

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

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ММР

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Спрощення кінематики процесу точіння фасонним інструментом  
з розрахунком та проєктуванням круглого фасонного різця»**

**«Simplification of the kinematics of the turning process with a shaped  
tool with the calculation and design of a round shaped cutter»**

**КРБ.ГМ.25.23.06.00.00 КР**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го  
курсу групи ГМ-22мб-3

ОПП «Галузеве машинобудування»  
спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»

\_\_\_\_\_ Юрій КАС'ЯН

Керівник роботи к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_ Олександр ЛИСЕНКО

Рецензент к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_ Руслан ОСІН





## 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 ММіР  
Андрій ГРЕЧКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

Юрія КАС'ЯНА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Спрощення кінематики процесу точіння фасонним інструментом з розрахунком та проектуванням круглого фасонного різця»  
«Simplification of the kinematics of the turning process with a shaped tool with the calculation and design of a round shaped cutter»

2. Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр ЛИСЕНКО

затверджені наказом ЦНТУ від «20» січня 2025 р. № 13-13

3. Строк подання роботи до захисту «10» червня 2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:

Мета роботи полягає в інструментальному забезпеченні операцій точіння деталей обертання фасонного профілю шляхом розрахунку та проектування круглого фасонного різця.

Завдання:

- виконати огляд літературних джерел, присвячених обробці деталей обертання фасонного профілю;
- аналіз можливостей існуючих конструкцій фасонного інструменту;
- виконати проектувальний розрахунок круглого фасонного різця;
- розробити конструкцію круглого фасонного різця;
- виконати робочі креслення круглого фасонного різця.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	Січень 2025	
2.	Вступ	Лютий 2025	
3.	Мета та задачі роботи	Лютий 2025	
4.	Огляд можливостей існуючих конструкцій фасонного інструменту	Березень 2025	
5.	Розрахунок та проєктування фасонного інструменту	Квітень 2025	
6.	Виконання креслень	Квітень 2025	
7.	Висновки	Травень 2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки	Травень 2025	
9.	Оформлення презентації роботи	Червень 2025	
10.	Здача роботи на перевірку на наявність заповнень	Червень 2025	

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Олександр ЛИСЕНКО  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Юрій КАС'ЯН  
(підпис)

## Анотація

КАС'ЯН Юрій. Спрощення кінематики процесу точіння фасонним інструментом з розрахунком та проєктуванням круглого фасонного різця. Випускна кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: ЦНТУ, м. Кропивницький, 2025. - 52 с. Графічна частина відповідає 3 аркушам формату А1.

**Мета роботи** полягає у дослідженні методів обробки деталей обертання з фасонним профілем, а також у розробці та проєктуванні круглого фасонного різця для реалізації таких технологічних процесів.

**Актуальність теми** обумовлена практичною потребою у точному розрахунку та конструюванні інструментів, зокрема таких, що мають фасонну ріжучу частину, для виготовлення деталей з профільною поверхнею. У сучасних умовах виробництва великих партій деталей ця задача має високу виробничу значущість і безпосередньо впливає на якість, точність та економічність процесу обробки.

**Практичне значення** роботи полягає в наступному: здійснено всебічний аналіз існуючих способів обробки фасонних поверхонь деталей обертання; виявлено ключові переваги та недоліки різних типів фасонного інструменту; спроєктовано конструкцію круглого фасонного різця; створено шаблони та контршаблони, призначені для контролю відповідності фасонного профілю ріжучих інструментів заданим технічним параметрам.

**Ключові слова:** кінематика точіння, фасонний інструмент, круглий фасонний різець

## **Annotation**

KASIAN Yurii. Simplification of the kinematics of the turning process with a shaped tool with the calculation and design of a round shaped cutter. Graduation thesis for the educational degree "Bachelor": CNTU, city Kropyvnytskyi, 2025. - 52 p. The graphic part corresponds to 3 sheets of A1 format.

**The purpose of the work** is to study the methods of machining parts of rotation with a shaped profile, as well as to develop and design a round shaped cutter for the implementation of such technological processes.

**The relevance of the topic** is due to the practical need for accurate calculation and design of tools, in particular those with a shaped cutting part, for the manufacture of parts with a profile surface. In modern conditions of production of large batches of parts, this task has high production significance and directly affects the quality, accuracy and efficiency of the processing process.

**The practical significance** of the work is as follows: a comprehensive analysis of existing methods of machining shaped surfaces of parts of rotation was carried out; key advantages and disadvantages of different types of shaped tools were identified; the design of a round shaped cutter was designed; templates and counter templates were created, designed to control the compliance of the shaped profile of cutting tools with the specified technical parameters.

**Keywords:** turning kinematics, shaped tool, round shaped cutter

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

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

**«Спрощення кінематики процесу точіння фасонним інструментом  
з розрахунком та проєктуванням круглого фасонного різця»**

**«Simplification of the kinematics of the turning process with a shaped  
tool with the calculation and design of a round shaped cutter»**

**КРБ.ГМ.25.23.06.00.00 ПЗ**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го  
курсу групи ГМ-22мб-3  
ОПП «Галузеве машинобудування»  
спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»

\_\_\_\_\_ **Юрій КАС'ЯН**

Керівник роботи к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_ **Олександр ЛИСЕНКО**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
<b>1. ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЄКТУВАННЯ КРУГЛИХ ФАСОННИХ РІЗЦІВ.....</b>	<b>13</b>
1.1. Загальна характеристика круглих фасонних різців .....	13
1.2. Застосування круглих фасонних різців на виробництві.....	16
1.3. Характерні типи круглих фасонних різців відповідно принципу роботи.....	19
1.4. Корекційні розрахунки круглих фасонних різців .....	28
1.5. Визначення точності розрахунків фасонного профілю.....	34
1.6. Загальна методика проектування фасонних круглих різців.....	35
<b>2. ПРОЄКТУВАННЯ КРУГЛОГО ФАСОННОГО РІЗЦЯ.....</b>	<b>38</b>
2.1. Розробка розрахункового ескізу деталі .....	38
2.2. Визначення конструктивних параметрів круглого різця .....	38
2.3. Побудова розрахункової схеми фасонного круглого різця.....	40
2.4. Корегувальний розрахунок профілю різця .....	41
2.5. Розробка робочого креслення фасонного круглого різця .....	45
2.6. Проектування державки фасонного круглого різця .....	46
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>47</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>49</b>

## ВСТУП

Для отримання фасонного профілю деталей обертання в сучасному виробництві застосовуються різні кінематичні підходи, що дозволяють реалізувати необхідну геометрію поверхні. Ці підходи умовно поділяються на два принципово різні типи. Перший базується на русі прямолінійного ріжучого леза за траєкторією, яка повторює фасонний контур оброблюваної деталі. Другий – передбачає використання інструмента, різальна кромка якого уже відповідає заданому фасонному профілю.

У першому випадку формоутворення здійснюється за рахунок складного координованого переміщення інструмента й заготовки. Це досягається шляхом реалізації подач у відповідних напрямках, що керуються виконавчими механізмами верстатного обладнання (наприклад, на обробних центрах з числовим програмним керуванням). Точка або сегмент ріжучого леза рухається по криволінійній траєкторії, яка відображає форму заданого профілю деталі. Такий підхід дозволяє застосовувати універсальні різці для обробки широкого спектру складних фасонних поверхонь без потреби у виготовленні спеціального інструмента.

У другому випадку профіль різальної кромки інструмента геометрично ідентичний фасонному контуру деталі. Процес формування поверхні полягає в одночасному зрізанні припуску по всій довжині різального леза. Такий метод відрізняється високою продуктивністю та стабільністю обробки, проте потребує виготовлення індивідуального фасонного інструмента, що виправдано лише при серійному або масовому виробництві.

Застосування універсальних різців на високоточних 5-ти та 6-ти координатних обробних центрах є оптимальним рішенням у випадку одиничного або дрібносерійного виробництва. Такі машини забезпечують достатню гнучкість і дозволяють отримувати складні фасонні поверхні без потреби у зміні інструмента. Завдяки наявності числового програмного керування та можливості автоматичної адаптації траєкторії обробки, забезпечується висока точність та повторюваність форми.

Натомість при переході до великих партій виробництва економічна ефективність змінюється. Зростає значення таких переваг фасонних різців, як висока продуктивність, зменшення часу на підготовчо-заклучні операції, стабільність геометрії поверхні, простота кінематичної схеми різання. У таких умовах доцільним стає застосування спеціалізованих токарних фасонних інструментів – зокрема, призматичних і круглих, а також радіальних або тангенціальних фасонних різців.

Ретельно розраховані та точно виготовлені фасонні різці при правильній установці їх на верстатах забезпечують високу продуктивність, точні форму та розміри однотипних деталей у великих партіях, що дозволяє забезпечити взаємозамінність деталей та безперебійний технологічний процес збирання машин. Робочі невисокої кваліфікації можуть обробляти деталі фасонними різцями на револьверних верстатах, напівавтоматах та автоматах. Точність фасонного профілю різців забезпечують кваліфіковані робітники інструментальних цехів. Особливого значення набувають фасонні різці з твердих сплавів, що забезпечують більшу продуктивність порівняно з фасонними різцями зі швидкорізальної сталі.

За технологією виготовлення та експлуатації фасонних різців накопичено достатній досвід. Вивчено питання розрахунку та конструювання фасонних різців, шаблонів та контршаблонів, аналітичного та експериментального досліджень точності фасонних різців, а також технології їх шліфування та заточування. На основі результатів дослідження, проведених у різних дослідницьких та навчальних університетах, а також на в умовах реального виробництва розглянуто питання експлуатації фасонних різців.

Промисловий досвід показує, що частка фасонних деталей серед усіх деталей обертання може бути значною і залежить від конкретної галузі машинобудування. Наприклад, у виробництві елементів гідравлічних систем, автомобільних вузлів, компресорного та насосного обладнання частка таких деталей становить від 15 до 40 %. Саме тому питання вибору раціональної технології формування фасонних поверхонь залишається одним із ключових у галузі верстатобудування та металообробки.

**Мета роботи** полягає у дослідженні методів обробки деталей обертання з фасонним профілем, а також у розробці та проектуванні круглого фасонного різця для реалізації таких технологічних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- виконати огляд літературних джерел, присвячених обробці деталей обертання фасонного профілю;
- аналіз можливостей існуючих конструкцій фасонного інструменту;
- виконати проектувальний розрахунок круглого фасонного різця;
- розробити конструкцію круглого фасонного різця;
- виконати робочі креслення круглого фасонного різця.

**Актуальність** теми обумовлена практичною потребою у точному розрахунку та конструюванні інструментів, зокрема таких, що мають фасонну ріжучу частину, для виготовлення деталей з профільною поверхнею. У сучасних умовах виробництва великих партій деталей ця задача має високу виробничу значущість і безпосередньо впливає на якість, точність та економічність процесу обробки.

**Практичне значення** роботи полягає в наступному: здійснено всебічний аналіз існуючих способів обробки фасонних поверхонь деталей обертання; виявлено ключові переваги та недоліки різних типів фасонного інструменту; спроектовано конструкцію круглого фасонного різця; створено шаблони та контршаблони, призначені для контролю відповідності фасонного профілю ріжучих інструментів заданим технічним параметрам.

# 1. ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЄКТУВАННЯ КРУГЛИХ ФАСОННИХ РІЗЦІВ

## 1.1. Загальна характеристика круглих фасонних різців

Проектування різального інструменту є важливою складовою процесу забезпечення ефективного і точного механічного оброблення, що зумовлює високу увагу до цього питання як з боку вітчизняних науковців [5, 6, 8, 9, 11, 14], так і провідних світових виробників інструментального обладнання [18-21].

В інженерно-розрахунковій та технічно-довідковій літературі міститься широкий спектр рекомендацій щодо підходів до проектування різців, включаючи загальні методологічні основи, алгоритми розрахунку геометричних параметрів і приклади конструктивних рішень [1, 4, 2, 7, 10].

У фахових довідкових виданнях надаються практичні поради щодо вибору типів і конструкцій інструментів для різних умов обробки. Серед таких джерел можна виділити найбільш авторитетні праці, які широко застосовуються у виробничій практиці для розробки та вдосконалення конструкцій різального інструменту [12, 13, 15-17].

У провідних міжнародних компаніях, що працюють на ринку інструментального забезпечення, сформувалась відмінна система підходу до проектування, яка еволюціонувала в умовах ринкової економіки. Особливістю цієї моделі є орієнтація на надання клієнту готового комплексного рішення. Уся діяльність з розробки, проектування та виготовлення інструментів виконується інженерно-технічними фахівцями компаній-виробників, таких як Iscar Tools, Sandvik Coromant, TaeguTec та ін. Споживачу пропонується набір інструментальних рішень, адаптованих до певних типів обробки та умов різання [15-18].

У технічній документації [19, 20] та каталогах [18, 21] таких компаній містяться методики розрахунку режимів різання, рекомендації щодо вибору інструменту для конкретних застосувань, а також вказівки щодо ефективного використання кожної інструментальної позиції в заданих параметрах експлуатації.

Недоліком цієї системи є її жорстка орієнтація на вузькі діапазони режимів обробки. Оптимальні ріжучі характеристики гарантовано досягаються лише в межах рекомендованих значень, що встановлені виробником. У разі відхилення від рекомендованих умов ефективність інструменту може суттєво знижуватися.

