковий САМ-модуль для даного програмного забезпечення, а саме Inventor CAM (HSM).

Послідовність написання програми обробки:

- 1) Задаємо систему координат XYZ. (рис. 1.2);
- 2) Обираємо інструмент (рис. 1.3);.
- 3) Вводимо режими різання (рис. 1.4);
- 4) Обираємо площі оброблення;
- 5) Симуляція процесу обробки;

На рисунках показано розробку операції фрезерування кінцевою фрезою, що досліджувалась у дипломному проекті.

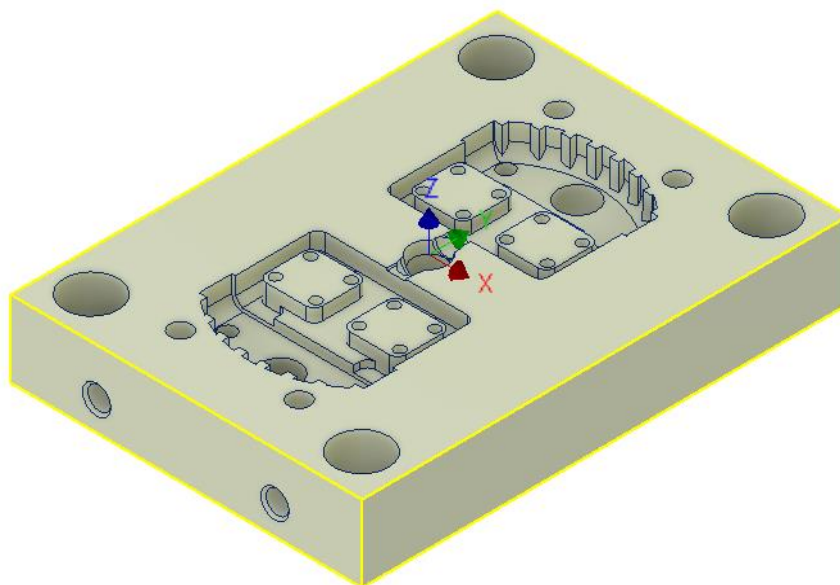


Рисунок 1.2 – Визначення системи координат

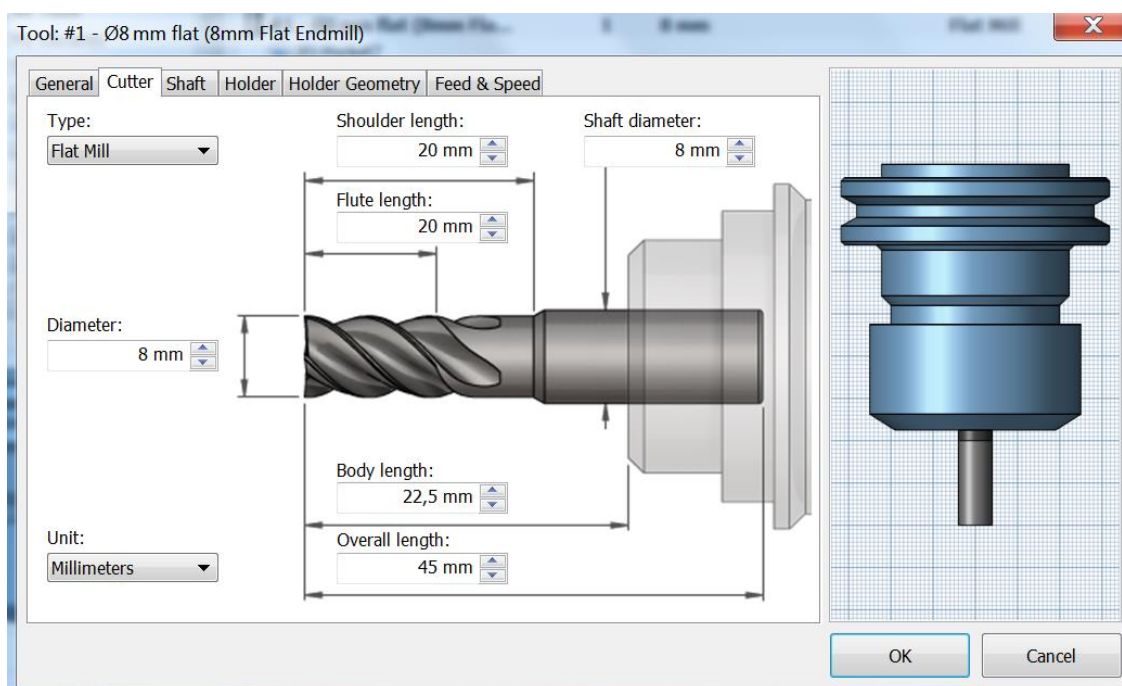


Рисунок 1.3 – Вибір інструмента

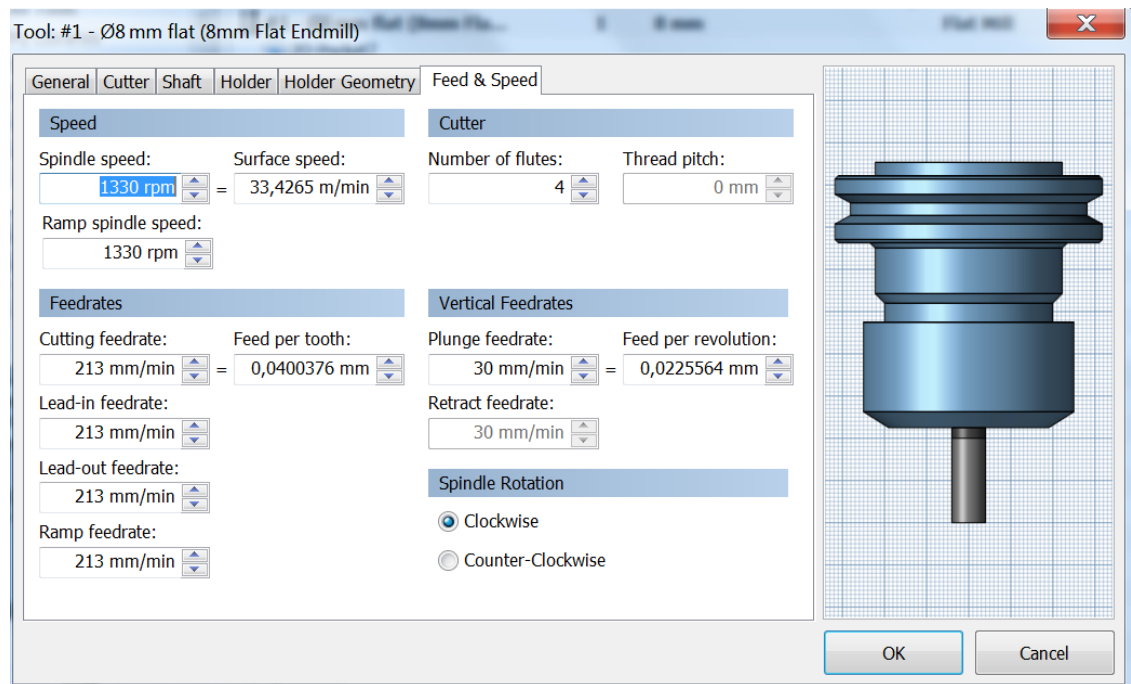


Рисунок 1.4 – Введення режимів різання

На рис.1.5, 1.6 наведено траєкторії оброблення найвідповідальніших формоутворюючих поверхонь деталі за допомогою кінцевої фрези.

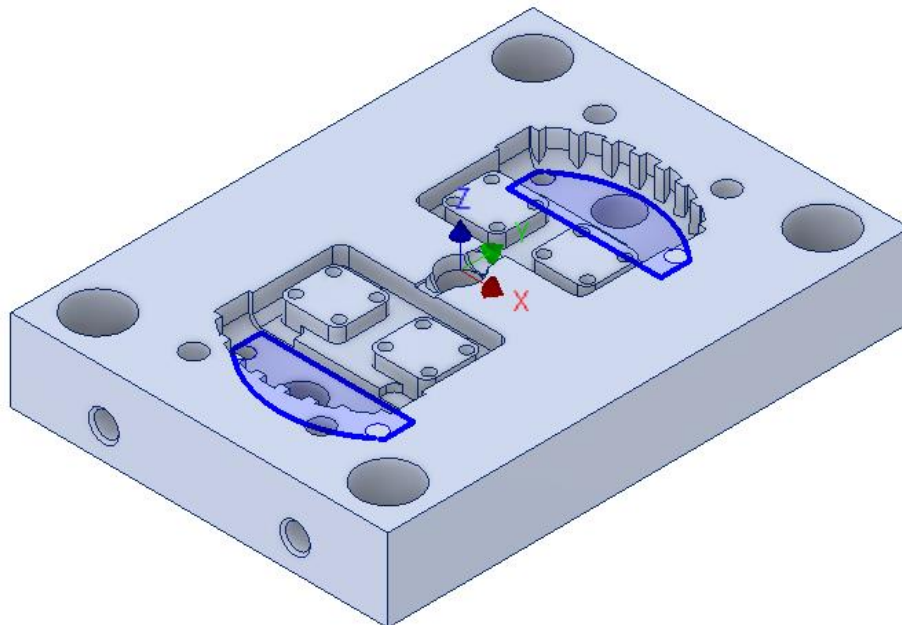


Рисунок 1.5 – Площі обробки

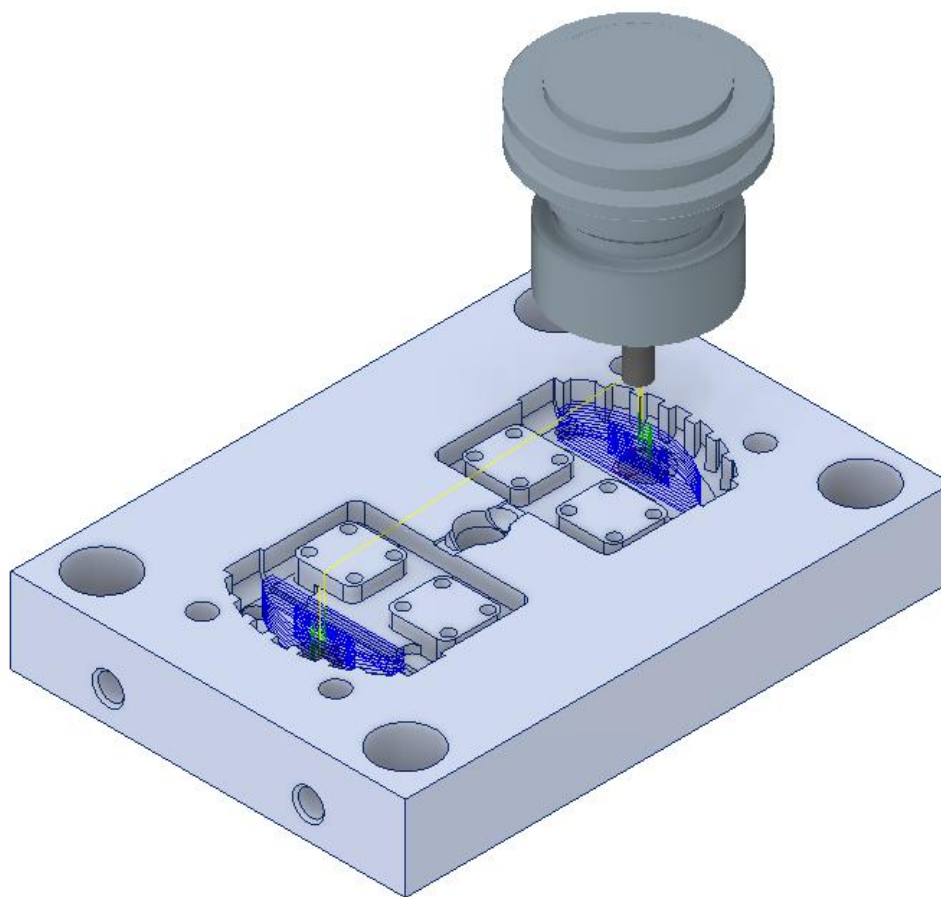


Рисунок 1.6 – Траєкторія обробки

В додатку також наведено програмний код для виконання операції «30 – Багатоцільова».

Повністю дерево обробки буде виглядати як на рис. 1.8.

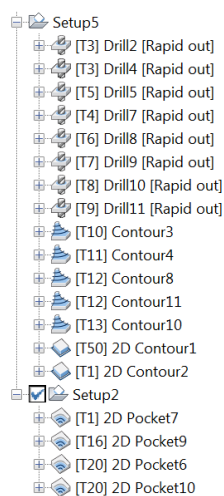


Рисунок 1.8 – Дерево обробки

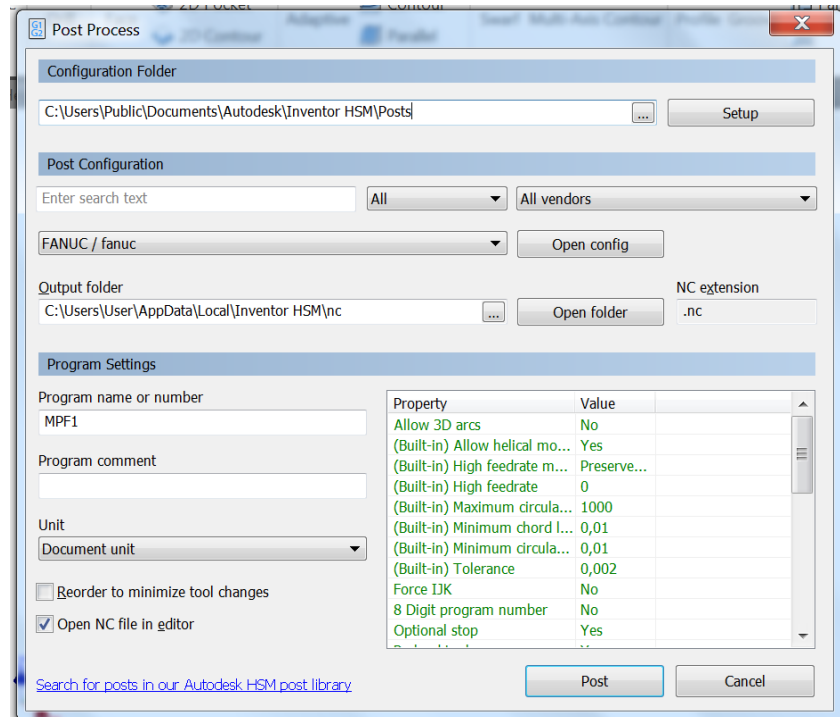


Рисунок 1.9 – Post Process

Згідно завдання необхідно розробити конструкцію фрези кінцевої для чорнового оброблення найвідповідальніших формоутворюючих поверхонь матриці на операції «30 – Багатоцільова».

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗИ

2.1 Аналіз конструктивних елементів фрези

Згідно завдання необхідно спроектувати кінцеву фрезу для чорнового оброблення матриці зі сталі 40Х13.

На точність, швидкість та якість обробки впливають режими різання, виникаючі вібрації, температура у зоні різання. Для максимально доцільного вибору та проектування фрези слід дослідити патенти, ГОСТи, каталоги, літературу довідкового плану тощо.

Висновком дослідження стало те, що зміни до конструкції кінцевої твердосплавної фрези можна розробити у наступних аспектах:

- конструктивне виконання (суцільні та складені);
- кут нахилу гвинтової канавки;
- напрямок нахилу гвинтової канавки;
- окружний крок зубів;
- форма зуба;
- спосіб подачі ЗОР (змащувально-охолоджуючої рідини).

2.1.1 Конструктивне виконання фрези

Кінцеві фрези можуть виготовлятися суцільними з твердого сплаву або складеними, тобто хвостовик виготовляється зі сталі, наприклад 40Х, та приєднуються напаюванням до різальної частини фрези [2].

Основною перевагою складеної кінцевої фрези є економія матеріалу, оскільки твердий сплав є більш ціним та дорогим матеріалом, ніж сталь.

В той же час існує декілька недоліків, які спонукають виробляти кінцеві фрези саме суцільними з твердого сплаву:

- неоднорідність матеріалів різальної частини та хвостовика впливають на витримку фрези при навантаженнях, тобто суцільний інструмент володіє більшими високими критеріями міцності та зносостійкості.
- складність технології, іншими словами сучасні методи виготовлення кінцевих фрез містять у собі доволі просто технологію (робляться суцільні прутки, які проходять спочатку термообробку, а потім кріпляться у патроні на верстаті з ЧПК та обробляються шліфувальним кругами без перестановок).

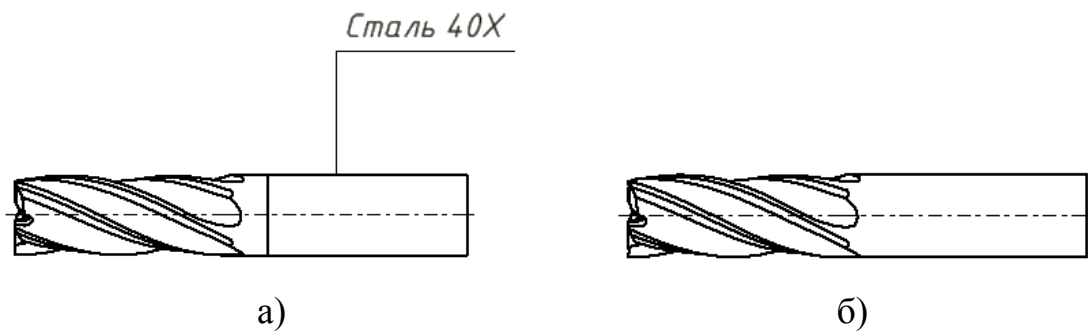


Рисунок 2.1 – Суцільність фрези

а) з припаяним хвостовиком; б) суцільна

2.1.2 Кут нахилу гвинтової канавки

Величина кута нахилу гвинтової канавки залежить від характеристик оброблюваного матеріалу. Наприклад, для алюмінію - більш м'якого, отже легшого в обробці матеріалу, кут нахилу гвинтової канавки може братися більший, але коли говориться про обробку сталі, то цей кут береться навпаки меншим.

