

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

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ММР

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розрахунок та проектування інструментального забезпечення для виготовлення деталей обертання фасонного профілю»**

**«Calculation and design of tooling for the production of turning parts of a shaped profile»**

**КРБ.ПМ.24.80.000.00.00.00 КР**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу групи ПМ(ТМ)-21-ЗСК  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D-друк» спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Роман КРЯЧКО

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	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D-друк

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ММіР  
Андрій ГРЕЧКА

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

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

Романа КРЯЧКА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розрахунок та проектування інструментального забезпечення для виготовлення деталей обертання фасонного профілю»  
«Calculation and design of tooling for the production of turning parts of a shaped profile»

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

затверджені наказом ЦНТУ від «01» квітня 2024 р. № 130-02

3. Строк подання роботи до захисту «10» червня 2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:

Мета роботи полягає в розрахунку та проектуванні інструментального забезпечення, а саме фасонних різців, для виготовлення деталей обертання фасонного профілю на токарних операціях.

Завдання:

- виконати огляд та аналіз різального інструменту, що використовується в сучасному верстатному обладнанні для обробок деталей обертання фасонного профілю;
- виконати проектувальний розрахунок призматичного фасонного різця;
- виконати проектувальний розрахунок круглого фасонного різця;
- розробити конструкції фасонних різців.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	Квітень 2024	
2.	Вступ	Квітень 2024	
3.	Мета та задачі роботи	Квітень 2024	
4.	Огляд можливостей існуючих конструкцій фасонного інструменту	Травень 2024	
5.	Розрахунок та проектування фасонного інструменту	Травень 2024	
6.	Виконання креслень	Травень 2024	
7.	Висновки	Травень 2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки	Червень 2024	
9.	Оформлення презентації роботи	Червень 2024	
10.	Здача роботи на перевірку на наявність запозичень	Червень 2024	

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

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

Завдання прийнято до виконання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Роман КРЯЧКО  
(підпис)

### Анотація

КРЯЧКО Роман. Розрахунок та проектування інструментального забезпечення для виготовлення деталей обертання фасонного профілю. Випускна кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: ЦНТУ, м. Кропивницький, 2024. – 43 с. Графічна частина відповідає 3 аркушам формату А1.

**Метою роботи** є вивчення способів обробки деталей обертання фасонного профілю та розробка та проектування відповідного інструментального забезпечення.

**Актуальність:** розрахунок та проектування інструментального забезпечення, в тому числі й інструменту з фасонним профілем різальної частини, для виготовлення деталей обертання фасонного профілю є актуальним виробничим завданням.

**Практичне значення:** виконано аналіз способів обробки деталей обертання фасонного профілю, виявлено їх переваги та недоліки, розроблено конструкцію призматичного фасонного різця, розроблено конструкцію круглого фасонного різця, розроблені шаблони та контршаблони для контролю фасонного профілю різців.

**Ключові слова:** точіння, деталь обертання, фасонний профіль, круглий фасонний різець, призматичний фасонний різець.

## **Annotation**

KRIACHKO Roman. Calculation and design of tooling for the production of turning parts of a shaped profile. Graduation thesis for the educational degree "Bachelor": CNTU, city Kropyvnytskyi, 2024. - 43 p. The graphic part corresponds to 3 sheets of A1 format.

**The purpose of the work** is to study the methods of processing the details of the rotation of the shaped profile and to develop and design the appropriate tooling.

**Relevance:** calculation and design of tool support, including a tool with a shaped profile of the cutting part, for the manufacture of parts of rotation of a shaped profile is an actual production task

**Practical meaning:** an analysis of the methods of processing the details of the rotation of the shaped profile was performed, their advantages and disadvantages were identified, the design of a prismatic shaped cutter was developed, the design of a circular shaped cutter was developed, templates and counter-templates were developed to control the shaped profile of the cutters.

**Key words:** turning, detail of rotation, shaped profile, round shaped cutter, prismatic shaped cutter.

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

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

**«Розрахунок та проектування інструментального забезпечення для виготовлення деталей обертання фасонного профілю»**

**«Calculation and design of tooling for the production of turning parts of a shaped profile»**

**КРБ.ПМ.24.80.000.00.00.00 ПЗ**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го  
курсу групи ПМ(ТМ)-21-3СК  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D-друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Роман КРЯЧКО

Керівник роботи к.т.н., доц.  
\_\_\_\_\_ Олександр ЛИСЕНКО

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ФАСОННИХ РІЗЦІВ .....	12
1.1. Визначення, класифікація, переваги й недоліки фасонних різців .....	12
1.2. Галузі застосування фасонних різців .....	14
1.3. Особливості проектування фасонних різців .....	17
1.4. Способи визначення профілю фасонних різців .....	17
2. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЗМАТИЧНОГО ФАСОННОГО РІЗЦЯ .....	21
2.1. Розробка розрахункового ескізу деталі .....	21
2.2. Визначення конструктивних параметрів різця .....	21
2.3. Побудова розрахункової схеми .....	23
2.4. Корегувальний розрахунок профілю різця.....	24
2.5. Розробка робочого креслення призматичного різця .....	25
2.6. Проектування державки призматичного фасонного різця .....	26
3. ПРОЕКТУВАННЯ КРУГЛОГО ФАСОННОГО РІЗЦЯ.....	28
3.1. Розробка розрахункового ескізу деталі .....	28
3.2. Визначення конструктивних параметрів круглого різця .....	28
3.3. Побудова розрахункової схеми круглого фасонного різця .....	30
3.6. Проектування державки круглого фасонного різця .....	33
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	36
ДОДАТКИ.....	38
Додаток А. Розрахунок призматичного фасонного різця за допомогою спеціалізованого математичного пакету MathCAD .....	39
Додаток Б. Розрахунок круглого фасонного різця за допомогою спеціалізованого математичного пакету MathCAD .....	41

## ВСТУП

Для отримання фасонного профілю деталей обертання існує декілька кінематичних рішень. Всі рішення можна поділити на два типові випадки, коли формування фасонного профілю деталі здійснюється або шляхом руху прямолінійного різального леза по траєкторії, що відповідає фасонному профілю деталі, або різальна кромка інструменту є подібною до фасонного профілю деталі.

В першому профіль деталі забезпечується сукупним рухом подачі (взаємним рухом інструменту та заготовки, що розповсюджує процес різання на всю оброблювану поверхню заготовки), що забезпечується рухами виконавчих органів верстатного обладнання, де точка/відрізок різального леза універсального різця здійснює рух за траєкторією, що відповідає профілю оброблюваної поверхні.

В другому фасонний профіль деталей обертання забезпечується шляхом зрізання припуску інструментом, різальна кромка якого відповідає профілю деталі.

При одиничному або малосерійному виробництві не доцільно витрачатись на розробку та проектування спеціалізованого інструменту з фасонним профілем. Більш доцільним є використання універсальних різців на сучасних 5-ти та 6-ти координатних обробних центрах, кінематика яких дозволяє забезпечити профіль майже будь-якої складності.

Однак вже при виготовленні деталей обертання фасонного профілю середніх, а тим паче великих серій, переваги фасонних різців (проста кінематика процесу обробки, більша продуктивність, забезпечення постійної якості профілю) починають переважати недоліки. В таких випадках, як раз стає доцільним використання фасонного інструменту – токарних фасонних різців призматичних та круглих, радіальних та тангенціальних.