Таблиця 1.1

Класифікаційні ознаки різців,  
що мають фасонний профіль різальної частини

<b>Характеристика ознаки класифікації</b>	<b>Вид різця з фасонним профілем</b>
1. Конструктивна форма різця	Стрижнева форма різця; Призматична форма різця; Кругла форма різця
2. Характер поверхні обробки	Зовнішні поверхні деталей; Внутрішні поверхні деталей
3. Особливість конструкції різця	Різці суцільної конструкції; Різці складеної конструкції; Різці складальної конструкції
4. Розташування відносно напрямку подачі $s$ та деталі	з радіальним напрямом, з тангенціальним напрямом
5. Розташування бази кріплення різця (або осі отвору) відносно деталі	Паралельне розташування; Нахилене розташування
6. Положення передньої поверхні різця	Передній кут дорівнює 0 або «+» Передній кут дорівнює «+» та кут нахилу різальної кромки не дорівнює 0
7. Форма твірних фасонних поверхонь різця	Твірні кільцевої форми; Твірні гвинтової форми

Окремого розгляду потребує проектування інструментів з фасонним профілем ріжучої частини. Цей процес є значно складнішим і вимагає проведення спеціалізованих геометричних і кінематичних розрахунків, пов'язаних з профілюванням ріжучої кромки з урахуванням кута спотворення, траєкторії різання та інших факторів [2, 3, 5, 8, 11].

Фасонний різець – це різновид профільного інструменту, ріжуча кромка якого одночасно всіма своїми точками формує фасонну поверхню на заготівці. Інакше кажучи, профіль оброблюваної поверхні повністю визначається формою ріжучої частини інструмента. У широкому сенсі профільний інструмент — це інструмент, форма ріжучої кромки якого відповідає геометричному контуру оброблюваної поверхні [4, 8].

Фасонні різці, як інструменти спеціального призначення для обробки деталей складного профілю, мають низку вагомих переваг порівняно зі звичайними токарними різцями [11].

До основних переваг фасонних різців належать:

- підвищена продуктивність обробки – завдяки одночасній роботі всієї довжини ріжучої кромки значно скорочується час циклу, що особливо важливо в умовах серійного та масового виробництва;

- висока точність профілю та розмірів – форма ріжучої кромки заздалегідь відповідає геометрії оброблюваної поверхні, що дозволяє досягти стабільної повторюваності та мінімізувати похибки;

- значний термін служби інструмента – при правильному виборі режимів обробки та матеріалу різця забезпечується тривала експлуатація без втрати якості;

- відносна простота заточування та переточування – ріжуча кромка зазвичай має стабільний геометричний контур, що дозволяє відновлювати інструмент без складного налагодження;

- менші вимоги до кваліфікації персоналу – завдяки фіксованій формі профілю й простому налагодженню, процес обробки може виконуватись операторами середнього рівня кваліфікації.

Проте фасонні різці мають і певні недоліки, які слід враховувати при проектуванні та впровадженні у виробництво:

– висока трудомісткість проектування – розрахунок ріжучої частини, з урахуванням кута спотворення, умов різання та геометричних параметрів деталі, потребує значного інженерного ресурсу;

– складність виготовлення – точне профілювання ріжучої кромки потребує застосування спеціалізованого устаткування та інструментального оснащення;

– підвищені вимоги до точності встановлення – для досягнення необхідного профілю обробки інструмент повинен бути точно позиціонований відносно осі обертання деталі;

– висока собівартість – через складність виготовлення та обмежене універсальне застосування фасонні різці значно дорожчі за стандартні;

– нерівномірність умов різання вздовж ріжучої кромки – окремі ділянки фасонної кромки зазнають різних навантажень і швидкостей різання, що призводить до нерівномірного зношування та потреби в індивідуалізованому підборі режимів.

Таким чином, застосування фасонних різців є технологічно та економічно доцільним насамперед у серійному виробництві, де важливими є стабільність обробки, висока точність і мінімізація тривалості циклу. У той же час, необхідність точного проектування та складність виготовлення потребують комплексного підходу до вибору такого інструменту.

## **1.2. Застосування круглих фасонних різців на виробництві**

Фасонні різці широко застосовуються в серійному, великосерійному і масовому виробництві при обробці фасонних деталей на автоматах, напівавтоматах і інших верстатах. Точно виготовлені фасонні різці при правильній установці їх на верстатах забезпечують високу продуктивність, точність форми й розмірів оброблюваних деталей по *JT8...JT12*, шорсткість поверхонь у межах  $Ra = 0,63...2,5$  мкм.

Стрижневі фасонні різці можуть встановлюватися в різцетримачах універсальних верстатів. Їхнім недоліком є зменшення висоти ріжучої частини після багаторазових переточувань, що зазвичай компенсується використанням

підкладок. Такі різці мають обмежену кількість можливих переточувань. Задню поверхню інструмента шліфують під кутом  $\alpha = 10 \dots 12^\circ$ , що забезпечує належний зазор між інструментом і оброблюваною поверхнею.

Круглі (радіальні) фасонні різці (див. рис. 1.1, а, г, е, ж, и) застосовуються як для зовнішнього, так і для внутрішнього точіння фасонних поверхонь. Вони є більш технологічними у порівнянні з призматичними різцями, оскільки мають форму тіл обертання, що забезпечує спрощене виготовлення, кращу симетрію та зручніше центрування. До того ж, такі різці допускають більшу кількість переточувань без суттєвої втрати точності профілю, що підвищує загальну довговічність і економічну доцільність їх застосування у серійному виробництві.

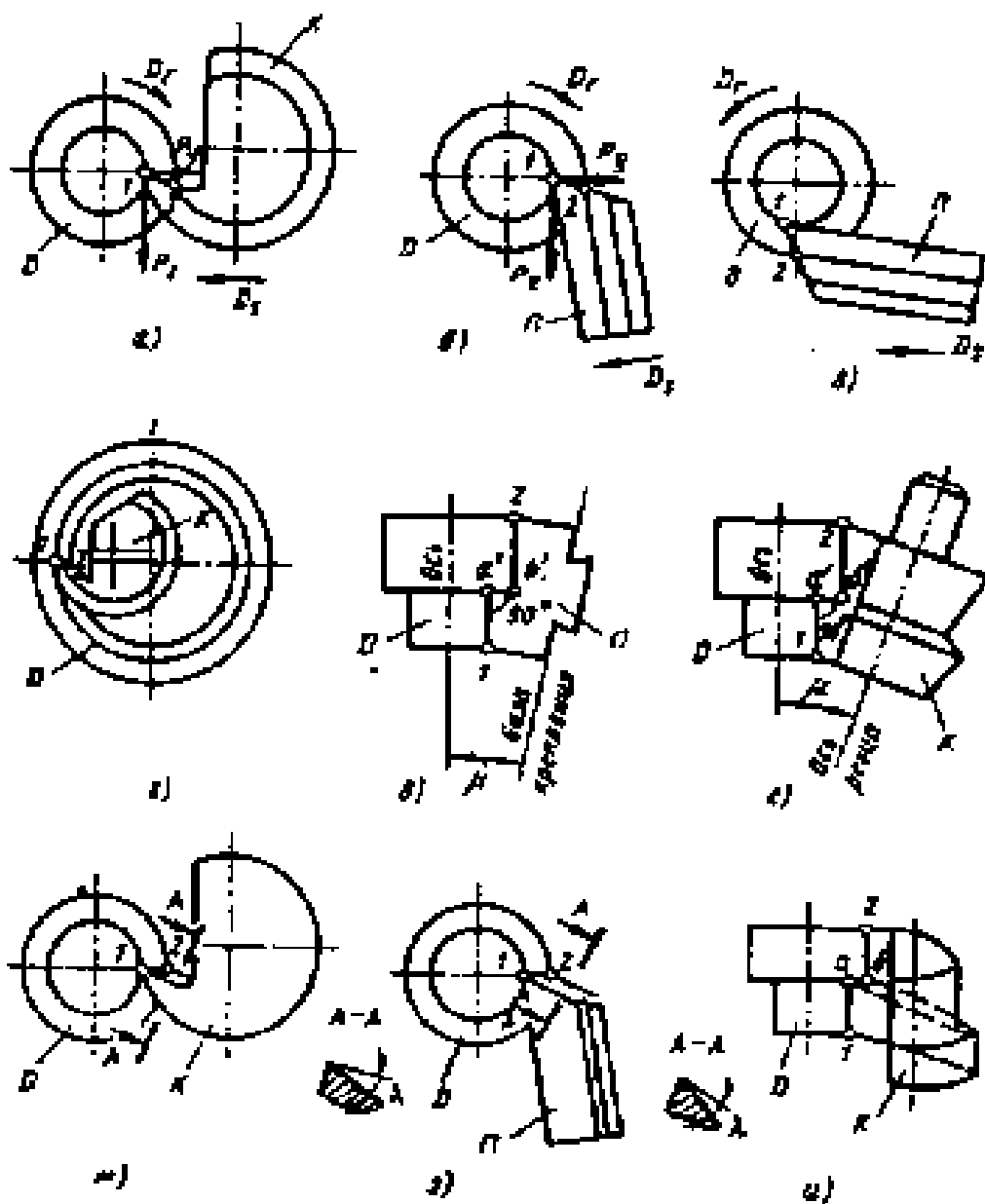


Рисунок 1.1 – Існуючі види конструкцій фасонних різців

Задні кути в круглих фасонних різцях формуються за рахунок розташування осі різця вище осьової площини обертання заготовки. Це досягається за допомогою спеціальних різцетримачів, що забезпечують потрібне положення інструмента. Встановлення різця в різцетримачі здійснюється шляхом базування по центральному отвору та торцевій поверхні.

Після цього положення вершини ріжучої кромки відносно осі обертання деталі регулюється поворотом різця навколо власної осі. З цією метою на торцевій частині різця виконується буртик із системою торцевих зубів. Ці зуби зчіплюються з аналогічними торцевими зубами важеля, який монтується на тій самій осі, що й різець. Такий механізм дозволяє точно встановлювати та фіксувати необхідне положення різця для забезпечення заданих геометричних параметрів обробки.

Призматичні (тангенціальні) фасонні різці (рис. 1.1, б, в, д, з) застосовуються для обробки зовнішніх фасонних поверхонь та мають в порівнянні з круглими фасонними підвищену жорсткість та надійність закріплення, підвищену точність обробки, краще відводять теплоту, простіше в установці на верстатах у порівнянні із круглими.

Вершина радіального фасонного різця встановлюється точно в осьовій площині обертання заготовки, а подача інструмента здійснюється у напрямку, паралельному до її осі. Така конфігурація забезпечує формування усього фасонного профілю заготовки одночасно всією ріжучою кромкою. Проте ця особливість супроводжується значним силовим навантаженням – на інструмент і заготовку діють великі сили різання, що можуть призвести до пружних деформацій заготовки, прогину або зміщення осі інструмента, а також до виникнення вібрацій, які негативно впливають на якість поверхні.

На відміну від цього, тангенціальний фасонний різець встановлюється таким чином, щоб його вершина розташовувалася по дотичній до найменшого радіуса оброблюваної поверхні. У такій схемі обробка не є одночасною — профіль заготовки формується поступово, у процесі переміщення ріжучої кромки вздовж поверхні. Завдяки цьому суттєво зменшуються зусилля різання, що діють у зоні контакту, а також знижується ймовірність виникнення коливань і вібрацій.

Це дозволяє ефективно застосовувати тангенціальні різці для обробки тонкостінних або довгомірних заготовок з недостатньою жорсткістю, де традиційне радіальне точіння може призвести до дефектів форми та розмірів.

В процесі обробки деталей з ділянками з кутом профілю  $90^\circ$  (а-в), рекомендується застосовувати різці з віссю або базою кріплення, нахиленої під кутом  $\mu = 10 \dots 20^\circ$  до осі заготовки. Конструкції таких різців призначені для збільшення значень задніх кутів по профілю фасонного різального різця.

Подача різального інструмента здійснюється у напрямку, який є перпендикулярним до базових поверхонь, за якими проводиться встановлення різця у тримачі.

Для одержання на профілі заготовки точної кінчної ділянки рекомендується застосовувати фасонні різці з нахилом передньої поверхні під кутом  $\lambda$ . Це приводить до того, що ріжуча кромка різця буде розташована на осі деталі й похибка деталі на цій ділянці буде мінімальною.

Круглі фасонні різці з гвинтовою формою задньої поверхні забезпечують можливість збільшення задніх кутів при обробці заготовок із радіальною подачею, особливо у випадках наявності прямолінійних ділянок, перпендикулярних до осі обертання. Однак, через складність виготовлення таких інструментів, їх застосування залишилося обмеженим і не набуло широкого розповсюдження у виробничій практиці.

### **1.3. Характерні типи круглих фасонних різців відповідно принципу роботи**

На виробництві при точінні фасонних поверхонь найчастіше застосовують радіальні круглі (рис. 1.2) та призматичні фасонні різці, які забезпечують високу точність формоутворення та ефективність процесу різання. Значно рідше використовуються тангенціальні та обкатувальні різці (рис. 1.3), що зумовлено як специфікою їхньої геометрії, так і більш складними умовами застосування.

Круглі та призматичні фасонні різці мають відмінності у конструкції та розташуванні робочих поверхонь, зокрема передньої поверхні, що безпосередньо впливає на траєкторії різального процесу та геометрію обробки. У призматичних

різцях передня поверхня, як правило, є площинною, тоді як у круглих вона є частиною циліндричної або сферичної поверхні.