Стандартні фрези виконуються з однаковим кутом ω по всій довжині ріжучої частини та вони призначені для обробки якогось одного типу матеріалу, але для універсальності кінцевої фрези можна зробити цей кут змінним, що дозволить розширити спектр оброблюваних типів матеріалів та покращити умови обробки.

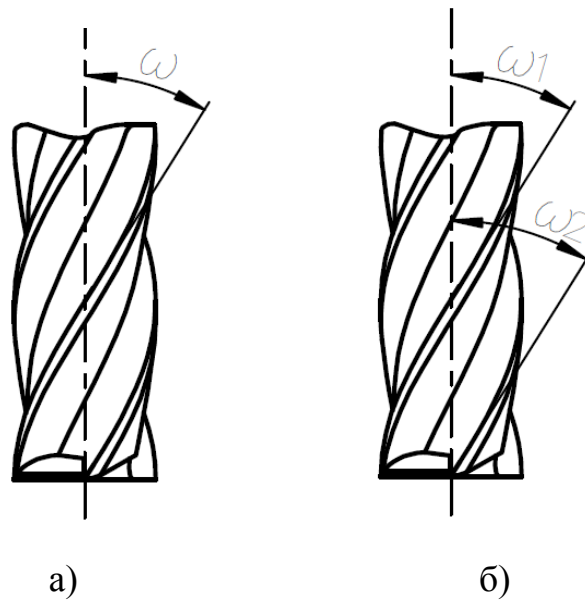


Рисунок 2.2 – Кут нахилу гвинтової канавки

а) постійний; б) змінний

В табл. 2.1 наведені переваги та недоліки змінного і постійного кута нахилу гвинтової канавки кінцевої фрези [3].

Таблиця 2.1 – Особливості кута нахилу гвинтової канавки [3]

Кут ω	Переваги	Недоліки
постійний	більш легка геометрія фрези;	фреза призначена для оброки одного типу матеріалів; поганий відвід стружки при обробці міцних матеріалів;
змінний	більш широкий спектр можливостей регулювання режимів різання для зменшення вібрації; дозволяє обробляти матеріали різних типів; покращений відвід стружки при фрезеруванні міцних та надміцних матеріалів (відсутність пакетування стружки);	фреза більш складніша у проектуванні;

2.1.3 Напрямок нахилу гвинтової канавки.

При обробці пазів кінцевою фрезою стружку необхідно відводити вгору по гвинтовій канавці фрези, щоб вона не псувала оброблену поверхню і не викликала злами зубців фрези. Це можливо лиш у випадку, коли напрям гвинтової канавки співпадає з напрямом обертання фрези. Проте осьова складова сили різання при цьому буде направлена вниз і намагається виштовхнути фрезу з гнізда шпинделя. Тому при обробці пазів кріплення фрези приходить виконувати більш надійно, ніж, наприклад, при обробці кінцевою фрезою відкритої поверхні. [4, с.52]

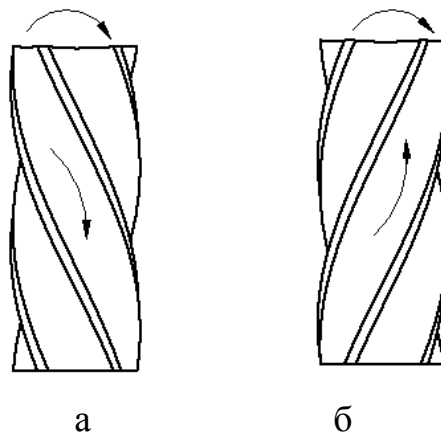


Рисунок 2.3 Напрямок гвинтової канавки:

а) за годинниковою стрілкою; б) проти годинникової стрілки

2.1.4 Окружний крок зубів

Основною проблемою фрезерування є виникнення вібрацій при обробці. Це виникає внаслідок того, що зубці фрези працюють не одночасно. При рівномірному розташуванні зубів на один зуб йде велике навантаження, а інший зовсім не працює. Для вирішення цієї проблеми необхідно зробити окружний крок зубів нерівномірним, це дозволить покращити чистоту обробки та подовжити ресурс самої фрези. Ці зміни у конструкцію кінцевих фрез запропонував наладчик-новатор В.Я. Карасьов.

Більш детальний перелік переваг та недоліків постійного і перемінного окружного кроку фрези наведено у таблиці 1.5[5].

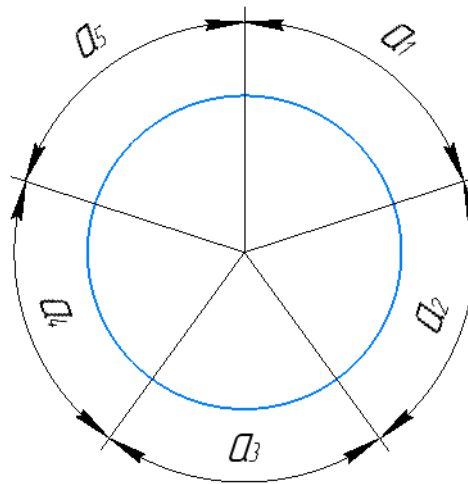


Рисунок 2.4 – Окружний крок зубців фрези

Таблиця 2.5 – Варіанти виконання окружного кроку фрези[5]

Окружний крок зубів фрези	Переваги	Недоліки
постійний	фреза простіша у проектуванні;	велика вібрація;
змінний	можлива більша ширина різання; можливий більший виліт фрези; значне зменшення вібрації;	при великій кількості зубів неможливо забезпечити нерівномірність їх розташування;

2.1.5 Форма зуба

Зуби трапецеподібні (рис. 2.5,а) найбільш прості, але не міцні, для важких робіт непридатні, робляться тільки у фрез, призначених для чистового фрезерування.

Параболічний зуб (рис. 2.5,в) є балкою рівного опору вигину в будь-якому поперечному перерізі і є найбільш раціональним для важко навантажених, що застосовуються для чорнового фрезерування.

Замінивши параболу ламаною лінією (рис. 2.5,б), утворюють посилений зуб, який по міцності мало поступається параболічного, але отримав більш широке поширення, тому що його простіше виготовити. З посиленим зубом роблять фрези для чорнових робіт.[6]

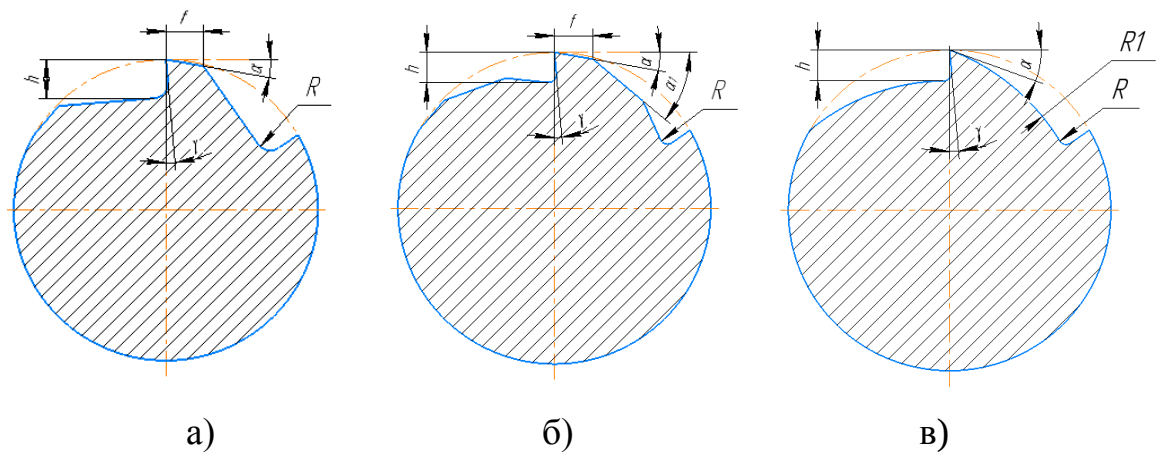


Рисунок 2.5 – Форма зуба фрези

а) трапецеподібна; б) ламана; в) параболічна

2.1.6 Спосіб подачі ЗОР

Внутрішня подача ЗОР дозволяє більш ефективно охолоджувати інструмент в процесі роботи, що є основною перевагою.

Щоб реалізувати це необхідно розробити внутрішні канали в самому інструменті, що є доволі складною та дорогою задачею. Тому у більшості випадків використовують зовнішню подачу ЗОР, недоліком такого варіанту є те, що охолодження в повній мірі не відбувається, оскільки рідина не попадає на усі ділянки зони різання.

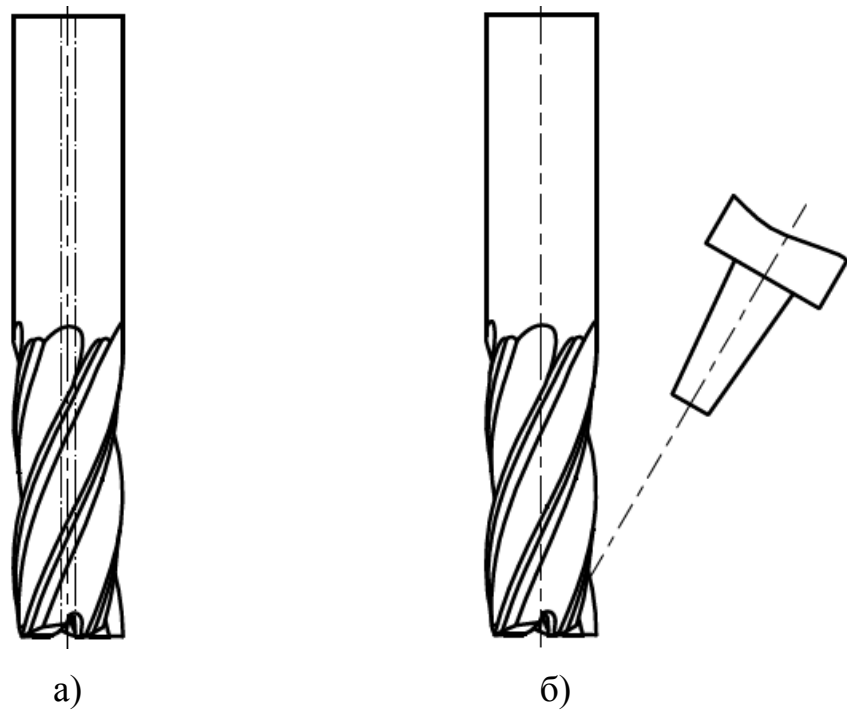


Рисунок 2.5 – Подача ЗОР

а) внутрішня; б) зовнішня

2.2 Синтез конструкції фрези кінцевої

Згідно проведеного аналізу конструктивних елементів кінцевих фрез, відповідно до заданих умов: чорнове оброблення деталі із жароміцної сталі 40X13 на верстаті з ЧПУ, приймаємо наступне конструктивне виконання кінцевої фрези:

- фреза – суцільного конструктивного виконання;
- кут нахилу гвинтової канавки – змінний;
- напрям нахилу гвинтової канавки – проти годинникової стрілки;
- окружний крок зубів – нерівномірний;
- форма зуба – ламана;
- подача ЗОР – зовнішня.

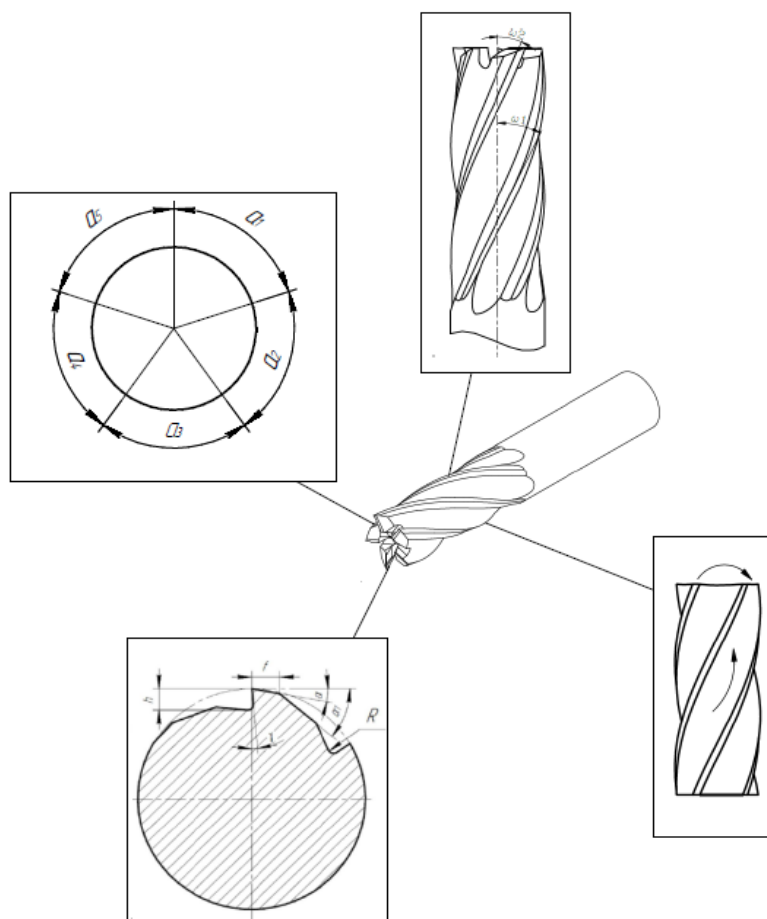


Рисунок 2.6 – Синтез конструкції фрезы

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗИ

3.1 Вибір матеріалу фрези

Фреза, як встановлено вище, повинна виготовлятися суцільною з твердого сплаву, відповідно, слід визначитись з маркою сплаву. Це можна зробити дослідивши області застосування твердих сплавів та їх фізичні властивості.

Оброблюваний матеріал – нержавіюча легована конструкційна сталь 40X13. Марки твердих сплавів, які рекомендовані для обробки даного типу сталей наведено в табл. 2.1, їх фізичні властивості – у табл. 2.2.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад твердих сплавів

Марка	Карбід вольфраму WC, %	Карбід титану TiC, %	Карбід танталу NaC, %	Металевий кобальт Co, %
BK8	92	-	-	8
T14K8	78	14	-	8
TT10K8	82	3	7	8
TT20K9	71	8	12	9

Таблиця 3.2 – Фізичні характеристики твердих сплавів

Марка	Границя міцності при згині $\sigma_{зг}$, кгс/мм ²	Густина ρ , г/ см ³	Твердість HRA, не менше
BK8	165	14,6 – 14,8	88
T14K8	130	11,2 – 11,6	89,7
TT10K8	165	13,5 – 13,8	89
TT20K9	150	12,0 – 12,5	91

Відповідно до наведених характеристик, для чорнового оброблення матриці зі сталі 40Х13, вибираємо твердий сплав марки Т14К8 за ГОСТ 3882.

3.2 Вибір діаметра фрези

Фреза кінцева, в процесі роботи, повинна виконувати контурну чорнову обробку деталі.

З метою визначення допустимого діаметра чорнової фрези необхідно забезпечити виконання умови (3.1) [7]:

$$\delta, \delta_1 \leq 0,2 \cdot D_{\text{чист}}, \quad (3.1)$$

де δ, δ_1 – припуски для чистової та чорнової обробки (рис. 3.1);

$D_{\text{чист}}$ – діаметр чистової фрези.

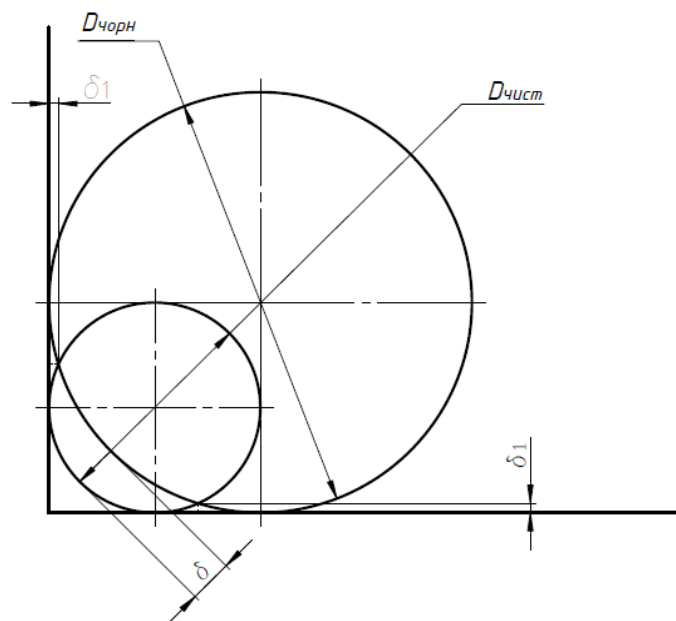


Рисунок 3.1 – Схема до визначення діаметру фрези

Якщо прийняти, що діаметр чорнової фрези $D_{\text{чорн}} = 8$ мм, а діаметр чистової фрези $D_{\text{чист}} = 4$ мм, то припуски будуть становити [7]:

$$\delta_1 = 0,204 \text{ мм}$$

$$\delta = 0,825 \text{ мм}$$

Тоді за залежністю (3.1) отримаємо:

$$0,2 \cdot D_{\text{чист}} = 0,2 \cdot 4 = 0,8 \text{ мм}$$

$$\delta_1 = 0,204 \text{ мм} < 0,8$$

$$\delta = 0,825 \text{ мм} \approx 0,8$$

Таким чином, приймаємо діаметр кінцевої фрези 8 мм.