Як показую практика машинобудівних підприємств, доля деталей обертання фасонного профілю в залежності від галузі машинобудування складає від 15 до 40 %.

Отже **метою роботи** є вивчення способів обробки деталей обертання фасонного профілю та розробка та проектування відповідного інструментального забезпечення.

**Актуальність:** розрахунок та проектування інструментального забезпечення, в тому числі й інструменту з фасонним профілем різальної частини, для виготовлення деталей обертання фасонного профілю є актуальним виробничим завданням.

**Практичне значення:** виконано аналіз способів обробки деталей обертання фасонного профілю, виявлено їх переваги та недоліки, розроблено конструкцію призматичного фасонного різця, розроблено конструкцію круглого фасонного різця, розроблені шаблони та контршаблони для контролю фасонного профілю різців.

# 1. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ФАСОННИХ РІЗЦІВ

## 1.1. Визначення, класифікація, переваги й недоліки фасонних різців

Проектуванню різального інструменту присвячено багато інженерно-розрахункових та технічно-довідкових праць як вітчизняних так і провідних світових інструментальних компаній.

Спеціалізовані інженерно-технічні видання дають загальні рекомендації та наводять конкретні методики розрахунку різців [1, 2, 14].

В працях довідкового характеру приведені рекомендації по вибору конкретних видів та конструкцій інструменту. Серед праць довідкового характеру для проектування різців провідними є наступні [10, 11, 12].

В провідних світових компаніях склалася інша система, що вибудовувалась в умовах ринкової економіки. Для якої характерно представлення на ринку готового закінченого рішення.

Тобто весь процес розробки та проектування інструментального забезпечення здійснюється спеціалістами компанії. Споживачу пропонується обрати для вирішення своїх технологічних задач, під конкретні умови обробки інструментальне забезпечення.

Тож технічні видання провідних світових інструментальних компаній Iscar tools, Sandvic Coromant, TaeguTec, та ін., як правило містять, методики по визначенню умов обробки та перелік інструменту для роботи конкретно в цих умовах [15-18].

В цій системі недоліком є те що інструмент виробником спроектовано під конкретні, доволі вузькі діапазони режиму різання. Саме при гарантованій роботі такого інструменту у вказаних діапазонах різання, повною мірою проявляться його різальні властивості, закладені виробником при його виготовленні. Однак, у разі, якщо

Крім того, окремою задачею залишається проектування інструменту з фасонним профілем різальної частини. Вирішення якої, зокрема потребує особливого розрахунку та профілювання різальної частини [3-5, 7, 8].

Фасонний різець – профільний різець, ріжуча кромка якого при обробці створює профіль обробленої поверхні одночасно всіма точками ріжучої кромки. Профільний інструмент – інструмент, форма ріжучої кромки якого визначена формою обробленої поверхні [7].

Таблиця 1.1 – Класифікація фасонних різців

Найменування класифікаційних ознак	Найменування типу фасонного різця
1. За формою	Стрижневі, призматичні, круглі
2. За видом оброблюваної поверхні	Зовнішні, внутрішні
3. За конструкцією	Суцільні, складені (наприклад із припаяними або привареними пластинами), складальні
4. По встановленню до напрямку подачі відносно заготовки	Радіальні, тангенціальні
5. По розташуванню осі отвору або бази закріплення різця відносно заготовки	З паралельним розташуванням осі або бази закріплення різця, з нахиленим розташуванням
6. По розташуванню передньої поверхні	З позитивним або рівним нулю переднім кутом, з позитивним переднім кутом і кутом нахилу ріжучої крайки не рівним нулю
7. За формою утворюючих фасонних поверхонь	З кільцевими утворюючими, із гвинтовими утворюючими

Фасонні різці мають наступні переваги в порівнянні зі звичайними токарними різцями [8]:

- велику продуктивність;
- високу точність профілю й розмірів обробленої деталі;
- більший термін служби;
- простоту заточення й переточування;
- не вимагають при експлуатації робітників високої кваліфікації.

Однак, фасонні різці мають і недоліки:

- високу трудомісткість проектування;
- складність виготовлення;

- необхідність точного та конкретного встановлення;
- високу вартість;
- різні умови різання й спрацювання різних точок ріжучої кромки.

## 1.2. Галузі застосування фасонних різців

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 різці можна встановлювати в різцетримачах універсальних верстатів. Недоліком їх є зменшення висоти робочої частини після переточувань, що компенсується підкладками. Стрижневі різці мають малу кількість переточувань. Їхню задню поверхню шліфують під кутом  $\alpha = 10...12^\circ$ .

Круглі (радіальні) фасонні різці (рис. 1.1, *a, z, e, ж, и*) застосовують для обробки як зовнішніх, так і внутрішніх фасонних поверхонь. Вони більше технологічні, чим призматичні, оскільки представляють собою тіла обертання й допускають більшу кількість переточувань.

Задні кути в круглих різцях одержують встановленням їх осі вище осьової площини заготовки в спеціальних різцетримачах. Базують різець у різцетримачі по отвору й торцю, а вершину в осьовій площині виробу встановлюють шляхом повороту різця навколо осі. Для цього на торцях різця зроблений буртик з торцевими зубами. Торцеві зуби на різці з'єднуються з торцевими зубами важеля, встановлюваного на одній осі з різцем.