Нахил передньої поверхні інструмента під певним кутом  $\gamma$  змінює її положення відносно осі обертання деталі. У такій конфігурації одна або декілька точок фасонного різального леза можуть опинитися на рівні центру обертання деталі  $O_i$ , тобто в діаметральній площині. Для круглих фасонних різців ці точки мають однаковий радіус, і проходять через умовні розрахункові кола, що визначають профіль різання (див. рис. 1.2). Саме ці точки визначають вихідну геометрію оброблюваної поверхні, що формується фасонною кромкою інструмента.

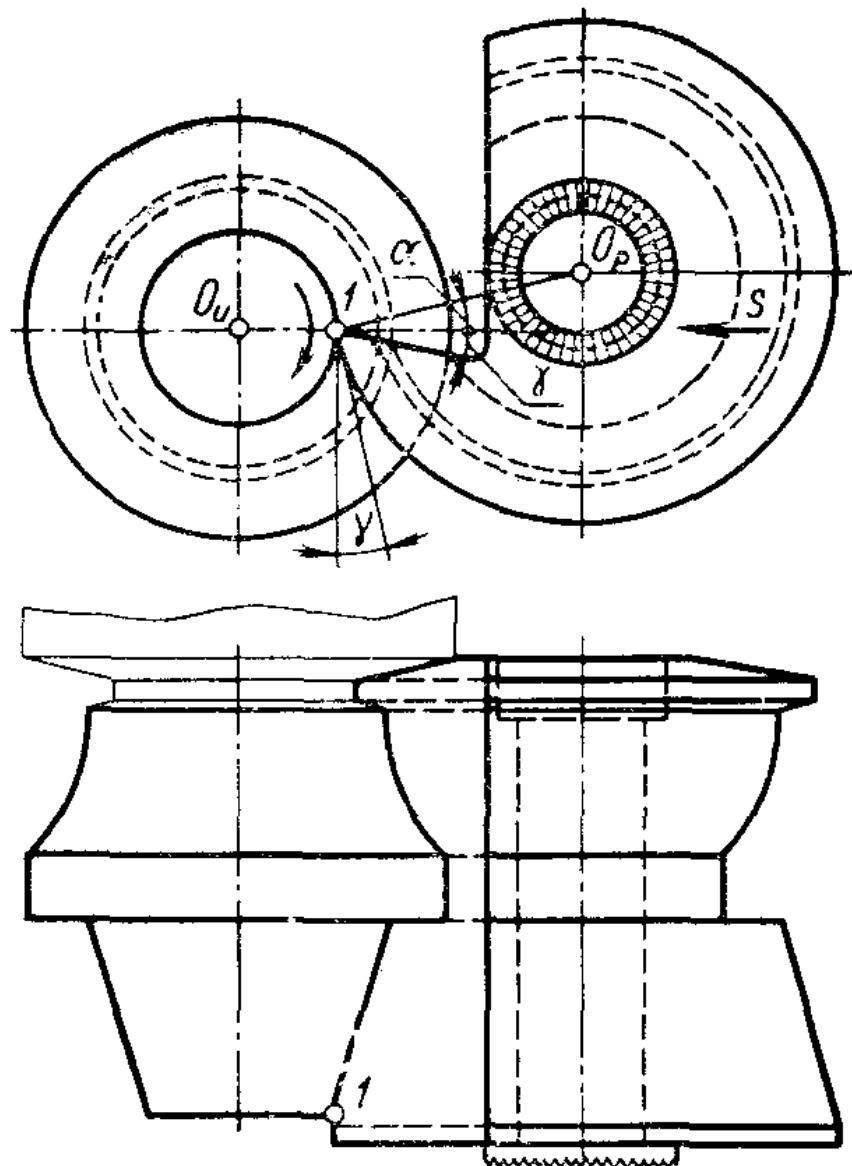


Рисунок 1.2 – Круглий фасонний різець, встановлений базової точки 1 на висоті центру деталі

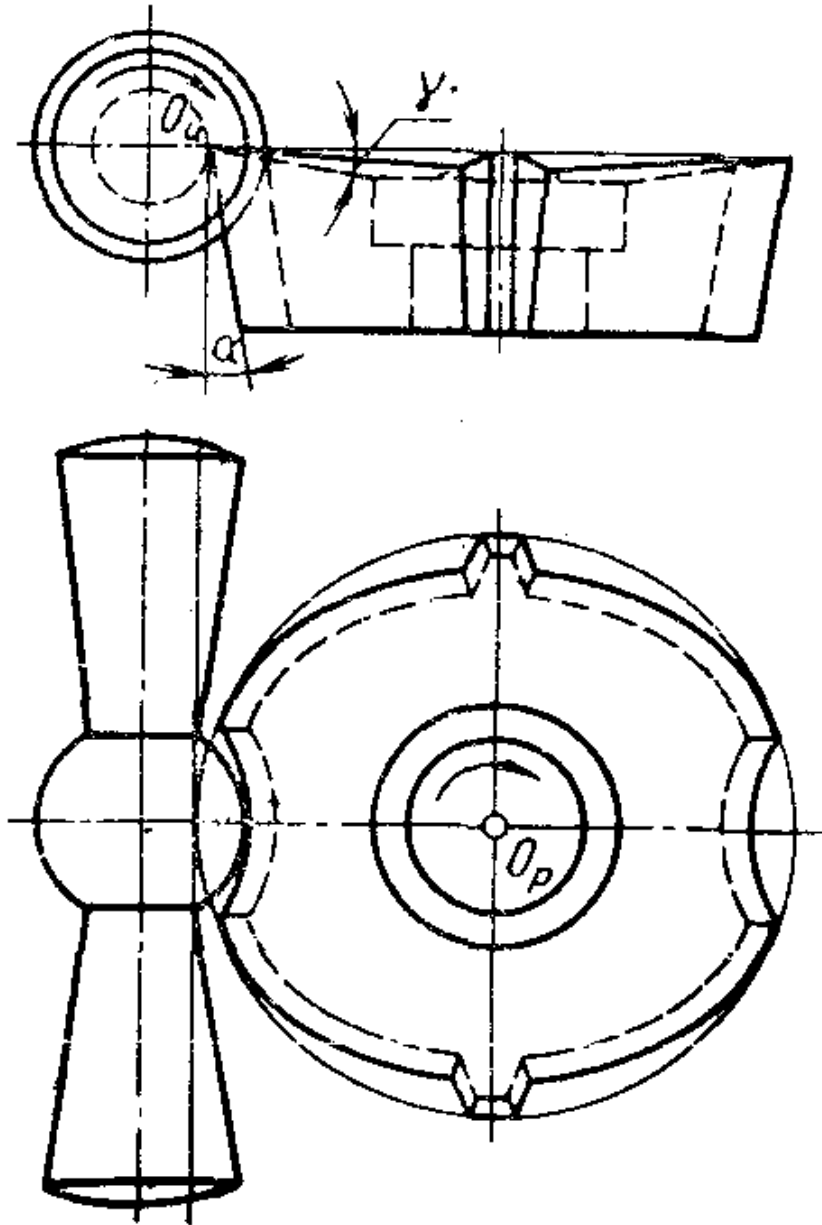


Рисунок 1.3 – Обкатувальний фасонний різець

База кріплення або геометрична вісь може бути розташована паралельно осі оброблюваної деталі або під кутом  $\zeta$  (рис. 1.4-1.6). Фасонні поверхні круглих різців можуть мати кільцеві або гвинтові, що утворюють (рис. 1.7).

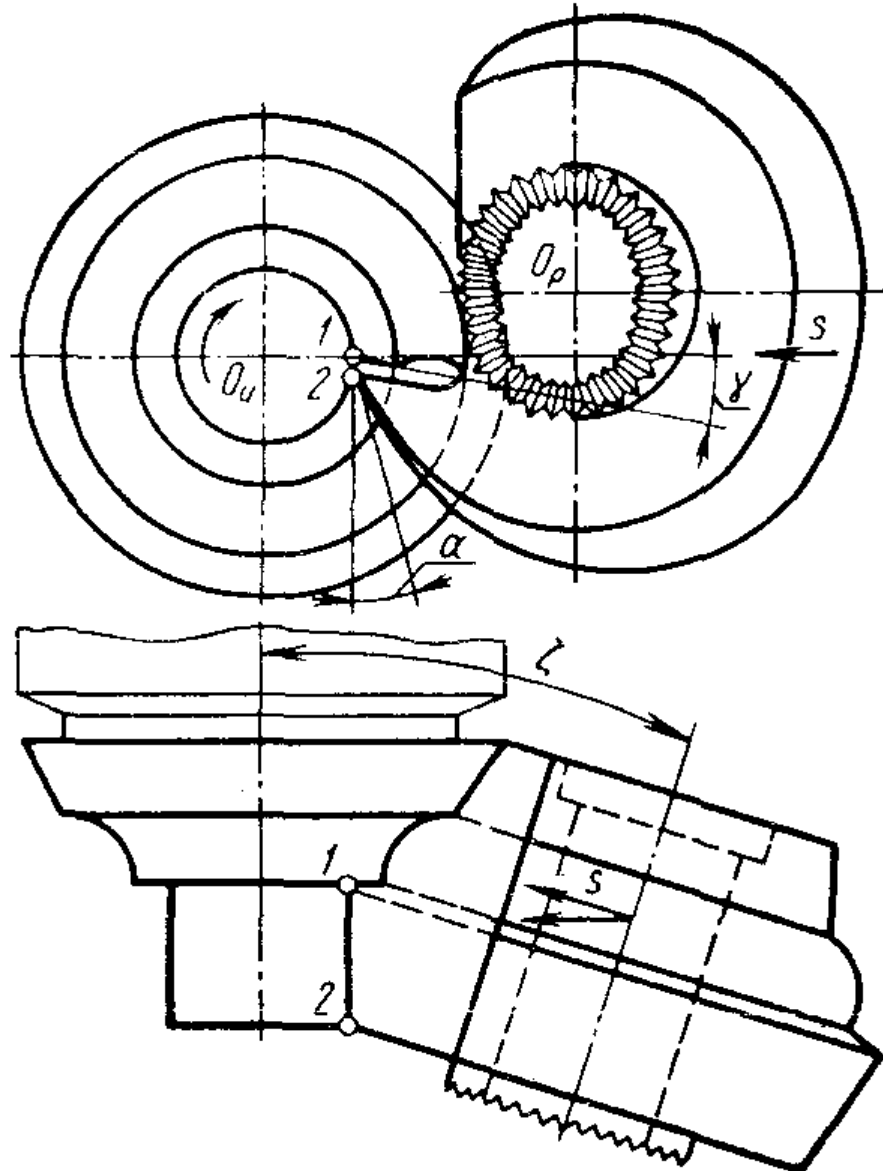


Рисунок 1.4 – Круглий фасонний різець з базою кріплення, яка розташована під кутом  $\zeta < 90^\circ$  до осі обробної деталі

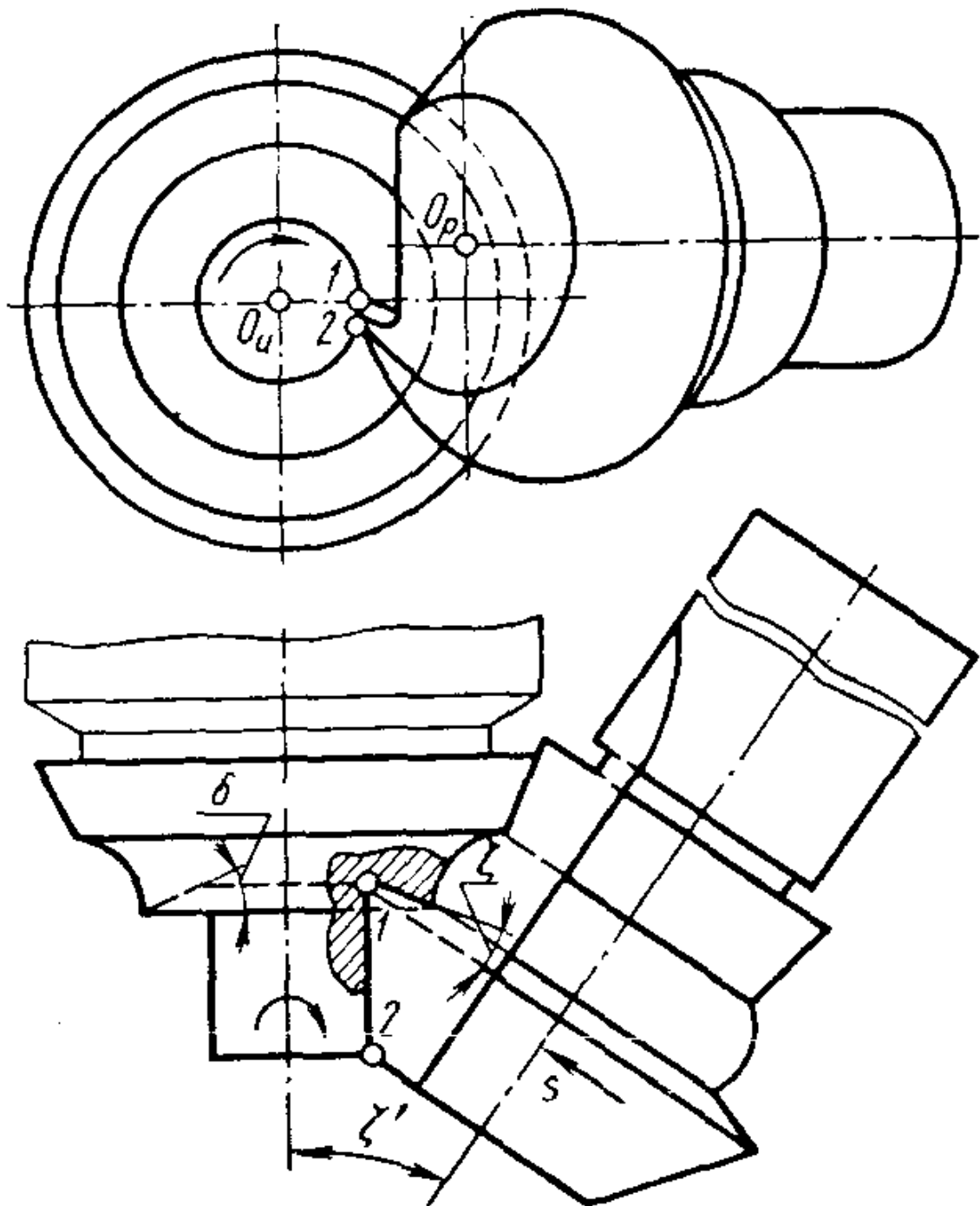


Рисунок 1.5 – Круглий фасонний різець з базою кріплення у вигляді  
циліндричного хвостовика, яка нахилена  
до осі деталі під кутом  $\zeta < 90^\circ$