3.3 Геометричні параметри фрези

3.3.1 Рекомендовані геометричні параметри фрези

1. Кут нахилу гвинтової канавки.

У попередньому розділі, зважаючи на усі переваги та недоліки кут нахилу гвинтової канавки був обраним змінним. Цей кут для кінцевих фрез з нормальним зубом дорівнює $30 \dots 35^\circ$ [2].

2. Геометрія зуба на периферії.

Головними геометричними параметрами зуба на периферії є передній кут γ та задній кут α . Від цих кутів залежать режими різання при обробці, тому їх вибір є надважливим. Аналізуючи різні літературні джерела (підручники, довідники, ГОСТи) можна зробити висновок, що діапазони цих кутів дуже сильно відрізняються, тому необхідно обрати такі значення, які будуть найбільш оптимальними при обробці того чи іншого матеріалу, а саме сталі 40X13. Рекомендовані значення переднього та заднього кутів подано у табл. 1.2.

3. Геометрія зуба на торці

Особливо зручні кінцеві фрези, які мають різальні зубці не тільки на периферії, але й на торці. Така фреза може працювати з осьовою подачею, врізаючись у суцільний метал. [8, с.167] Єдиним недоліком даної конструктивної особливості є більш довга і складніша технологія

виготовлення інструменту. Рекомендовані значення переднього та заднього кутів на торці подано у табл. 1.3.

Таблиця 3.3 – Значення передніх та задніх кутів на периферії

Параметр	Величина, град	Джерело
Передній кут, γ	6	[2]
	6...8	[8, с.168]
	10...15	[9, с.292]
Задній кут, α	15	[2]
	18...20	[8, с.169]
	14...25	[9, с.292]

Таблиця 3.4 – Значення передніх та задніх кутів на торці

Параметр	Величина, град	Джерело
Передній кут, γ	6	[2]
	6...8	[8, с.168]
	10...15	[9, с.292]
Задній кут, α	10	[2]
	10	[8, с.168]
	14...25	[9, с.292]

4. Окружний крок

Окружний крок прийнято нерівномірним, відповідно до ГОСТ 18372 для діаметра фрези $d=8\text{мм}$ та кількості зубів $z=5$ прийнято наступні величини окружних кроків: $a_1 = 68^\circ$, $a_2 = 72^\circ$, $a_3 = 76^\circ$, $a_4 = 68^\circ$, $a_5 = 76^\circ$.

3.3.2 Визначення геометричних параметрів фрези

Відповідно до того, що величини геометричних параметрів інструмента для оброблення одного матеріалу різняться між собою, постає задача визначення певних їх значень, на основі визначення їх впливу на роботу інструмента, тобто на сили різання.

1. Методика визначення сил різання

Для розрахунку сил різання використано метод А.С. Верещаки [10].

Оскільки фреза працює на врізання у заготовку, слід досліджувати сили різання на торцевих зубцях, оскільки сили різання там значно більші, ніж на периферії.

Даний розрахунок поданий для торцевих фрез, але він цілком може бути використаний для дослідження сил різання на торцевій поверхні фрези.

На торцеву частину фрези діють тільки дві сили: P_v – вертикальна, P_h – горизонтальна, які визначаються залежностями [10]:

$$P_h = \left| s_B \cdot b \cdot s_z \cdot (K_v \cdot \sin(\theta)^2 \cdot \sin(\psi) + 0,5 \cdot K_\xi \cdot \sin(2 \cdot \theta)) + \sigma_B \cdot b \cdot h_3 \cdot \left(\sin(\theta) + \mu \cdot \left(K_\xi \cdot \frac{s_z}{b} + \frac{1}{\sin(\varphi)} \right) \cdot \cos(\theta) \right) \right|, \text{ Н} \quad (3.2)$$

$$P_v = \left| s_B \cdot b \cdot s_z \cdot (K_\xi \cdot \sin(\theta)^2 - 0,5 \cdot K_v \cdot \sin(2\theta) \cdot \sin(\psi)) - \sigma_B \cdot b \cdot h_3 \cdot \left(\cos(\theta) - \mu \cdot \left(K_\xi \cdot \frac{s_z}{b} + \frac{1}{\sin(\varphi)} \right) \right) \right|, \text{ Н} \quad (3.3)$$

де s_B – дійсна границя міцності оброблюваного матеріалу:

$$s_B = 1,2 \cdot \sigma_B;$$

σ_B – границя міцності (для сталі 40Х13 $\sigma_B = 600 \text{ МПа}$);

b – товщина зрізаного шару (глибина різання на торцевій частині фрези $b = 0,25 \text{ мм}$);

μ – коефіцієнт тертя карбіду вольфраму по сталі (0,4...0,6 [11]);

s_z – подача на зуб, мм/зуб;

D – діаметр фрези, мм;

e – величина припуску, що знімається фрезою, мм: ($e = s_z$);

h_z – знос фрези (за ГОСТ 18372-73 для діаметрів 6...10мм; $h_z = 0,35$ мм)

φ – кут в плані ($\varphi = 90^\circ$).

Схема дії сил різання на зубець зображено на рис. 3.2

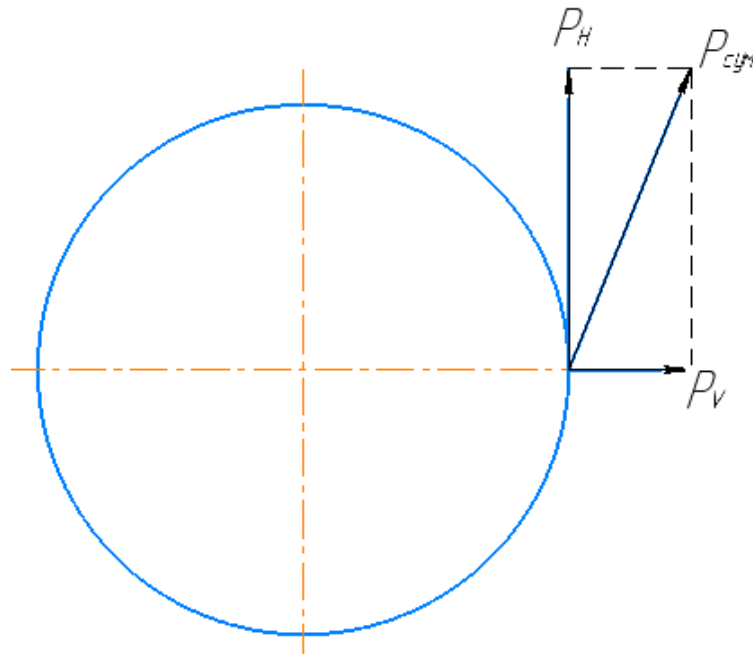


Рисунок 3.2 – Схема дії сил різання на зубець фрези

Кут контакту фрези з заготовкою [12]:

$$\theta = 2 \cdot \arccos \left(1 - 2 \cdot \frac{e}{D} \right) \quad (3.4)$$

Кількість зубців, що знаходяться в контакті:

$$z_P = INT \left[\theta \cdot \frac{z}{2 \cdot \pi} + 1 \right] \quad (3.5)$$

Товщина зрізаного шару:

$$a = s_z \cdot |\sin(\theta)| \quad (3.6)$$

Кут ψ визначається залежністю:

$$\psi = \text{arcctg} \left(\text{ctg}(\varphi) + S_z \cdot \frac{\sin(\theta)}{b} \right) \quad (3.7)$$

Питомі сили стружкоутворення [10]:

$$K_\xi = \tau \cdot \frac{\cos(\text{arctg}(\mu - \gamma))}{S_B \cdot (\cos(\varphi_y + \text{arctg}(\mu) - \gamma \cdot \sin(\varphi_y)))} \quad (3.8)$$

$$K_v = \tau \cdot \frac{\sin(\text{arctg}(\mu - \gamma))}{S_B \cdot (\cos(\varphi_y + \text{arctg}(\mu) - \gamma \cdot \sin(\varphi_y)))} \quad (3.9)$$

Кут вектору дії контактних напружень:

$$\varphi_y = \text{arctg} \left(\frac{\cos(\gamma)}{K - \sin(\gamma)} \right) \quad (3.10)$$

Коефіцієнт усадки стружки:

$$K = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin(\beta)} \quad (3.11)$$

Кут загострення:

$$\beta = 90^\circ - \gamma - \alpha \quad (3.12)$$

Сумарна сила різання дорівнює:

$$P_{\text{сум}} = \sqrt{(P_h)^2 + (P_v)^2} \quad (3.13)$$

Сили різання визначено для значень кутів та подачі у таких діапазонах:

- передній кут $\gamma = 6 \dots 15^\circ$;
- задній кут $\alpha = 12 \dots 25^\circ$;
- подача $s_z = 0,02 \dots 0,15 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$.

Результати розрахунку складових сили різання, за наведеними залежностями в досліджуваному діапазоні змінних факторів, наведено в табл. 3.5 та на рис. 3.3.

Таблиця 3.5 – Сили різання, що виникають в процесі роботи фрези

Досліджуваний параметр		Сили різання, Н		
позначення	величина	P_v	P_h	$P_{\text{сум}}$
Передній кут γ , град	8	6,37	62,766	63,088
	10	15,418	49,791	52,123
	12	18,44	45,451	49,05
	15	20,443	42,567	47,221
Задній кут α , град	12	49,861	142,201	150,69
	15	6,37	62,766	63,088
	20	16,759	48,089	50,925
	25	19,715	43,912	48,135
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,02	6,37	62,766	63,088
	0,05	25,246	116,689	119,388
	0,1	86,691	213,882	230,783
	0,15	161,124	314,742	353,587

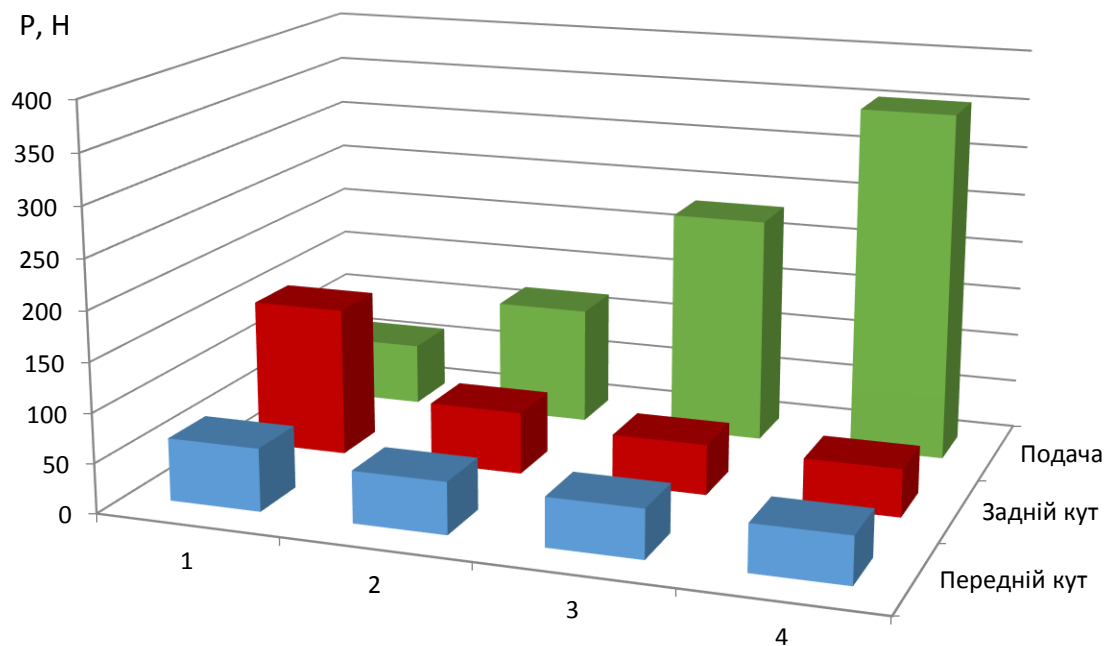


Рисунок 3.3 – Залежність сил різання від геометричних параметрів та подачі

2. Аналіз напружень від дії сил різання.

Для аналізу напружень та зміщень, які виникають в тілі фрези під дією сил різання, скористаємося програмним забезпеченням Autodesk Inventor Professional 2019.

Для аналізу розробляються 3D-моделі кінцевої фрези з відповідними геометричними параметрами та проводяться розрахунки напружень та зміщень під дією сил різання, в Autodesk Inventor.

У розділі «Аналіз напружень» зафіксуємо фрезу (за хвостовик) (рис. 3.4,а.) та прикладемо зусилля різання до переднього поверхні фрези на торцевій частині, відповідно до визначених величин (рис. 3.4,б.), розбиваємо на скінчено-елементну сітку та виконуємо розрахунок.

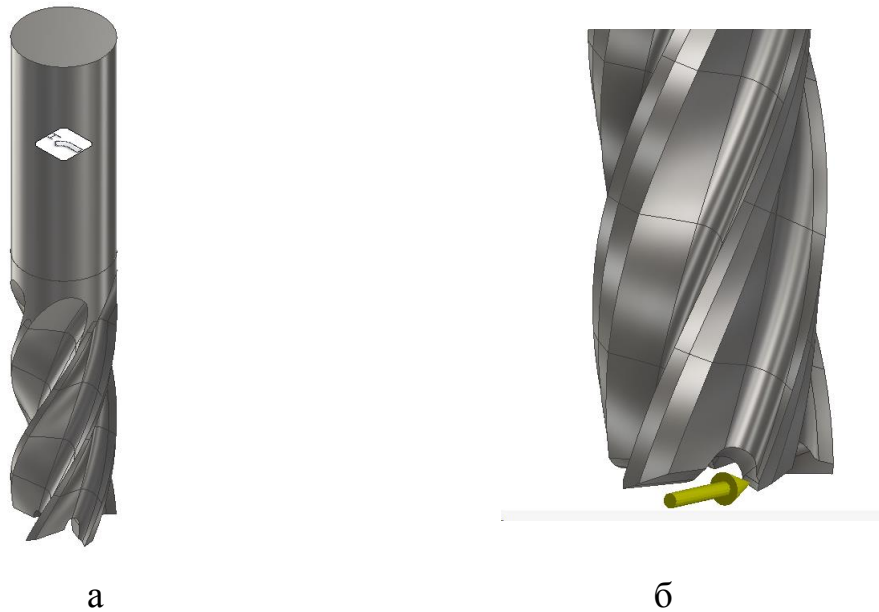


Рисунок 3.4 – Схема закріплення фрези та прикладання сил
а – схема фіксації фрези; б – схема прикладання сили різання

В процесі розрахунків отримаємо результат у вигляді розподілу напружень по Мізесу та зміщень тіла досліджуваної фрези під дією прикладених сил.

Критерій максимального напруження по Мізесу ґрунтується на теорії Мізеса-Хенкі, також відомій як теорія енергії формо змінення – для головних напружень $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ напруження по Мізесу виражаються як [13]:

$$\sigma_{vonMises} = \left(\frac{((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2)}{2} \right)^{1/2} \quad (3.14)$$

Теорія стверджує, що пластичний матеріал починає руйнуватися у місцях, де напруження по Мізесу дорівнюватиме граничному напруженню. В більшості випадків, границя текучості використовується в якості граничного напруження [13].

На рис. 3.4, 3.5 зображено один з результатів розрахунку модуля «Аналіз напружень», а саме напруження по Мізесу та зміщення, відповідно, що

виникають у фрезі в процесі обробки при наступних параметрах: $\gamma = 8^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $s_z = 0,02$ мм/зуб.

Сили різання, прикладені до зубця фрези, що відповідають досліджуваним параметрам відповідають даним табл. 3.5.

