

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

**В.І. Солодкий**



# **ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ РІЗЦІ ТОКАРНІ**

**Навчальний посібник**

Друга редакція

*Рекомендовано Методичною радою  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як посібник для студентів та викладачів  
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка*

КПІ  
ім. Ігоря Сікорського  
Київ – 2023

Автор: Солодкий Валерій Іванович, канд. техн. наук, доц.

Рецензент: Олександр ОХРИМЕНКО – док. техн. наук, професор,  
Національний технічний університет України  
“КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

Відповідальний редактор: Юрій АДАМЕНКО – канд. техн. наук, доцент,  
Національний технічний університет України  
“КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 7 від 27.04.2023 р)  
за поданням Вченої ради навчально-наукового механіко-машинобудівного  
інституту  
(протокол № 9/2 від 25.04.2023 р)*

Проектування різальних інструментів. Різці токарні (Друга редакція)  
[Електронний ресурс] : Навчальний посібник для студентів спеціальності  
131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий – Електронні текстові дані. —  
Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 121 с.

Наведено теоретичні та практичні відомості з проектування токарних  
різців загального призначення та токарних фасонних різців. Теоретичні  
положення супроводжуються практичними рекомендаціями. Наведена  
значна кількість прикладів проектування токарних різців та посилань  
на довідковий матеріал.

Для викладачів та студентів усіх форм навчання за технічними спеці-  
альностями.

Реєстр. № НП 22/23-684. Обсяг 7,6 авт. арк.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056 <https://kpi.ua>  
Свідцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© В. І. Солодкий  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

## ВІД АВТОРА

Досить поширеною є думка,  
що у часи верстатів з числовим програмним керуванням  
фасонні різці вже віджили своє.

Але це хибна впевненість.  
Весь інструмент для утворення різьби –  
це фасонні різці різних конструкцій.



# Зміст

## Частина I ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ 9

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ . . . . .</b> | <b>10</b> |
| 1.1. Інструментальні сталі . . . . .          | 10        |
| 1.1.1. Вуглецеві сталі . . . . .              | 10        |
| 1.1.2. Леговані сталі . . . . .               | 12        |
| 1.1.3. Швидкорізальні сталі . . . . .         | 12        |
| 1.2. Тверді сплави . . . . .                  | 13        |
| 1.3. Мінералокераміка . . . . .               | 15        |
| 1.4. Синтетичні надтверді матеріали . . . . . | 16        |
| Питання для самоконтролю . . . . .            | 17        |

## Частина II РІЗЦІ ТОКАРНІ 18

|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| <b>2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ . . . . .</b>       | <b>19</b> |
| 2.1. Елементи різця . . . . .                | 19        |
| 2.1.1. Лезо та кромки . . . . .              | 19        |
| 2.1.2. Поверхні деталі . . . . .             | 21        |
| 2.1.3. Площини . . . . .                     | 22        |
| 2.2. Кути різального леза . . . . .          | 23        |
| 2.2.1. Задній кут . . . . .                  | 25        |
| 2.2.2. Передній кут . . . . .                | 28        |
| 2.2.3. Кут у плані . . . . .                 | 30        |
| 2.2.4. Кут нахилу різальної кромки . . . . . | 31        |
| 2.3. Типи різців . . . . .                   | 34        |
| 2.3.1. Різці зовнішнього точіння . . . . .   | 34        |
| 2.3.2. Різці розточувальні . . . . .         | 35        |
| 2.4. Різці збірні . . . . .                  | 37        |
| Питання для самоконтролю . . . . .           | 41        |
| <b>3. ПРОЕКТУВАННЯ РІЗЦІВ . . . . .</b>      | <b>42</b> |
| 3.1. Розрахунок державки . . . . .           | 42        |
| 3.2. Перевірка на жорсткість . . . . .       | 48        |
| 3.3. Кресленик різця . . . . .               | 49        |
| Питання для самоконтролю . . . . .           | 53        |