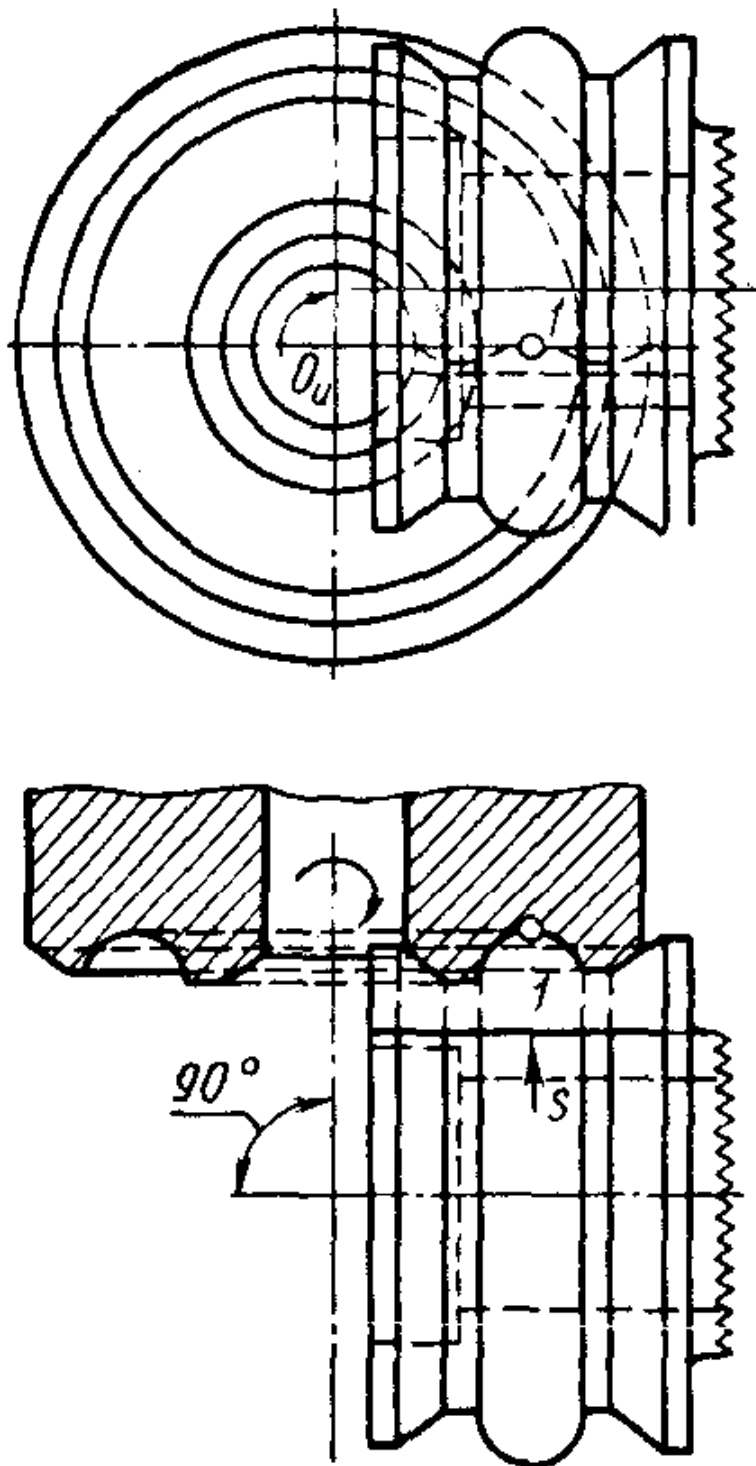


Рисунок 1.6 – Торцьовий фасонний різець з базою кріплення,  
яка розташована під кутом  $\zeta < 90^\circ$

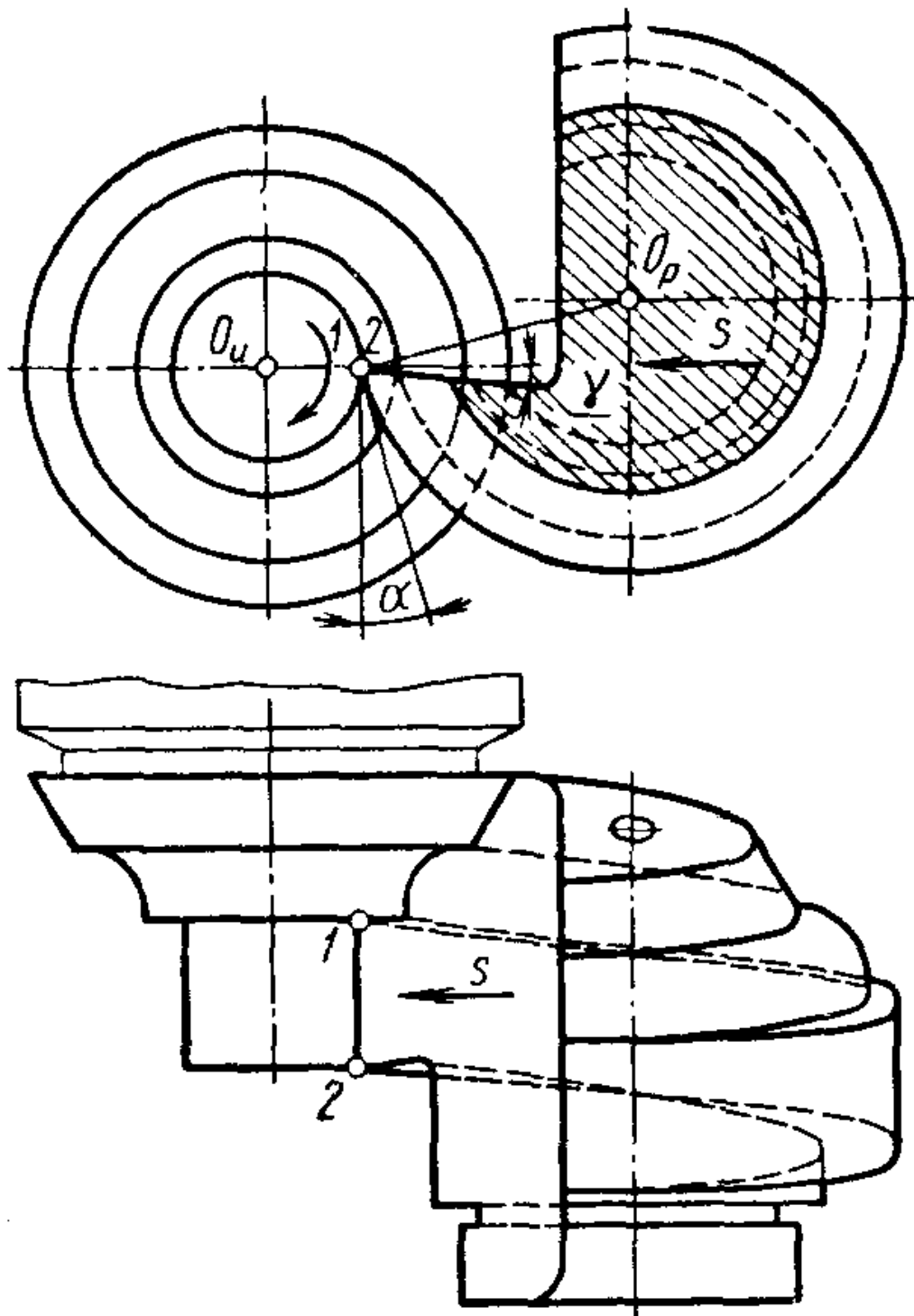


Рисунок 1.7 – Гвинтовий фасонний різець

Всі зазначені види круглих різців одержують від механізму подачі верстата такий напрямок  $s$ , що принаймні одна точка фасонного ріжучого леза перетне на шляху свого руху вісь обертання оброблюваної деталі. Ця ознака є підставою для віднесення всіх фасонних круглих різців у групу радіальних (т. б. ця назва є умовною).

Принцип роботи радіальних фасонних різців базується на принципі поступового зрізання всього зрізу металу, який необхідно видалити, різальним лезом різця. По мірі руху різця в роботу вступають нові і нові точки різального леза і до кінця роботи стружка зрізається всім різальним лезом. Отже, кожна точка різального леза працює певний час. Радіальні фасонні різці можуть подаватися або перпендикулярно (див. рис. 1.2, 1.3), або під кутом  $\zeta$  (див. рис. 1.4, 1.5), або паралельно осі обертання оброблюваної заготовки фасонного профілю (рис. 1.6).

В результаті складання обертання деталі та подачі різця відповідно до трьох напрямків подачі отримаємо траєкторії робочого руху точок різального леза радіальних фасонних різців; тоді в першому випадку отримаємо площинну архімедову спіраль, у другому – просторову конічну гвинтову спіраль і в третьому – гвинтову лінію.

Фасонні поверхні різання можуть відрізнитися залежно від напрямку подачі. При подачі, перпендикулярної до осі обертання оброблюваної деталі, поверхня різання являє собою сукупність плоских архімедових спіралей і є фасонною спіральною поверхнею; при подачі, спрямованій під кутом  $\zeta$  до осі обертання, поверхня різання є сукупністю конічних гвинтових ліній і є фасонною спірально-гвинтовою поверхнею; при подачі паралельно осі обертання поверхня різання є сукупністю гвинтових ліній і є фасонною гвинтовою поверхнею. При вимиканні механізму подачі всі складні траєкторії відносного робочого руху перетворюються на коло і у обробленої деталі фасонні поверхні матимуть кільцеві утворюючі.

Особливості роботи радіальних фасонних різців такі: а) траєкторія робочого руху кожної точки ріжучого леза в залежності від напрямку подачі являє собою площинну архімедову спіраль, конічну гвинтову або кругову гвинтову лінії; б) під час обробки однієї деталі утворюється постійна, але не рівна у всіх точках різального леза товщина стружки; в) сили та теплота різання, що руйнують ріжучі елементи, розподілені по всьому ріжучому лезу, але тривалість їх дії для різних точок фасонного профілю різна; г) в кінцевий момент різання деталей

обробляється одночасно всім різальним лезом, теоретично поверхня деталі повинна бути рівною та гладкою.

Фасонний профіль обкатувальних різців, що розглядається на площині  $RR$ , перпендикулярної осі різця, є огинаючою сімейства обгинаються для філій оброблюваної фасонної деталі. Щоб забезпечити позитивні передні кути  $\gamma$  для всіх точок замкнутого різального леза, необхідно заточувати передню поверхню різців на конус.

Перетин фасонної задньої поверхні з конусною передньою поверхнею утворює фасонне різальне лезо, окремі точки якого лежать у площині  $RR$ , розташованій на висоті центру  $O_i$  обертання деталі, а решта точок знаходиться або вище, або нижче цієї площини.

Принцип роботи фасонних обкатувальних різців заснований на теорії зачеплення зубчастих коліс. Оброблювана деталь хіба що є рейкою, що у зачепленні з колесом, т. б. наразі різцем. Перекочування різця по деталі відповідає перекочування без ковзання рухомої смуги різця (колеса) по нерухомій смугі деталі (рейки). У процесі перекочування кожна точка різального леза обкатувального різця здійснює рух циклічною кривою, а в відносному русі деталі і різця траєкторією робочого руху кожної точки різального леза буде циклічна гвинтова лінія. Внаслідок безперервного обертального руху різця і оброблюваної деталі шар металу, що видаляється, зрізається у вигляді безперервної стружки, і оброблена фасонна поверхня утворюється так само як при різанні тангенціальним різцем.

Недоліком обкатувальних фасонних різців є зміна фасонного профілю, а отже, і розмірів оброблюваної деталі, при переточування різця по передній поверхні. Це положення пов'язане зі збереженням розмірів рухомий та нерухомий полоїд при зменшенні зовнішніх розмірів різця внаслідок наявності на різці задніх кутів  $\alpha$ . Тому допускається суворо обмежену кількість переточок фасонних обкатувальних різців, що робить їх застосування мало рентабельним. Прикладом, що ілюструє принцип роботи фасонних обкатувальних різців, є довбач, що використовується для обточування круглої евольвентної рейки.

