

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ММіР

к.т.н., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

«_____» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Розробка конструкції прогресивного металорізального інструменту»

Виконав здобувач вищої освіти 3мб курсу
групи ГМ-23мб-3

ОПП «Галузеве машинобудування»

Спеціальності

133 «Галузеве машинобудування»

_____ Дмитро ЧЕРНЯВСЬКИЙ

Керівник роботи к.т.н., ст. викладач

_____ Антон АПАРАКІН

Рецензент: к.т.н., доц.

_____ Дмитро БОГАТИРЬОВ

Центральноукраїнський національний технічний університет			
Факультет	Механіко-технологічний		
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки		
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)		
Галузь знань	13 Механічна інженерія		
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування		
Освітньо-професійна програма	Галузеве машинобудування		

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА

Чернявського Дмитра Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка конструкції прогресивного металорізального інструменту

2. Керівник роботи: к.т.н., ст. викл., Антон АПАРАКІН

3. Строк подання роботи до захисту « ____ » червень 2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є розробка конструкції прогресивного високопродуктивного металорізального інструменту та інструменту для обробки складнопрофільних деталей задля підвищення точності та якості механічної обробки.

Завдання:

1) Проаналізувати сучасний стан технології та конструкції металорізальних інструментів.

2) Здійснити розрахунок і проектування інструменту із розробкою конструкторської документації, зокрема:

- фасонного різця;
- круглої протяжки;
- черв'ячної модульної фрези.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Дата видачі завдання « » 2026 р.

Завдання прийнято до виконання « » _____ 2026 р.

Здобувач _____ Дмитро ЧЕРНЯВСЬКИЙ
(підпис)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Дмитро Чернявський. Розробка конструкції прогресивного металорізального інструменту. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: ЦНТУ, м. Кропивницький, 2026 р. – 39 с. Матеріали презентації: 6 креслень.

Метою роботи є розробка конструкції прогресивного високопродуктивного металорізального інструменту та інструменту для обробки складнопрофільних деталей задля підвищення точності та якості механічної обробки.

У роботі вирішено актуальне практичне завдання щодо розробки конструкцій прогресивного, високопродуктивного металорізального інструменту для обробки складнопрофільних деталей на основі проведеного аналізу та інженерних розрахунків. Встановлено, що підвищення ефективності виробництва напряду пов'язане з впровадженням прогресивного інструменту, який забезпечує максимальну точність, продуктивність та якість обробленої поверхні. Здійснено детальний розрахунок геометрії та розроблено конструкцію круглого токарного фасонного різця відповідно до заданого робочого профілю деталі, круглої протяжки для точної обробки отвору та черв'ячної модульної фрези для нарізання зубчастих коліс (шестерень) методом обкату.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення продуктивності та точності машинобудівного виробництва шляхом розробки і впровадження прогресивного металорізального інструменту для ефективної обробки складнопрофільних деталей в умовах сучасного ринку.

Практична цінність. Усі спроектовані конструкції інструментів повністю відповідають технічним вимогам щодо точності та якості обробки деталей. Розроблений комплект графічних матеріалів (креслення інструментів та допоміжних пристроїв) має практичну цінність і готовий до впровадження у виробничий процес підприємств машинобудівної галузі.

Ключові слова: інструмент, фасонний різець, кругла протяжка, червячна фреза, механічна обробка.

ABSTRACT

Dmytro Cherniavskyi. Development of a design for a progressive metal-cutting tool. Qualification work for the degree of bachelor: CUNTU, Kropyvnytskyi, 2026 - 39 p. Presentation materials: 6 drawings.

The purpose of the work is to design progressive high-performance metal-cutting tools and tools for machining complex-profile parts in order to increase the accuracy and quality of machining.

The thesis addresses an urgent practical problem of designing progressive, high-performance metal-cutting tools for machining complex-profile parts based on the performed analysis and engineering calculations. It is established that improving production efficiency is directly related to the introduction of progressive tooling that ensures maximum accuracy, productivity, and surface finish quality. A detailed geometric calculation has been performed and designs have been developed for a circular forming turning tool in accordance with the specified part profile, a round broach for precise hole machining, and a gear hob for cutting gears using the generating method.

The relevance of the work is driven by the need to increase the productivity and accuracy of mechanical engineering production through the development and implementation of progressive metal-cutting tools for the efficient machining of complex-profile parts in today's market conditions.

Practical value. All designed tool structures fully comply with the technical requirements for the accuracy and quality of part machining. The developed set of graphic materials (drawings of tools and auxiliary devices) possesses practical value and is ready for implementation into the production process of engineering enterprises.

Keywords: cutting tool, shaped cutter, round broach, gear hob, machining.

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПISКА до кваліфікаційної роботи на тему:

«Розробка конструкції прогресивного металорізального інструменту»

РІ 00.000 ПЗ

Виконав здобувач вищої освіти 3мб
курсу групи ГМ-23мб-3
ОПП «Галузеве машинобудування»
Спеціальності
133 «Галузеве машинобудування»
_____ Дмитро ЧЕРНЯВСЬКИЙ

Керівник роботи к.т.н., ст. викл.
_____ Антон АПАРАКІН

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ВИХІДНІ ДАНІ	10
1.1 Завдання до розробки конструкції токарного фасонного різця	10
1.2 Завдання до розробки конструкції круглої протяжки	10
1.3 Завдання до розробки конструкції фрези черв'ячної модульної	11
РОЗДІЛ 2 ФАСОННИЙ РІЗЕЦЬ	12
2.1 Сучасний стан технології та конструкції токарних фасонних різців	12
2.2 Розрахунок геометрії та розробка конструкції круглого токарного фасонного різця	14
2.3 Висновки по розділу	20
РОЗДІЛ 3 ПРОТЯЖКА КРУГЛА	21
3.1 Сучасний стан технології та конструкції протяжок круглих	21
3.2 Розрахунок геометрії та розробка конструкції протяжки круглої	23
3.3 Висновки по розділу	29
РОЗДІЛ 4 ФРЕЗА ЧЕРВ'ЯЧНА МОДУЛЬНА	30
4.1 Сучасний стан технології та конструкції черв'ячних модульних фрез	30
4.2 Розрахунок геометрії та розробка конструкції черв'ячної модульної фрези	32
4.3 Висновки по розділу	37
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	38
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	39

					РІ 00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Чернявський Д.А.			Розробка конструкції прогресивного металорізального інструменту Пояснювальна записка	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Апаракін А.Р.					8	39
Реценз.						ЦНТУ, гр. ГМ-23мб-3		
Н. Контр.								
Затверд.								

ВСТУП

Розвиток машинобудування здійснюється за рахунок автоматизації та механізації, використання прогресивних технологій без збільшення кількості робітників. При великих ростах виробництва передбачається розвиток машинобудування за рахунок використання верстатів з ЧПК, обробних центрів, гнучких виробничих модулів та систем, автоматичних ліній.

Одним з головних елементів будь-якого машинобудівного виробництва загалом, а автоматизованого особливо, являється інструментальна оснастка що забезпечує надійне функціонування кожного окремого верстата в виробничій системі в цілому, якість продукції, також через ці параметри суттєво впливає на затрати виробництва.

Роль інструментальної оснастки в умовах високоавтоматизованого гнучкого виробництва зростає так, що здатна змінювати конструкцію та схему верстата. За останні роки конструкції інструмента принципово змінилися з метою підвищення якості продукції то скорочення часу на її виготовлення та обслуговування.

Одним з пріоритетних напрямків, які забезпечують високопродуктивне виробництво є створення спеціалізованого інструментарію, який розробляється для кожного конкретного вузла, деталі, тощо, з урахуванням можливостей верстатного парку та інструментального виробництва конкретного виробництва.

Метою даної роботи є розробка конструкції прогресивного високопродуктивного металорізального інструменту та інструменту для обробки складнопрофільних деталей задля підвищення точності та якості механічної обробки [2, 3, 4].

У роботі необхідно проаналізувати сучасний стан технології та конструкції металорізальних інструментів, зокрема фасонного різця, круглої протяжки та черв'ячної модульної фрези, та здійснити проектування зазначеного інструменту для обробки поверхонь деталі згідно завдання, із забезпеченням вимог точності та якості.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ВИХІДНІ ДАННІ

1.1 Завдання до розробки конструкції токарного фасонного різця

У роботі здійснюється огляд сучасного стану технології застосування та конструкції фасонних різців для точіння деталей на токарних верстатах. Також здійснюється проектування круглого фасонного різця для виготовлення деталі згідно завдання, рис. 1.1.

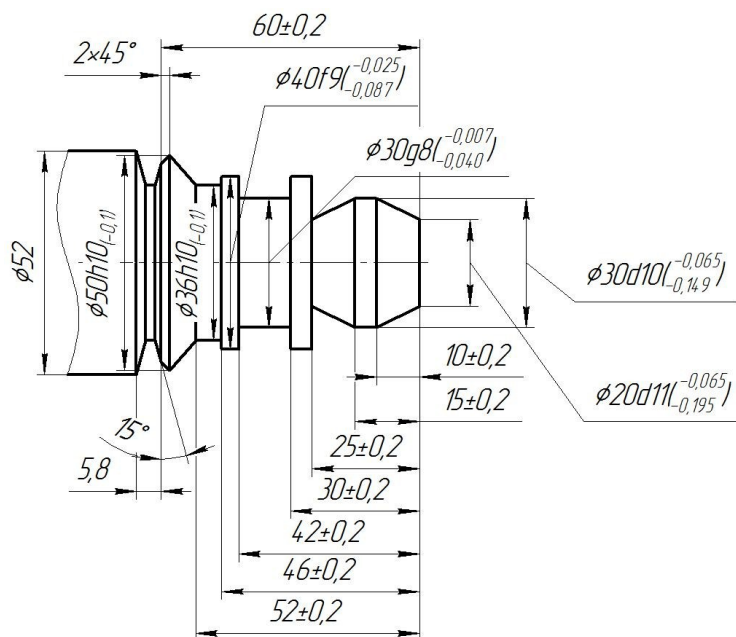


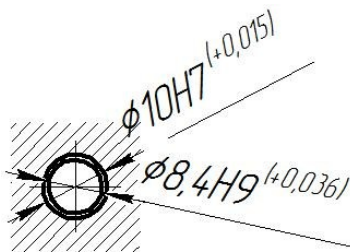
Рисунок 1.1 – Ескіз деталі до проекту круглого фасонного різця.