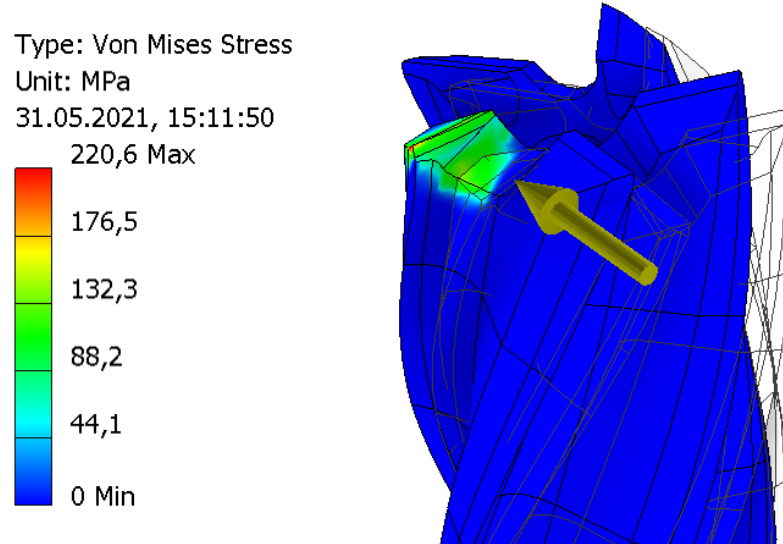
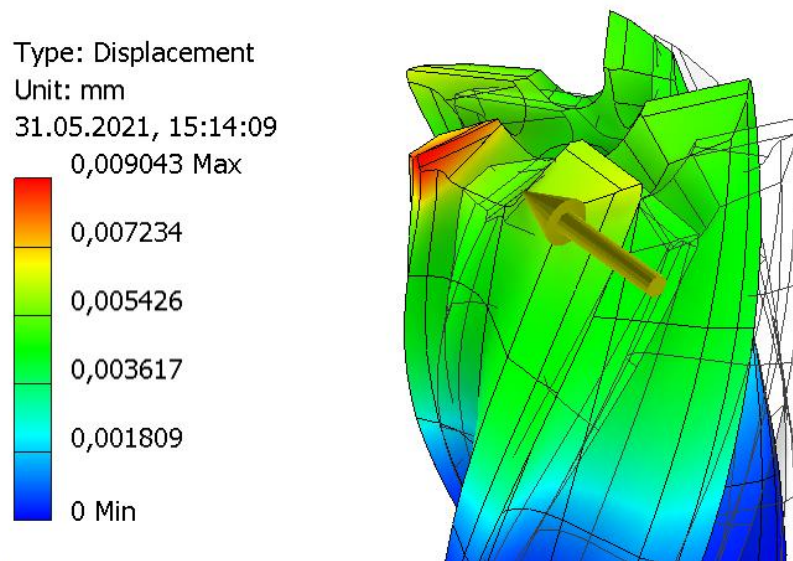


Рисунок 3.4 – Результати розрахунків – напруження по Мізесу, МПа



б

Рисунок 3.5 – Результати розрахунків – зміщення, мм

Результати аналізу напружень та зміщень кінцевої фрези наведені у табл. 3,6 та на рис. 3.6, 3.7.

Таблиця 3.6 – Залежність напружень та зміщення

Досліджуваний параметр		Напруження $\sigma_{\text{Міз}}$, МПа	Зміщення Δ , мм
позначення	величина		
Передній кут γ , град	8	240,3	0,009021
	10	157,5	0,007288
	12	173,7	0,00682
	15	212,2	0,006579
Задній кут α , град	12	425,6	0,02084
	15	240,3	0,009021
	20	181,6	0,007175
	25	200,3	0,006875
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,02	240,3	0,009021
	0,05	424,9	0,01687
	0,1	697,5	0,03187

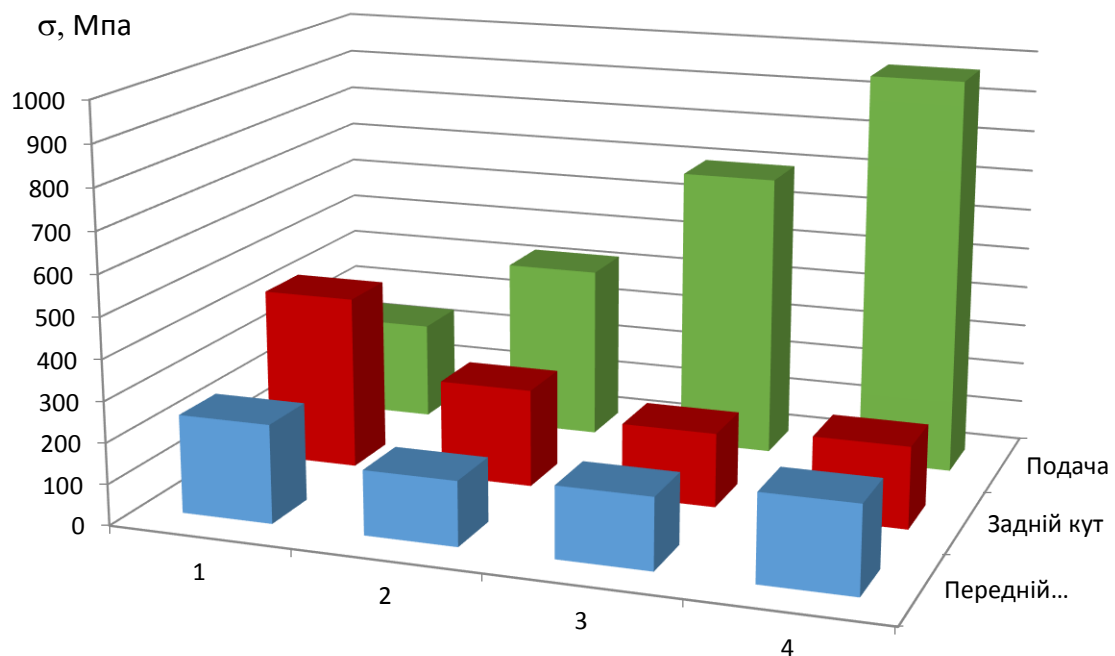


Рисунок 3.6 – Залежність напруження від геометричних параметрів та подачі

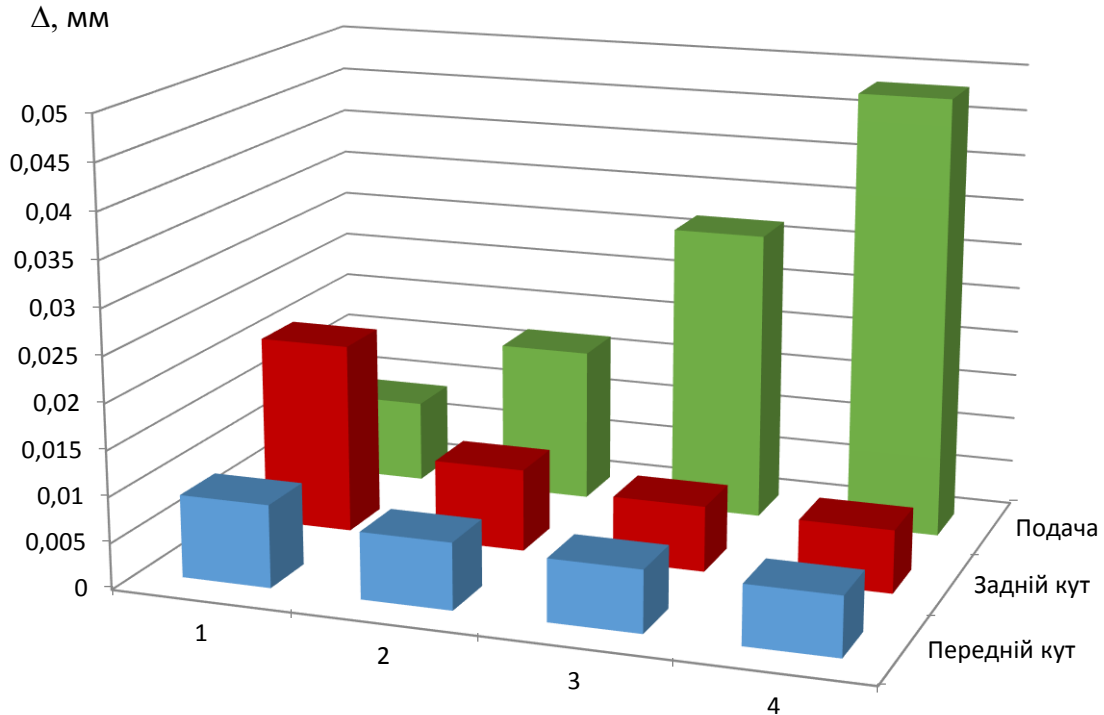


Рисунок 3.7 – Залежність зміщення від геометричних параметрів та подачі

З графіків (рис. 3.3, 3.6, 3.7) видно, що сила різання, напруження та зміщення при збільшенні переднього майже не змінюються, заднього кута – зменшуються, подачі на зуб – збільшуються.

Висновком даного аналізу є те, що найбільший вплив на сили різання, напруження та зміщення має подача на зуб. Прийняте значення $s_z = 0,02$ мм/зуб не є максимально допустим, отже даний параметр можна цілком збільшувати.

В свою чергу прийняті параметри $\gamma = 8^\circ$ та $\alpha = 15^\circ$ є цілком допустимими, фреза цілком витримує прикладені навантаження.

3.4 Технічні вимоги на виготовлення кінцевої фрези

Вимоги до шорсткості:

- передньої і задньої поверхні головних різальних кромки – Ra 1,6;

- циліндричної поверхні хвостовика – Ra 0,63;
- поверхні допоміжних різальних кромок і поверхні фасок – Rz 3,2;
- інших поверхонь – Rz 20.

Вимоги до точності:

- граничні відхилення розмірів фрези не повинні бути більше:
 - а) загальної довжини фрези – h16;
 - б) діаметру робочої частини фрези – js9;
 - в) хвостової частини фрези – h8;
- на задній поверхні фрез вздовж різальних кромок допускається стрічка шириною не більше 0,05 мм.

Допуски форми та розташування:

- допуски радіального і торцевого биття різальних кромок фрез відносно осі поверхні хвостовика не повинні перевищувати 0,02 мм;
- конусність - різниця діаметрів на довжині робочої частини фрез не повинні перевищувати 0,02мм.

3.5. Поновлення працездатності фрези

Кінцеві фрези заточують по переднім і заднім поверхням гвинтових зубів в центрах або в універсальній головці консольно з базуванням на хвостовик.

Передню поверхню гвинтового зуба заточують конічною або тороїдальною поверхнею шліфувального круга, а також кутовою кромкою круга. Заточку конічною стороною круга можна проводити у фрез з кутом нахилу гвинтового зуба $< 20^\circ$. При більших кутах на передній поверхні виникає помітна опуклість, що ускладнює отримання необхідних передніх кутів.

При заточуванні передньої поверхні гвинтового зуба конічною поверхнею круга (рис. 3.8,а) необхідно:

- шліфувальну головку повернути на кут θ_A ;
- круг змістити на величину a .

Кут θ_A повороту головки визначається залежністю [14, с.257]:

$$\theta_A = \arcsin(\sin\omega \cos(\gamma_N + \delta)), \quad (3.15)$$

де ω – кут нахилу гвинтового зуба;

γ_N – передній кут в нормальному перерізі, який визначається:

$$\gamma_N = \arctg(\operatorname{tg}\gamma \cdot \cos\omega);$$

δ – кут профіля круга.

Величина a зміщення круга визначається залежністю [14, с.257]:

$$a = \frac{D}{2} \cdot \frac{\sin(\gamma_N + \delta) \cdot \cos\omega}{\sqrt{1 - \sin^2(\gamma_N + \delta) \cdot \sin^2\omega}} \quad (3.16)$$

При $\omega > 20^\circ$ рекомендується вести обробку передньої поверхні фрези тороїдальним кругом або кутовою кромкою тарілчастого кола. Тороїдальний круг забезпечує досягнення меншої шорсткості заточеної поверхні і має більш високу стійкість. Радіус правки тороїдального кола вибирають за розрахунковими або емпіричними залежностями.

Для вибору параметрів установки круга, що працює кутовою кромкою, використовують спеціальні номограми, які можуть бути використані і для вибору параметрів установки тороїдального кола.

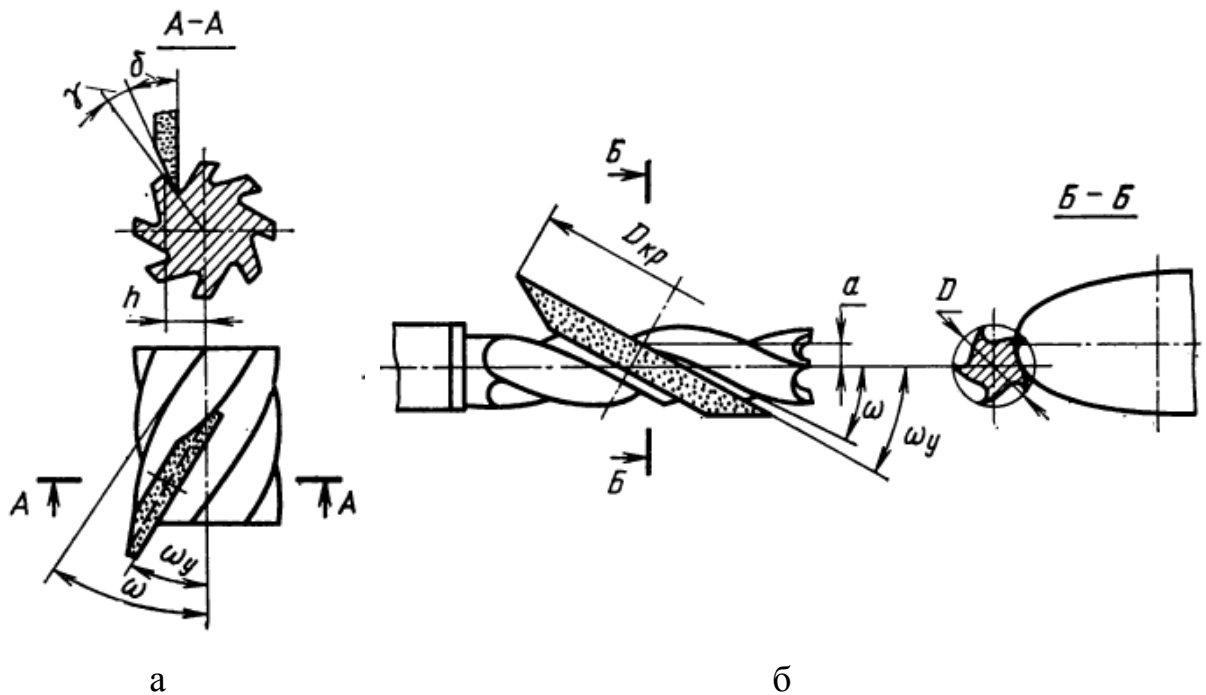


Рисунок 3.8 – Схема заточки передньої поверхні гвинтових зубців фрези:
 а – конічною поверхнею шліфувального круга;
 б – кутовою кромкою шліфувального круга [14, с. 258]

Внаслідок неточностей наладки після заточування першої фрези проводиться уточнення параметрів установки кола:

- якщо $\omega < 20^\circ$ при будь-якому діаметрі круга, а також при $\omega > 20^\circ$ при відносному діаметрі круга $D_{o.кр} = \frac{D_{кр}}{D} \leq 3$, більш ефективним способом збільшення кута γ_N є збільшення поперечного відносного зсуву круга $a_0 = \frac{2a}{D}$.
- якщо $\omega > 20$ при $D_{o.кр} > 3$, для збільшення γ_N необхідно зменшувати $\Delta\omega = \omega_y - \omega$.

Передню поверхню гвинтового зуба заточують при повздовжньому переміщенні столу, притискаючи фрезу в обертальному русі до шліфувального круга.

При заточуванні задньої поверхні гвинтового зуба (рис. 3.9,а) шліфувальну головку повертають на кут ω_y , який визначається залежністю (3.17) [14, с. 258]:

$$\sin \omega_y = \sin \alpha_N \cdot \sin \omega = \sin \alpha \cdot \sin \omega \quad (3.17)$$

або за графіком (рис. 3.9,б).

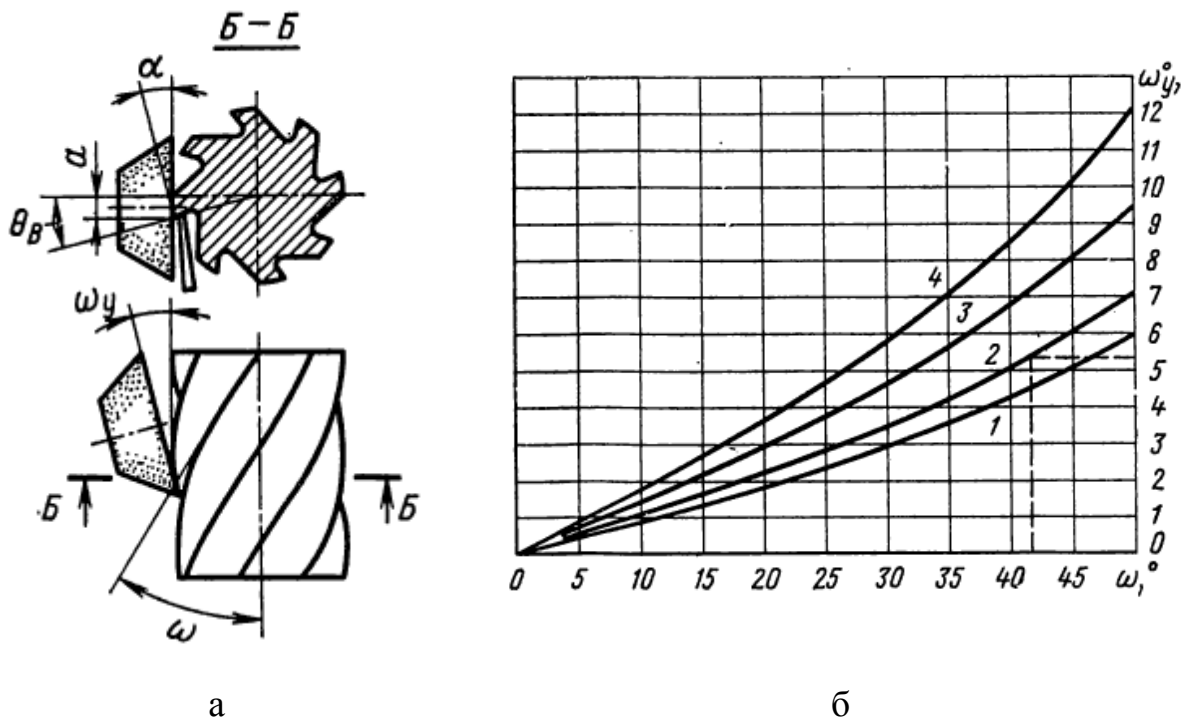


Рисунок 3.9 – Схема заточки задньої поверхні гвинтових зубців фрези (а), залежність кута повороту шліфувального круга від кута нахилу зубців та заднього кута (б): 1 - $\alpha = 3^\circ$; 2 - $\alpha = 6^\circ$; 3 - $\alpha = 8^\circ$; 4 - $\alpha = 10^\circ$. [14, с. 258]

Відповідно до прийнятих, за розрахунками, геометричних параметрів та технічних вимог до інструмента розроблено робочий кресленик кінцевої фрези, який наведено в додатках.