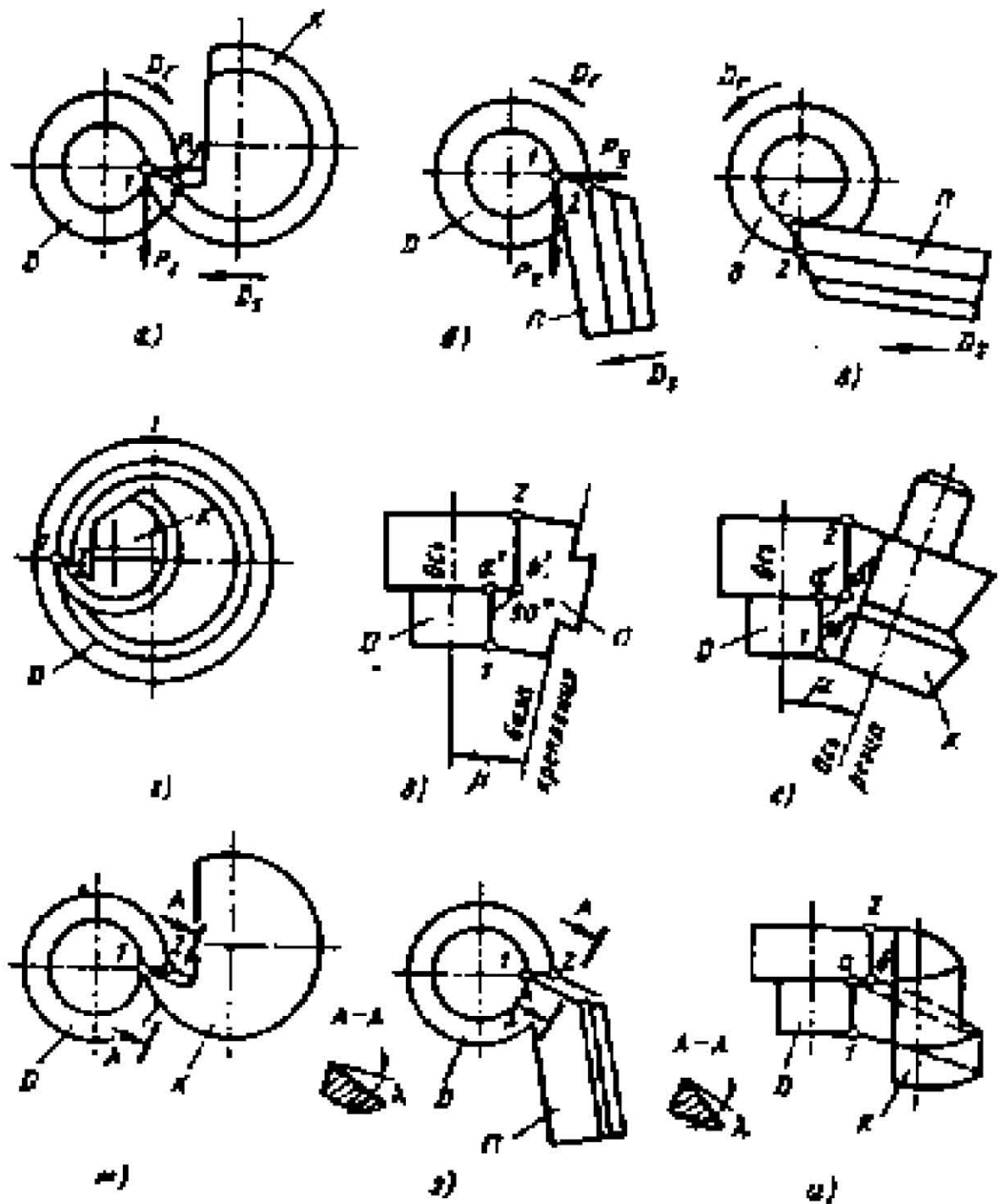


Рисунок 1.1 – Існуючі види конструкцій фасонних різців

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.

Вершину призматичних фасонних різців в осьовій площині заготовки встановлюють регулювальним гвинтом.

Задній кут у цих різців отримують при установці їх у спеціальних різцетримачах, для цього передню поверхню заточують під кутом:

$$\varepsilon = \alpha + \varphi.$$

Закріплення й базування різця в різцетримачі здійснюється за допомогою хвостовика типу «ластівчин хвіст». Недоліком призматичних різців є неможливість обробки внутрішніх фасонних поверхонь.

Вершина радіального різця встановлюється в осьовій площині заготовки, а подача здійснюється в напрямку її осі. Радіальний різець створює весь профіль заготовки одночасно. У результаті на заготовку й різець діють суттєві сили різання, які можуть привести до деформування заготовки, осі різця або появи вібрацій.

Вершина тангенціального різця встановлюється по дотичній до мінімального радіуса оброблюваної заготовки. Тут забезпечується не одночасне, а поступове профілювання виробу. Внаслідок цього різко знижується сила різання й зменшується ймовірність появи вібрації. Тангенціальними різцями можна обробляти нежорсткі заготовки великої довжини.

При обробці заготовок, що мають ділянки з кутом профілю  $90^\circ$  (а-в), рекомендується застосовувати різці з віссю або базою кріплень, нахиленої під кутом  $\mu = 10 \dots 20^\circ$  до осі заготовки. Такі різці використовують для збільшення задніх кутів по профілі різця.

Подача різців здійснюється в напрямку, перпендикулярному до баз встановлення різця.

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 із гвинтовою задньою поверхнею дозволяють збільшити задні кути різця при обробці з радіальною подачею заготовок, що мають прямолінійні ділянки, перпендикулярні до її осі. Ці різці не знайшли широкого поширення через складність їхнього виготовлення.

### 1.3. Особливості проектування фасонних різців

При проектуванні фасонних різців задають передній  $\gamma$  і  $\alpha$  задній кути для точки профілю різця, що обробляє мінімальний радіус заготовки в площині, перпендикулярної до осі заготовки. Для круглих фасонних різців задні кути утворюються 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 у базовій точці вибирається залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, а задній кут – залежно від типу різця.

У загальному випадку проектування 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.

### 1.4. Способи визначення профілю фасонних різців

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. 1.2.