### 1.4. Корекційні розрахунки круглих фасонних різців

У випадку, коли всі точки фасонного різального леза розташовані на висоті центру обертання деталі, то ці точки лежать в діаметральній площині деталі і профіль леза в цьому випадку тотожний профілю шаблону деталі. Таке розташування фасонних різальних різців можливе лише за умови, що передній кут  $\gamma = 0^\circ$  і передня поверхня різців збігається з діаметральним перерізом деталі. Якщо при цьому передня поверхня різців буде одночасно нормальна до фасонних задніх поверхонь, профілі деталей і різців збігатимуться, корекційні розрахунки стануть непотрібними і шаблонами різців будуть контршаблони деталей; останнє можливе лише за умови, що передній кут  $\gamma = 0^\circ$  та задній кут  $\alpha = 0^\circ$  (рис. 1.8).

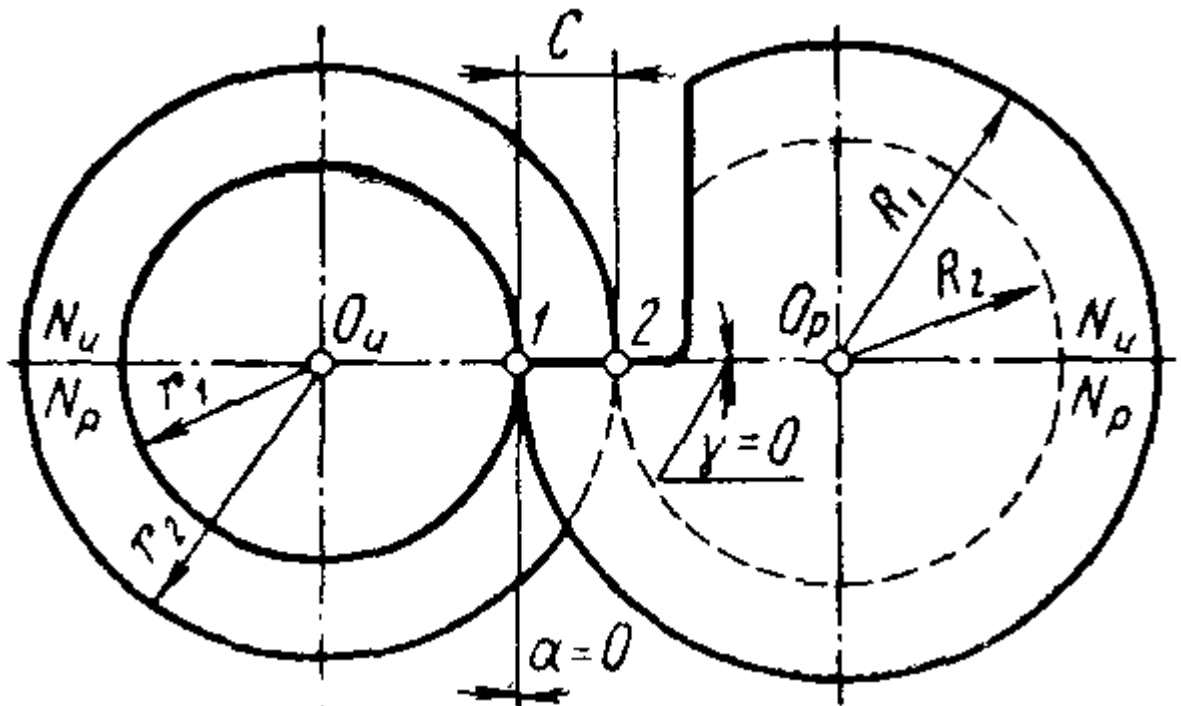


Рисунок 1.8 – Круглий фасонний різець заточений та встановлений так, щоб кути  $\gamma = 0^\circ$  та  $\alpha = 0^\circ$ , викривлення профілю деталі відсутнє; корекційний розрахунок не потрібний

Різання металів різцями, що мають передній кут  $\gamma = 0^\circ$ , можливо, проте при обробці в'язких металів ріжучі якості таких різців будуть низькими. Різання металів різцями, що мають задній кут  $\alpha = 0^\circ$ , неможливе через те, що в результаті

складання обертального руху деталі і подачі різця площинні і просторові спіральні траєкторії відносного робочого руху точок фасонного профілю різального леза утворюють поверхні різання на деталях, що перетинають тіло різців. Розглянутий окремий випадок у виробничій практиці використаний не може бути.

Для ефективного різання різцями необхідно в першу чергу усунути змінання поверхні різання деталі задньою поверхнею різця, а також сили тертя між ними, що досягається заточуванням або встановленням різців під кутом  $\alpha > 0^\circ$ .

У іншому окремому випадку, коли  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha > 0^\circ$  (рис. 1.9), можна прийняти, що поверхня різання в перерізі площиною, яка проходить через точку  $1$  перпендикулярно осі деталі, представлена колом радіуса  $r_1$  і слід площини різання в цій точці буде вертикальною лінією дотичною до цього кола. Слід перетину задньої поверхні круглого фасонного різця з тією самою площиною є колом. Дотична до цього кола у точці  $1$  утворює зі слідом площини різання задній кут  $\alpha$ .

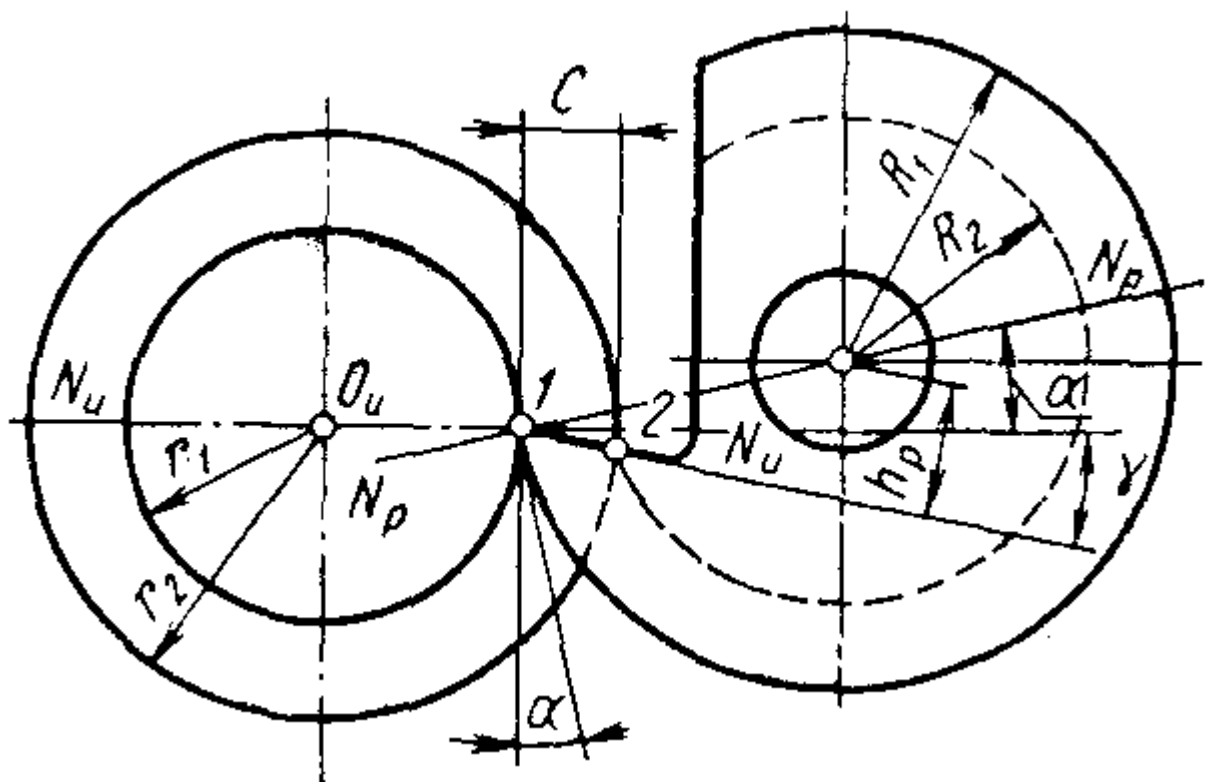


Рисунок 1.9 – Круглий фасонний різець заточений та встановлений так, щоб кути  $\gamma = 0^\circ$  та  $\alpha > 0^\circ$ , перетин  $N_u-N_u$  не співпадає з перетином  $N_p-N_p$  що потребує корекційного розрахунку

Радіус  $R_1$  кола, що проходить через точку  $I$  фасонного профілю різця, становить горизонтальну центрову лінію різця кут  $\alpha$ . Центр  $O_p$  різця розташований вище центру  $O_i$  обертання деталі на величину:

$$h_p = R_1 \cdot \sin \alpha \quad (1.1)$$

Зміщення центру  $O_p$  різця на величину  $h_p$  вище від центру деталі призводить до розбіжності діаметральних перерізів деталі і різця. У діаметральному перерізі деталі, маючи радіуси  $r_1$  і  $r_2$  двох точок заданого профілю, можна визначити глибину профілю  $C = r_2 - r_1$ .

При передньому куті  $\gamma = 0^\circ$  профіль нормального перерізу деталі та його глибина повинні збігатися з профілем та глибиною різального леза різця, утвореного перетином задньої фасонної поверхні останнього з передньою поверхнею. При  $\gamma = 0^\circ$  передня поверхня різця збігається з діаметральним перерізом деталі і, отже, відстань від осі  $O_p$  різця з відривом  $h_p$ . Таким чином, для того щоб на передній поверхні, паралельній осі і віддаленій від неї на відстані  $h_p$ , отримати нормальний профіль деталі, необхідно в діаметральному перерізі різця мати профіль, відмінний за своїми розмірами від профілю деталі. Загальна закономірність відхилення глибини профілю різця від глибини профілю деталі виражається нерівністю:

$$r_2 - r_1 = C > R_1 - R_2.$$

Чим більша відстань  $h_p$ , тим більша різниця між глибиною профілю різця та глибиною профілю деталі. Усунути цю різницю і отримати збіг глибин профілів можна за умови  $h_p = 0$ , т.б. при  $\alpha = 0^\circ$ . Отже, основною причиною, що викликає необхідність корекційних розрахунків, є позитивна величина заднього кута ( $\alpha > 0^\circ$ ). Тому обмеження, що виразилося в заточенні передньої поверхні різця під кутом  $\gamma = 0^\circ$  на погіршення його різальних якостей, не усуває необхідності корекційних розрахунків і не зменшує ні трудомісткості розрахунків,

ні складності технології виробництва різців, що коригують. Отже, передній кут різця повинен бути більше  $0^\circ$  відповідно до механічних і фізичних властивостей оброблюваного матеріалу.

Розглянемо загальний випадок, коли задній кут  $\alpha > 0^\circ$  та передній кут  $\gamma > 0^\circ$  (рис. 1.10). Передня поверхня різця в цьому випадку не збігається з діаметральним перерізом деталі, і тому фасонні різальні леза різців не будуть і не повинні збігатися з нормальними профілями фасонних деталей.

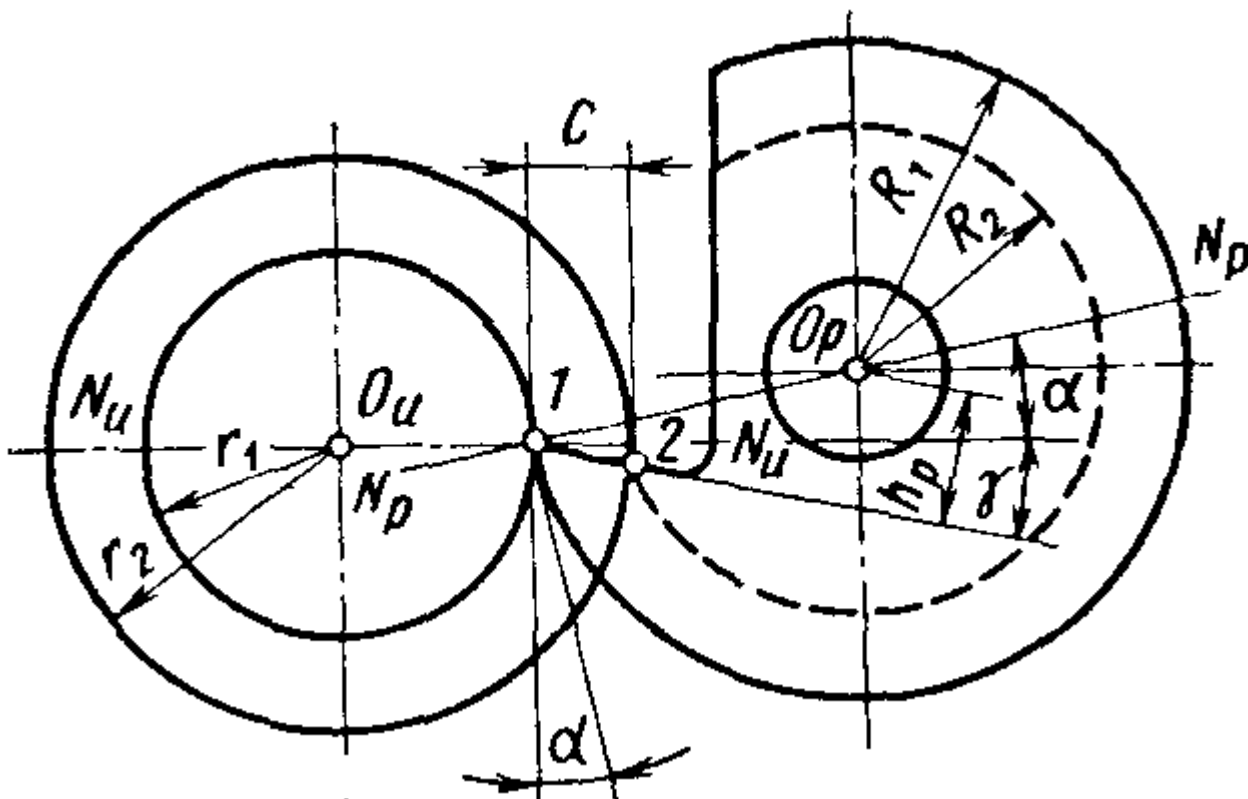


Рисунок 1.10 – Круглий фасонний різець заточений та встановлений так, щоб кути  $\gamma > 0^\circ$  та  $\alpha > 0^\circ$ , що потребує корекційного розрахунку

Передня поверхня різця перетинає фасонну поверхню деталі на певній відстані:

$$h_u = r_1 \sin \gamma, \quad (1.2)$$

від його осі, і одержуваний при цьому профіль діаметрального перерізу деталі: 1) тим більше відрізняється від профілю нормального перерізу деталі, чим

більше  $h_u$  тобто чим більше передній кут  $\gamma$ ; 2) повинен усіма своїми точками збігтися з профілем ріжучого леза різця. За умови, що  $\gamma > 0$ , відстань між передньою поверхнею та віссю різця збільшується:

$$h_p = R_1 \cos(\alpha + \gamma) \quad (1.3)$$

Зі збільшенням кутів  $\alpha$  і  $\gamma$ , як це впливає з рівняння (1.3), збільшуються  $h_u$  і  $h_p$  і зростає різниця між нормальними профілями різця і деталі.