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| <b>4. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ . . . . .</b>             | <b>55</b>  |
| 4.1. Круглий різець . . . . .                      | 56         |
| 4.1.1. Особливість круглого різця . . . . .        | 57         |
| 4.1.2. Конструкція круглого різця . . . . .        | 57         |
| 4.2. Призматичний різець . . . . .                 | 62         |
| 4.2.1. Особливість призматичного різця . . . . .   | 64         |
| 4.2.2. Конструкція призматичного різця . . . . .   | 64         |
| 4.3. Тангенціальний різець . . . . .               | 66         |
| 4.3.1. Особливості тангенціального різця . . . . . | 67         |
| 4.3.2. Конструкція тангенціального різця . . . . . | 68         |
| 4.4. Порівняння різців . . . . .                   | 70         |
| 4.4.1. Круглі проти призматичних . . . . .         | 70         |
| 4.4.2. Радіальні проти тангенціальних . . . . .    | 71         |
| 4.5. Допуски на інструмент . . . . .               | 72         |
| Питання для самоконтролю . . . . .                 | 75         |
| <b>5. ПРОФІЛЮВАННЯ ГРАФІЧНЕ . . . . .</b>          | <b>76</b>  |
| 5.1. Круглий фасонний різець . . . . .             | 76         |
| 5.2. Призматичний фасонний різець . . . . .        | 79         |
| 5.3. Тангенціальний фасонний різець . . . . .      | 83         |
| Питання для самоконтролю . . . . .                 | 87         |
| <b>6. ПРОФІЛЮВАННЯ АНАЛІТИЧНЕ . . . . .</b>        | <b>88</b>  |
| 6.1. Круглий фасонний різець . . . . .             | 88         |
| 6.2. Призматичний фасонний різець . . . . .        | 90         |
| 6.3. Тангенціальний фасонний різець . . . . .      | 92         |
| Питання для самоконтролю . . . . .                 | 96         |
| <b>7. ЗАМІНА ДУГИ ЧАСТИНОЮ КОЛА . . . . .</b>      | <b>97</b>  |
| 7.1. Загальний випадок . . . . .                   | 97         |
| 7.1.1. Графічний метод . . . . .                   | 97         |
| 7.1.2. Аналітичний метод . . . . .                 | 97         |
| 7.1.3. Особливі випадки . . . . .                  | 99         |
| Питання для самоконтролю . . . . .                 | 102        |
| <b>8. ГЕОМЕТРІЯ ФАСОННИХ РІЗЦІВ . . . . .</b>      | <b>103</b> |
| 8.1. Круглий радіальний різець . . . . .           | 103        |
| 8.2. Призматичний радіальний різець . . . . .      | 108        |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 8.3. Тангенціальний різець . . . . . | 111        |
| 8.4. Епюри задніх кутів . . . . .    | 116        |
| Питання для самоконтролю . . . . .   | 119        |
| <b>Посилання . . . . .</b>           | <b>120</b> |