4 РОЗРОБКА ЦАНГОВОГО ПАТРОНУ

В якості пристрою для закріплення кінцевої фрези під час її роботи на верстатах з ЧПК використовують цангові патрони.

Поставлена задача визначення похибки базування в пристрої та перевірити чи достатньо сили закріплення в патроні для надійної роботи інструменту.

4.1 Вимоги до цангових патронів

Вимоги, яким мають задовольняти цангові затискні механізми [15, с.6] полягають в наступному:

- сили закріплення повинні забезпечуватися відповідно до виникаючих сил різання і не допускати переміщення заготовки або інструменту в процесі обробки.
- розміри ланок затискного механізму повинні визначатися з умов їх нормальної роботи при закріпленні заготовок як найменшого, так і найбільшого розмірів.
- похибка базування закріплення заготовок або інструменту повинна бути мінімальною.
- конструкція цангового затискного механізму повинна забезпечувати найменші пружні віджимання в процесі обробки заготовок і володіти високою вібростійкістю.
- деталі цангового затискного механізму і, особливо, затискна цанга повинні володіти високою зносостійкістю.

Схема закріплення інструменту в цанговому патроні наведена на рис. 4.1.

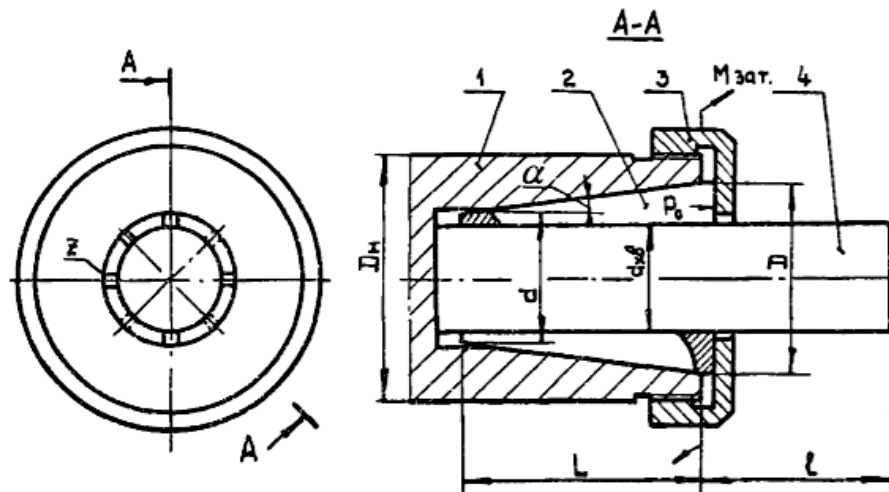


Рисунок 4.1 – Схема кріплення інструменту в цанговому патроні [16, с.78]

4.2 Розрахунок похибки базування

Базування фрези в цанговому патроні відбувається відповідно до схеми, наведеної на рис. 4.2.

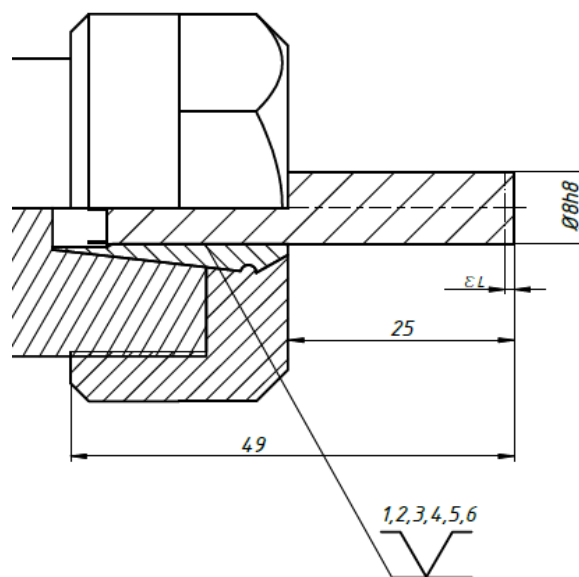


Рисунок 4.2 – Схема базування

При цьому похибка базування визначається за залежністю:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = \varepsilon_L + \varepsilon_{\text{рад.бит.}} \quad (4.1)$$

де ε_L – похибка по довжині;

$\varepsilon_{\text{рад.бит.}}$ – похибка радіального биття;

Похибка по довжині ε_L визначається:

$$\varepsilon_L = \frac{IT}{2} \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad (4.2)$$

IT – величина допуску (допуск для $\varnothing 8h8$ становить $IT = 0,022$ мкм).

Таким чином, похибка по довжині становить:

$$\varepsilon_L = \frac{0,022}{2} \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{6,57^\circ}{2} \right) = 0,19 \text{ мкм}$$

Похибка радіального биття $\varepsilon_{\text{рад.бит.}}$ визначається за довідником та становить $\varepsilon_{\text{рад.бит.}} = 15$ мкм

Таким чином, сумарна похибка базування становить:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = \varepsilon_L + \varepsilon_{\text{рад.бит.}} = 0,19 + 15 = 15,19 \text{ мкм}$$

4.3 Розрахунок сил затиску

Схема розподілення сил затиску наведена на рис. 4.3.

Приймаємо різьбу гайки $M33 \times 1,5$:

- $d_2 = 31,9$ мм – середній діаметр різьби;
- $P = 1,5$ – крок різьби;
- $\alpha_1 = 60^\circ$ - кут профілю різьби;

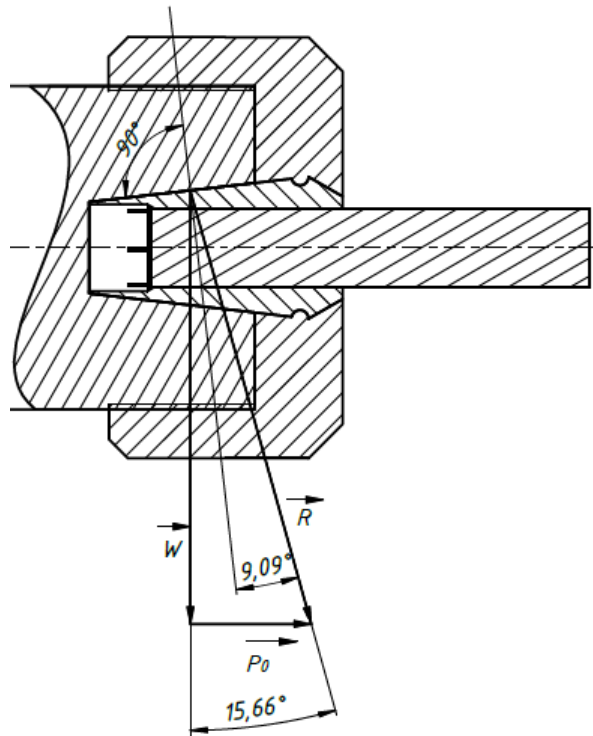


Рисунок 4.3 – Сили затиску у цанговому патроні

Кут підйому гвинтової лінії розраховуються за формулою:

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

Коефіцієнт тертя (сталь по сталі) приймаємо $f = 0,16$

Кут тертя становить:

$$\varphi = \operatorname{atan}(f)$$

Приведений кут тертя:

$$\rho' = \frac{\varphi}{\cos(\frac{\alpha_1}{2})} = 10,497^\circ$$

Приведений коефіцієнт тертя:

$$f_{\text{пр}} = \frac{f}{\cos(\frac{\alpha_1}{2})}$$

Діаметр цанги $D = 14,5$ мм

Момент затяжки визначається за залежністю:

$$M_{\text{зат}} = P \cdot l$$

де P – сила, прикладена людиною при затягуванні гайки ключом ($P = 50$ Н);

l – довжина ключа для затягування гайки патрона ($l = 0,3$ м).

Таким чином, момент затяжки становить:

$$M_{\text{зат}} = 50 \cdot 0,3 = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Осьова сила затяжки визначається залежністю:

$$P_0 = \left| \frac{M_{\text{зат}}}{\left(\frac{d_2}{2}\right) \cdot \tan(\psi + \rho') + f_{\text{пр}} \cdot D} \right| = 112,254 \text{ Н}$$

та становить $P_0 = 112,254$ Н

Кут цанги $\alpha = 15^\circ$.

Сила, що направлена до нормалі до перерізу фрези:

$$W = \left| P_0 \cdot \left[\left(\frac{1}{\tan(\alpha + \varphi)} \right) - f \right] \right| = 255,533 \text{ Н}$$

та становить $W = 255,533$ Н

Визначаємо величину сумарної сили затиску R з трикутника векторів:

$$R = \sqrt{P_0^2 + W^2} = 251,925 \text{ Н}$$

Порівняння сили затиску з сумарною силою затиску

Виходячи з умов п. 4.1 сили затиску цангового патрону повинні бути більшими за сили різання:

$$R > P_{\text{сум}}$$

При заданих параметрах $\gamma = 8^\circ$, $\alpha = 15^\circ$ і $s_z = 0,02$ мм/зуб сумарна сила різання:

$$P_{\text{сум}} = 63,088 \text{ Н}$$

Отже умова задовольняється:

$$R = 251,925 > P_{\text{сум}} = 63,088$$

4.4 Створення моделі цангового патрону в Autodesk Inventor 2019

Складовими частинами цангового патрону є деталі:

- хвостовик;
- гайка;
- цанга;
- штрівель.

1. Гайка розроблена згідно стандарту за підручником А.Р. Маслова «Пристосування для метало оброблюваних інструментів». Модель гайки зображено на рис. 4.4.

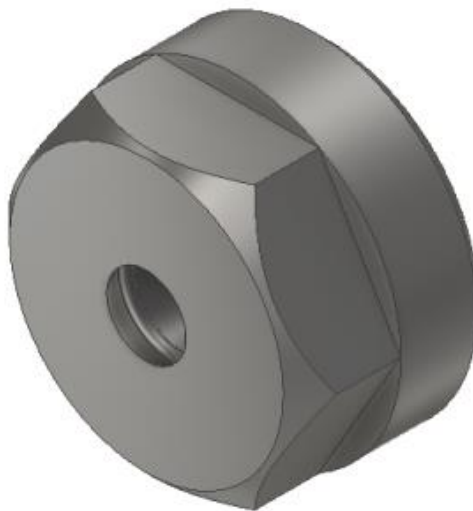


Рисунок 4.4 – Гайка

2. Хвостовик спроектований орієнтуючись на німецький стандарт DIN 2080. Конус – 7:24. Модель хвостовика зображені на рис. 4.5.



Рисунок 4.5 – Хвостовик

3. Цанга є найбільш відповідальною складовою у затискних механізмах даного типу. Цанга була розроблена згідно стандарту за підручником А.Р. Маслова «Пристосування для метало оброблюваних інструментів». На рис. 4.6 зображено модель цанги.



Рисунок 4.6 – Цанга

4. Штрівель спроектований згідно стандарту DIN 69872 (без отвору). Модель та ескіз штрівелю зображено на рис. 4.7.



Рисунок 4.7 – Штрівель

Виходячи з розрахунків сили різання можна цілком збільшувати, цанговий патрон витримує дані навантаження.

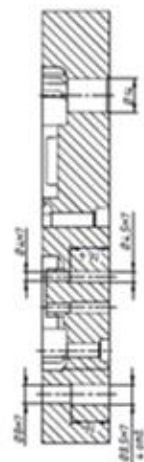
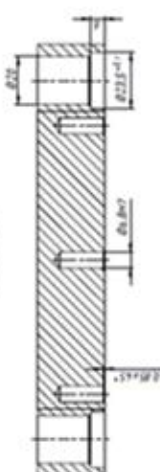
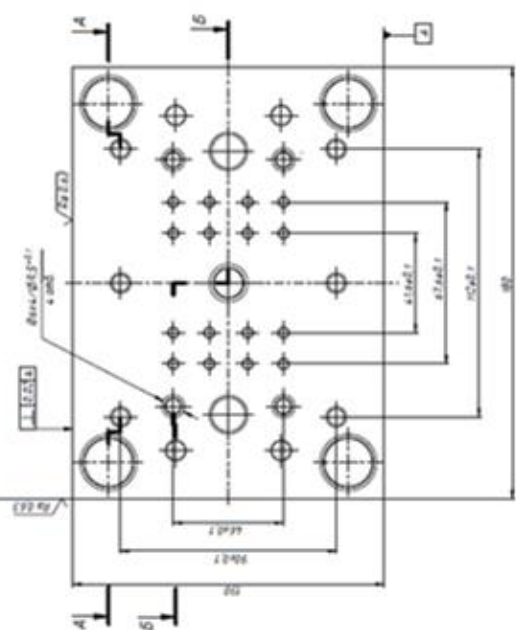
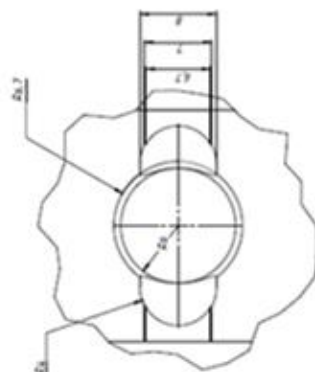
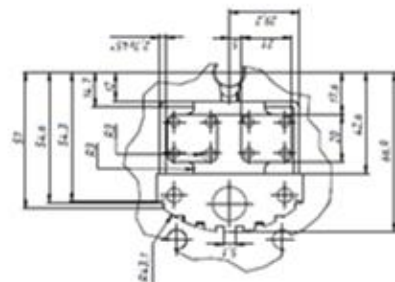
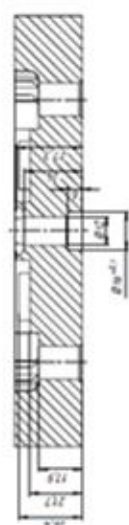
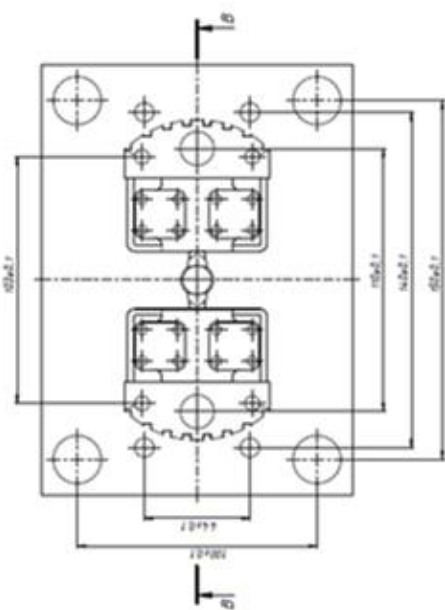
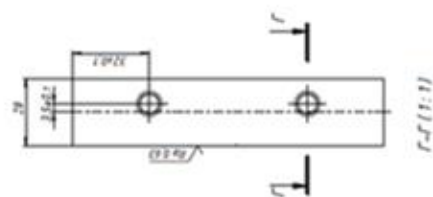
На основі розроблених моделей складових частин цангового патрону створено 3D-модель та складальний кресленик патрона та кресленики деталей, наведені в додатках

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочное пособие по назначению операционных припусков на механическую обработку табличным методом. URL: <https://tgm.nmu.org.ua/ua/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B2.pdf>
2. Фрезы концевые твердосплавные ГОСТ 18372-73 URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015968>
3. Угол наклона винтовой канавки. URL: <https://vys-tech.ru/2018/01/16/ugol-naklona-vintovoj-kanavki/>
4. Барбашов Ф. А. Фрезерное дело. Учебное пособие для учебных заведений профтехобразования. М., «Высш. школа», 1973. 280 с.
5. Фрезы Зубья — Число и шаг / Энциклопедия по машиностроению XXL. Оборудование, материаловедение, механика и ... URL: <https://mash-xxl.info/info/62666/>
6. Элементы конструкции и геометрические параметры фрез URL: <http://rezh-instrument.ru/obzor-konstruktsii-rezhushchikh-instrumentov/elementy-konstruktsii-geometricheskie-parametry-frez>
7. Основы металлообработки URL: <http://planetacam.ru/college/learn/2-5/>
8. Кувшинский В.В. Фрезерование. М. , «Машиностроение», 1977.
9. Основи формоутворення поверхонь різанням: підручник для студентів технічних спеціальностей / В.І. Солодкий, Д.О. Красновид, О.А. Плівак. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 440 с.
10. Верещака А.С. Резание материалов: Учебник/А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Вісш. шк., 2009. – 535 с.: ил.