Загальна закономірність у розбіжності глибини профілів деталі та різця, виражена рівнянням (1.1) для другого окремого випадку, коли  $\alpha > 0$  і  $\gamma = 0$ , зберігається і за умови, коли  $\alpha > 0$  і  $\gamma > 0$ , з тією відмінністю, що збільшується абсолютна різниця цих двох профілів.

З розгляду загального випадку слід, що причиною, що викликає необхідність корекційних розрахунків фасонних профілів різців, є кут спотворення профілю  $\varepsilon = \alpha + \gamma$ . Незалежно від того, чи буде абсолютна величина кута спотворення  $\varepsilon = \alpha$  або  $\varepsilon = \alpha + \gamma$ , необхідність корекційних розрахунків та їх складність, однаковими.

Оптимальні задній  $\alpha$  і передній  $\gamma$  кути відносяться до точки  $I$  або до кількох точок фасонного профілю, розташованих на однаковій відстані від центру  $O_p$  різця і на рівні центру  $O_u$  обертання деталі. У всіх інших точках ріжучого леза, залежно від розташування на фасонному профілі різця, величини передніх і задніх кутів відмінні від оптимальних значень. З видаленням фасонного різця від осі  $O_u$  обертання деталі задній кут  $\alpha \rightarrow 90^\circ$ , а передній кут  $\gamma \rightarrow 0^\circ$  (рис. 1.11). Отже, і кут спотворення  $\varepsilon \rightarrow 90^\circ$ .

Така закономірність зміни задніх і передніх кутів і кута спотворення дозволяє зробити висновок, що різниця між нормальними профілями різця і оброблюваної ним деталі різна в різних точках фасонного профілю і за величиною безперервно змінюється пропорційно до трансцендентної функції від кута спотворення  $\varepsilon$ .

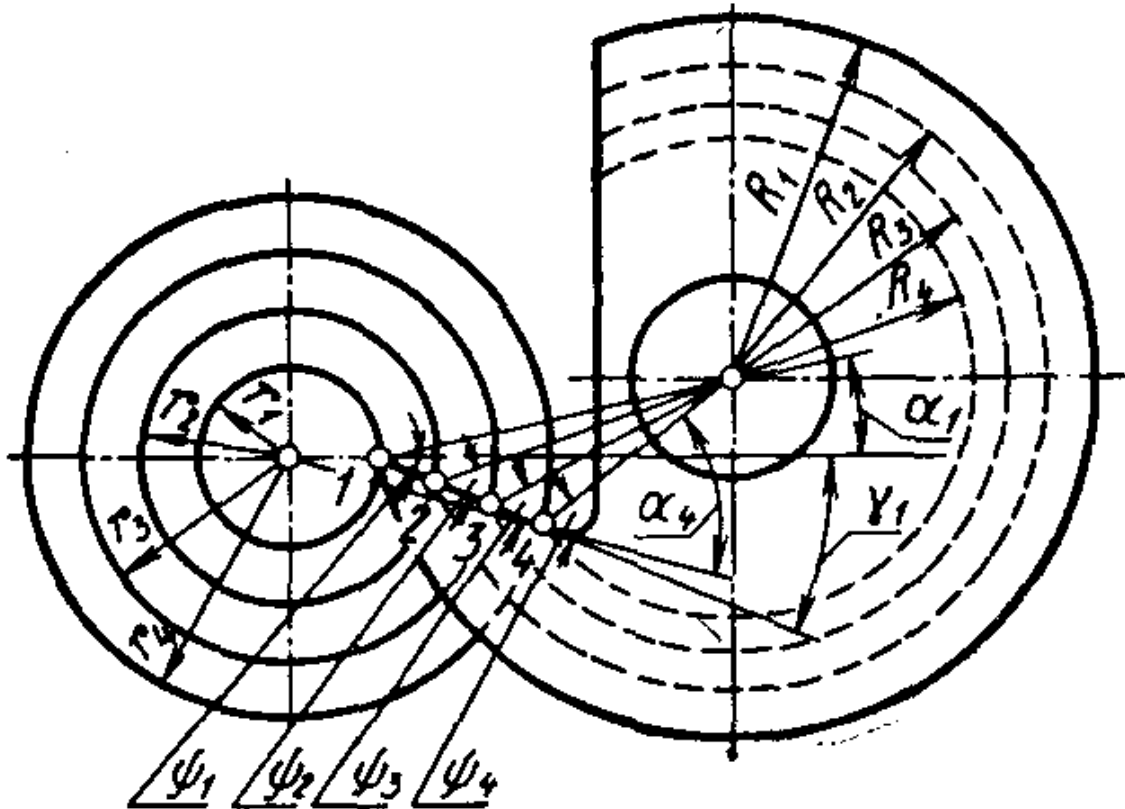


Рисунок 1.11 – Зміна передніх і задніх кутів та кута викривлення профілю в різних точках різального леза круглого фасонного різця

Оскільки кут спотворення  $\varepsilon$  безперервно змінюється і в кожній точці фасонного різального різця леза має свою абсолютну величину, то не може бути одного постійного коефіцієнта спотворення фасонного профілю різця, і кут  $\varepsilon$  для кожної точки фасонного профілю різця необхідно розрахувати окремо. Виняток становлять тангенціальні фасонні різці, які з особливих умов різання мають постійний кут спотворення ( $\varepsilon = \alpha + \gamma$ ) всіх точок фасонного профілю різця. Для всіх типів фасонних різців розраховують радіальні розміри. Осьові розміри визначають тільки в тих випадках, коли вісь круглого різця розташовується похило до осі обертання деталі. У такому випадку радіальні фасонні різці не схожі на оброблені ними фасонні деталі.

### 1.5. Визначення точності розрахунків фасонного профілю

Глибина профілю нормального перерізу різців відрізняється від глибини профілю оброблюваних деталей згідно з залежністю:

$$r_2 - r_1 = C > R_1 - R_2. \quad (1.4)$$

Різниця глибин профілів – величина змінна і в кожній точці фасонного профілю різця вона залежить від змінного кута спотворення. Щоб визначити глибину нормального профілю різців необхідно знайти їх розміри. Якщо в результаті підготовчих розрахунків встановлюються координати обраних вузлових точок нормального профілю фасонних деталей, що обробляються, то в результаті корекційних розрахунків визначаються координати тих же вузлових точок нормального перерізу фасонних різців.

При проектуванні фасонних круглих різців розраховують радіуси  $R_1, R_2, R_3$  і т. д. кіл, що проходять через вузлові розрахункові точки. При розрахунку призматичних фасонних різців визначаються відстань від вузлових точок нормального фасонного профілю різця до деякої довільно обраної координатної осі. Така вихідна координатна вісь зазвичай проводиться через точку або через базову лінію, що знаходяться на висоті центру обертання  $O_i$  деталі. При розрахунку різців, що мають гвинтові фасонні поверхні, а також розташовані під кутом осі або основи кріплення, корекційним розрахункам піддають також і відстані вздовж осі між вузловими точками фасонного профілю. У тих випадках, коли кут  $\zeta = 0$ , т. б. коли осі різців або бази кріплення їх паралельні, осі оброблюваних деталей, розміри деталі та фасонних різців уздовж осі рівні, і тому корекційні розрахунки їх не виробляються.

Висока точність роботи фасонних різців забезпечується в результаті корекційних розрахунків профілю різальних лез та точної обробки фасонних поверхонь різців. Відповідно до цього розрахункові розміри мають бути визначені з точністю не менше 0,01 мм; подібна точність розрахунку може бути гарантована

при виконанні корекційних розрахунків з точністю 0,001 мм, з подальшим заокругленням до 0,01 мм.

### 1.6. Загальна методика проєктування фасонних круглих різців

В процесі проєктування фасонних різців задають кути передній  $\gamma$  і  $\alpha$  задній в точці профілю леза, призначеного для обробки  $\min$  радіусу деталі у площині, яка розташована перпендикулярно вісі деталі. У фасонних круглих різців, особливість утворення задніх кутів за рахунок зсуву осей різця й заготовки. Кути  $\gamma$  і  $\alpha$  є радіальними і їх значення змінюється залежно від діаметра різця.

Кути  $\gamma$  і  $\alpha$  впливають на міцність леза й у цілому на стійкість різця. Передній кут для базової точки обирається залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, а задній кут – залежно від типу різця.

У загальному випадку проєктування фасонних різців передбачає рішення наступних завдань:

- а) призначення й розрахунок геометричних і конструктивних параметрів;
- б) профілювання різця, тобто визначення профілю його ріжучої частини.

Профіль фасонних різців у нормальному перетині не збігається із профілем деталі в діаметральному перетині. Тому для визначення розмірів у нормальному перетині, по якому буде виготовлятися й контролюватися різець, необхідно проводити графічне профілювання й аналітичний розрахунок профілю.

У зв'язку з тим, що профіль фасонного різця не збігається з вихідним профілем деталі, необхідно знати способи його визначення.

Профіль фасонного різця можна визначити двома методами графічним і аналітичним способами. Графічний спосіб наочний, але може мати неточності, пов'язані із графічною побудовою. Аналітичний спосіб дозволяє одержати високу точність визначення розмірів. Недоліком цього способу є складність в обчисленнях, особливо для криволінійних профілів.

Графічний спосіб визначення профілю круглого фасонного різця представлено на рис. 1.12.

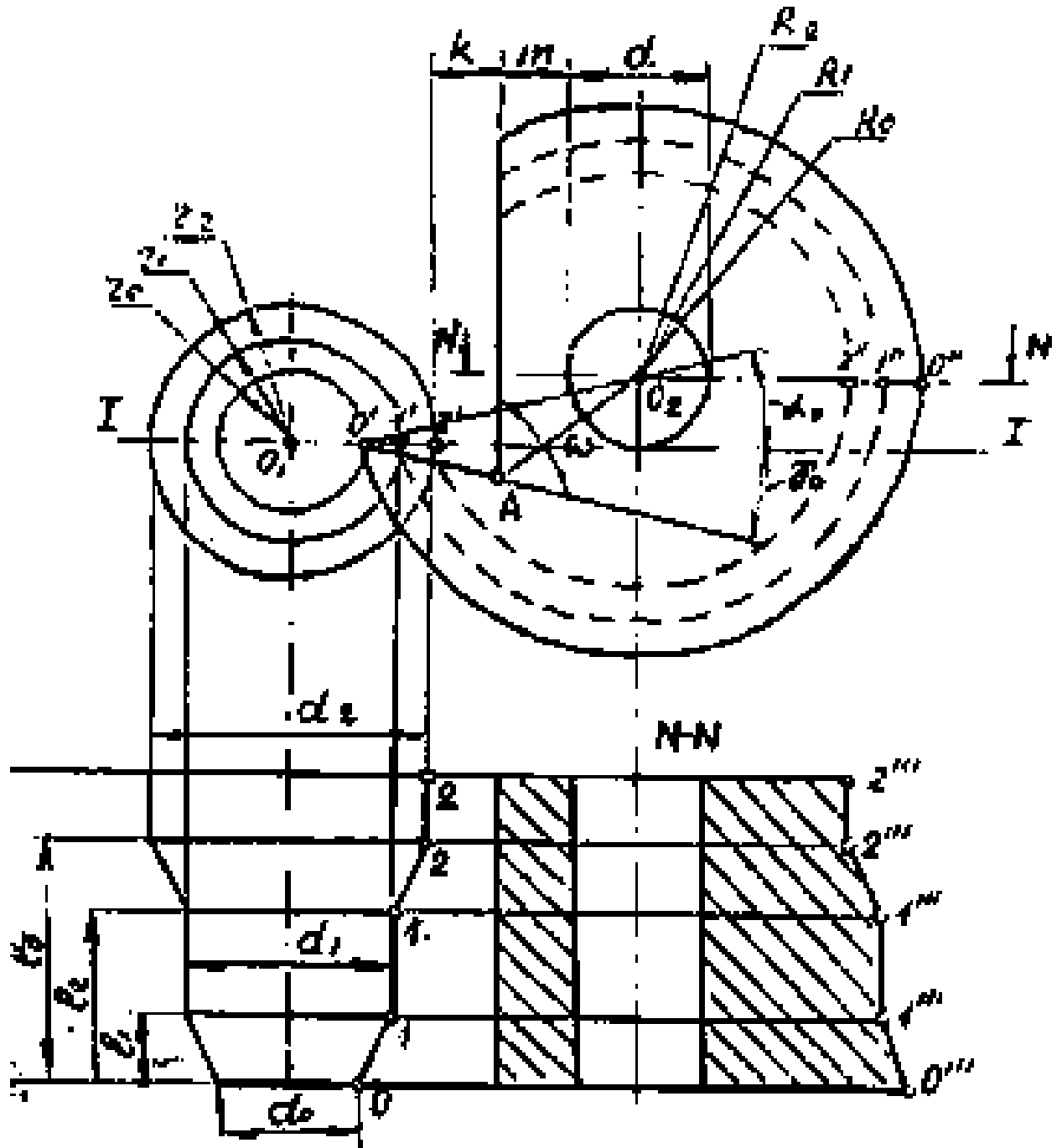


Рисунок 1.12 – Круглий фасонний різець: графічне визначення профілю

На початку у лівому куті креслення розміщується профіль деталі на якому позначаються характерні точки 0, 1 та 2. Характерні точки профілю проєктуються на вісь I-I, яка перпендикулярна до осі деталі. В результаті на перетині одержуємо точки 0', 1', 2'. Із точки  $O_1$  перетину осі деталі з віссю I-I будуються кола відповідно радіусами  $r_0$ ,  $r_1$  і  $r_2$ .