1.2 Завдання до розробки конструкції круглої протяжки

У роботі здійснюється огляд сучасного стану технології застосування та конструкції круглих протяжок. Здійснюється проектування круглої протяжки для виготовлення деталі згідно завдання та рис. 1.2:

- матеріал заготовки: сталь 45 ДСТУ 7809:2015, НВ 197...229;
- діаметр отвору до протягування: $D_o = 8,4H9(^{+0,036})$ мм;
- діаметр після протягування: $D = 10H7(^{+0,015})$ мм;
- довжина протягування: $L = 20$ мм;
- шорсткість $Ra = 1,6$ мкм;
- верстат: 7A510, тягова сила $Q = 10$ т; робочі швидкості 1,5...13 м/хв.[8]
- тип виробництва – масовий.

					PI 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Довжина $l=20$ мм
Матеріал – сталь 45
Верстат 7A510

Рисунок 1.2 - Ескіз деталі до проекту
круглої протяжки.

1.3 Завдання до розробки конструкції фрези черв'ячної модульної

У роботі здійснюється огляд сучасного стану технології черв'ячного зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс та конструкції черв'ячних фрез. Також здійснюється проектування фрези черв'ячної для виготовлення деталі згідно завдання та рис. 1.3:

- модуль: $m = 2,0$ мм;
- число зубців: $z_1 = 22$; $z_2 = 28$;
- кут нахилу зубців: $\beta = 0^\circ$;
- міжосьова відстань: $a_w = 50$ мм;
- коефіцієнт зміщення: $k_1 = 0,551$; $k_2 = 0,551$;
- ступінь точності: Ст 8 - 8;
- вихідний контур: $\alpha = 20^\circ$; $r_1 = 0,3799$; $c = 0,25$; $h_0 = 1,0$; $\beta = 0^\circ$.

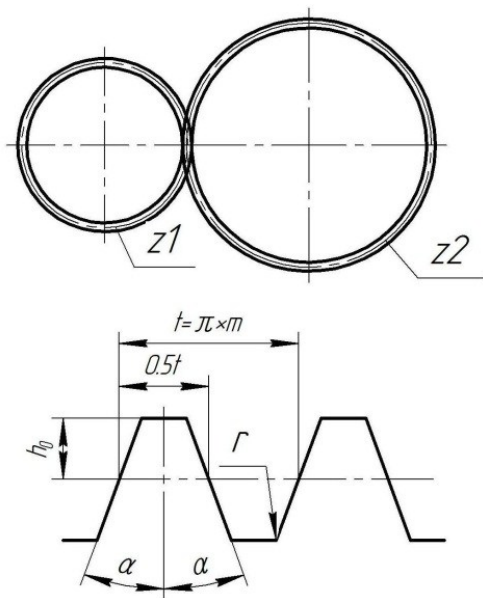


Рисунок 1.3 - Ескіз деталі до
проекту черв'ячної фрези.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

РОЗДІЛ 2 ФАСОННИЙ РІЗЕЦЬ

2.1 Сучасний стан технології та конструкції токарних фасонних різців

Фасонні різці - це спеціалізований різальний інструмент, призначений для обробки складних профілів поверхонь за один робочий прохід. Вони широко застосовуються в токарній обробці для виготовлення деталей із заданою геометрією, коли профіль поверхні повністю відповідає формі різальної кромки інструмента. Найбільш поширеними є призматичні (рис. 2.1, б) та круглі (дисккові) фасонні різці (рис. 2.1, а), які відрізняються конструкцією, способом закріплення та сферою застосування [1, 5].

Фасонні різці працюють за принципом копіювання: форма різальної кромки інструмента безпосередньо відтворюється на оброблюваній деталі. Це дозволяє значно підвищити продуктивність, оскільки складний профіль формується за один прохід, без необхідності багатократних переміщень інструмента.

Основними елементами фасонного різця є:

- різальна частина із заданим профілем;
- задні та передні кути, що забезпечують процес різання;
- корпус або державка для закріплення в різцетримачі.

Такі різці використовуються переважно в серійному та масовому виробництві, де важлива висока повторюваність і точність профілю [9].



а) фасонний круглий різець; б) призматичний фасонний різець;
Рисунок 2.1 – Конструкції фасонних різців.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Призматичні фасонні різці

Призматичні різці мають форму призми з плоскою опорною поверхнею, яка встановлюється в державці. Різальна кромка формується на одній із граней призми і відповідає необхідному профілю деталі.

Основні особливості:

- жорстке закріплення у різцетримачі;
- висока точність обробки;
- можливість переточування з збереженням профілю (за певних умов).

Призматичні різці застосовуються для обробки зовнішніх і внутрішніх фасонних поверхонь, зокрема канавок, уступів, радіусних переходів. Вони ефективні при обробці деталей типу валів, втулок, фланців.

Переваги:

- висока жорсткість і стабільність процесу різання;
- точне відтворення профілю;
- придатність для важких умов обробки.

Недоліки:

- складність виготовлення профілю;
- обмежена кількість переточувань;
- значні сили різання, що потребують потужного обладнання.

Круглі (дискові) фасонні різці

Круглі фасонні різці виконуються у вигляді диска з профільованою різальною кромкою по периферії. Вони встановлюються на оправці та можуть обертатися або залишатися нерухомими залежно від конструкції.

Основні особливості:

- велика кількість можливих переточувань;
- рівномірний знос різальної кромки;
- компактність конструкції.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Такі різці широко використовуються для серійного виготовлення деталей зі складним профілем, наприклад, різьб, зубців, декоративних елементів, а також для обробки кольорових металів і сталей середньої твердості.

Переваги:

- тривалий термін служби;
- економічність за рахунок багаторазового переточування;
- стабільність профілю протягом експлуатації.

Недоліки:

- менша жорсткість у порівнянні з призматичними різцями;
- складність налаштування;
- обмеження при обробці глибоких профілів.

Порівняльна характеристика та вибір

Вибір між призматичними та круглими фасонними різцями залежить від умов обробки, типу виробництва та вимог до точності [8]. Призматичні різці доцільно застосовувати при необхідності високої жорсткості та точності, особливо при обробці твердих матеріалів або значних припусків. Круглі різці, у свою чергу, більш ефективні в умовах масового виробництва завдяки довговічності та економічності.

2.2 Розрахунок геометрії та розробка конструкції круглого токарного фасонного різця

Вихідні дані до розрахунку, а саме ескіз деталі, наведено на рис. 1.1.

Розробка розрахункового ескізу деталі

Для зручності налагоджування металорізальних верстатів і гарантованого забезпечення точних параметрів деталі розрахунок профілю і графічна його побудова проводиться по середнім розмірам кожної точки профілю деталі [7, 8].

Поверхню деталі представляють сукупністю елементарних поверхонь. Загальні точки двох з'єднаних ділянок називають вузловими.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Середній радіус у вузловій точці:

$$r_{Ci} = \frac{d_{Ci}}{2} = \frac{d_{Hi} + 0.5 \times (es_i + ei_i)}{2},$$

де d_{Ci} , d_{Hi} – номінальний і середній діаметр i -тої вузлової точки профілю;
 es_i , ei_i – верхнє і нижнє відхилення розмірів.

Визначення координат вузлових точок проводимо згідно розрахункового ескізу, рис. 2.2.

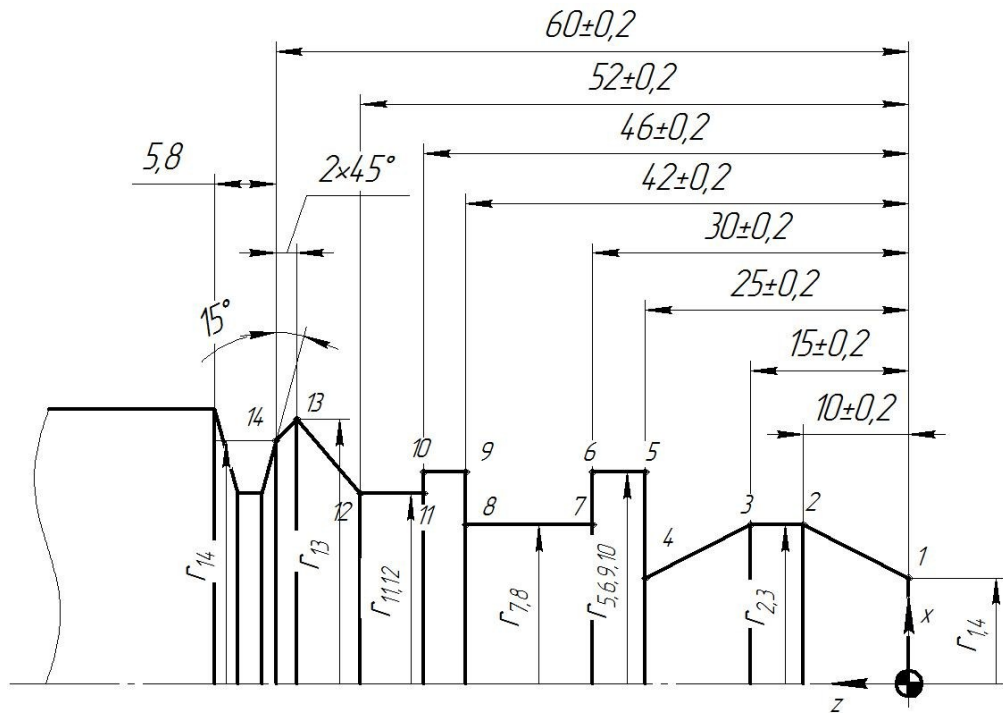


Рисунок 2.2 - Розрахунковий ескіз деталі.