11. Коэффициенты трения покоя и скольжения для наиболее распространенных материалов. / Технические таблицы. URL: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionToVariousPairs/>
12. Фрезерование / Справочник HOFFMANN GROUP 2012 Обработка материалов резанием Garant ToolScout. URL: <http://lab2u.ru/skhema-rascheta-ugla-kontakta-frezy-s-zagotovkoi-fs-pri-tortcovom-frezerovanii-predstavlena-na-risunke-deistvitelny-sleduiushchie-sootnosheniia-fr-spravochnik-hoffmann-group-2012-obrabotka-materialov-rezaniem-str-487-0515-lab2u.html>
13. Критерий: максимальное напряжение по Мизесу. / Справка по SOLIDWORKS. URL: http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm
14. Технология шлифования и заточки режущего инструмента/ М.М. Палей, Л.Г. Дибнер, М.Д. Флид. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.: ил. – (Б-ка инструментальщика).
15. Дальский А.М. Цанговые зажимные механизмы. М., "Машиностроение", 1966.
16. Маслов А.Р. Пристосування для металооброблюваного інструменту: Довідник. - М.: Машинобудування, 1996. – 240 с.:іл.

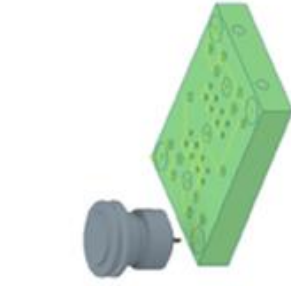
ДОДАТКИ



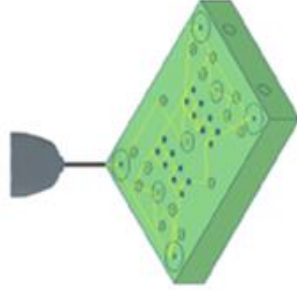
1. 45-55 mC
2. 70-75 mC
3. 80-85 mC
4. 90-95 mC

[illegible]

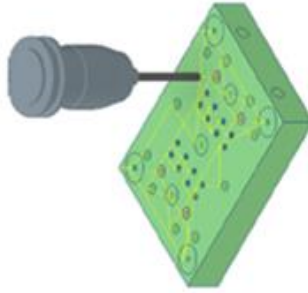
Операция 30 Бататоцільова на ЧПК
Технологічне обладнання: фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-2



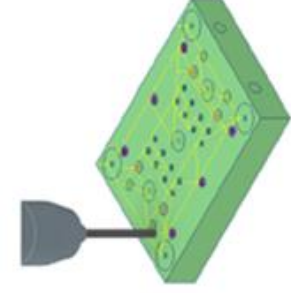
Центрування заготовки



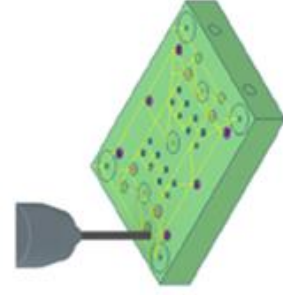
Свердління отворів $\phi 4$ мм



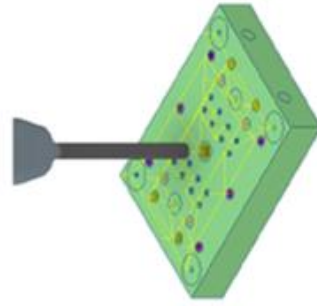
Свердління отворів $\phi 6$ мм



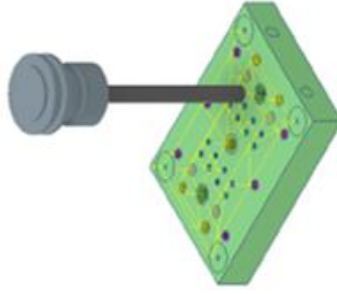
Свердління отворів $\phi 6,8$ мм



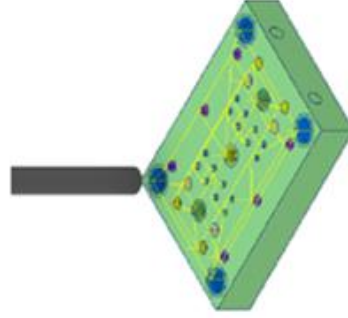
Свердління отворів $\phi 8$ мм



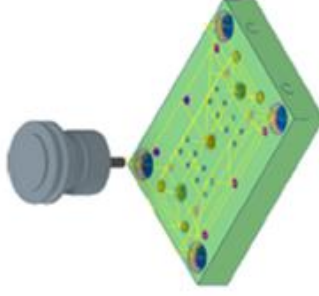
Свердління отвору $\phi 12$



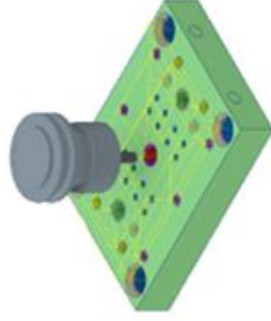
Свердління отворів $\phi 14$



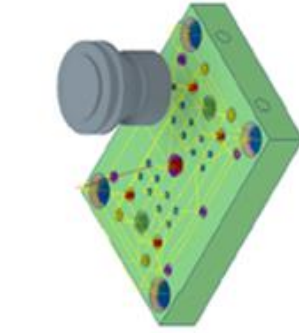
Свердління отворів $\phi 20$



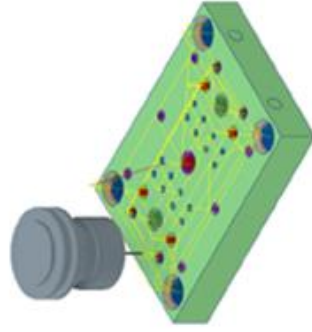
Фрезерування отворів $\phi 23,5$



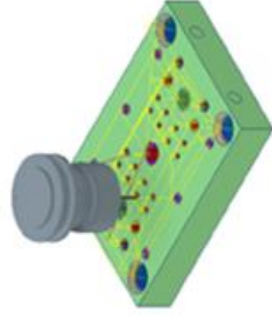
Фрезерування отвору $\phi 16$



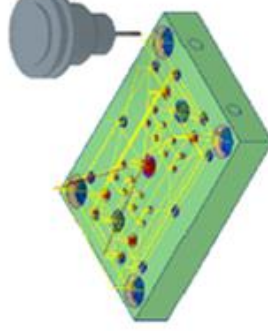
Фрезерування отворів $\phi 9,5$



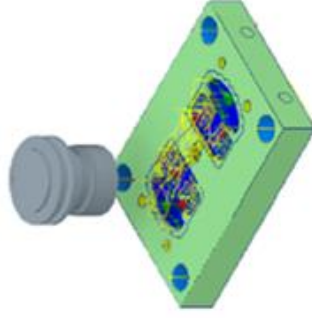
Фрезерування отворів $\phi 8,5$



Фрезерування отворів $\phi 4,5$



Фрезерування фасок



Фрезерування формотвірної частини

**Код керуючої програми
операції 030 Багатоцільова**

%

O0001

(T14 D=8. CR=0. - ZMIN=-9.65 - FLAT END MILL)

N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80

N15 G21

N20 G28 G91 Z0.

N25 G90

(2D POCKET7)

N30 T14 M06

N35 S1330 M03

N40 G54

N45 M08

N50 G00 X-1.814 Y53.599

N55 G43 Z15. H14

N60 G00 Z5.

N65 G01 Z4. F213.

N70 Z-2.2

N75 X-1.821 Y53.598 Z-2.304

N80 X-1.842 Y53.596 Z-2.407

N85 X-1.875 Y53.593 Z-2.506

N90 X-1.921 Y53.589 Z-2.6

N95 X-1.979 Y53.584 Z-2.687

N100 X-2.048 Y53.578 Z-2.766

N105 X-2.126 Y53.571 Z-2.835

N110 X-2.213 Y53.563 Z-2.893

N115 X-2.306 Y53.555 Z-2.939

N120 X-2.405 Y53.546 Z-2.973

N125 X-2.507 Y53.536 Z-2.993

N130 X-2.611 Y53.527 Z-3.

N135 X-2.691 Y53.52

N140 G03 X-10.077 Y51.9 I2.691 J-29.924

N145 X-10.041 Y51.687 I0.037 J-0.103

N150 G01 X10.041

N155 G03 X10.077 Y51.9 J0.11

N160 X2.69 Y53.52 I-10.077 J-28.305

N165 G02 X-0.439 Y55.941 I0.329 J3.658

N170 G03 X-3.794 Y58.038 I-3.004 J-1.075

N175 X-21.672 Y50.597 I3.794 J-34.315

N180 G01 X-21.837 Y50.464

N185 Y47.089

N190 X21.837

N195 Y50.464

N200 X21.673 Y50.597

N205 G03 X-3.794 Y58.038 I-21.673 J-26.874

N210 X-4.023 Y57.348 I0.044 J-0.398

N215 G01 X-0.829 Y54.356

N220 G02 X-1.066 Y53.666 I-0.273 J-0.292

N225 G01 X-1.17 Y53.657 Z-3.007

N230 X-1.272 Y53.648 Z-3.027

N235 X-1.371 Y53.639 Z-3.061

N240 X-1.465 Y53.63 Z-3.107

N245 X-1.551 Y53.622 Z-3.165
N250 X-1.63 Y53.615 Z-3.234
N255 X-1.698 Y53.609 Z-3.313
N260 X-1.756 Y53.604 Z-3.4
N265 X-1.802 Y53.6 Z-3.494

N270 X-1.836 Y53.597 Z-3.593
N275 X-1.856 Y53.595 Z-3.696
N280 X-1.863 Y53.594 Z-3.8
N285 Z-5.2
N290 X-1.87 Z-5.304
N295 X-1.89 Y53.592 Z-5.407
N300 X-1.924 Y53.589 Z-5.506
N305 X-1.97 Y53.585 Z-5.6
N310 X-2.028 Y53.58 Z-5.687
N315 X-2.096 Y53.573 Z-5.766
N320 X-2.175 Y53.566 Z-5.835
N325 X-2.261 Y53.559 Z-5.893
N330 X-2.355 Y53.55 Z-5.939
N335 X-2.454 Y53.541 Z-5.973
N340 X-2.556 Y53.532 Z-5.993
N345 X-2.66 Y53.523 Z-6.
N350 X-2.691 Y53.52
N355 G03 X-10.077 Y51.9 I2.691 J-29.924
N360 X-10.041 Y51.687 I0.037 J-0.103
N365 G01 X10.041
N370 G03 X10.077 Y51.9 J0.11
N375 X2.69 Y53.52 I-10.077 J-28.305
N380 G02 X-0.439 Y55.941 I0.329 J3.658
N385 G03 X-3.794 Y58.038 I-3.004 J-1.075
N390 X-21.672 Y50.597 I3.794 J-34.315
N395 G01 X-21.837 Y50.464
N400 Y47.089
N405 X21.837
N410 Y50.464
N415 X21.673 Y50.597
N420 G03 X-3.794 Y58.038 I-21.673 J-26.874
N425 X-4.023 Y57.348 I0.044 J-0.398
N430 G01 X-0.829 Y54.356
N435 G02 X-1.066 Y53.666 I-0.273 J-0.292
N440 G01 X-1.17 Y53.657 Z-6.007
N445 X-1.272 Y53.648 Z-6.027
N450 X-1.371 Y53.639 Z-6.061
N455 X-1.465 Y53.63 Z-6.107
N460 X-1.551 Y53.622 Z-6.165
N465 X-1.63 Y53.615 Z-6.234
N470 X-1.698 Y53.609 Z-6.313
N475 X-1.756 Y53.604 Z-6.4
N480 X-1.802 Y53.6 Z-6.494
N485 X-1.836 Y53.597 Z-6.593
N490 X-1.856 Y53.595 Z-6.696
N495 X-1.863 Y53.594 Z-6.8
N500 Z-7.025
N505 X-1.87 Z-7.129
N510 X-1.89 Y53.592 Z-7.232

N515 X-1.924 Y53.589 Z-7.331
N520 X-1.97 Y53.585 Z-7.425
N525 X-2.028 Y53.58 Z-7.512
N530 X-2.096 Y53.573 Z-7.591
N535 X-2.175 Y53.566 Z-7.66
N540 X-2.261 Y53.559 Z-7.718
N545 X-2.355 Y53.55 Z-7.764
N550 X-2.454 Y53.541 Z-7.798
N555 X-2.556 Y53.532 Z-7.818
N560 X-2.66 Y53.523 Z-7.825
N565 X-2.691 Y53.52
N570 G03 X-10.077 Y51.9 I2.691 J-29.924
N575 X-10.041 Y51.687 I0.037 J-0.103
N580 G01 X10.041
N585 G03 X10.077 Y51.9 J0.11
N590 X2.69 Y53.52 I-10.077 J-28.305
N595 G02 X-0.439 Y55.941 I0.329 J3.658
N600 G03 X-3.794 Y58.038 I-3.004 J-1.075
N605 X-21.672 Y50.597 I3.794 J-34.315
N610 G01 X-21.837 Y50.464
N615 Y47.089
N620 X21.837
N625 Y50.464
N630 X21.673 Y50.597
N635 G03 X-3.794 Y58.038 I-21.673 J-26.874
N640 X-4.023 Y57.348 I0.044 J-0.398
N645 G01 X-0.829 Y54.356
N650 G02 X-1.066 Y53.666 I-0.273 J-0.292
N655 G01 X-1.17 Y53.657 Z-7.832
N660 X-1.272 Y53.648 Z-7.852
N665 X-1.371 Y53.639 Z-7.886
N670 X-1.465 Y53.63 Z-7.932
N675 X-1.551 Y53.622 Z-7.99
N680 X-1.63 Y53.615 Z-8.059
N685 X-1.698 Y53.609 Z-8.138
N690 X-1.756 Y53.604 Z-8.225
N695 X-1.802 Y53.6 Z-8.319
N700 X-1.836 Y53.597 Z-8.418
N705 X-1.856 Y53.595 Z-8.521
N710 X-1.863 Y53.594 Z-8.625
N715 Z-8.85
N720 X-1.87 Z-8.954
N725 X-1.89 Y53.592 Z-9.057
N730 X-1.924 Y53.589 Z-9.156
N735 X-1.97 Y53.585 Z-9.25
N740 X-2.028 Y53.58 Z-9.337
N745 X-2.096 Y53.573 Z-9.416
N750 X-2.175 Y53.566 Z-9.485
N755 X-2.261 Y53.559 Z-9.543
N760 X-2.355 Y53.55 Z-9.589
N765 X-2.454 Y53.541 Z-9.623
N770 X-2.556 Y53.532 Z-9.643
N775 X-2.66 Y53.523 Z-9.65
N780 X-2.691 Y53.52

N785 G03 X-10.077 Y51.9 I2.691 J-29.924
N790 X-10.041 Y51.687 I0.037 J-0.103
N795 G01 X10.041
N800 G03 X10.077 Y51.9 J0.11
N805 X2.69 Y53.52 I-10.077 J-28.305
N810 G02 X-0.439 Y55.941 I0.329 J3.658
N815 G03 X-3.794 Y58.038 I-3.004 J-1.075
N820 X-21.672 Y50.597 I3.794 J-34.315
N825 G01 X-21.837 Y50.464
N830 Y47.089
N835 X21.837
N840 Y50.464
N845 X21.673 Y50.597
N850 G03 X-3.794 Y58.038 I-21.673 J-26.874
N855 X-4.031 Y57.973 Z-9.611 I0.088 J-0.795
N860 X-4.22 Y57.855 Z-9.497 I0.326 J-0.731
N865 X-4.342 Y57.728 Z-9.32 I0.514 J-0.613
N870 X-4.404 Y57.633 Z-9.097 I0.636 J-0.485
N875 X-4.422 Y57.598 Z-8.85 I0.698 J-0.39
N880 G00 Z15.
N885 X1.814 Y-53.599
N890 Z5.
N895 G01 Z4. F213.
N900 Z-2.2
N905 X1.821 Y-53.598 Z-2.304
N910 X1.842 Y-53.596 Z-2.407
N915 X1.875 Y-53.593 Z-2.506
N920 X1.921 Y-53.589 Z-2.6
N925 X1.979 Y-53.584 Z-2.687
N930 X2.048 Y-53.578 Z-2.766
N935 X2.126 Y-53.571 Z-2.835
N940 X2.213 Y-53.563 Z-2.893
N945 X2.306 Y-53.555 Z-2.939
N950 X2.405 Y-53.546 Z-2.973
N955 X2.507 Y-53.536 Z-2.993
N960 X2.611 Y-53.527 Z-3.
N965 X2.691 Y-53.52
N970 G03 X10.077 Y-51.9 I-2.691 J29.924
N975 X10.041 Y-51.687 I-0.037 J0.103
N980 G01 X-10.041
N985 G03 X-10.077 Y-51.9 J-0.11
N990 X-2.69 Y-53.52 I10.077 J28.305
N995 G02 X0.439 Y-55.941 I-0.329 J-3.658
N1000 G03 X3.794 Y-58.038 I3.004 J1.075
N1005 X21.672 Y-50.597 I-3.794 J34.315
N1010 G01 X21.837 Y-50.464
N1015 Y-47.089
N1020 X-21.837
N1025 Y-50.464
N1030 X-21.673 Y-50.597
N1035 G03 X3.794 Y-58.038 I21.673 J26.874
N1040 X4.023 Y-57.348 I-0.044 J0.398
N1045 G01 X0.829 Y-54.356
N1050 G02 X1.066 Y-53.666 I0.273 J0.292
N1055 G01 X1.17 Y-53.657 Z-3.007
N1060 X1.272 Y-53.648 Z-3.027