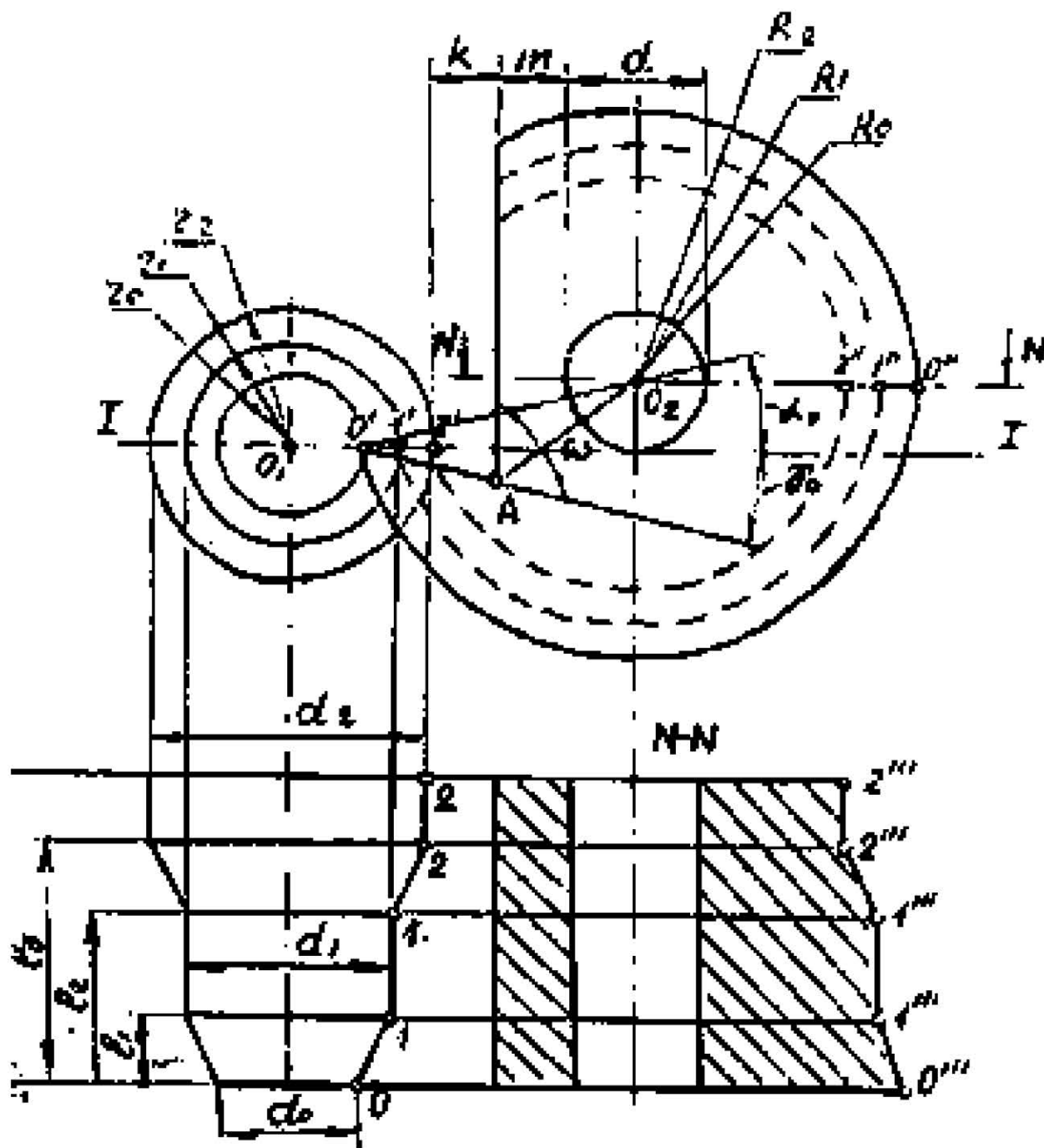


Рисунок 1.2 – Графічне визначення профілю круглого фасонного різця

В лівому куті креслення розміщується профіль деталі на якому позначаються характерні точки 0, 1 та 2. Характерні точки профілю проектується

на вісь I-I, яка перпендикулярна до осі деталі. В результаті на перетині одержуємо точки  $O'$ ,  $1'$ ,  $2'$ . 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  $O'$  під кутом  $\gamma_0$  до осі I-I проводимо лінію, що зображує слід передньої поверхні різця. Із цієї ж точки  $O'$  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  $O'$ ,  $1'$ ,  $2'$ , 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 зводиться до визначення глибини профілю, зміщення осі різця відносно осі деталі, величин переднього й заднього кутів у характерних точках, відстаней від осі різця до характерних точок по передній поверхні, відстаней від осі деталі до характерних точках по передній поверхні. У довідковій літературі по проектуванню різального інструменту приводяться методики й формули для розрахунку перерахованих параметрів.

## 2. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЗМАТИЧНОГО ФАСОННОГО РІЗЦЯ

В цьому розділі проводимо розрахунок та конструювання призматичного фасонного різця для зовнішнього обточування деталі згідно із завданням на кваліфікаційну роботу. Також конструюємо різцетримач.

Початкові дані для проектування 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 різцетримач та фіксується кріпленням типу “ластівчиного хвоста”;
5. Обробка виконується на прутковому автоматі 1265М-6К.

### 2.1. Розробка розрахункового ескізу деталі

Для формування розрахункового ескізу деталі визначаємо:

- вузлові точки профілю деталі в довільному напрямку, нехай від лівого торця деталі до правого;
- визначаємо радіуси в кожній вузловій точці, приймаючи їх на рівні середини поля допуску на радіальний розмір деталі [6];
- нумеруємо кожну вузлову точку; у випадку рівності радіусів вузлові точки матимуть однаковий номер;
- визначаємо точку з мінімальним радіусом.

Переходимо до визначення конструктивних параметрів різця.

### 2.2. Визначення конструктивних параметрів різця

Вибираємо для проектування призматичний радіальний фасонний різець. Враховуючи розміри деталі, фасонний різець виконується з напрямними типу “ластівчин хвіст”, які слугують для його установки та закріплення на державці

різцетримача [3]. Регулювання висоти встановлення різця слугує гвинт зі стопорною гайкою.

Конструктивно розміри призматичних фасонних різців приймають в залежності від глибини профілю деталі (див. рис. 2.1 та табл. 2.1) [6].

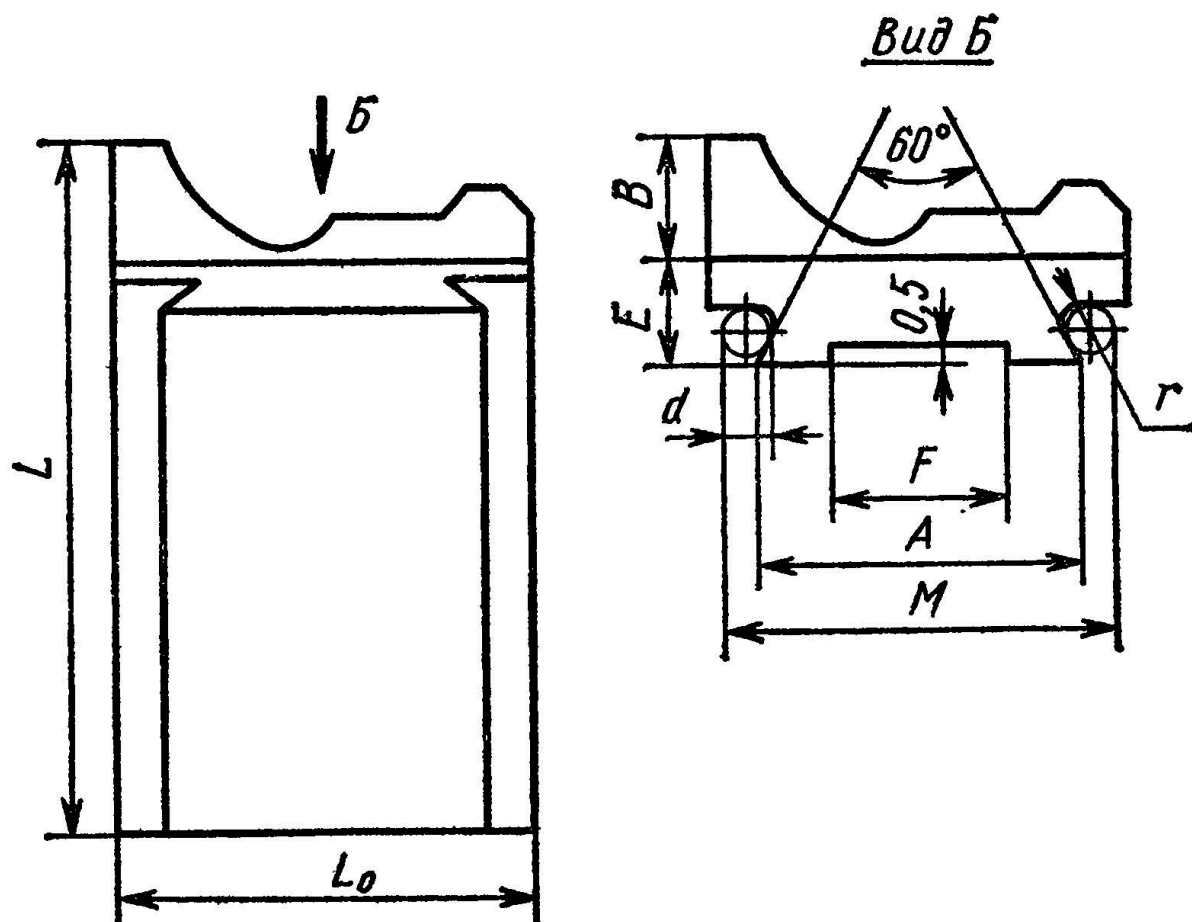


Рисунок 2.1 – Конструктивні розміри призматичного різця

Таблиця 2.1 – Розміри призматичних різців (в мм)

$t$	Розміри різця						Розміри хвостовика різця в залежності від діаметра ролика			
	$B$	$L$	$E$	$A$	$F$	$r$	$d$	$M$	$d$	$M$
До 4	9	75	4	15	7	0,5	4	21,31	3	18,577
Від 4 до 6	14	75	6	20	10	0,5	6	29,46	4	24,000
» 6 » 10	19	75	6	25	15	0,5	6	34,46	4	29,000
» 10 » 14	25	90	10	30	20	1,0	10	45,77	6	34,846
» 14 » 20	35	90	10	40	25	1,0	10	55,77	6	44,846
» 20 » 28	45	100	15	60	40	1,0	15	83,66	8	64,536

### 2.3. Побудова розрахункової схеми

Із точки  $O_1$ , яка являє собою на схемі вісь обертання деталі, будуюмо ряд концентричних окружностей, радіуси яких дорівнюють радіусам вузлових точок профілю деталі ( $r_1, r_2, r_3, \dots$ ) (рис. 2.2).