1, 4 точки:

$$x_{1,4} = \frac{d_{C1,4}}{2} = \frac{20 + 0,5 \times (-0,065 - 0,195)}{2} = 9,935 \text{ мм};$$

$$z_1 = 0; z_4 = 25;$$

2, 3 точки:

$$x_{2,3} = \frac{d_{C2,3}}{2} = \frac{30 + 0,5 \times (-0,065 - 0,149)}{2} = 14,149 \text{ мм};$$

$$z_2 = 10; z_3 = 15;$$

5, 6, 9, 10 точки:

$$x_{5,6,9,10} = \frac{d_{C5,6,9,10}}{2} = \frac{40 + 0,5 \times (-0,025 - 0,05)}{2} = 19,962 \text{ мм};$$

$$z_5 = 25; z_6 = 30; z_9 = 42; z_{10} = 46;$$

					PI 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

7, 8 точки:

$$x_{7,8} = \frac{d_{c7,8}}{2} = \frac{30 + 0,5 \times (-0,007 - 0,04)}{2} = 14,976 \text{ мм};$$
$$z_7 = 30; \quad z_8 = 42;$$

11, 12 точки:

$$x_{11,12} = \frac{d_{c11,12}}{2} = \frac{36 + 0,5 \times (0 - 0,1)}{2} = 17,975 \text{ мм};$$
$$z_{11} = 46; \quad z_{12} = 52;$$

13 точка:

$$x_{13} = \frac{d_{c13}}{2} = \frac{50 + 0,5 \times (0 - 0,1)}{2} = 24,975 \text{ мм};$$
$$z_{13} = 58;$$

14 точка:

$$x_{14} = 23 \text{ мм};$$
$$z_{14} = 60.$$

Вибір матеріалу різальної частини

Для різців складних профілів з великою довжиною, більше 20 мм, використовують швидкорізальну сталь. Приймаємо – Р6М5.

Вибір конструктивних розмірів

Фасонні різці встановлюються в спеціальних державках, розміри яких стандартизовані. Тому конструктивні розміри, що не відносяться до профілю різця вибираємо по [8] в залежності від максимальної глибини профілю заготовки:

$$t_{max} = \frac{d_{max} - d_{min}}{2} = \frac{50 - 20}{2} = 15 \text{ мм}.$$

Приймаємо:

Зовнішній діаметр - $D = 90 \text{ мм}$; $B_{max} = 90 \text{ мм}$; $E = 10 \text{ мм}$; $r = 1 \text{ мм}$.

Величина переднього кута у базовій точці деталі у перерізі, перпендикулярному базі кріплення різця [8]: $\gamma = 20^\circ$; задній кут $\alpha = 12^\circ$.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота установки різця, мм:

$$h_p = R \times \sin \alpha = 45 \times \sin 12^\circ = 9,356.$$

Висота заточки різця, мм:

$$H = R \times \sin(\alpha + \gamma) = 45 \times \sin 32^\circ = 23,846.$$

Аналітичний розрахунок фасонного різця

Проводимо аналітичний розрахунок [7, 8] круглого фасонного різця, шляхом визначення розмірів вузлових точок та розмірів, згідно схеми рис. 2.3.

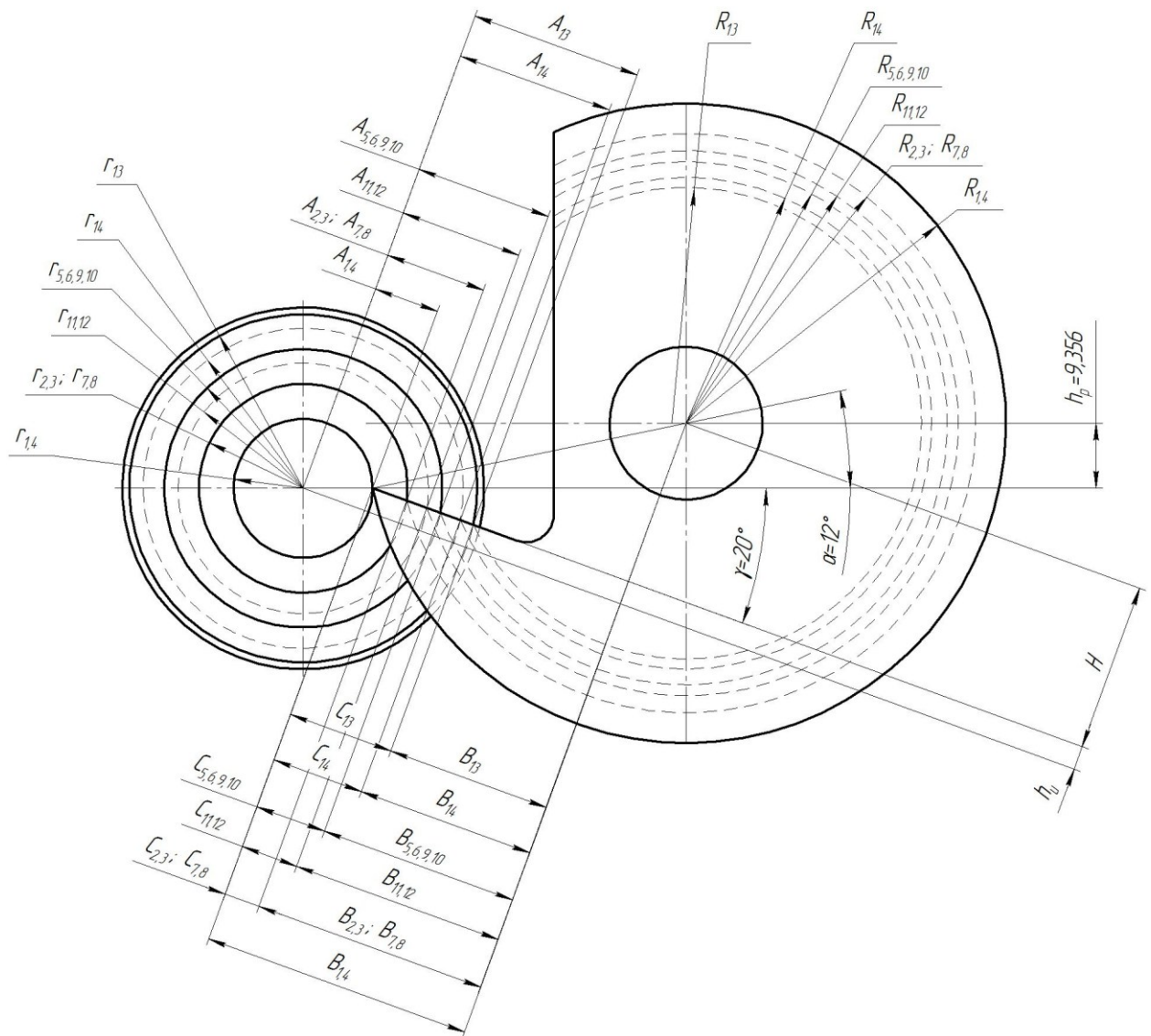


Рисунок 2.3 – Схема для розрахунку круглого фасонного різця.

Визначення координатних відстаней:

$$h_u = r_1 \times \sin \gamma_1 = 9,935 \times 0,3420 = 3,398 \text{ мм.}$$

					PI 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Визначення розмірів А:

$$A_{1,4} = r_{1,4} \times \cos\gamma_{1,4} = 9,935 \times 0,9396 = 9,336 \text{ мм};$$

$$\sin\gamma_{2,3} = \frac{h_u}{r_3} = \frac{3,398}{14,946} = 0,2273; \quad \gamma_3 = 13^\circ 8';$$

$$A_{2,3} = r_{2,3} \times \cos\gamma_{2,3} = 14,946 \times 0,9741 = 14,558 \text{ мм};$$

$$\sin\gamma_{7,8} = \frac{h_u}{r_{7,8}} = \frac{3,398}{14,976} = 0,2268; \quad \gamma_{7,8} = 13^\circ 6';$$

$$A_{7,8} = r_{7,8} \times \cos\gamma_{7,8} = 14,976 \times 0,9707 = 14,537 \text{ мм};$$

$$\sin\gamma_{11,12} = \frac{h_u}{r_{11,12}} = \frac{3,398}{17,975} = 0,1890; \quad \gamma_{11,12} = 10^\circ 54';$$

$$A_{11,12} = r_{11,12} \times \cos\gamma_{11,12} = 17,975 \times 0,9845 = 17,696 \text{ мм};$$

$$\sin\gamma_{5,6,9,10} = \frac{h_u}{r_{5,6,9,10}} = \frac{3,398}{19,962} = 0,1702; \quad \gamma_9 = 9^\circ 48';$$

$$A_{5,6,9,10} = r_{5,6,9,10} \times \cos\gamma_{5,6,9,10} = 19,962 \times 0,9871 = 19,704 \text{ мм};$$

$$\sin\gamma_{14} = \frac{h_u}{r_{14}} = \frac{3,398}{23} = 0,1477; \quad \gamma_{10} = 8^\circ 30';$$

$$A_{14} = r_{14} \times \cos\gamma_{14} = 23 \times 0,9890 = 22,747 \text{ мм};$$

$$\sin\gamma_{13} = \frac{h_u}{r_{13}} = \frac{3,398}{24,975} = 0,1360; \quad \gamma_{10} = 4^\circ 49';$$

$$A_{13} = r_{13} \times \cos\gamma_{13} = 24,975 \times 0,9921 = 24,777 \text{ мм}.$$