## Перелік ілюстрацій

|       |                                                        |     |
|-------|--------------------------------------------------------|-----|
| 1.1.  | Твердість інструментальних матеріалів: . . . . .       | 11  |
| 2.1.  | Токарний різець . . . . .                              | 20  |
| 2.2.  | Поверхні заготовки та різця . . . . .                  | 21  |
| 2.3.  | Інструментальна основна площа . . . . .                | 22  |
| 2.4.  | Геометричні параметри різця: . . . . .                 | 24  |
| 2.5.  | Розташування вершини різця: . . . . .                  | 25  |
| 2.6.  | Вплив подачі . . . . .                                 | 26  |
| 2.7.  | Зміна переднього кута . . . . .                        | 29  |
| 2.8.  | Кут у плані . . . . .                                  | 30  |
| 2.9.  | Кут нахилу різальної кромки . . . . .                  | 32  |
| 2.10. | Різці ліві та праві . . . . .                          | 34  |
| 2.11. | Точність обробки . . . . .                             | 36  |
| 2.12. | Збірний різець з Г-подібним прихватом: . . . . .       | 38  |
| 2.13. | Збірний різець з накладним стружколомом: . . . . .     | 39  |
| 2.14. | Збірний різець з L-подібним важелем: . . . . .         | 40  |
| 2.15. | Збірний різець з кріпленням гвинтом . . . . .          | 40  |
| 3.1.  | Розрахункова схема визначення перерізу різця . . . . . | 42  |
| 3.2.  | Різець прохідний відігнутий . . . . .                  | 50  |
| 3.3.  | Різець підрізний . . . . .                             | 51  |
| 3.4.  | Різець відрізний . . . . .                             | 52  |
| 4.1.  | Фасонні токарні різці . . . . .                        | 55  |
| 4.2.  | Круглий фасонний різець . . . . .                      | 56  |
| 4.3.  | Кути круглого різця . . . . .                          | 56  |
| 4.4.  | Головна січна площа . . . . .                          | 60  |
| 4.5.  | Призматичний фасонний різець . . . . .                 | 63  |
| 4.6.  | Кути призматичного різця . . . . .                     | 63  |
| 4.7.  | Тангенціальний фасонний різець . . . . .               | 67  |
| 4.8.  | Робота тангенціального різця . . . . .                 | 67  |
| 4.9.  | Допуски на різець . . . . .                            | 72  |
| 5.1.  | Профілювання круглого різця . . . . .                  | 77  |
| 5.2.  | Профілювання призматичного різця . . . . .             | 81  |
| 5.3.  | Профілювання тангенціального різця . . . . .           | 84  |
| 6.1.  | Схема профілювання круглого різця. . . . .             | 88  |
| 6.2.  | Схема призматичного різця . . . . .                    | 91  |
| 6.3.  | Схема тангенціального різця . . . . .                  | 93  |
| 7.1.  | Графічна заміна дуги . . . . .                         | 97  |
| 7.2.  | Типові варіанти профілю . . . . .                      | 100 |
| 8.1.  | Геометричні параметри круглого різця . . . . .         | 104 |

|      |                                                 |     |
|------|-------------------------------------------------|-----|
| 8.2. | Передні кути круглого різця . . . . .           | 104 |
| 8.3. | Задні кути круглого різця . . . . .             | 105 |
| 8.4. | Геометрія призматичного різця . . . . .         | 108 |
| 8.5. | Задні кути призматичного різця . . . . .        | 109 |
| 8.6. | Геометрія тангенціального різця: . . . . .      | 112 |
| 8.7. | Схема геометрії тангенціального різця . . . . . | 113 |
| 8.8. | Епюри задніх кутів . . . . .                    | 116 |

## Перелік таблиць

|      |                                            |    |
|------|--------------------------------------------|----|
| 2.1. | Кут підйому траєкторії . . . . .           | 27 |
| 2.2. | Задні інструментальні кути . . . . .       | 28 |
| 2.3. | Передній інструментальні кути . . . . .    | 28 |
| 2.4. | Головний кут у плані . . . . .             | 31 |
| 2.5. | Кут нахилу різальної кромки . . . . .      | 33 |
| 3.1. | Допустиме навантаження на різець . . . . . | 43 |
| 3.2. | Поперечний переріз різців . . . . .        | 44 |
| 3.3. | Діаметри круглих державок . . . . .        | 48 |
| 4.1. | Різець круглий . . . . .                   | 58 |
| 4.2. | Різець призматичний . . . . .              | 65 |
| 4.3. | Різець тангенціальний . . . . .            | 69 |

**Частина I**

**ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ  
МАТЕРІАЛИ**

# 1. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Різання металів супроводжується великими навантаженнями на токарний різець, що призводять до зношування та руйнування різального леза [1]. Тому основними вимогами, що висуваються до матеріалів, які застосовують для виготовлення робочої частини токарного різця є:

- достатня твердість та міцність;
- зносостійкість за високої температури нагрівання;
- збереження працездатності протягом тривалого часу.

Перша вимога багато в чому визначається твердістю, межею міцності при згині, межею міцності при стисненні і ударною в'язкістю. Друга – достатньою твердістю в нагрітому стані до високих температур (теплостійкістю). Третя – спротивом до зносу різального леза в процесі роботи.

Всі матеріали, які застосовуються для виготовлення токарних різців, можна поділити (в історичному порядку) на такі групи:

- інструментальні сталі:
  - вуглецеві сталі;
  - леговані сталі;
  - швидкорізальні сталі.
- металокерамічні тверді сплави;
- мінералокерамічні матеріали (кераміка);
- синтетичні надтверді матеріали.