Задаємося кутами  $\gamma_0$  і  $\alpha_0$ . Через точку 0' під кутом  $\gamma_0$  до осі I-I проводимо лінію, що зображує слід передньої поверхні різця. Із цієї ж точки 0' проводимо в

протилежну сторону від осі I-I лінію, під кутом  $\alpha_0$ . На відстані  $K$  від точки 2' проводимо лінію, перпендикулярну лінії I-I. (Відстань  $K$  представляє собою мінімальна відстань, необхідне для відведення стружки від передньої поверхні різців. Розмір  $K$  приймається залежно від товщини й від обсягу зрізуваної стружки, у межах 3...12 мм). З отриманої точки  $A$  перетинання вертикальної лінії з лінією передньої поверхні проводимо лінію, що ділить кут  $\omega$  навпіл.

Точка перетину цієї лінії й лінії, проведеної під кутом  $\alpha_0$ , буде шуканою точкою  $O_2$  – центром круглого різця. Провівши із центра  $O_2$  кола через точки 0', 1', 2', графічно визначаються радіуси різця для характерних точок –  $R_0, R_1, R_2$ .

Для визначення діаметра отвору різця  $d$ , мм варто прийняти товщину стінки  $t$  у межах 6...10 мм або керуватися наступними рекомендаціями залежно від зовнішнього діаметра різця  $D_0$ :

$D_0$ , мм	30	40, 50	60, 75	90
$d$ , мм	13	16	22	27

Позначаються характерні точки на різці: 0", 1", 2".

Знаходиться профіль різця в радіальному перетині, тобто в перетині в якому надалі буде відбуватися контроль профілю різця.

Через те, що осьові розміри деталі й різця однакові, проводимо з характерних точок 0, 1, 2 деталі прямі лінії, перпендикулярні осі деталі. Проектуємо на них характерні точки 0", 1", 2" різці. На перетинанні одержимо характерні крапки 0"', 1"', 2"' профілі різця. З'єднавши послідовно ці точки, одержимо профіль фасонного різця в радіальному перетині  $N-N$ .

Вихідними даними для аналітичного й графічного проектувань є профіль і розміри оброблюваної деталі з допусками, оброблюваний матеріал і його фізико-механічні властивості, верстат, на якому буде відбуватись обробка.

Завдання аналітичного проектування передусім полягає у визначенні глибини профілю, зміщення осі різця відносно осі деталі, величин геометричних параметрів ( $\gamma, \alpha$ ) у характерних точках, відстаней від осі різця до характерних точок по передній поверхні та відстаней від осі деталі до характерних точках по передній поверхні. Відомі методики по проектуванню різального інструменту приводяться у відповідній довідковій літературі.

## **2. ПРОЄКТУВАННЯ КРУГЛОГО ФАСОННОГО РІЗЦЯ**

Необхідно провести докладний розрахунок та конструювання фасонного круглого різця, призначеного для зовнішнього обточування деталі згідно із завданням на курсовий проєкт. Для забезпечення працездатності круглого радіального фасонного різця конструємо двоопорний різцетримач.

Початкові дані для проєктування фасонного різця:

1. Заготовка деталі – пруток;
2. Матеріал заготовки – Сталь 45;
3. База закріплення різця розташована паралельно вісі деталі, що оброблюється;
4. Різець встановлюється в двоопорний різцетримач та фіксується торцевими рифленнями;
5. Обробка виконується на прутковому автоматі 1265М–6К.

### **2.1. Розробка розрахункового ескізу деталі**

Для формування розрахункового ескізу деталі визначаємо:

- вузлові точки профілю деталі, починаючи від розміру поверхні з найменшим діаметром (радіусом) до розміру поверхні з найбільшим діаметром (радіусом). При цьому точці, найбільш наближеній до вісі деталі надаємо номер 1;
- визначаємо радіус в кожній вузловій точці в порядку збільшення розмірів, починаючи з найменшого розміру (з точки з найменшим розміром).

Переходимо до визначення конструктивних параметрів різця.

### **2.2. Визначення конструктивних параметрів круглого різця**

Вибираємо для проєктування круглий радіальний фасонний різець. Враховуючи розміри деталі, фасонний різець виконується з посадковим отвором для установки його на державці різцетримача, а для закріплення і фіксації різця на торці його передбачаються торцеві рифлення [2].

Визначаємо діаметр посадкового отвору різця згідно рекомендацій наведених в [3] та зображаємо на робочому кресленні різця.

Призначаємо поперечну подачу  $S$  в  $мм^{-1}$ .

Складова сили різання відповідно до [2] визначається так:

$$P_z = pL, \quad (2.1)$$

де  $p$  – питома сила різання, що приходить на одиницю довжини ріжучої крайки  $H/мм$ ;

$L$  – довжина оброблюваної поверхні, мм.

Діаметр посадкового отвору відповідно до [3] визначається так:

$$d_0 = 0,78L^{0,33} \cdot P_z^{0,25}. \quad (2.2)$$

Приймаємо  $d_0$  найближче більше згідно з рекомендаціями [2].

Діаметр різця розраховується згідно з [2] так:

$$D_1 = d_0 + 2(t_{\max} + a + e), \quad (2.3)$$

де  $t_{\max}$  – найбільша глибина профілю деталі, мм;

$a$  – резерв по довжині передньої грані фасонного різця для забезпечення вільного сходу стружки, мм;

$e$  – товщина стінки різця, мм.

Приймаємо  $D_1$  найближче більше згідно з рекомендаціями [2].

Визначаємо розміри рифлень:

– діаметр буртика з рифленням  $d = (1,5 \div 1,7)d_0$ ;

– кількість зубців рифлення  $Z$ ;

– у нормальному перетині кут профілю рифлень приймаємо  $90^\circ$ ;

– вершини зрізані на величину  $0,35$  мм.

Для забезпечення сталості ширини площадки при вершині зубчиків по їх довжині дно западини розташовуємо відносно торця буртика під кутом  $\omega$ , причому  $\omega = \text{Arctg}\left(\frac{\pi}{Z}\right)$  [2].

Ширину буртика під рифлення приймаємо  $\ell_1 = 5$  мм.

Додаткові ріжучі крайки не призначаємо.

Визначаємо загальну ширину різця:

$$L_0 = L + \ell_1, \quad (2.4)$$

де  $L$  – довжина деталі, мм;

$\ell_1$  – ширина буртика з рифленням.

Відображаємо наведені вище дані на робочому кресленні фасонного різця.

### 2.3. Побудова розрахункової схеми фасонного круглого різця

Спочатку з точки  $O_1$ , яка є на схемі віссю обертання деталі, будуємо ряд концентричних окружностей, радіуси яких дорівнюють радіусам вузлових точок профілю деталі ( $r_1, r_2, r_3 \dots$ ) (рис. 2.1.).

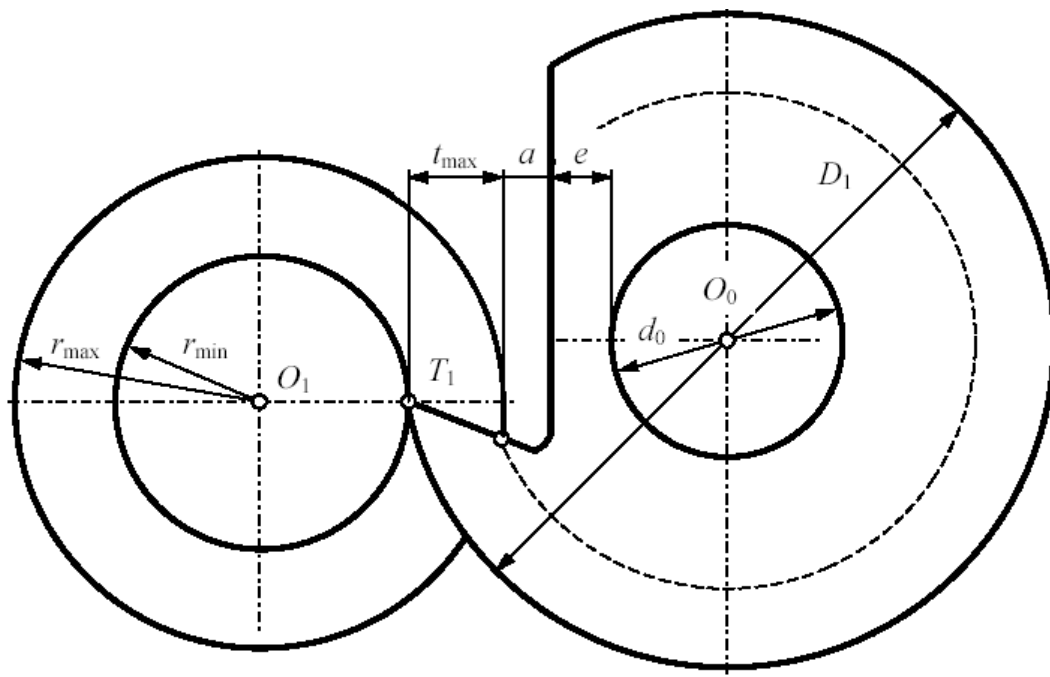


Рисунок 2.1 – Фасонний круглий різець: розрахункова схема

Перетин окружності мінімального радіусу  $r_1$  з горизонтальною прямою визначає точку  $T_1$  профілю деталі.

Із точки  $T_1$  під кутом  $\gamma$  до горизонтальної прямої проводимо пряму, яка являє собою на схемі передню поверхню різця, і яка для фасонного різця з базовою точкою по центру є площиною. Всі інші вузлові точки ріжучої крайки різця визначаються як результат перетину сліду окружності передньої поверхні різця з окружностями відповідних радіусів деталі (точки  $T_2, T_3, \dots$ ).

З'єднавши точки  $T_2, T_3, \dots$  з центром різця  $O_0$  і опустивши з точки  $O_0$  перпендикуляр на площину передньої грані до перетину з нею в точку  $K_0$ , отримаємо низку прямокутних трикутників, які мають спільний прямиий кут в точку  $K_0$ , спільний катет  $H_0$ , який дорівнює  $H_0 = R_1 \sin(\alpha + \gamma)$  і гіпотенузи, яка дорівнює шуканим радіусам вузлових точок різця, тобто радіусам  $R_2, R_3, \dots$ .

Опустивши із центра деталі (точка  $O_1$ ) перпендикуляр на слід площини передньої грані різця, отримаємо точки  $K$ . З'єднавши відрізками центр деталі  $O_1$  з точки  $T_2, T_3, \dots$ , отримаємо низку прямокутних трикутників, які мають спільний прямиий кут в точки  $K$  та спільний катет  $h$ , що дорівнює  $h = r_1 \sin \gamma$ .

Для зручності обчислень позначимо відстань від точки  $K$  до кожної точки профілю різця символом  $A$  з відповідним індексом ( $A_1, A_2, \dots$ ), а відстань від точки  $T_1$  профілю різця до інших вузлових точок – символом  $C$  з відповідним індексом ( $C_1, C_2, \dots$ ). Нарешті відстань від точки  $K_0$  до кожної з вузлових точок фасонного профілю позначаються символом  $B$  з відповідним індексом ( $B_1, B_2, \dots$ ).

Після цього можна у фасонного круглого різця виміряти радіуси  $R_1, R_2, \dots$ .

#### **2.4. Корегувальний розрахунок профілю різця**

Корегувальний розрахунок виконуємо у відповідності з рекомендаціями, що викладені в [2, 3, 5, 7, 8, 14].