Визначення розмірів С:

$$C_{2,3} = A_{2,3} - A_{1,4} = 14,558 - 9,336 = 5,222 \text{ мм};$$

$$C_{7,8} = A_{7,8} - A_{1,4} = 14,537 - 9,336 = 5,201 \text{ мм};$$

$$C_{11,12} = A_{11,12} - A_{1,4} = 17,696 - 9,336 = 8,36 \text{ мм};$$

$$C_{5,6,9,10} = A_{5,6,9,10} - A_{1,4} = 19,704 - 9,336 = 10,368 \text{ мм};$$

$$C_{14} = A_{14} - A_{1,4} = 22,747 - 9,336 = 13,411 \text{ мм};$$

$$C_{13} = A_{13} - A_{1,4} = 24,777 - 9,336 = 15,441 \text{ мм}.$$

Визначення розмірів В, R:

$$\varepsilon = \gamma + \alpha = 20^\circ + 12^\circ = 32^\circ;$$

$$B_{1,4} = R_{1,4} \times \cos\varepsilon_1 = 45 \times 0,8480 = 36,16 \text{ мм};$$

					ПІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$B_{2,3} = B_{1,4} - C_{2,3} = 38,16 - 5,222 = 32,938 \text{ мм};$$

$$tg\varepsilon_{2,3} = \frac{H}{B_{2,3}} = \frac{23,845}{32,938} = 0,7239; \quad \varepsilon_{2,3} = 35^{\circ}54';$$

$$R_{2,3} = \frac{H}{\sin\varepsilon_{2,3}} = \frac{23,845}{0,5878} = 40,566;$$

$$B_{7,8} = B_{1,4} - C_{7,8} = 38,16 - 5,201 = 32,959 \text{ мм};$$

$$tg\varepsilon_{7,8} = \frac{H}{B_{7,8}} = \frac{23,845}{32,959} = 0,7234; \quad \varepsilon_{7,8} = 35^{\circ}53';$$

$$R_{7,8} = \frac{H}{\sin\varepsilon_{7,8}} = \frac{23,845}{0,5862} = 40,677;$$

$$B_{11,12} = B_{1,4} - C_{11,12} = 38,16 - 8,36 = 29,8 \text{ мм};$$

$$tg\varepsilon_{11,12} = \frac{H}{B_{11,12}} = \frac{23,845}{29,8} = 0,8001; \quad \varepsilon_{7,8} = 38^{\circ}40';$$

$$R_{11,12} = \frac{H}{\sin\varepsilon_{11,12}} = \frac{23,845}{0,6247} = 38,17;$$

$$B_{5,6,9,10} = B_{1,4} - C_{5,6,9,10} = 38,16 - 10,368 = 27,792 \text{ мм};$$

$$tg\varepsilon_{5,6,9,10} = \frac{H}{B_{5,6,9,10}} = \frac{23,845}{27,792} = 0,8579; \quad \varepsilon_{5,6,9,10} = 40^{\circ}37';$$

$$R_{5,6,9,10} = \frac{H}{\sin\varepsilon_{5,6,9,10}} = \frac{23,845}{0,651} = 36,628;$$

$$B_{14} = B_{1,4} - C_{14} = 38,16 - 13,411 = 24,749 \text{ мм};$$

$$tg\varepsilon_{14} = \frac{H}{B_{14}} = \frac{23,845}{24,749} = 0,9634; \quad \varepsilon_{14} = 43^{\circ}56';$$

$$R_{14} = \frac{H}{\sin\varepsilon_{14}} = \frac{23,845}{0,6938} = 34,368;$$

$$B_{13} = B_{1,4} - C_{13} = 38,16 - 15,441 = 22,719 \text{ мм};$$

$$tg\varepsilon_{13} = \frac{H}{B_{13}} = \frac{23,845}{22,719} = 1,0495; \quad \varepsilon_{13} = 46^{\circ}23';$$

$$R_{13} = \frac{H}{\sin\varepsilon_{13}} = \frac{23,845}{0,724} = 32,935.$$

					ПІ 00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Висновки по розділу

Фасонні різці є важливим інструментом у сучасному машинобудуванні, що дозволяє значно підвищити продуктивність і точність токарної обробки. Використання призматичних і круглих різців забезпечує широкий спектр технологічних можливостей при виготовленні складних деталей. Раціональний вибір типу різця, його конструкції та геометрії робочої частини, з урахуванням умов обробки, матеріалу заготовки та вимог до якості поверхні є ключовим фактором ефективності виробничого процесу.

У розділі проведено розрахунок геометрії та розробку конструкції круглого токарного фасонного різця згідно вимог робочого профілю деталі. Креслення фасонного різця, державки для нього, шаблона для контролю профілю різця наведено в додатках до роботи.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРОТЯЖКА КРУГЛА

3.1 Сучасний стан технології та конструкції протяжок круглих

Кругла протяжка - це багатолезовий різальний інструмент, призначений для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь (отворів) шляхом поступового зняття припуску послідовно розташованими зубцями. Вона широко застосовується в машинобудуванні для досягнення високої точності та чистоти поверхні за один робочий прохід [5, 6].

Кругла протяжка (рис. 3.1) працює за принципом послідовного різання: кожен наступний зубець має трохи більший розмір, ніж попередній, і знімає невеликий шар матеріалу. Завдяки цьому забезпечується рівномірне навантаження на інструмент і висока якість обробки.

Основні частини круглої протяжки:

- хвостовик (для закріплення у протяжному верстаті);
- напрямна частина (для центрування в отворі);
- різальна частина (зубці, що знімають припуск);
- калібруюча частина (забезпечує точний розмір і шорсткість);
- задня напрямна (стабілізує рух інструмента).

Круглі протяжки застосовуються переважно на спеціальних протяжних верстатах і використовуються в серійному та масовому виробництві [8].

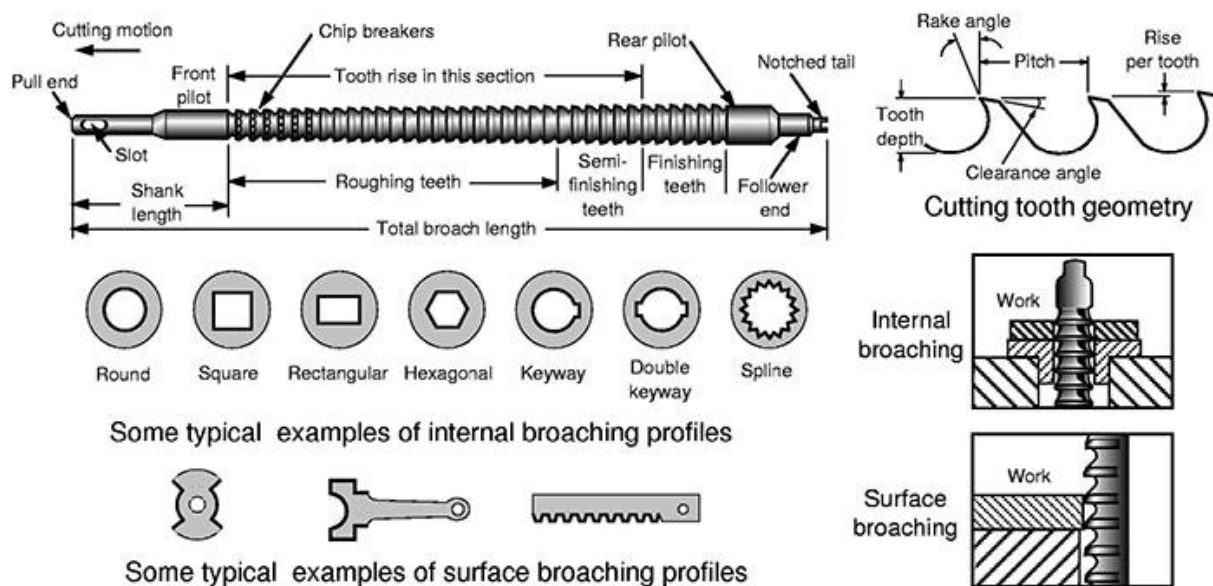


Рисунок 3.1 – Кругла протяжка.

Процес протягування здійснюється шляхом поступального руху інструмента відносно заготовки. При цьому:

- перші зубці виконують чорнову обробку;
- середні - напівчистову;
- останні (калібруючі) - чистову обробку.

Кожен зубець має підйом (різницю у висоті), який визначає товщину зрізаного шару. Це дозволяє розподілити припуск між усіма зубцями та зменшити навантаження на кожен із них.