## 1.1. Інструментальні сталі

### 1.1.1. Вуглецеві сталі

Інструментальні вуглецеві сталі були основним матеріалом для виготовлення токарних різців до 50-х років минулого століття. Основною складовою домішкою є вуглець (0,6 ... 1,4 %), від вмісту якого, в основному, залежать властивості сталі [6].

Після термічної обробки ці сталі можуть мати твердість HRC 58...64 одиниць і задовольняти базовим вимогам, що висуваються до

інструментальних матеріалів. Однак інструмент з вуглецевої інструментальної сталі витримує при різанні температуру нагрівання лише до 200...250 °С.

Під час роботи через значну температуру, яка виникає в зоні різання, твердість різального леза різко знижується (рис. 1.1, крива 4) і воно швидко виходить з ладу.

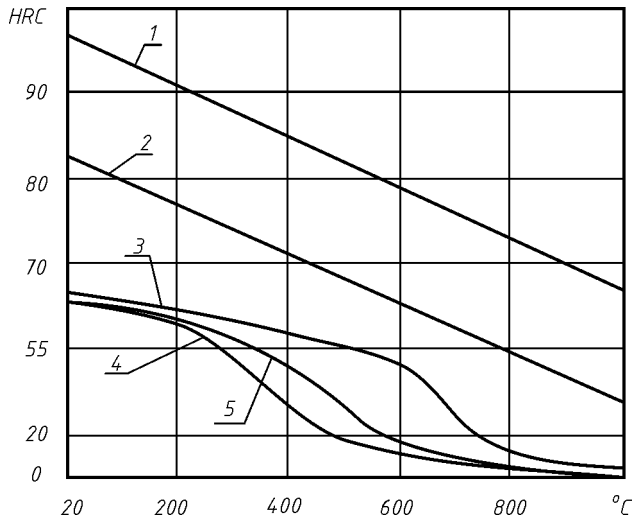


Рис. 1.1. Твердість інструментальних матеріалів:  
 1 – мінералокераміка МЦ-322; 2 – твердий сплав ВК-8;  
 3 – швидкорізальна сталь Р18; 4 – вуглецева сталь У10;  
 5 – малолегована сталь ХВГ

Для виготовлення токарного інструменту найбільше застосування знаходять інструментальні вуглецеві сталі марок У10, У11 та У12. Ці сталі мають достатню міцність і добре працюють під час обробки переривчастих поверхонь, але на жаль швидкість різання не має перевищувати 10...12 м/хв, а температура в зоні різання 200 °С.

Хімічний склад вуглецевої сталі для токарних різців такий:

| Сталь | C, %        | Mn, %       | Si, %     |
|-------|-------------|-------------|-----------|
| У10   | 0,95...1,09 | 0,15...0,25 | менше 0,3 |
| У11   | 1,10...1,15 | 0,15...0,25 |           |
| У12   | 1,16...1,25 | 0,15...0,25 |           |

У теперішній час вуглецеві сталі майже не використовують для виготовлення токарних різців.

### 1.1.2. Леговані сталі

Різальну здатність інструментальної вуглецевої сталі можна підвищити шляхом введення до її складу додаткових елементів, а саме: хрому, вольфраму, молібдену, ванадію та інших. Сталі з такими добавками називають легованими.

Інструментальні леговані сталі (після відповідної термічної обробки) можуть працювати при температурі у зоні різання до 250 °С. Токарні різці виготовлені з легованої сталі<sup>1</sup> можуть працювати при швидкостях різання приблизно в 1,2... 1,4 рази більших у порівнянні зі швидкостями різання, що допускають різці з інструментальної вуглецевої сталі (рис. 1.1, крива 5).

Для виготовлення токарних різців леговані сталі практично не використовують. Це пояснюється їх незначною перевагою над вуглецевими сталями (з точки зору різання) та навпаки, значним збільшенням вартості.

Основною галуззю застосування легованих сталей є інструмент, який повинен мати підвищену міцність на згин та крутіння. Загалом це свердла, розвертки, протяжки, мітчики та плашки.