Перетинання окружності мінімального радіусу  $r_{\min}$  з горизонтальною прямою визначає точку  $T'$  профілю деталі. Із точки  $T'$  під кутом  $\gamma$  до горизонтальної прямої проводимо пряму, яка являє собою на схемі передню поверхню різця. Всі інші вузлові точки ріжучої крайки різця визначаються як результат перетину сліду передньої поверхні різця з окружностями відповідних радіусів деталі (точки  $T_1, T_2, T_3, \dots$ ).

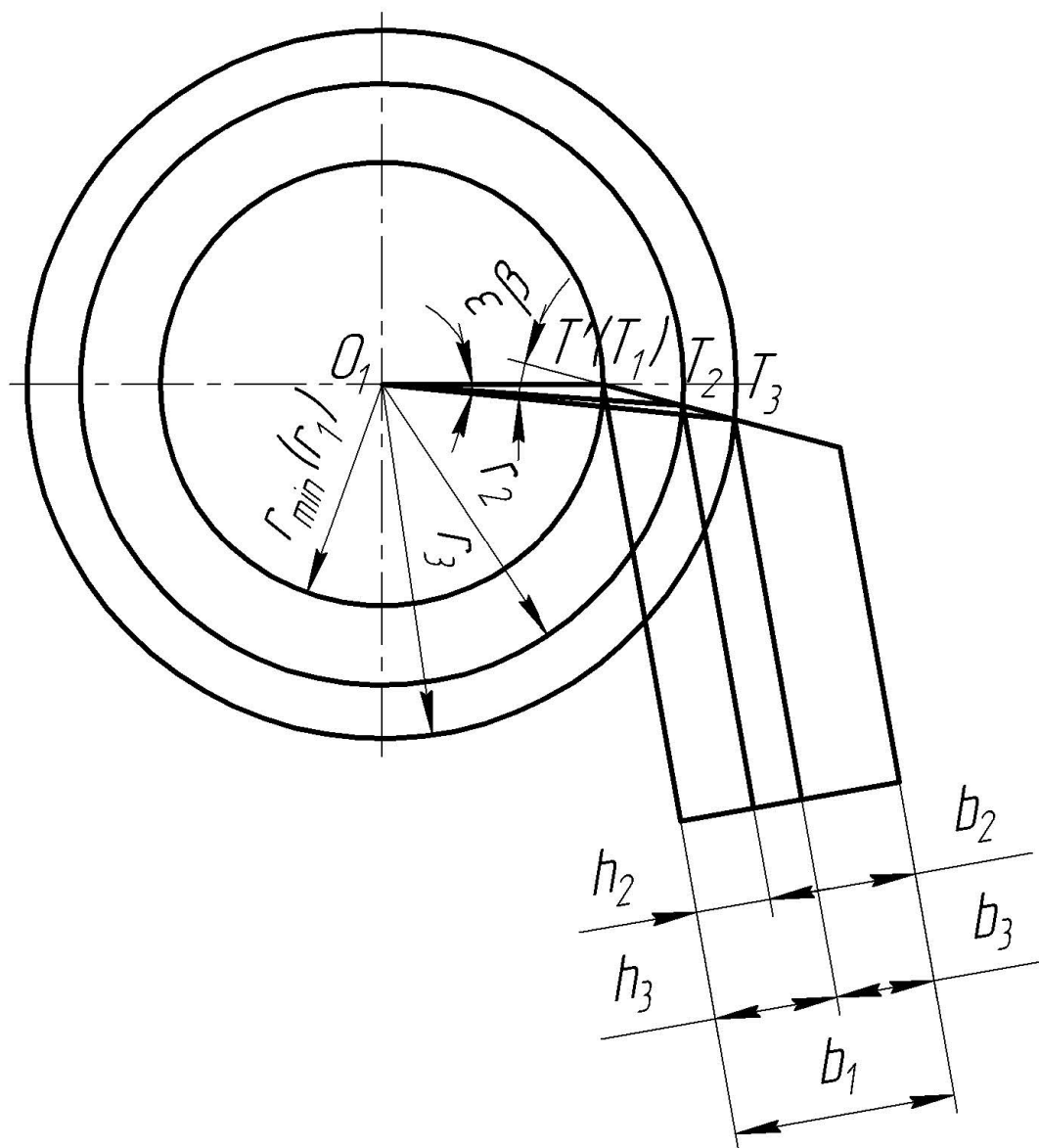


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема

З'єднавши точки  $T_1, T_2, T_3, \dots$  з центром деталі  $O_1$  та з точкою  $T'$ , отримаємо низку трикутників, у яких відомі сторона  $O_1T'$ , відрізки між точками  $T_1, T_2, T_3, \dots$  та центром деталі  $O_1$  (за величиною рівними відповідним радіусам вузлових точок) та протилежний їм кут величиною  $\pi - \gamma$ . За теоремою синусів можна знайти кути  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$  між передньою поверхнею різця та радіусами, що відповідають точкам  $T_1, T_2, T_3, \dots$ . Для точки, що співпадає з точкою  $T'$ , кут  $\beta = 0$ .

Знаходимо останній невідомий кут  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$  кожного з означених вище трикутників як різницю між переднім кутом  $\gamma$  та відповідним кутом  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ . Знаючи радіуси  $r_1, r_2, r_3, \dots$  вузлових точок, відповідні їм кути  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$  та величину  $r_{\min}$  відрізка  $O_1T'$ , розраховуємо за теоремою косинусів відстані від точок  $T_1, T_2, T_3, \dots$  до точок  $T'$ .

Проектуючи дані відрізки на площину, перпендикулярну задній поверхні різця у точку  $T'$ , знаходять відповідні висоти профілю  $h_1, h_2, h_3, \dots$  та відстані  $b_1, b_2, b_3, \dots$  до опорної поверхні різця, зважаючи на розмір  $B$  з табл. 2.1.

#### 2.4. Корегувальний розрахунок профілю різця

Корегувальний розрахунок виконуємо у відповідності з рекомендаціями, що викладені в [3-5, 6, 7, 9].