Круглі протяжки використовуються для:

- обробки точних циліндричних отворів;
- доведення отворів після свердління або розточування;
- виготовлення посадкових поверхонь під підшипники;
- обробки отворів у втулках, корпусах, зубчастих колесах.

Вони особливо ефективні там, де потрібна висока точність (до IT6–IT7) і мала шорсткість поверхні (Ra до 0,8 мкм).

Переваги круглих протяжок:

- висока продуктивність - обробка виконується за один прохід;
- висока точність і якість поверхні;
- стабільність результатів у серійному виробництві;
- автоматизація процесу - добре підходять для автоматичних ліній;
- рівномірний розподіл навантаження між зубцями.

Недоліки круглих протяжок:

- висока вартість інструмента - складність виготовлення;
- обмежена універсальність - кожна протяжка призначена для конкретного розміру і профілю;
- потреба у спеціальному обладнанні (протяжні верстати);
- складність переточування та ремонту;
- великі осьові зусилля під час роботи.

Особливості конструкції

Конструкція круглої протяжки визначається вимогами до обробки. Основними параметрами є:

- крок зубців;
- підйом на зубець;
- передній і задній кути;
- довжина калібруючої частини.

Правильний вибір цих параметрів забезпечує ефективне різання, довговічність інструмента та якість обробленої поверхні.

3.2 Розрахунок геометрії та розробка конструкції протяжки круглої

Вихідні дані до розрахунку приведено у р. 1.2, а ескіз оброблюваної деталі на рис. 1.2.

Розрахунок проводимо згідно рекомендацій та у послідовності [1, 8].

Встановлюємо групу оброблюваності сталі: I.

Визначаємо групу якості: 2.

Матеріал робочої частини: Р6АМ5.

Конструкція протяжки: суцільна.

Визначаємо основні розміри хвостовика протяжки згідно схеми рис. 3.2, мм:

$$\begin{aligned}d_1 &= \emptyset 8e8; & d_2 &= \emptyset 7,8; \\d_4 &= \emptyset 8,0^{+0,5}_{-1,0}; & a &= 5,0c11; \\b_1 &= 7,5d9; & l_2 &= 16; \\l_5 &= 90; & l_6 &= 80; \\r &= 0,2; & S(A-A) &= 35,4 \text{ мм}^2.\end{aligned}$$

Сила, допустима хвостовиком, при $[\sigma]_p = 400 \text{ МПа}$:

$$P_{\text{хв}} = [\sigma]_p \times F_{\text{оп}} = 400 \times 35,4 = 14160 \text{ МПа}.$$

Передні та задні кути:

- передні: група заточки I; чорнові і перехідні А, $\gamma = 10^\circ$; чистові і калібруючі А, $\gamma = 20^\circ$;

- задні: чорнові та перехідні $\alpha = 3^\circ$; чистові $\alpha = 2^\circ$; калібруючі $\alpha = 1^\circ$.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

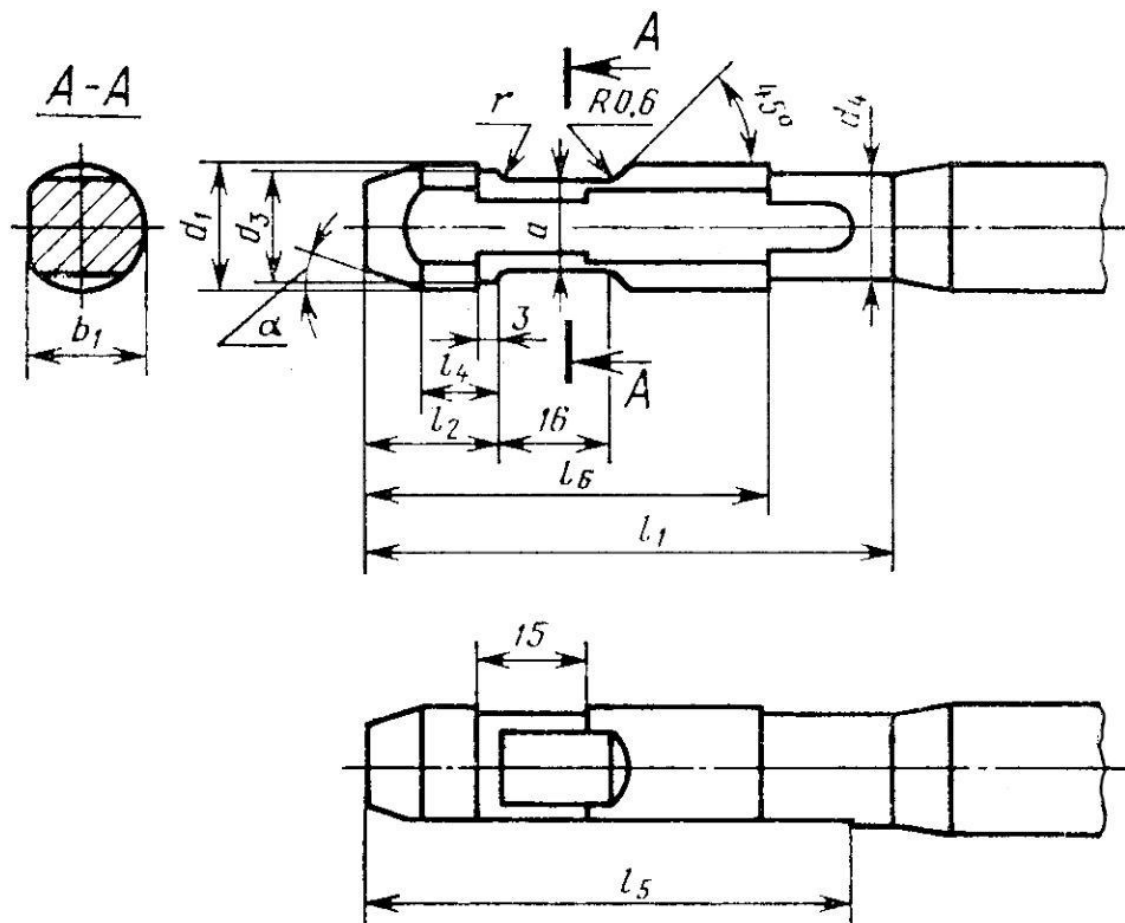


Рисунок 3.2 – Хвостовик протяжки.

Встановлюємо швидкість різання: $v = 9$ м/хв. Верстатом забезпечується.

Підйом чорнових зубців S_{zc} визначаємо із умови рівної стійкості чорнової частини для I гр. оброблюваності.

Спочатку для швидкості різання 9 м/хв і подачі чистових зубців $S_{zc} = 0,02$ мм встановлюємо напрацювання чистової частини: $T = 64$ м. По тій же швидкості різання і стійкості чорнових зубців $T = 64$ м, знаходимо підйом чорнових зубців $S_{z0} = 0,25$ мм/зуб на сторону.

Для I групи оброблюваності і 2 групи якості при швидкості $v = 9$ м/хв обмежуємо підйом чорнових зубців до $S_{z0} = 0,15$ мм/зуб. Приймаємо корегуючі коефіцієнти на напрацювання:

$$K_{ТВ} = 1; K_{ТР} = 1; K_{ТЗ} = 1; K_{ТМ} = 1; K_{ТД} = 1; K_{То} = 1.$$

Напрацювання з корегуючими коефіцієнтами:

$$T_{ТЗ} = T \times K_{ТВ} \times K_{ТР} \times K_{ТЗ} \times K_{ТМ} \times K_{ТД} \times K_{То} = 64 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 64 \text{ м.}$$

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Глибину стружкової канавки h , яка необхідна для розміщення стружки при підйомі $S_{z0} = 0,15$ мм/зуб визначаємо по формулі, прийнявши коефіцієнт вмістимості $K_{ТВ} = 3$:

$$h = 1,11283 \times \sqrt{K_{ТВ} \times l_p \times S_{z0}} = 1,11283 \times \sqrt{3 \times 20 \times 0,15} = 3,3846 \text{ мм.}$$

Найближча більша нормалізована глибина стружкової канавки $h = 3,6$ мм, її приймаємо для подальшого розрахунку.

$$h_{ж} = (0,2 \dots 0,3)D_0 = 0,2 \times 8,4 = 1,68 \text{ мм;}$$

$$h_{ж} < h, \text{ тоді } h_{жт} = 1,6;$$

$$S_{z0} = 0,785 \times \frac{h_{жт}^2}{K_{ТВ} \times l_p} = 0,785 \times \frac{1,6^2}{3 \times 20} = 0,033 \text{ мм/зуб.}$$

Приймаємо: $S_{z0} = 0,03$ мм/зуб; $h = 1,6$ мм.

Приймаємо крок чорнових зубців, мм:

$$\begin{aligned} t_0 &= 4; & h &= 1,6; \\ r &= 0,8; & b &= 1,5; \\ R &= 2,5; & F_{акт} &= 1,77. \end{aligned}$$

Крок і профіль перехідних зубців – такий самий.