Початкові дані до розрахунку та назви змінних, що присутні у розрахунку наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Дані та змінні фасонного круглого різця для програмного розрахунку

№ п/п	Назва	Розмірність	Позначка в літературі	Позначка в програмі
1	2	3	4	5
1	Кількість вузлових точок	шт.	$N$	$n$
2	Лічильник вузлових точок	–	$i$	$i$
3	Номінальні зовнішні діаметри у вузлових точках деталі	мм	$d_{ni}$	$dn_i$
4	Нижнє граничне відхилення зовнішнього діаметра	мм	$es_i$	$es_i$
5	Верхнє граничне відхилення зовнішнього діаметра	мм	$ei_i$	$ei_i$
6	Передній кут в точці з найменшим діаметром	°	$\gamma$	$\gamma$
7	Кут задній, визначений у точці з min діаметром	°	$\alpha$	$\alpha$
8	Габаритний діаметр різця	мм	$D$	$dg$
9	Середні діаметри у вузлових точках	мм	$Dcp_i$	$ds_i$
10	Середні радіуси у вузлових точках	мм	$Rcp_i$	$r_i$
11	Габаритний радіус різця	мм	$R$	$rg$
12	Висота встановлення осі різця	мм	$hp$	$hp$
13	Найменший радіус для вузлових точок деталі	мм	$R_{min}$	$rm$
14	Кут між площинами, що проходять через вісь деталі та точками на перетині передньої поверхні різця з колами, що відповідають даній вузловій точці та вузловій точці з найменшим радіусом	°	$\beta_i$	$\beta_i$
15	Кут, розташований між поверхнею передньою різця та площиною, що проходить через вісь деталі та точкою на перетині передньої поверхні різця з колом, що відповідає даній вузловій точці	°	$\varepsilon_i$	$\varepsilon_i$
16	Відстань між точками перетину передньої поверхні різця з колами, що відповідають даній вузловій точці та вузловій точці з найменшим радіусом	мм	$A_i$	$a_i$

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
17	Радіус різця у відповідній вузловій точці	мм	$R_i$	$R_i$
18	Розмір профілю різця у відповідній вузловій точці	мм	$P_i$	$p_i$
19	Діаметр різця у відповідній вузловій точці	мм	$D_i$	$d_i$

Осьові розміри між вузловими точками профілю фасонного круглого різця визначаються такими, що дорівнюють відповідним розмірам між вузловими точками профілю деталі.

Розрахунок фасонного круглого різця виконуємо за допомогою спеціалізованого математичного пакету MathCAD.

### 1. Початкові данні для розрахунку

#### Кількість вузлових точок

$$n := 8 \quad i := 1..n$$

#### Номинальні діаметри, верхні та нижні відхилення розмірів у вузлових точках

$$dn_1 := 36 \quad es_1 := -0.080 \quad ei_1 := -0.240$$

$$dn_2 := 40 \quad es_2 := -0.080 \quad ei_2 := -0.240$$

$$dn_3 := 32 \quad es_3 := -0.080 \quad ei_3 := -0.240$$

$$dn_4 := 50 \quad es_4 := 0.0 \quad ei_4 := -0.100$$

$$dn_5 := 30 \quad es_5 := -0.065 \quad ei_5 := -0.195$$

$$dn_6 := 20 \quad es_6 := 0.026 \quad ei_6 := -0.026$$

$$dn_7 := 30 \quad es_7 := -0.007 \quad ei_7 := -0.040$$

$$dn_8 := 18 \quad es_8 := -0.006 \quad ei_8 := -0.033$$

#### Передній кут в точці з найменшим радіусом

$$\gamma := 20 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360}$$

#### Задній кут в точці з найменшим радіусом

$$\alpha := 12 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360}$$

#### Середні діаметри вузлових точок

$$ds_1 := dn_1 + 0.5 \cdot (es_1 + ei_1)$$

## Середні радіуси вузлових точок

$$r_i := \frac{ds_i}{2}$$

$$r = \begin{pmatrix} 17.92 \\ 19.92 \\ 15.92 \\ 24.975 \\ 14.935 \\ 10 \\ 14.988 \\ 8.99 \end{pmatrix}$$

## Найменший радіус вузлової точки

$$rm := \min(r) \quad rm = 8.99$$

## Габаритний діаметр різця

$$dg := 90$$

## Габаритний радіус різця

$$rg := \frac{dg}{2} \quad rg = 45$$

## Висота встановлення осі різця

$$hp := \text{round}(rg \cdot \sin(\alpha), 3) \quad hp = 9.356$$

## Корекційний розрахунок профіля різця

$$\beta_i := \text{asin}\left(\frac{rm \cdot \sin(\pi - \gamma)}{r_i}\right)$$

$$\beta \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = \begin{pmatrix} 9.88 \\ 8.88 \\ 11.136 \\ 7.072 \\ 11.881 \\ 17.908 \\ 11.838 \\ 20 \end{pmatrix}$$

$$\epsilon_i := \gamma - \beta_i$$

$$\epsilon \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = \begin{pmatrix} 10.12 \\ 11.12 \\ 8.864 \\ 12.928 \\ 8.119 \\ 2.092 \\ 8.162 \\ -9.542 \times 10^{-15} \end{pmatrix}$$

$$a_1 := \sqrt{r_m^2 + (r_1)^2 - 2 \cdot r_m \cdot r_1 \cdot \cos(\epsilon_1)}$$

$$a = \begin{pmatrix} 9.206 \\ 11.233 \\ 7.172 \\ 16.337 \\ 6.167 \\ 1.067 \\ 6.221 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$R_1 := \sqrt{r_g^2 + (a_1)^2 - 2 \cdot r_g \cdot a_1 \cdot \cos(\alpha + \gamma)}$$

$$R = \begin{pmatrix} 37.511 \\ 35.97 \\ 39.103 \\ 32.326 \\ 39.904 \\ 44.098 \\ 39.861 \\ 45 \end{pmatrix}$$

### Креслярські розміри

$$d_1 := \text{round}(2 \cdot R_1, 2)$$

$$p_1 := \text{round}(r_g - R_1, 2)$$

$$d = \begin{pmatrix} 75.02 \\ 71.94 \\ 78.21 \\ 64.65 \\ 79.81 \\ 88.2 \\ 79.72 \\ 90 \end{pmatrix}$$

$$p = \begin{pmatrix} 7.49 \\ 9.03 \\ 5.9 \\ 12.67 \\ 5.1 \\ 0.9 \\ 5.14 \\ 0 \end{pmatrix}$$

## 2.5. Розробка робочого креслення фасонного круглого різця

Креслення виконуємо у відповідності за рекомендаціями, що наведені у [2].

Для правильної орієнтації фасонного профілю в процесі шліфування і досягнення необхідної точності обробки різця вказуються діаметри крайніх поверхонь з допусками і прив'язкою до базових опорних поверхонь.

Основні розміри, які вказуються на робочому кресленні: габаритні розміри, розміри базових отворів, розміри крайніх поверхонь профілю, глибина і кут заточування.

На робочому кресленні вказуються необхідні допуски, шорсткість обробки, марка сталі і твердість після термообробки, маркування і місце його розташування.

Допуски на діаметральні розміри профілю різця у розрахункових точках призначаємо у розмірі  $1/3$  від поля допуску відповідних діаметральних розмірів деталі. Номінальні лінійні розміри профілю різця відповідають номінальним лінійним розмірам профілю деталі.

Шаблони і контршаблони зображуються на окремих кресленнях.

## **2.6. Проектування державки фасонного круглого різця**

Щоб унеможливити дії складних напружень від згинаючих і крутильних моментів під дією технологічного навантаження, що виникає в процесі обробки, та збільшення жорсткості технологічної системи верстата – державки широких фасонних різців виконують двоопорними [2].

Враховуючи ширину розробленого фасонного різця для його закріплення вибираємо двоопорну державку тип Б, що розглянута в [2]. Одна з опор (поз. 3) може рухатися по направляючий шпонці (поз. 4), що зафіксована на рухомій опорі за допомогою штифта.

Фасонний різець встановлюється в корпусі (поз. 1) державки і закріплюється опорним болтом.

Встановлення різця по висоті виконується регулювальним сектором (поз. 5), який своїми рифленнями сполучається з відповідними торцевими рифленнями різця і регулювальним гвинтом (поз. 6) обертає фасонний різець навколо вісі, чим досягається його точне розташування.

## ВИСНОВКИ

Особливістю технологічного процесу обробки деталей круглого профілю із застосуванням фасонного інструменту є те, що різання здійснюється одночасно всією довжиною ріжучого леза. Це означає, що кожна точка ріжучої кромки бере участь у процесі одночасно, забезпечуючи формування заданого профілю за один робочий хід. Такий принцип дії суттєво відрізняється від традиційного точіння, де різання виконується локально, послідовно переміщаючи інструмент уздовж поверхні заготовки.

Кінематична схема обробки фасонними різцями передбачає поєднання головного обертального руху деталі та прямолінійного поступального руху подачі інструмента. Така кінематика значно спрощує організацію обробки порівняно з багатокординатними системами та сприяє досягненню високої точності та якості оброблюваної поверхні.

Проте одночасне різання всією ріжучою кромкою призводить до істотного зростання технологічного навантаження на інструмент і систему "верстат–інструмент–заготовка". Сили різання при фасонній обробці значно перевищують ті, що виникають при звичайному точінні. Це вимагає використання потужного обладнання з високими показниками жорсткості та вібраційної стійкості. Зокрема, важливим є забезпечення жорсткості напрямних, шпиндельного вузла та системи кріплення інструмента.

Крім того, виготовлення фасонного інструмента пов'язане з певними труднощами. У порівнянні з універсальними різцями, фасонний інструмент вимагає індивідуального проектування, високоточної обробки профілю ріжучої частини, а також спеціального контролю відповідності геометричних параметрів. Це збільшує витрати на підготовчо-технологічний етап, особливо у випадку виготовлення інструмента для одиничного або дрібносерійного виробництва.

Фасонні різці знаходять широке застосування в умовах серійного та масового виробництва, зокрема при виготовленні деталей з профілями складної форми на токарних верстатах. Як правило, такі інструменти є спеціальними та призначаються для обробки конкретного типу деталі. Серед основних переваг

фасонних різців слід відзначити: високу повторюваність форми та розмірів, тривалий строк служби, високу геометричну стійкість, можливість одночасного виконання чорнової та чистої обробки, а також простоту встановлення на верстат і мінімальні вимоги до переналагодження.

У контексті автоматизованого виробництва, особливо на токарних автоматах та напівавтоматах, фасонні інструменти стають надзвичайно ефективними. Їх застосування дозволяє істотно підвищити продуктивність, знизити кількість операцій і забезпечити стабільну якість продукції при мінімальних витратах часу на обслуговування.

Отже, проектування та використання фасонного різального інструменту є доцільним і ефективним рішенням у випадках, коли мова йде про обробку значних партій деталей із складним фасонним профілем. Це забезпечує не лише технологічну ефективність, а й економічну доцільність у масштабах сучасного виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. – М.: Высшая школа, 1983. – 256 с.
2. Грановский Г.И. Фасонные резцы /Г.И. Грановский, К.П. Панченко. – М.: Машиностроение, 1975. – 307 с.
3. Дарманчев С.К. Фасонные резцы /С.К. Дамарчев. – Л.: Машиностроение, 1968 – 168 с.
4. ДСТУ 2233:2021. Інструменти різальні. Терміни та визначення понять. – [На заміну ДСТУ 2233-93 ; чинний від 2022-09-01]. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 38 с.
5. Зубовецька Н. Т. Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструментів [Електронний ресурс] : Посібник / Н. Т. Зубовецька.– Луцьк, 2018 р.
6. Ігнат'єв, Е. С. Основні тенденції розвитку сучасного різучого інструменту / Е. С. Ігнат'єв, О. В. Лисенко // Наукові записки : зб. наук. пр. - Кіровоград : КНТУ, 2011. - Вип. 11, ч. 1. - С. 221-225.
7. Кирсанов Г.Н. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов / Г.Н. Кирсанов и др. - М.: Машиностроение, 1986.- 288 с.
8. Металорізальні інструменти: навчальний посібник / С. В. Швець. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 272 с.
9. Проектування та виробництво різального інструмента : метод. рекомендації до виконання практ. роб. для студ. спец. 131 - Прикладна механіка та 133 - Галузеве машинобудування / [уклад. : О. В. Лисенко, П. М. Єр'омін] ; М-

во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. металорізальних верстатів та систем. - Кропивницький : ЦНТУ , 2020. - 48 с.

10.Різальний інструмент : метод. вказівки до викон. курсового проекту для студ. напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка", спец. 131 "Прикладна механіка" та 133 "Галузеве машинобудування" / [уклад. О. В. Лисенко, В. М. Лисенко] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. металорізальних верстатів та систем. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 96 с.

11.Різальний інструмент [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л.М. Данилова, С.В. Лапковський, В.П. Приходько –Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с.

12.Справочник технолога – машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М: Машиностроение, 1985. – Т.1 – 496 с.; Т.2 - 496 с.

13.Справочник технолога-машиностроителя. В 2. Том 2. Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1972. – 568 с.

14.Стискін Г.М. та ін. Інструменти для механічної обробки матеріалів. – Львів, 2000.– 497 с.

15.Филиппов, Г.В. Режущий инструмент / Г.В. Филиппов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд.-е, 1981. – 392 с.

16.Фрумин, Ю.А. Комплексное проектирование инструментальной оснастки / Ю.А. Фрумин. – М.: Машиностроение, 1987. – 344 с.

17.Хаеt, Г.Л. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. Хаеt, В.М. Гах, В.С. Губенко. – М.: Машиностроение, 1989. – 254 с.

18.Iscar tools. Turning tools. – 2002.– 810 с.

19.Sandvic Coromant. Выбор токарного инструмента и режимов резания. – 1978. – 57с.

- 20.Sandvic Coromant. Corokey: Руководство по выбору инструмента. Точение – фрезерование – сверление. – 1998. –N4. – 169 с.
- 21.TaeguTec. Токарная обработка.– 2022.– 360 с.