Розрахунки проводимо за допомогою програми [див. додаток А]. Початкові дані до розрахунку та назви змінних, що присутні у розрахунку наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Початкові дані та назви змінних програмного розрахунку призматичного фасонного різця

№ п/п	Назва	Розмірність	Позначка в літературі	Позначка в програмі
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	Кількість вузлових точок	шт.	$N$	$n$
2	Лічильник вузлових точок	–	$i$	$i$

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
3	Номінальні зовнішні діаметри у вузлових точках деталі	мм	$d_{нi}$	$dn_i$
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	Задній кут в точці з найменшим діаметром	°	$\alpha$	$\alpha$
8	Габаритна висота різця	мм	$B$	$B$
9	Середні діаметри у вузлових точках	мм	$Dcp_i$	$ds_i$
10	Середні радіуси у вузлових точках	мм	$Rcp_i$	$r_i$
11	Найменший радіус для вузлових точок деталі	мм	$R_{min}$	$rm$
12	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	°	$\beta_i$	$\beta_i$
13	Кут між передньою поверхнею різця та площиною, що проходить через вісь деталі та точкою на перетині передньої поверхні різця з колом, що відповідає даній вузловій точці	°	$\varepsilon_i$	$\varepsilon_i$
14	Відстань між точками перетину передньої поверхні різця з колами, що відповідають даній вузловій точці та вузловій точці з найменшим радіусом	мм	$A_i$	$a_i$
15	Висота профілю різця у відповідній вузловій точці	мм	$h_i$	$h_i$
16	Відстань від точки профілю різця до його опорної поверхні	мм	$b_i$	$b_i$

Осьові розміри між вузловими точками профілю різця приймаються рівними відповідним розмірам між вузловими точками профілю деталі.

### 2.5. Розробка робочого креслення призматичного різця

Робоче креслення виконуємо у відповідності з рекомендаціями, що викладені в [2].

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

Основні розміри, які вказуються на робочому кресленні: габаритні розміри, розміри хвостової частини, 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 висотні розміри профілю різця у розрахункових точках призначаємо у розмірі  $1/2$  від поля допуску відповідних діаметральних розмірів деталі. Номінальні лінійні розміри профілю різця відповідають номінальним лінійним розмірам профілю деталі.

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

Кріплення призматичних різців 3 в корпусі 2 спеціальних державок відбувається зазвичай за допомогою «ластівчиного хвоста» гвинтами 6 через затискну накладку 5 (рис. 2.3).

Розміри «ластівчиного хвоста» вибираються конструктивно в залежності від параметрів фасонного профілю. Встановлення різця по висоті здійснюється за допомогою регулюючого гвинта 4 або шпильки, що закручуються з протилежної торцевої сторони різця. При цьому за рахунок додаткової опори призматичний різець має більш жорстку установку [13].

Сама різцева державка для призматичного різця закріплюється за допомогою гвинтів 1, що закручуються у шпонки 7, встановленні в пазу супорта верстата.

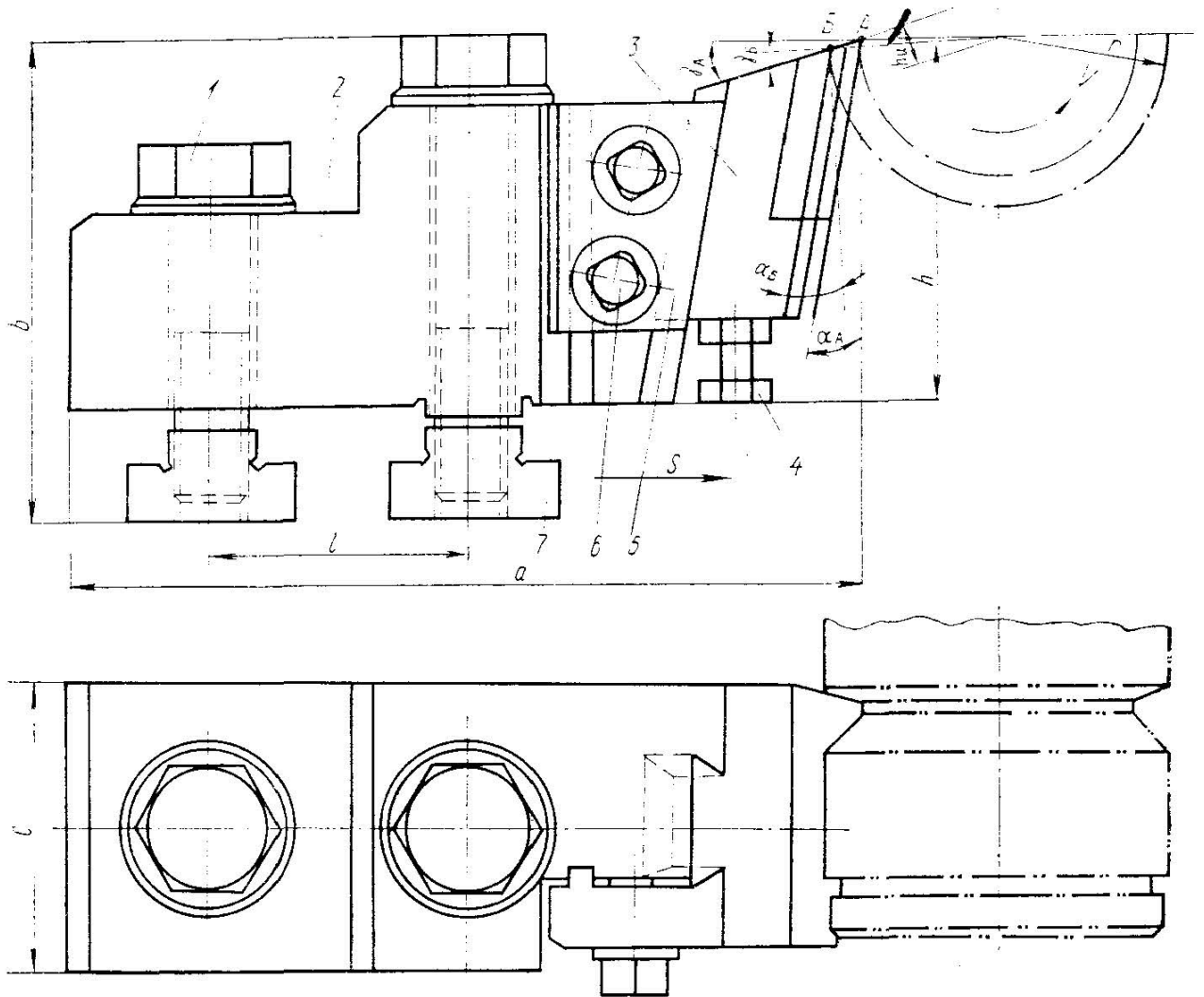


Рисунок 2.3 – Державка призматичного різця

### **3. ПРОЕКТУВАННЯ КРУГЛОГО ФАСОННОГО РІЗЦЯ**

В даному розділі проводимо необхідний розрахунок та конструювання круглого фасонного різця для зовнішнього обточування деталі згідно із завданням на курсовий проект. Для забезпечення працездатності круглого радіального фасонного різця конструємо двоопорний різцетримач.

Початкові дані для проектування 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.

#### **3.1. 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 точки, 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.

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

Вибираємо для проектування 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 [3].

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

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

Складова сили різання відповідно до [3] визначається так:

$$P_z = pL, \quad (3.1)$$

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

$L$  – довжина оброблюваної поверхні,  $\text{мм}$ .

Діаметр посадкового отвору відповідно до [3] визначається так:

$$d_0 = 0,78L^{0,33} * P_z^{0,25}. \quad (3.2)$$

Приймаємо  $d_0$  найближче більше згідно з рекомендаціями [3].