Число одночасно приймаючих участь в роботі зубців визначаємо по формлі, відкидаючи дробову частину:

$$z_p = \frac{l_{max}}{t_0} + 1 = \frac{20}{4} + 1 = 6.$$

Максимально допустиму силу різання беремо мінімальну з $P_{ст}$, $P_{хт}$, $P_{оп}$:

$$P_{ст} = (0,8 \dots 0,9) \times Q = 80000 \text{ Н;}$$

$$P_{хт} = 14160 \text{ Н;}$$

$$P_{оп} = [\sigma]_p \times F_{оп} = [\sigma]_p \times 0,785(D_0 - 2h)^2 = 400 \times 0,785(8,4 - 2 \times 1,6)^2 = 8491 \text{ Н.}$$

Максимально допустима сила різання $P_{max} = P_{оп} = 8491 \text{ Н.}$

Число зубців в групі Z_c визначаємо по формулі:

$$Z_c = \frac{\pi \times D \times q_0 \times z_p \times K_{рм} \times K_{р0} \times K_{рк} \times K_{рр}}{P_{max}},$$

де: $q_0 = 67$, для $S_{z0} = 0,03$ мм/зуб та $\gamma = 10^\circ$;

$$K_{рм} = 6; K_{р0} = 1; K_{рк} = 1; K_{рр} = 1.$$

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$Z_c = \frac{3,14 \times 10 \times 67 \times 6 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1}{8491} = 1,487.$$

Приймаємо: $Z_c = 2$ шт.

Визначаємо розрахункову силу протягування, Н:

$$P = \frac{\pi \times D \times q_0 \times z_p \times K_{pm} \times K_{p0} \times K_{pk} \times K_{pp}}{Z_c};$$

$$P = \frac{3,14 \times 10 \times 67 \times 6 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1}{2} = 6311.$$

Повний припуск, мм:

$$A = D_{max} - D_{min} = 10,015 - 8,4 = 1,615.$$

Припуск на чорнових зубцях:

$$A_0 = A - (A_{\pi} + A_{\psi}).$$

Згідно [8], чистові зубці складаються з 2 зубців в одній секції, $Z_{кч} = 10$ мм; $A_{\psi} = 0,1$ мм; калібруючих зубців $Z_{\kappa} = 6$ шт.

Згідно [8], перехідні зубці: $A_{\pi} = 0,06$; $Z_{\pi} = 2$.

$$A_0 = 1,615 - (0,06 + 0,1) = 1,455.$$

Число груп чорнових зубців визначається по формулі:

$$i_0 = \frac{A_0}{2S_{z0}} = \frac{1,455}{2 \times 0,03} = 24,25 \approx 24.$$

Визначаємо залишковий припуск, мм:

$$A_{зал} = A_0 - 2S_{z0} i_0 = 1,455 - 2 \times 0,03 \times 24 = 0,015.$$

Так як половина залишкового припуску менше подачі на зубець чорнових зубців, то переносимо припуск у чистову частину, підвищивши число груп на одиницю.

Число чорнових зубців, шт:

$$Z_0 = i_0 \times Z_c = 24 \times 2 = 48.$$

Загальна кількість зубців протяжки, шт:

$$\sum z = z_0 + z_{\psi} + Z_{\kappa} + Z_{\pi} = 48 + 11 + 6 + 2 = 67.$$

Приймаємо крок чистових і калібруючих зубців:

$$t_3 = 5 \text{ мм}; \quad t_2 = 4,5 \text{ мм}; \quad t_1 = 4 \text{ мм}.$$

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Розміри h , r , b , R однакові для всіх трьох кроків, та аналогічні розмірам чорнових зубців.

$$L_p = t_0(z_0 + z_{II}) + \sum t_{\text{ч}} + \sum t_{\text{к}};$$

$$L_p = 4(48 + 2) + (5 + 4,5 + 4) \times 3 + (5 + 4,5) + (5 + 4,5 + 4) \times 2 = 277 \text{ мм}$$

Розраховуємо два альтернативних варіанти для

$$z_{pII} = z_p + 1 = 6 + 1 = 7;$$

$$z_{pIII} = z_p + 2 = 6 + 2 = 8;$$

Знаходимо крок чорнових зубців для обох варіантів, по формулі, мм:

$$t_0 = \frac{l_{\text{max}}}{z_p - 1};$$

$$t_{0II} = 20/(7 - 1) = 3,333 \approx 4;$$

$$t_{0III} = 20/(8 - 1) = 2,857 \approx 4;$$

Визначаємо відповідні цим крокам глибини профіля стружкових канавок:

$$h_{II} = 1,6 \text{ мм};$$

$$h_{III} = 1,8 \text{ мм};$$

Знаходимо, прийнявши $K = 3$, подачу, мм/зуб:

$$S_{z0II} = 0,785 \times \frac{h_{\text{жт}}^2}{K_{\text{ТВ}} \times l_p} = 0,785 \times \frac{1,6^2}{3 \times 20} = 0,033 \approx 0,03;$$

$$S_{z0III} = 0,785 \times \frac{h_{\text{жт}}^2}{K_{\text{ТВ}} \times l_p} = 0,785 \times \frac{1,8^2}{3 \times 20} = 0,042 \approx 0,04.$$

Для альтернативних варіантів розрахунок виконується так само, як і для першого варіанту. Результати усіх варіантів зводимо до табл. 3.1.

Подальші розрахунки проводимо для I варіанту.

Діаметр калібруючих зубців, мм:

$$D_k = D_{\text{max}} = 10,015.$$

Визначаємо число викружок:

$$N = \frac{(2,4 \dots 3)\sqrt{D}}{Z_c} = \frac{2,4\sqrt{10}}{2} = 3,79,$$

приймаємо: 4 шт.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Варіанти виконання протяжки

Параметр	Варіанти		
	I	II	III
z_p	6	7	8
t_0	4	4	4
h_0	1,6	1,6	1,8
S_{z0}	0,03	0,03	0,04
Z_c	2	2	3
P	6311	7363	7034
A	2,015	2,015	2,015
A_{Π}	0,06	0,06	0,06
$A_{\text{ч}}$	0,1	0,1	0,1
A_0	1,855	1,855	1,855
$A_{\text{зал}}$	0,015	0,015	0,015
i_0	24	24	18
z_0	48	48	54
z_{Π}	2	2	2
$z_{\text{ч}}$	11	11	11
$z_{\text{к}}$	6	6	6
z	67	67	73
$t_{\text{ч}}$	5; 4,5; 4	5; 4,5; 4	5; 4,5; 4
$t_{\text{к}}$	5; 4,5; 4	5; 4,5; 4	5; 4,5; 4
$h_{\text{ч}}$	1,6	1,6	1,8
$b_{\text{ч}}$	1,5	1,5	1,2
L_0	192	192	224
L_{Π}	8	8	8
$L_{\text{ч}}$	50	50	50
$L_{\text{к}}$	27	27	27
L_p	277	277	301

Ширина канавок, мм:

$$a_0 = \frac{\pi D(Z_c - 1)}{N \times Z_c} = \frac{3,14 \times 10(2 - 1)}{4 \times 2} = 3,92,$$

приймаємо $a_0 = 4$ мм.

Число викружок для чистових зубців:

$$N_{\text{ч}} = 1,45\sqrt{D} = 1,45 \times \sqrt{10} = 4,58,$$

приймаємо: 4 шт.

Ширина канавок, мм:

$$a_{\text{ч}} = a_0 - (2 \dots 3) = 4 - 2 = 2.$$

Обираємо діаметр та довжину передньої направляючої, мм:

$$D_{п.н.} = \varnothing 8,4\text{e}8.$$

Довжина, мм:

$$l/D = 2 \rightarrow l_{п.н.} = 0,75l_p = 0,75 \times 20 = 15.$$

Довжина переднього направляючого конуса, мм: $l_{п.к.} = 15.$

Відстань від переднього торця протяжки до першого зубця, по формулі:

$$L_1 = l_1 + 20 = 190 + 20 = 210 \text{ мм.}$$

Діаметр та довжина задньої направляючої, мм:

$$D_{з.н.} = \varnothing 10\text{f}8; \quad l_{з.н.} = 20.$$

Загальну довжину протяжки розраховуємо по формулі, мм:

$$L = L_1 + L_p + L_{з.н.} = 210 + 277 + 20 = 522.$$

3.3 Висновки по розділу

Круглі протяжки є високоефективним інструментом для точної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь. Завдяки багатолезовій конструкції вони дозволяють виконувати чорнову та чистову обробку за один прохід, що значно підвищує продуктивність. Незважаючи на високу вартість і обмежену універсальність, їх використання є економічно доцільним у серійному та масовому виробництві, де важливі точність, стабільність і якість поверхні деталей.

У розділі проведено розрахунок геометрії та розробку конструкції протяжки круглої для обробки отвору згідно вимог деталі. Креслення протяжки наведено в додатках до роботи.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

РОЗДІЛ 4 ФРЕЗА ЧЕРВ'ЯЧНА МОДУЛЬНА

4.1 Сучасний стан технології та конструкції черв'ячних модульних фрез

Черв'ячна фреза - це високопродуктивний різальний інструмент, призначений для нарізання зубчастих коліс методом обкатування. Вона є одним із основних інструментів у зубообробці, забезпечуючи високу точність профілю зубців і ефективність у серійному та масовому виробництві [1, 5, 6].

Черв'ячна фреза має вигляд гвинта (черв'яка) з нарізаними різальними зубцями. Вона працює в парі із заготовкою зубчастого колеса, і їх взаємний рух імітує зачеплення черв'ячної передачі. Завдяки цьому формується правильний евольвентний профіль зубців.

Основні елементи черв'ячної фрези:

- робоча (різальна) частина з зубцями;
- калібруюча частина;
- хвостовик або отвір для встановлення на оправці;
- стружкові канавки;
- задні та передні кути різання.

Принцип роботи

Процес обробки називається **обкатуванням**. Під час роботи (рис. 4.1):

- фреза обертається навколо своєї осі;
- заготовка також обертається синхронно;
- між ними підтримується кінематичний зв'язок, як у черв'ячній передачі;
- фреза поступово врізається в заготовку, формуючи зубці.