Хімічні елементи, що входять до складу малолегованих сталей позначають літерами кириличної абетки:

|              |               |
|--------------|---------------|
| X – хром     | Г – марганець |
| В – вольфрам | С – кремній   |

### 1.1.3. Швидкорізальні сталі

Якщо до складу сталі входить 5...19 % вольфраму та 3,8...4,4 % хрому то інструмент, виготовлений з такої сталі, витримує в процесі різання температуру нагріву до 550...600 °С (рис. 1.1, крива 3), не втрачаючи особливо своїх різальних властивостей. Такі сталі називають швидкорізальними.

Після правильної термічної обробки інструмент із швидкорізальної сталі має твердість HRC 62...65 одиниць і може працювати на швидкостях різання до 25 м/хв та температурі у зоні різання до 600 °С. Це в 2...3 рази перевищує швидкість, яку допускають інструменти виготовлені з інструментальної вуглецевої або легованої сталі.

Найбільш поширеною швидкорізальною сталлю для токарних різців є сталі марок Р6М5 та Р6М3 такого хімічного складу:

---

<sup>1</sup>Звичайно з інструментальної сталі виготовляють тільки робочу частину різця, або тільки напаяний різальний елемент.

- Р6М5 – 6 % вольфраму;  
5 % молібдену;  
Найбільш поширена у машинобудуванні.
- Р6М3 – 6 % вольфраму;  
3 % молібдену;  
Використовують, як замітник більш дорогої Р6М5.

При виготовленні зі швидкорізальної сталі токарних різців їх роблять зварними:

- робоча частина – інструментальні сталі;
- а хвостова, менш дорога – конструкційна.

В якості конструкційних використовують сталі марок 40, 45, 50, 40Х залежно від призначення різця. Сталі марок 40 та 45 використовують для різців загального призначення. Сталі марок 50, 40Х для різців відповідального призначення.

## **1.2. Тверді сплави**

Насправді тверді сплави не є сплавами. Це суто історичне найменування, коли “тверді сплави” отримували методом плавки у середовищі газової горілки. У теперішній час тверді сплави отримують методом спікання, але назва залишилась.

Тверді сплави зберігають відносно високу твердість при нагріванні до температури 900...1000 °С (рис. 1.1, крива 2). Тому різці оснащені твердим сплавом, більш зносостійкі в порівнянні з різцями оснащеними інструментальною сталлю.

На сьогоднішній день (при відповідній геометрії) різці оснащені твердим сплавом можуть працювати при швидкості різання до 200...300 м/хв при обробці конструкційних сталей і понад 500 м/хв при обробці алюмінію.

Успішне застосування в металообробній промисловості твердих сплавів дозволяє стверджувати, що для такого поширеного інструменту, як різці, тверді сплави є основним матеріалом, що витіснив вуглецеву та швидкорізальну сталь.

Основним компонентом твердих сплавів різних марок є карбід вольфраму WC. Залежно від складу добавок розрізняють три групи твердих сплавів: група ВК, група ТК та група ТТК.

## Група ВК

Це однокарбідні сплави – містять тільки карбід вольфраму  $WC$ . Їх називають сплавами вольфрамо-кобальтової групи, або скорочено сплавами ВК групи.

У металообробці сплави групи ВК мають таке застосування:

- ВК3 – чистове точіння сталей та сірого чавуну з малим перетином зрізу, кольорових металів їх сплавів і неметалевих матеріалів (гуми, фібри, пластмаси та ін.).
- ВК4 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу, розточування нормальних і глибоких отворів.
- ВК6 – чорнове і напівчорнове точіння, попереднє нарізування різьб, розточування отворів, .
- ВК8 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу і переривчастому різанні, обробка нержавіючих, високоміцних і жароміцних сталей і сплавів.

## Група ТК

Це двокарбідні сплави, що містять карбіди двох елементів, а саме: карбід вольфраму  $WC$  і карбід титану  $TiC$ . Їх називають сплавами титано-вольфрамо-кобальтової групи, або скорочено сплавами ТК групи.

Титано-вольфрамові тверді сплави більш зносостійкі та мають підвищену теплостійкість, ніж вольфрамові сплави групи ВК. Підвищені різальні властивості їм додає титан.