Діаметр різця розраховується згідно з [3] так:

$$D_1 = d_0 + 2(t_{\max} + a + e), \quad (3.3)$$

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

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

$e$  – товщина стінки різця,  $\text{мм}$ .

Приймаємо  $D_1$  найближче більше згідно з рекомендаціями [3].

Визначаємо розміри рифлень:

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

– кількість зубців рифлення  $Z$ ;

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

– вершини зрізані на величину  $0,35 \text{ мм}$ .

Для забезпечення сталості ширини площадки при вершині зубчиків по їх довжині дно западини розташовуємо відносно торця буртика під кутом  $\omega$ , причому  $\omega = \text{Arctg}(\pi/Z)$  [3].

Ширину буртика під рифлення приймаємо  $l_1 = 5 \text{ мм}$ .

Додаткові ріжучі крайки не призначаємо.

Визначаємо загальну ширину різця:

$$L_0 = L + l_1, \quad (3.4)$$

де  $L$  – довжина деталі, мм;

$l_1$  – ширина буртика з рифленням.

Відображаємо наведені вище дані на робочому кресленні фасонного різця.

### 3.3. Побудова розрахункової схеми круглого фасонного різця

Із точки  $O_1$ , яка являє собою на схемі вісь обертання деталі, будуємо ряд концентричних окружностей, радіуси яких дорівнюють радіусам вузлових точок профілю деталі ( $r_1, r_2, r_3, \dots$ ) (рис. 3.1.).

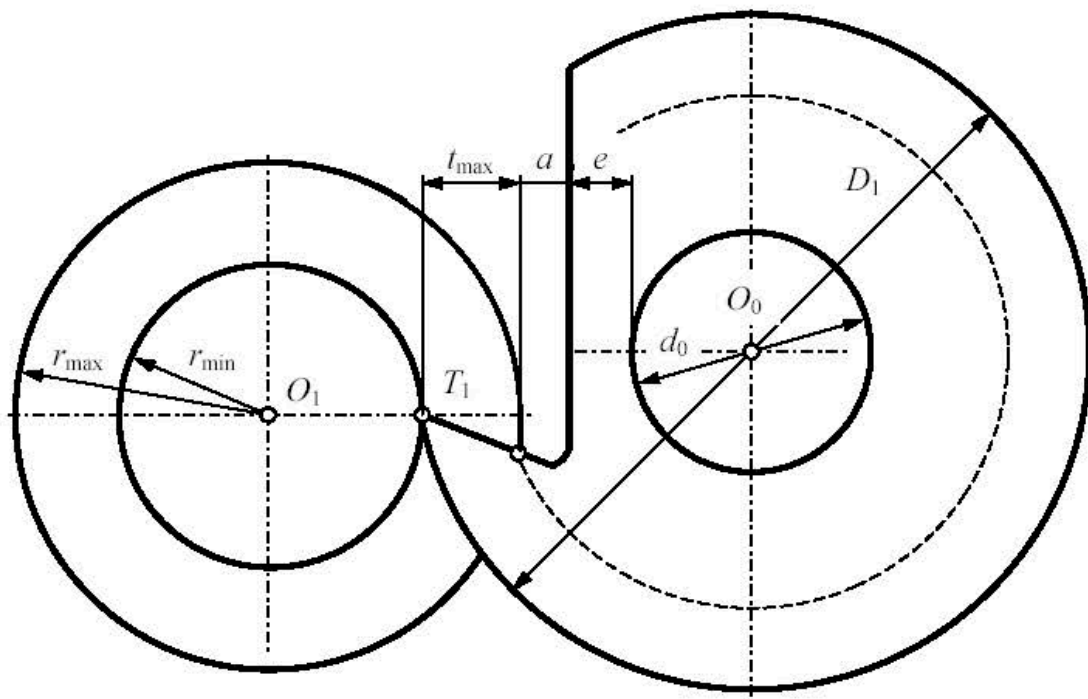


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема круглого фасонного різця

Перетинання 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 профілю різця позначаються символом  $B$  з відповідним індексом ( $B_1, B_2, \dots$ ).

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

### 3.4. Корегувальний розрахунок профілю різця

Корегувальний розрахунок виконуємо у відповідності з рекомендаціями, що викладені в [3-5, 6, 7, 9].

Розрахунки проводимо за допомогою програми [див. додаток Б]. Початкові дані до розрахунку та назви змінних, що присутні у розрахунку наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові дані та назви змінних програмного розрахунку круглого фасонного різця

№ 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	Задній кут в точці з найменшим 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 між передньою поверхнею 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 3.1

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 різця приймаються рівними відповідним розмірам між вузловими точками профілю деталі.

### 3.5. Розробка робочого креслення круглого фасонного різця

Робоче креслення виконуємо у відповідності з рекомендаціями, що наведені у [3].

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.

### 3.6. Проектування державки круглого фасонного різця

Для запобігання дії складних напружень від згинаючих і крутильних моментів під дією сил різання і збільшення жорсткості системи верстат –

пристосування – інструмент – деталь державки широких фасонних різців виконують двоопорними [3].

Враховуючи ширину розробленого фасонного різця для його закріплення вибираємо двоопорну державку тип Б, що розглянута в [3, стор. 247, рис. VII.10]. 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 процесу обробки деталей круглого профілю фасонним інструментом є те, що різання ведеться усіма точками різального леза одночасно. Оскільки кінематика процесу різання фасонним інструментом передбачає наявність головного обертального руху деталі та прямолінійного руху подачі, це суттєво спрощує кінематику та підвищує якість обробки.

Разом з тим, застосування фасонного інструменту, суттєво підвищує технологічне навантаження – сили різання, оскільки обробка проводиться одночасно всією довжиною різального леза. Тому реалізація таких операцій потребує потужного верстатного обладнання з необхідною жорсткістю виконавчих органів.

Крім того, проектування та виготовлення фасонного інструменту більш складне, чим звичайного універсального.

Фасонні різці застосовуються для обробки поверхонь складного профілю на верстатах токарної групи в умовах виробництва деталей великих партій. Як правило, вони є спеціальними інструментами, призначеними для обробки однієї деталі. Переваги фасонних різців – ідентичність оброблених деталей, великий термін служби, висока загальна і розмірна стійкість, суміщення попередньої і фінішної обробок, простота встановлення та налагодження на верстаті – роблять їх незамінними в автоматизованому виробництві, особливо на токарних автоматах.

Таким чином, проектування фасонного інструменту доцільно, при обробці деталей фасонного профілю великих партій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гжиров, Р.И. Инструментальные системы автоматизированного производства: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Р.И. Гжиров, В.А. Гречишников, В.Г. Логашев и др. – Спб.: Политехника, 1993. – 399 с.
2. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. – М.: Высшая школа, 1983. – 256 с.
3. Грановский Г.И. Фасонные резцы / Г.И. Грановский, К.П. Панченко. – М.: Машиностроение, 1975. – 307 с.
4. Дарманчев С.К. Фасонные резцы / С.К. Дамарчев. – Л.: Машиностроение, 1968 – 168 с.
5. Зубовецька Н. Т. Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструментів [Електронний ресурс] : Посібник / Н. Т. Зубовецька.– Луцьк, 2018 р.
6. Кирсанов Г.Н. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов / Г.Н. Кирсанов и др. - М.: Машиностроение, 1986.- 288 с.
7. Металорізальні інструменти: навчальний посібник / С. В. Швець. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 272 с.
8. 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.
9. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущего инструмента / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машиностроение, 1963. – 952с.
10. 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.