Рух подачі зазвичай здійснюється вздовж осі фрези або перпендикулярно до неї (залежно від схеми обробки).

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

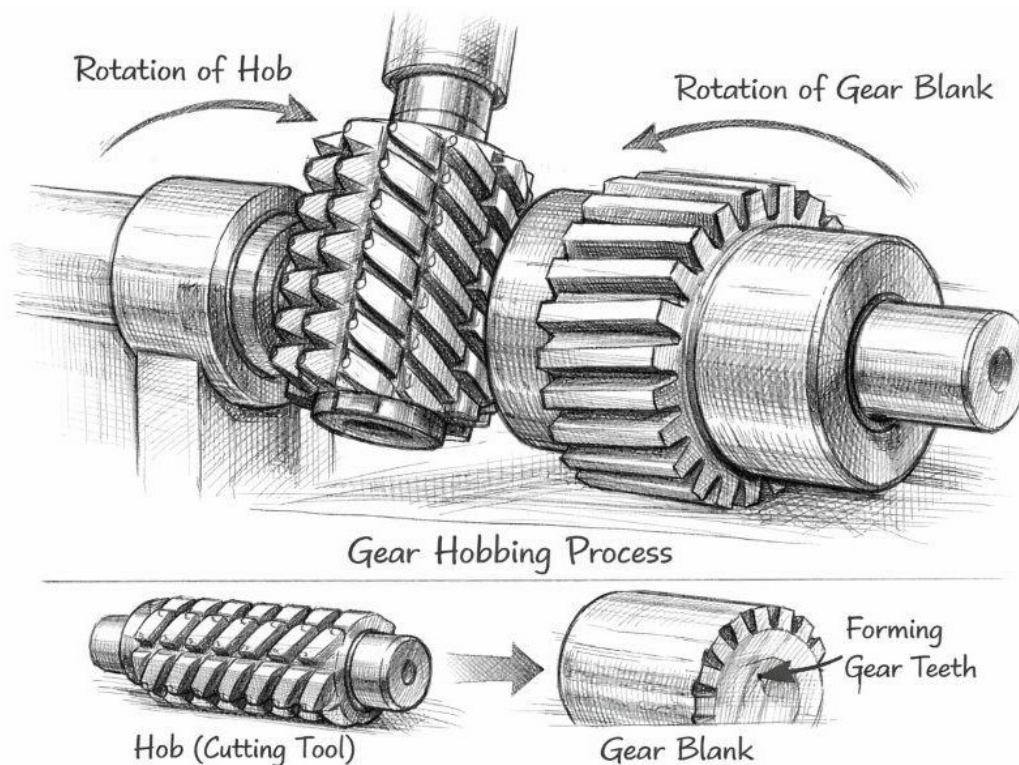


Рисунок 4.1 – Формоутворюючі рухи при черв'ячному зубофрезеруванні.

Застосування черв'ячних фрез

Черв'ячні фрези широко використовуються для:

- нарізання циліндричних зубчастих коліс (прямих і косозубих);
- виготовлення шестерень коробок передач;
- обробки зубчастих вінців;
- серійного виробництва деталей у машинобудуванні, автомобілебудуванні, авіації.

Вони підходять для обробки сталей, чавунів, кольорових металів та їх сплавів.

Переваги черв'ячних фрез:

- висока продуктивність - безперервний процес різання;
- точність профілю зубців завдяки методу обкатування;
- універсальність - можливість обробки коліс із різною кількістю зубців одним інструментом;
- плавність роботи та рівномірне навантаження;
- можливість автоматизації процесу.

Недоліки черв'ячних фрез:

- складність виготовлення інструмента;
- висока вартість;
- потреба у спеціальних зубофрезерних верстатах;
- знос різальних кромek при обробці твердих матеріалів;
- необхідність точного налаштування кінематики.

Особливості конструкції

Конструкція черв'ячної фрези визначається такими параметрами [8]:

- модуль (визначає розмір зубців);
- кут підйому гвинтової лінії;
- число заходів (однозаходні, багатозаходні);
- геометрія зубців (передній і задній кути);
- матеріал (швидкорізальна сталь, твердий сплав).

Важливою особливістю є можливість багаторазового переточування, що подовжує термін служби інструмента.

4.2 Розрахунок геометрії та розробка конструкції черв'ячної модульної фрези

Вихідні дані до розрахунку приведено у р. 1.3, а ескіз оброблюваної деталі на рис. 1.3. Розрахунок проводимо згідно рекомендацій [8].

Розрахунок евольвентної циліндричної передачі

Ділильна міжвісєва відстань, мм:

$$a = \frac{(z_1 + z_2) \times m}{2 \times \cos \beta} = \frac{(22 + 28) \times 2}{2 \times \cos 0^\circ} = 50;$$

Коефіцієнт зміщення:

$$X_\Sigma = x_1 + x_2 = 0,551 + 0,551 = 1,102.$$

Торцевий кут профілю:

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\alpha_t = \arctg\left(\frac{tg\alpha}{\cos\beta}\right) = \arctg\left(\frac{tg20}{\cos0}\right) = 20^\circ.$$

Кут зачеплення передачі:

$$inv\alpha_{tw} = inv\alpha_t + \frac{2X_\Sigma \times tg\alpha}{z_1 + z_2} = 0,014904 + \frac{2 \times 1,102 \times tg20^\circ}{22 + 28} = 0,03095;$$

$$\alpha_{tw} = 25^\circ 52'.$$

Початкова міжвісєва відстань, мм:

$$a_\omega = \frac{a \times \cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}} = \frac{50 \times \cos20^\circ}{\cos 25,25^\circ} = 51,95.$$

Ділильні діаметри шестерні і колеса, мм:

$$d_1 = m \times z_1 / \cos\beta = 2 \times 22 / \cos 0^\circ = 44;$$

$$d_2 = m \times z_2 / \cos\beta = 2 \times 28 / \cos 0^\circ = 56.$$

Передаточне відношення:

$$U = x_2 / x_1 = 28 / 22 = 1,273.$$

Початковий діаметр, мм:

$$d_{\omega 1} = 2a_\omega / (U + 1) = 2 \times 51,95 / (1,27 + 1) = 45,77;$$

$$d_{\omega 2} = d_{\omega 1} \times U = 45,77 \times 1,273 = 58,127.$$

Коефіцієнт сприймаємого зміщення:

$$y = (a_\omega - a) / m = (51,95 - 50) / 2 = 0,975.$$

Коефіцієнт урівнюючого зміщення:

$$\Delta y = X_\Sigma - y = 1,102 - 0,975 = 0,127.$$

Діаметри вершин зубців шестерні і колеса, мм:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \times m(h_a + x_1 + \Delta y) = 44 + 2 \times 2(1 + 0,551 + 0,127) = 50,712;$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \times m(h_a + x_2 + \Delta y) = 56 + 2 \times 2(1 + 0,551 - 0,127) = 61,696.$$

Діаметри впадин зубців шестерні і колеса, мм:

$$d_{f1} = d_1 - 2 \times m(h_a + c - x_1) = 44 - 2 \times 2(1 + 0,25 - 0,551) = 41,2;$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \times m(h_a + c - x_2) = 56 - 2 \times 2(1 + 0,25 - 0,551) = 53,2.$$

Висота зуба, мм:

$$h_1 = 0,5(d_{a1} - d_{f1}) = 4,75;$$

$$h_2 = 0,5(d_{a2} - d_{f2}) = 4,245;$$

					ПІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Діаметри основних окружностей шестерні і колеса, мм:

$$d_{b1} = d_1 \times \cos \alpha_t = 44 \times \cos 20^\circ = 41,34;$$

$$d_{b2} = d_2 \times \cos \alpha_t = 56 \times \cos 20^\circ = 52,62.$$

Кут профіля на окружності вершин, мм:

$$\alpha_{a1} = \arccos(d_{b1}/d_{a1}) = \arccos(41,34/50,712) = 35,38;$$

$$\alpha_{a2} = \arccos(d_{b2}/d_{a2}) = \arccos(52,62/61,696) = 31,46.$$

Радіус кривизни активного профіля в нижній точці, мм:

$$\begin{aligned} \rho_{p1} &= a_w \times \sin \alpha_{tw} - 0,5d_{b1} \times \operatorname{tg} \alpha_{a1} = \\ &= 51,95 \times \sin 25,25^\circ - 0,5 \times 41,3468 \times \operatorname{tg} 35,38 = 7,476; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{p2} &= a_w \times \sin \alpha_{tw} - 0,5d_{b2} \times \operatorname{tg} \alpha_{a2} = \\ &= 51,95 \times \sin 25,25^\circ - 0,5 \times 52,62 \times \operatorname{tg} 31,46 = 6,059. \end{aligned}$$

Радіальний зазор в передачі, мм:

$$C_{12} = 0,5(2a_w - d_{a1} - d_{f2}) = 0,5(2 \times 51,95 - 50,712 - 53,2) = -0,055.$$

Розрахунок вихідного черв'яка фрези

Нормальний кут профілю:

$$\alpha_{n0} = \alpha = 20^\circ.$$

Число витків твірного червяка для чистової фрези: $z_0 = 1$.

Ділильний кут підйому витків твірного черв'яка для одновиткових черв'ячних фрез: $\gamma_0 = 2,3^\circ$.