N1065 X1.371 Y-53.639 Z-3.061
N1070 X1.465 Y-53.63 Z-3.107
N1075 X1.551 Y-53.622 Z-3.165
N1080 X1.63 Y-53.615 Z-3.234
N1085 X1.698 Y-53.609 Z-3.313
N1090 X1.756 Y-53.604 Z-3.4
N1095 X1.802 Y-53.6 Z-3.494
N1100 X1.836 Y-53.597 Z-3.593
N1105 X1.856 Y-53.595 Z-3.696
N1110 X1.863 Y-53.594 Z-3.8
N1115 Z-5.2
N1120 X1.87 Z-5.304
N1125 X1.89 Y-53.592 Z-5.407
N1130 X1.924 Y-53.589 Z-5.506
N1135 X1.97 Y-53.585 Z-5.6
N1140 X2.028 Y-53.58 Z-5.687
N1145 X2.096 Y-53.573 Z-5.766
N1150 X2.175 Y-53.566 Z-5.835
N1155 X2.261 Y-53.559 Z-5.893
N1160 X2.355 Y-53.55 Z-5.939
N1165 X2.454 Y-53.541 Z-5.973
N1170 X2.556 Y-53.532 Z-5.993
N1175 X2.66 Y-53.523 Z-6.
N1180 X2.691 Y-53.52
N1185 G03 X10.077 Y-51.9 I-2.691 J29.924
N1190 X10.041 Y-51.687 I-0.037 J0.103
N1195 G01 X-10.041
N1200 G03 X-10.077 Y-51.9 J-0.11
N1205 X-2.69 Y-53.52 I10.077 J28.305
N1210 G02 X0.439 Y-55.941 I-0.329 J-3.658
N1215 G03 X3.794 Y-58.038 I3.004 J1.075
N1220 X21.672 Y-50.597 I-3.794 J34.315
N1225 G01 X21.837 Y-50.464
N1230 Y-47.089
N1235 X-21.837
N1240 Y-50.464
N1245 X-21.673 Y-50.597
N1250 G03 X3.794 Y-58.038 I21.673 J26.874
N1255 X4.023 Y-57.348 I-0.044 J0.398
N1260 G01 X0.829 Y-54.356
N1265 G02 X1.066 Y-53.666 I0.273 J0.292
N1270 G01 X1.17 Y-53.657 Z-6.007
N1275 X1.272 Y-53.648 Z-6.027
N1280 X1.371 Y-53.639 Z-6.061
N1285 X1.465 Y-53.63 Z-6.107
N1290 X1.551 Y-53.622 Z-6.165
N1295 X1.63 Y-53.615 Z-6.234
N1300 X1.698 Y-53.609 Z-6.313
N1305 X1.756 Y-53.604 Z-6.4
N1310 X1.802 Y-53.6 Z-6.494
N1315 X1.836 Y-53.597 Z-6.593
N1320 X1.856 Y-53.595 Z-6.696
N1325 X1.863 Y-53.594 Z-6.8
N1330 Z-7.025
N1335 X1.87 Z-7.129
N1340 X1.89 Y-53.592 Z-7.232

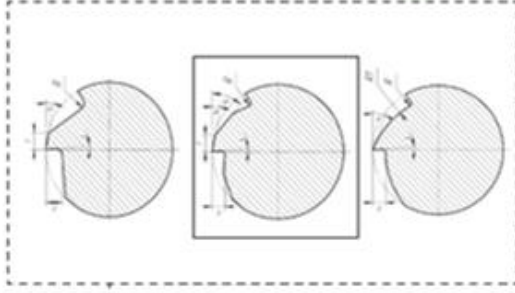
N1345 X1.924 Y-53.589 Z-7.331
N1350 X1.97 Y-53.585 Z-7.425
N1355 X2.028 Y-53.58 Z-7.512
N1360 X2.096 Y-53.573 Z-7.591
N1365 X2.175 Y-53.566 Z-7.66
N1370 X2.261 Y-53.559 Z-7.718
N1375 X2.355 Y-53.55 Z-7.764
N1380 X2.454 Y-53.541 Z-7.798
N1385 X2.556 Y-53.532 Z-7.818
N1390 X2.66 Y-53.523 Z-7.825
N1395 X2.691 Y-53.52
N1400 G03 X10.077 Y-51.9 I-2.691 J29.924
N1405 X10.041 Y-51.687 I-0.037 J0.103
N1410 G01 X-10.041
N1415 G03 X-10.077 Y-51.9 J-0.11
N1420 X-2.69 Y-53.52 I10.077 J28.305
N1425 G02 X0.439 Y-55.941 I-0.329 J-3.658
N1430 G03 X3.794 Y-58.038 I3.004 J1.075
N1435 X21.672 Y-50.597 I-3.794 J34.315
N1440 G01 X21.837 Y-50.464
N1445 Y-47.089
N1450 X-21.837
N1455 Y-50.464
N1460 X-21.673 Y-50.597
N1465 G03 X3.794 Y-58.038 I21.673 J26.874
N1470 X4.023 Y-57.348 I-0.044 J0.398
N1475 G01 X0.829 Y-54.356
N1480 G02 X1.066 Y-53.666 I0.273 J0.292
N1485 G01 X1.17 Y-53.657 Z-7.832
N1490 X1.272 Y-53.648 Z-7.852
N1495 X1.371 Y-53.639 Z-7.886
N1500 X1.465 Y-53.63 Z-7.932
N1505 X1.551 Y-53.622 Z-7.99
N1510 X1.63 Y-53.615 Z-8.059
N1515 X1.698 Y-53.609 Z-8.138
N1520 X1.756 Y-53.604 Z-8.225
N1525 X1.802 Y-53.6 Z-8.319
N1530 X1.836 Y-53.597 Z-8.418
N1535 X1.856 Y-53.595 Z-8.521
N1540 X1.863 Y-53.594 Z-8.625
N1545 Z-8.85
N1550 X1.87 Z-8.954
N1555 X1.89 Y-53.592 Z-9.057
N1560 X1.924 Y-53.589 Z-9.156
N1565 X1.97 Y-53.585 Z-9.25
N1570 X2.028 Y-53.58 Z-9.337
N1575 X2.096 Y-53.573 Z-9.416
N1580 X2.175 Y-53.566 Z-9.485
N1585 X2.261 Y-53.559 Z-9.543
N1590 X2.355 Y-53.55 Z-9.589
N1595 X2.454 Y-53.541 Z-9.623
N1600 X2.556 Y-53.532 Z-9.643
N1605 X2.66 Y-53.523 Z-9.65
N1610 X2.691 Y-53.52

N1615 G03 X10.077 Y-51.9 I-2.691 J29.924
N1620 X10.041 Y-51.687 I-0.037 J0.103
N1625 G01 X-10.041
N1630 G03 X-10.077 Y-51.9 J-0.11
N1635 X-2.69 Y-53.52 I10.077 J28.305
N1640 G02 X0.439 Y-55.941 I-0.329 J-3.658
N1645 G03 X3.794 Y-58.038 I3.004 J1.075
N1650 X21.672 Y-50.597 I-3.794 J34.315
N1655 G01 X21.837 Y-50.464
N1660 Y-47.089
N1665 X-21.837
N1670 Y-50.464
N1675 X-21.673 Y-50.597
N1680 G03 X3.794 Y-58.038 I21.673 J26.874
N1685 X4.031 Y-57.973 Z-9.611 I-0.088 J0.795
N1690 X4.22 Y-57.855 Z-9.497 I-0.326 J0.731
N1695 X4.342 Y-57.728 Z-9.32 I-0.514 J0.613
N1700 X4.404 Y-57.633 Z-9.097 I-0.636 J0.485
N1705 X4.422 Y-57.598 Z-8.85 I-0.698 J0.39
N1710 G00 Z15.

N1715 M09
N1720 G28 G91 Z0.
N1725 G90
N1730 G49
N1735 G28 G91 X0. Y0.
N1740 G90
N1745 M30
%

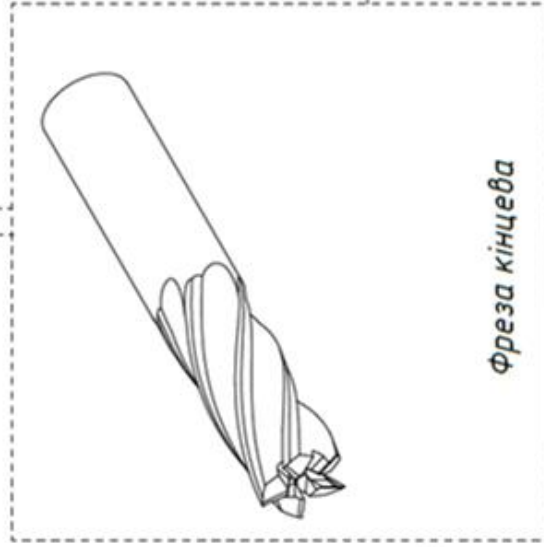
Синтез конструкції фрези

- найпростіший варіант виконання зуба;
- призначений лише для чистової обробки;
- більш висока міцність зуба, що дає можливість виконувати чорнову обробку;
- складніше у виготовленні;
- при даному варіанті виконання зуб фрези володіє найбільшою міцністю;
- найскладніший варіант у виконанні;



Форма зуба

Кут нахилу гвинтової канавки



Фреза кінцева

Напрямок нахилу гвинтової канавки

Окружний крок зубців

Суцільність фрези

Сталь 40Х

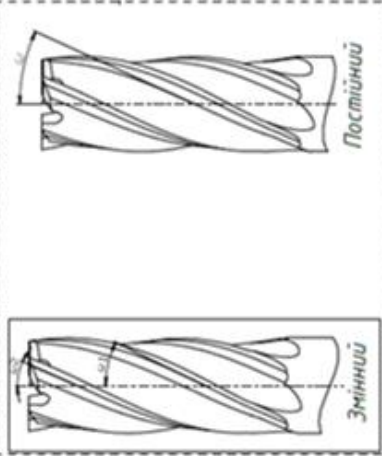
Подача 30Р



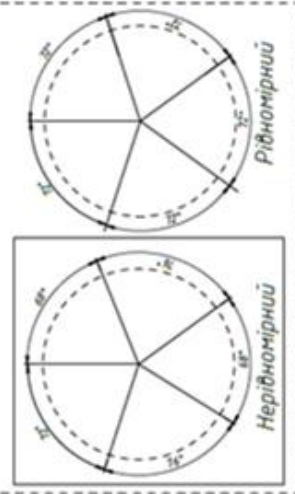
Суцільна

- економія матеріалу;
- підвищена міцність інструменту;
- додаткові більш складні операції виготовлення;

- інструмент більш міцний;
- твердий сплав дорожчий;



- більш широкий спектр можливостей регулювання режимів різання для зменшення вібрації;
- така геометрія свердловинної канавки дозволяє обробляти матеріали різних типів;
- покращений вибір стружки при фрезеруванні міцних та надміцних матеріалів; відсутність накопчування стружки;
- фреза більш складна у проектуванні;
- більш легка геометрія фрези;
- фреза призначена для обробки одного типу матеріалів;
- поганий вибір стружки при обробці міцних матеріалів;

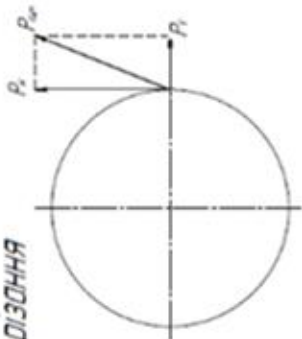


- можлива більша ширина різання;
- можливо більш швидка фреза;
- значне зменшення вібрації;
- при великій кількості зубів неможливо забезпечити нерівномірність їх розташування;
- фреза простіша у проектуванні;
- велика вібрація;

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Аналіз кінцевої фрези

Схема сил різання



Фіксація фрези



Прикладання сумарної сили різання



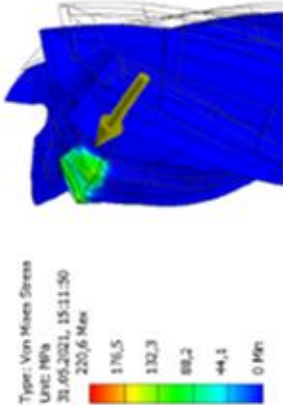
$$P_t = |F_t \cdot b \cdot S_y \cdot (K_t \cdot \sin(\theta)^2 \cdot \sin(\psi) + 0.5 \cdot K_t \cdot \sin(2\theta)) + e_y \cdot b \cdot h_y \cdot (\sin(\theta) + \mu \cdot (K_t \cdot \frac{b}{2} + \frac{1}{\sin(\theta)})) \cdot \cos(\theta)| \cdot H$$

$$P_f = |F_t \cdot b \cdot S_y \cdot (K_t \cdot \sin(\theta)^2 \cdot 0.5 \cdot K_t \cdot \sin(2\theta)) \cdot \sin(\psi) - e_y \cdot b \cdot h_y \cdot (\cos(\theta) - \mu \cdot (K_t \cdot \frac{b}{2} + \frac{1}{\sin(\theta)}))| \cdot H$$

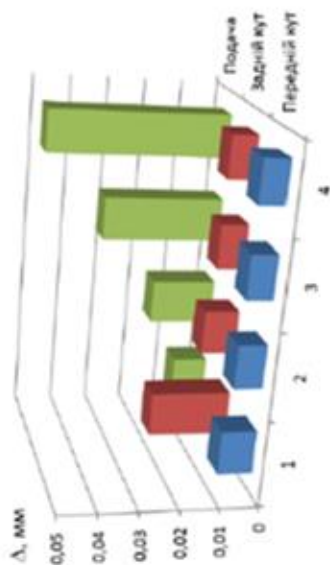
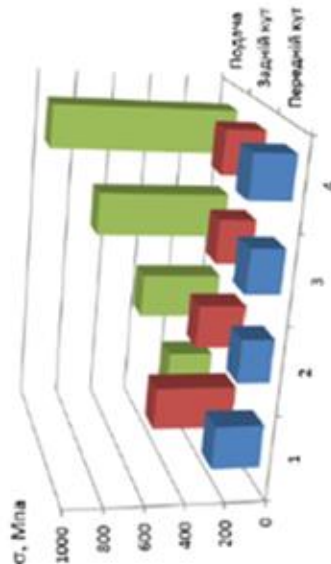
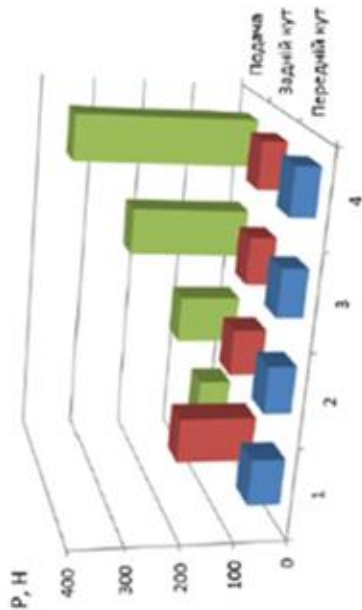
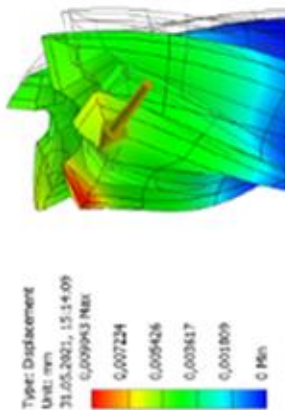
$$P_{\Sigma} = \sqrt{(P_t)^2 + (P_f)^2}$$

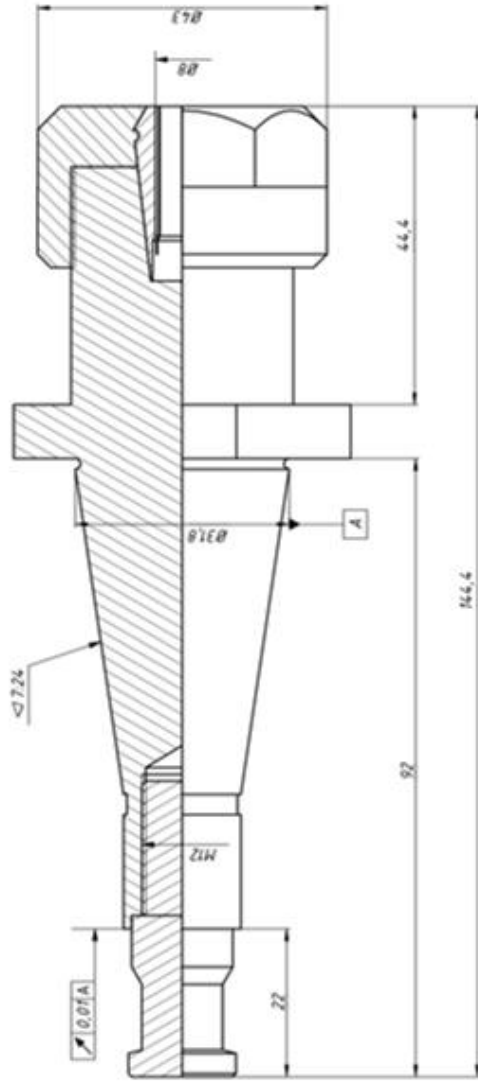
Параметр	Діапазон
Передній кут γ, град	8 – 12
Задній кут α, град	12 – 25
Поклада на зуб S _y , мм/зуб	0.02 – 0.15