11. Справочник технолога-машиностроителя. В 2. Том 2. Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1972. – 568 с.
12. Филиппов, Г.В. Режущий инструмент / Г.В. Филиппов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд.-е, 1981. – 392 с.
13. Фруммин, Ю.А. Комплексное проектирование инструментальной оснастки / Ю.А. Фруммин. – М.: Машиностроение, 1987. – 344 с.
14. ХаеТ, Г.Л. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. ХаеТ, В.М. Гах, В.С. Губенко. – М.: Машиностроение, 1989. – 254 с.
15. Iscar tools. Turning tools. – 2002.– 810 с.
16. Sandvic Coromant. Выбор токарного инструмента и режимов резания. – 1978. – 57с.
17. Sandvic Coromant. Corokey: Руководство по выбору инструмента. Точение – фрезерование – сверление. – 1998. –N4. – 169 с.
18. TaeguTec. Токарная обработка.– 2022.– 360 с.

# ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

### Розрахунок призматичного фасонного різця за допомогою спеціалізованого математичного пакету MathCAD

#### 1. Початкові данні для розрахунку

##### Кількість вузлових точок

$$n := 5 \quad i := 1..n$$

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

$$dn_1 := 30 \quad es_1 := 0.0 \quad ei_1 := -0.084$$

$$dn_2 := 50 \quad es_2 := 0.012 \quad ei_2 := -0.012$$

$$dn_3 := 44.9 \quad es_3 := 0.012 \quad ei_3 := -0.012$$

$$dn_4 := 43.5 \quad es_4 := 0.012 \quad ei_4 := -0.012$$

$$dn_5 := 40 \quad es_5 := -0.12 \quad ei_5 := -0.28$$

##### 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

$$ds_i := dn_i + 0.5 \cdot (es_i + ei_i)$$

##### Середні радіуси вузлових точок

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

$$r = \begin{pmatrix} 14.979 \\ 25 \\ 22.45 \\ 21.75 \\ 19.9 \end{pmatrix}$$

##### Найменший радіус вузлової точки

$$rm := \min(r) \quad rm = 14.979$$

##### Корекційний розрахунок профіля різця

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

$$\beta \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = \begin{pmatrix} 20 \\ 11.825 \\ 13.191 \\ 13.624 \\ 14.918 \end{pmatrix}$$

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

$$\epsilon \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = \begin{pmatrix} -9.542 \times 10^{-15} \\ 8.175 \\ 6.809 \\ 6.376 \\ 5.082 \end{pmatrix}$$

$$a_i := \sqrt{r_m^2 + (r_i)^2 - 2 \cdot r_m \cdot r_i \cdot \cos(\epsilon_i)}$$

$$a = \begin{pmatrix} 0 \\ 10.394 \\ 7.782 \\ 7.062 \\ 5.154 \end{pmatrix}$$

$$h_i := a_i \cdot \cos(\gamma + \alpha)$$

$$h = \begin{pmatrix} 0 \\ 8.814 \\ 6.599 \\ 5.989 \\ 4.37 \end{pmatrix}$$

### Габаритна висота різця

$$B1 := \text{if}(\max(h) < 4, 9, 100)$$

$$B2 := \text{if}(\max(h) < 6, 14, 100)$$

$$B3 := \text{if}(\max(h) < 10, 19, 100)$$

$$B4 := \text{if}(\max(h) < 14, 25, 100)$$

$$B5 := \text{if}(\max(h) < 20, 35, 45)$$

$$B := \min(B1, B2, B3, B4, B5)$$

$$B = 19$$

### Креслярські розміри

$$b_i := \text{round}(B - h_i, 2)$$

$$h_i := \text{round}(h_i, 2)$$

$$b = \begin{pmatrix} 19 \\ 10.19 \\ 12.4 \\ 13.01 \\ 14.63 \end{pmatrix}$$

$$h = \begin{pmatrix} 0 \\ 8.81 \\ 6.6 \\ 5.99 \\ 4.37 \end{pmatrix}$$

## ДОДАТОК Б

**Розрахунок круглого фасонного різця за допомогою спеціалізованого математичного пакету MathCAD**

**1. Початкові данні для розрахунку****Кількість вузлових точок**

$$n := 6$$

$$i := 1..n$$

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

$$dn_1 := 40 \quad es_1 := 0.033 \quad ei_1 := 0.017$$

$$dn_2 := 30 \quad es_2 := 0.028 \quad ei_2 := 0.015$$

$$dn_3 := 20 \quad es_3 := -0.040 \quad ei_3 := -0.092$$

$$dn_4 := 30 \quad es_4 := -0.11 \quad ei_4 := -0.24$$

$$dn_5 := 40 \quad es_5 := 0.012 \quad ei_5 := -0.012$$

$$dn_6 := 30 \quad es_6 := 0.010 \quad ei_6 := -0.010$$

**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**

$$ds_i := dn_i + 0.5 \cdot (es_i + ei_i)$$

**Середні радіуси вузлових точок**

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

$$r = \begin{pmatrix} 20.012 \\ 15.011 \\ 9.967 \\ 14.912 \\ 20 \\ 15 \end{pmatrix}$$

## Найменший радіус вузлової точки

$$r_m := \min(r) \quad r_m = 9.967$$

## Габаритний діаметр різця

$$d_g := 90$$

## Габаритний радіус різця

$$r_g := \frac{d_g}{2} \quad r_g = 45$$

## Висота встановлення осі різця

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

## Корекційний розрахунок профіля різця

$$\beta_1 := \text{asin}\left(\frac{r_m \cdot \sin(\pi - \gamma)}{r_1}\right)$$

$$\beta \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = \begin{pmatrix} 9.808 \\ 13.126 \\ 20 \\ 13.214 \\ 9.814 \\ 13.136 \end{pmatrix}$$

$$\varepsilon_1 := \gamma - \beta_1$$

$$\varepsilon \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = \begin{pmatrix} 10.192 \\ 6.874 \\ -9.542 \times 10^{-15} \\ 6.786 \\ 10.186 \\ 6.864 \end{pmatrix}$$

$$a_1 := \sqrt{r_m^2 + (r_1)^2 - 2 \cdot r_m \cdot r_1 \cdot \cos(\varepsilon_1)}$$

$$a = \begin{pmatrix} 10.354 \\ 5.253 \\ 0 \\ 5.152 \\ 10.341 \\ 5.242 \end{pmatrix}$$

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

$$R = \begin{pmatrix} 36.632 \\ 40.641 \\ 45 \\ 40.723 \\ 36.642 \\ 40.65 \end{pmatrix}$$

**Креслярські розміри**

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

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

$$d = \begin{pmatrix} 73.26 \\ 81.28 \\ 90 \\ 81.45 \\ 73.28 \\ 81.3 \end{pmatrix}$$

$$p = \begin{pmatrix} 8.37 \\ 4.36 \\ 0 \\ 4.28 \\ 8.36 \\ 4.35 \end{pmatrix}$$