Висота ділильної головки витка твірного черв'яка (зубця фрези), мм:

$$h_{a0} = (h_a + c) \times m = (1 + 0,25) \times 2 = 2,5.$$

Висота зубця твірного черв'яка, мм:

$$h = (h_a + c) \times 2m = (1 + 0,25) \times 2 \times 2 = 5.$$

Розрахунковий діаметр твірного черв'яка, мм:

$$d_{0p} = m \times z_0 / \sin \gamma_0 = 2 \times 1 / \sin 2,3^\circ = 49,835.$$

Діаметр поверхні вершин твірного черв'яка, мм:

$$d_{a0p} = d_{0p} + 2h_{a0} = 49,835 + 2 \times 2,5 = 54,835.$$

Округляємо до значення, кратного 0,5: $d_{a0p} = 55$ мм.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Уточнений ділильний діаметр твірного черв'яка, мм:

$$d_0 = d_{a0} + 2h_{a0} = 55 + 2 \times 2,5 = 50.$$

Уточнений ділильний кут підйому витків:

$$\gamma_0 = \arcsin\left(m \times \frac{z_0}{d_0}\right) = \arcsin\left(2 \times \frac{1}{50}\right) = 2,29^\circ.$$

Нормальний крок вихідного черв'яка, мм:

$$P_{n0} = \pi \times m = 3,14 \times 2 = 6,28.$$

Вісевий крок вихідного черв'яка, мм:

$$P_{x0} = P_{n0} / \cos \gamma_0 = 6,28 / \cos 2,29^\circ = 6,285.$$

Хід витків твірного черв'яка, мм:

$$P_{z0} = P_{x0} \times z_0 = 6,285 \times 1 = 6,285.$$

Ділильна товщина зубця твірного черв'яка, нормальна, мм:

$$S_{n0} = 0,5P_{n0} + \Delta S,$$

де ΔS - потовщення зубця, визначається в залежності від допустимого найменшого зміщення вихідного контра:

$$\Delta S = 2E_{HS} \times \operatorname{tg} \alpha = 2 \times 16 \times \operatorname{tg} 20^\circ \times 10^{-3} = 11,647 \times 10^{-3};$$

$$S_{n0} = 0,5 \times 6,28 + 0,011 = 3,151.$$

Вісева ділильна товщина зубця, мм:

$$S_{x0} = S_{n0} / \cos \gamma_0 = 3,15 / \cos 2,29^\circ = 3,1525.$$

Розрахунок параметрів різальної частини фрези

Число зубців фрези:

$$z = b\pi / \varphi,$$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{d_{a0} - 2h_1}{d_{a0}}\right) = \arccos\left(\frac{55 - 2 \times 4}{55}\right) = 34,14;$$

$$b = 2,5;$$

$$z = 2,5 \times 3,14 / 34,14 = 13,18 \approx 14.$$

Задній кут на вершині зубця $\alpha_B = 9^\circ \dots 12^\circ$, приймаємо $\alpha_B = 10^\circ$.

Величина затилування, мм:

- першого: $K_1 = \pi \times d_{a0} \times \frac{\operatorname{tg} \alpha}{z} = 3,14 \times 55 \times \frac{\operatorname{tg} 10^\circ}{14} = 2,175 \approx 2;$

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- другого: $K_2 = 1,5 \times K_1 = 1,5 \times 2 = 3$.

Розрахунковий діаметр початкових гвинтових стружкових канавок:

$$d_{\text{рас}} = d_{a0} - 2h_{a0} - 2\sigma K_1,$$

де $\sigma = 0,1 \dots 0,15$ - для чистових фрез;

$$d_{\text{рас}} = 55 - 2 \times 2,5 - 2 \times 0,15 \times 2 = 49,4 \text{ мм.}$$

Кут нахилу гвинтової стружкової канавки:

$$\omega = \arctg(m \times z_0 / d_{\text{рас}} \times \cos \gamma_0) = \arctg(2 \times 1 / 49,4 \times \cos 2,29^\circ) = 2,32^\circ;$$

Крок стружкових канавок, мм:

$$T = P_{z0} / tg^2 \omega = 6,285 / tg^2 2,32^\circ = 3830;$$

Напрямок стружкових канавок зворотній напрямку витків вихідного твірного черв'яка.

Вісевий кут профіля:

$$\alpha_{xOL} = \arctg(ctg \alpha_{x0} - K_1 \times z / T),$$

де $\alpha_{x0} = \arctg(tg \alpha_{n0} / \cos \gamma_0) = \arctg(tg 20^\circ / \cos 2,29^\circ) = 20^\circ;$

$$\alpha_{xOL} = \arctg(ctg 20^\circ - 2 \times 14 / 3830) = 70^\circ.$$

Радіус закруглення вершини зубця фрези, мм:

$$\rho_{x0} = c_{12} / (1 - \sin \alpha_{n0}) = 0,055 / (1 - \sin 20^\circ) = 0,083.$$

Радіус закруглення профіля ніжки зубця фрези, мм:

$$\rho_{f0} = 0,3m = 0,3 \times 2 = 0,6.$$

Глибина стружкової канавки, мм:

$$H = h_0 + r + 0,5(K_1 + K_2) = 5 + 3 + 0,5(2 + 3) = 10,5.$$

Діаметр посадочного отвору фрези, мм:

$$d_{\text{отв}} = d_{a0} - 2H - 2t = 55 - 2 \times 10,5 - 2 \times 2,5 = 29,$$

приймаємо $d_{\text{отв}} = 25 \text{ мм.}$

Діаметр буртів фрези, мм:

$$D_6 = d_{a0} - 2H - (2 \dots 5) = 55 - 2 \times 10,5 - 4 = 30.$$

Довжина нарізної частини фрези приймаємо: $l = 50 \text{ мм.}$

Передній кут приймаємо: $\gamma = 0^\circ.$

Кут стружкової канавки θ приймаємо з ряду 18, 22, 25, 30°: $\theta = 22^\circ.$

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Висновки по розділу

Черв'ячні фрези є ключовим інструментом для виготовлення зубчастих коліс методом обкатування. Вони поєднують високу продуктивність, точність і універсальність, що робить їх незамінними в сучасному машинобудуванні. Незважаючи на складність конструкції та високу вартість, їх застосування є економічно виправданим у серійному та масовому виробництві, де критично важливі якість і повторюваність геометрії зубчастих передач.

У розділі проведено розрахунок геометрії та розробку конструкції черв'ячної модульної фрези для обробки шестерень згідно завдання. Креслення інструменту наведено в додатках до роботи.

					ПІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі на основі проведеного аналізу та інженерних розрахунків успішно вирішено актуальне практичне завдання щодо розробки конструкцій прогресивного, високопродуктивного металорізального інструменту для обробки складнопрофільних деталей.

За результатами виконання роботи сформульовано такі основні висновки:

1) Проведено аналіз сучасного стану галузі проектування та експлуатації металорізальних інструментів. Встановлено, що підвищення ефективності виробництва напряму пов'язане з впровадженням прогресивного інструменту, який забезпечує максимальну точність, продуктивність та якість обробленої поверхні.

2) Здійснено детальний розрахунок геометрії та розроблено конструкцію круглого токарного фасонного різця відповідно до заданого робочого профілю деталі. Рациональний вибір геометричних параметрів та конструкції робочої частини дозволяє суттєво розширити технологічні можливості токарної обробки складних поверхонь та підвищити стабільність виробничого процесу. Для забезпечення точності обробки додатково розроблено державку та контрольний шаблон.

3) Запропоновано та розраховано конструкцію круглої протяжки для точної обробки отвору. Реалізація суміщення чорнової та чистової обробки за один робочий прохід дозволяє кардинально підвищити продуктивність операції, що особливо актуально в умовах серійного та масового виробництва.

4) Розроблено конструкцію черв'ячної модульної фрези для нарізання зубчастих коліс (шестерень) методом обкату. Параметри фрези оптимізовано для забезпечення високої точності, взаємозамінності та повторюваності геометрії евольвентного зачеплення, що мінімізує похибки при виготовленні передач.

Практична цінність. Усі спроектовані конструкції інструментів повністю відповідають технічним вимогам щодо точності та якості обробки деталей згідно із завданням. Розроблений комплект графічних матеріалів (креслення інструментів та допоміжних пристроїв) має практичну цінність і готовий до впровадження у виробничий процес підприємств машинобудівної галузі.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кукляк М. Л., Афтаназів І. С., Юрчишин І. І. Металорізальні інструменти. Проектування. Львів : Львівська політехніка, 2003. 556 с.
2. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002.
3. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи / Укл.: І.І. Павленко, В.А. Мажара, К.К. Щербина, О.І. Скібінський. – Кроп-цький: ЦНТУ, 2021 – 42 с.
4. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 133 «Галузеве машинобудування» / [уклад.: Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок, Д.Ю. Артеменко, О.В. Нестеренко, С.М. Мороз]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 58 с.
5. Равська Н. С. Металорізальні інструменти : підручник. Житомир : ЖДТУ, 2016. 612 с.
6. Равська Н. С., Родін П. Р., Мельничук П. П., Солодкий В. І., Родін Р. П. Різальний інструмент. Лабораторний практикум. Житомир : ЖІТІ, 2002. 298 с.
7. Солодкий В. І., Плівак О. А. Різальний інструмент : лабораторний практикум : навч. посіб. для студентів техн. спец. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 278 с. URL: <https://www.academia.edu/87059622> (дата звернення: 11.06.2026).
8. Сілкін В. П., Солод В. Ю. Різальний інструмент. Курсове проектування : навч. посіб. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. 329 с.
9. Швець С. В. Металорізальні інструменти : навч. посіб. Суми : Вид-во СумДУ, 2007. 185 с.

					РІ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39