Напруження по Мізесу, МПа

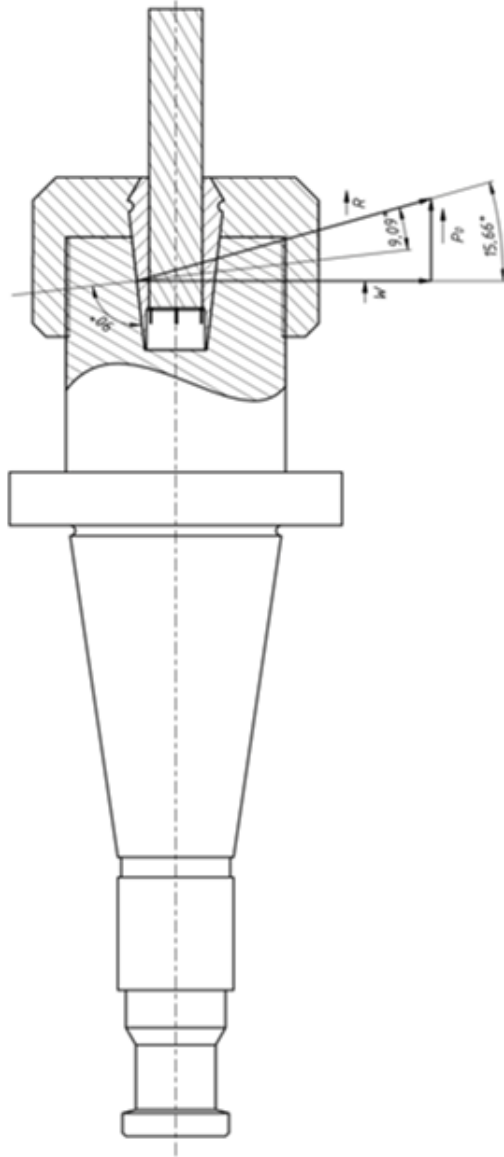


Зміщення, мм



[illegible]

Розрахунок сил затиску



Осьова сила затиску дорівнює:

$$P_0 = \left| \left(\frac{d_2}{2} \right) \cdot \tan(\varphi + \rho') + f_{np} \cdot D \right| = 112,254 \text{ kH}$$

Сила, що напружена до нормалі до поверхні фрез:

$$W = \left| P_0 \cdot \left(\frac{1}{\tan(\alpha + \varphi)} - f \right) \right| = 255,533 \text{ kH}$$

Визначено величину сумарної сили затиску R з притягуючим вектором:

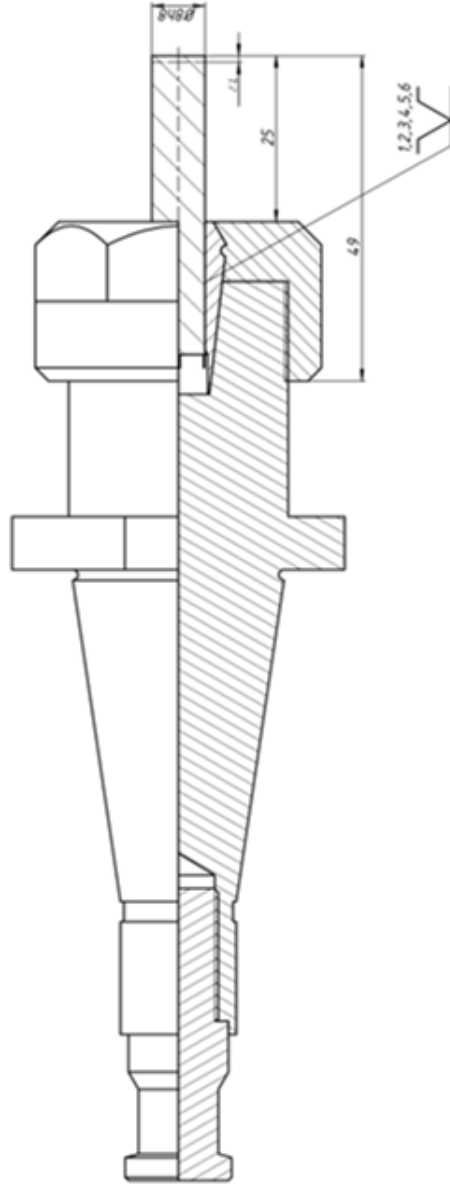
$$R = \sqrt{P_0^2 + W^2} = 251,925 \text{ H}$$

Сумарна сила різання дорівнює:

$$P_{\text{рм}} = 63,088 \text{ H}$$

$$P_{\text{рм}} < R$$

Розрахунок похибки базування



Похибка базування визначається за формулою:

$$e_{\text{баз}} = e_1 + e_{\text{рм,баз}}$$

e_1 - похибка по довжині;

$e_{\text{рм,баз}}$ - похибка радіального базиса;

Похибка по довжині e_1 визначається:

$$e_1 = \frac{PT}{2} \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Довжина фізична:

$$PT = 0,15 \text{ мм}$$

$$e_1 = \frac{0,15}{2} \cdot \sin^2\left(\frac{6,57^\circ}{2}\right) = 0,075 \cdot \sin^2(3,285^\circ) = 0,075 \cdot 17,625 = 1,307 \text{ мм}$$

$$e_{\text{рм,баз}} = 15 \text{ мм} = 0,015 \text{ мм}$$

Отже, сумарна похибка:

$$e_{\text{баз}} = e_1 + e_{\text{рм,баз}} = 0,001 + 0,015 = 0,016 \text{ мм}$$

ДП.МІ7117.004

 $\sqrt{Rz\ 20(\sqrt{})}$

Перв. примеч.

Справ. №

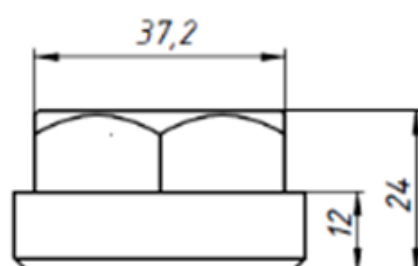
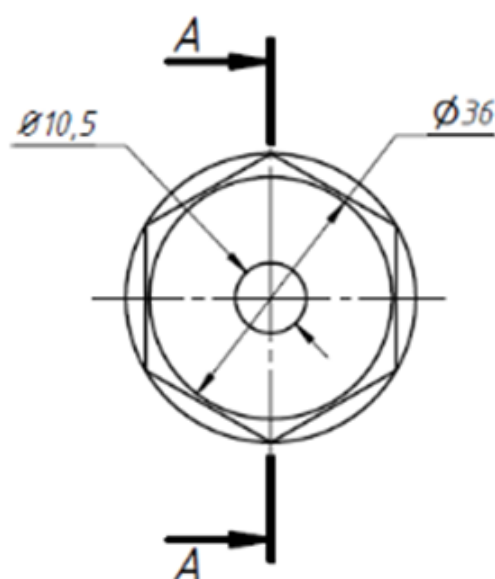
Подп. и дата

Инв. № дубл.

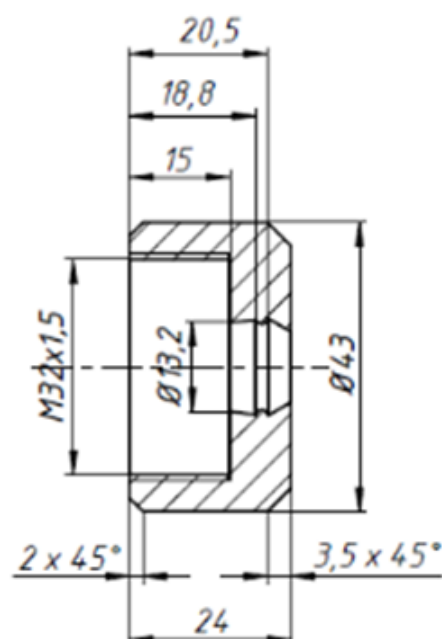
Взам. инв. №

Подп. и дата

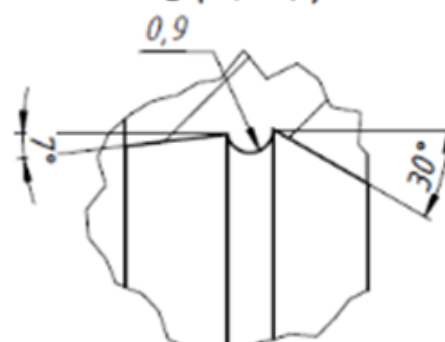
Инв. № подл.



A-A (1:1)



C (4:1)



1. HRC 51,5...56.
2. Невказані граничні відхилення h14, H14, IT14/2.
3. Покриття - Хім.Окс.прм.

ДП.МІ7117.004

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рясний			
Пров.	Майданюк			
Т. контр.				
Нач. отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Гайка

Сталь 20Х ГОСТ 4543-71

Лит.	Масса	Масштаб
	0,1	1:1
Лист	Листов	1

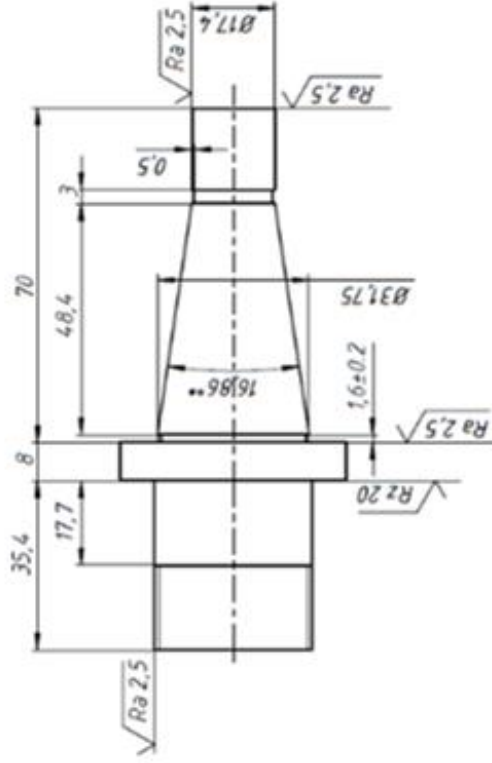
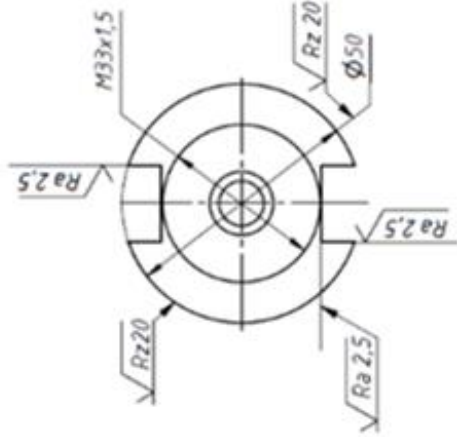
КПІ ім.Ігоря
Сікорського

Копировал

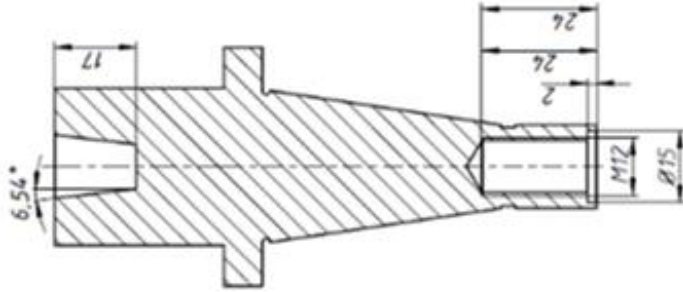
Формат А4

ДП.МІ7117.005

$\sqrt{Rz\ 40(V)}$



A-A (1:1)



- * Розміри для довідок.
- HRC 53...57.
- Покриття - Хім.Окс., окрім кінця поперечні.
- Маркування: позначення патрона і товарний знак підприємства-виробника.

ДП.МІ7117.005

Хвостовик

Сталь 20Х ГОСТ 4543-71

Формат А3

1 Копія

2

Лист	Маса	Матеріал
0,5	1:1	
Лист	Листов	Лист
КПІ ім. Ігоря Сікорського		

Відп.	Лист	№ докум.	Підп.	Датум
Розроб.	Рисув.	Нормув.	Відр.	Відр.
Прод.	Модифік.	Т. конпр.	Нач. свід.	Н. конпр.
Чек.				

ДП.МІ7117.006

 $\sqrt{Ra\ 6,3(\checkmark)}$

Лист. примен.

Спроб. №

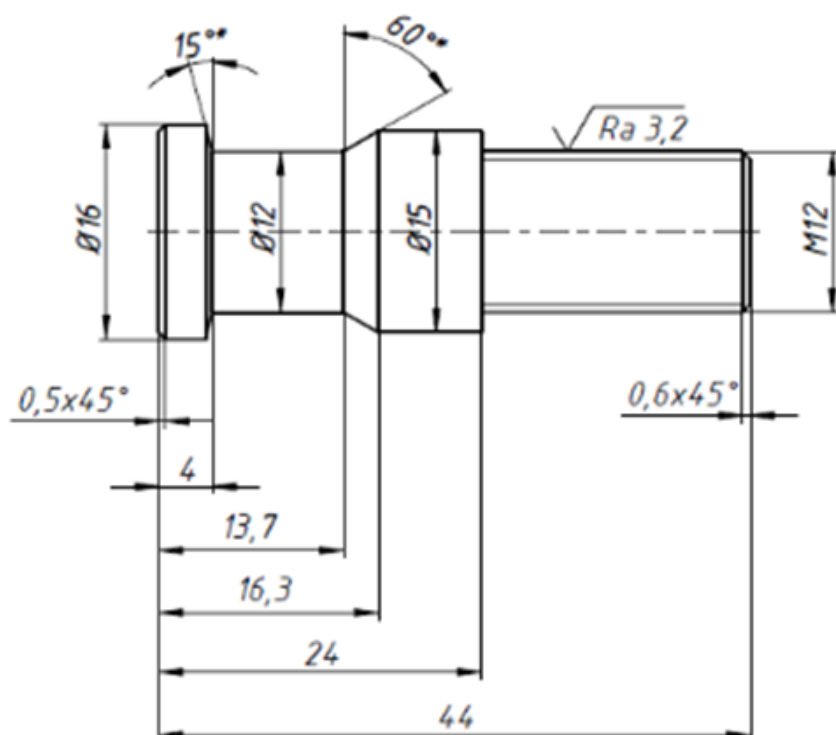
Підп. і дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № подл.



- * Розміри для довідок.
- Невказані граничні відхилення h14, H14, IT14/2.

ДП.МІ7117.006

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рясний			
Пров.	Майданюк			
Т. контр.				
Нач. отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Штревель

Сталь 40Х ГОСТ 4543-71

Лит.	Масса	Масштаб
	0,0	2:1
Лист	Листов 1	

КПІ ім. Ігоря
Сікорського

Копіював

Формат А4

ДП.МІ7117.007

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

1

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

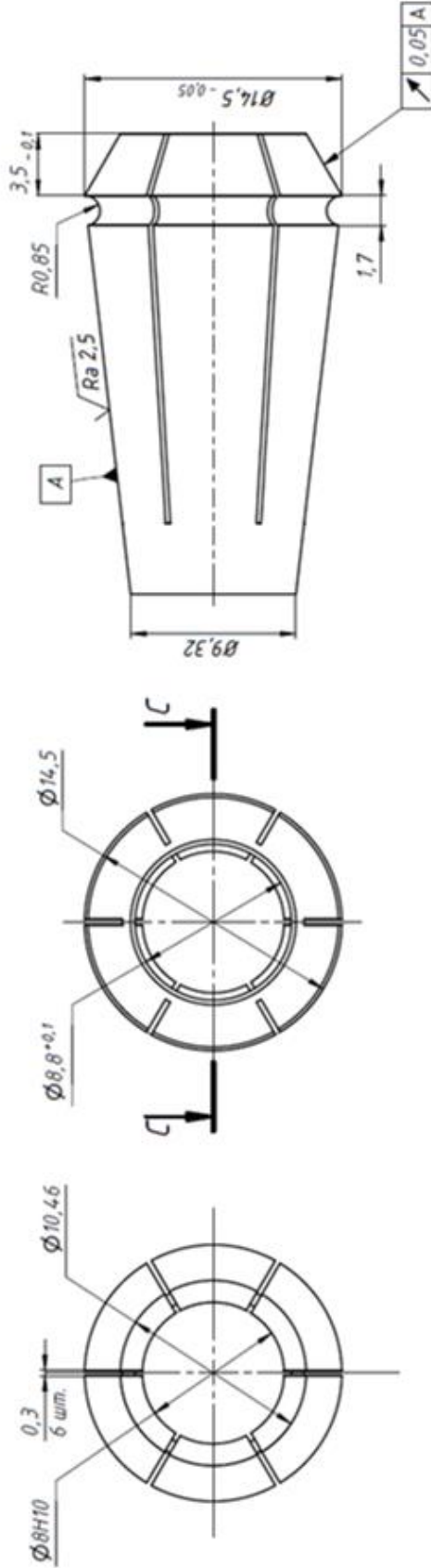
Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

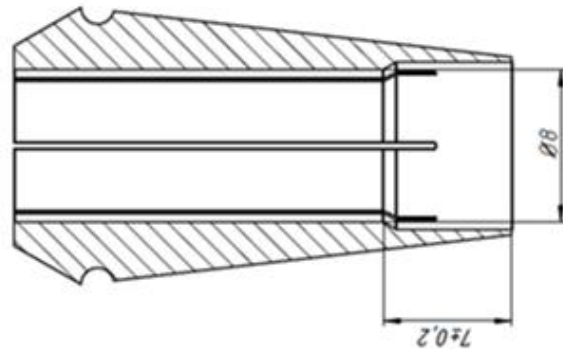
Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

$\sqrt{Ra 6,3 (N)}$



C-C (4:1)



1. Розміри для довідок.
2. Невказані граничні відхилення Н14, Н14, ІТ14/2.
3. S9...63 HRC.
4. Маркувати: позначення цанги.

ДП.МІ7117.007

Цанга

Сталь 50ХФА ГОСТ 14959

1 Копіювал

Формат А3