У металообробці сплави групи ТК мають таке застосування:

- Т30К4 – чистове точіння з малим перетином зрізу, нарізування різьб і розточування отворів незагартованих і загартованих вуглецевих сталей.
- Т15К6 – напівчорнове точіння при безперервному різанні, чистове точіння при переривистому різанні, нарізування різьб у вуглецевих і легованих сталях.
- Т14К8 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу і безперервному різанні, напівчистове і чистове точіння при переривистому різанні вуглецевих і легованих сталей.
- Т5К10 – чорнові точіння при нерівномірному перетині зрізу і переривистому різанні, фасонне точіння, відрізки токарними

різцями та інші види обробки вуглецевих і легованих сталей, переважно у вигляді поковок, штамповок і відливок по кірці і окалині.

**T5K12** – важке чорнове точіння сталевих поковок, відливок по кірці з раковинами за наявності піску, шлаку і різних неметалевих включень, при нерівномірному перетині зрізу і наявності ударів всіх видів вуглецевих і легованих сталей.

### **Група ТТК**

Ці сплави містять карбіди трьох елементів, а саме: карбід вольфраму WC, карбід титана TiC і карбід танталу TaC. Їх називають сплавами титано-тантало-вольфрамо-кобальтової групи, або скорочено сплавами ТТК групи.

Сплави групи ТТК переважно застосовують для обробки важкооброблюваних сталей і сплавів – нержавіючих і жароміцних, а також інших легованих сталей.

Галузь застосування твердих сплавів групи ТТК – обточування деталей з важкооброблюваних сталей:

**ТТ7K12** – важке чорнове точіння сталевих поковок і відливок по кірці з раковинами за наявності піску, шлаку та різних неметалевих включень при нерівномірному перетині зрізу і наявності ударів; всі види вуглецевих і легованих сталей.

**ТТ10K8** – чорнове і напівчистове оброблення важкооброблюваних матеріалів, нержавіючих сталей аустенітного класу, мартенситних сталей та жароміцних сталей і сплавів, зокрема титанових.

### **1.3. Мінералокераміка**

Мінералокерамічні матеріали застосовують в металообробній промисловості порівняно недавно. Тверді сплави забезпечують високу продуктивність процесу різання, але є дорогими матеріалами, так як до їх складу входять відносно рідкісні елементи – вольфрам, титан і кобальт. Тому важливо було знайти такі матеріали, які поряд з високими різальними властивостями були б і дешевими.

До них відносяться мінералокерамічні матеріали, які виготовляють у вигляді пластинок пресуванням і спеціальною термічною обробкою з

глинозему ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), який є дуже дешевим. Недорога також технологія обробки глинозему, а тому керамічні пластинки значно дешевші за пластинки з твердого сплаву.

Керамічні матеріали мають високу міцність на стиск (5000 МПа), високу твердість (HRA 89...95) і теплостійкість (близько 1200 °C), що дозволяє здійснювати точіння при високих швидкостях різання (рис. 1.1 на с. 11, крива 1).

Однак, мінералокерамічні інструментальні матеріали досить крихкі і тому їх використовують тільки при чистовому точінні за умови значної жорсткості технологічної системи.

## 1.4. Синтетичні надтверді матеріали

Надтверді матеріали – група синтетичних матеріалів, створених на основі природних речовин. Їх твердість значно перевищує твердість матеріалів з яких вони синтезовані.

За структурним станом виділяють 4 основні групи надтвердих матеріалів: монокристали, однорідні полікрystalи, однорідні композити, неоднорідні композити. Технологією одержання обумовлюються особливості структурного стану, внутрішня і поверхнева дефектність, характер входження домішок у структуру, а отже, і фізико-хімічні властивості матеріалів<sup>2</sup>.

Для виготовлення токарних різців синтетичні надтверді матеріали майже не застосовують. Їх основна ніша – абразивні інструменти, що працюють методами шліфування.

У теперішній час для виготовлення токарних різців здебільшого використовують тверді сплави.

<sup>2</sup>Бочечка О. О. Надтверді матеріали [Архівовано 6 жовтня 2021 у Wayback Machine.] // Енциклопедія сучасної України: електронна версія [вебсайт] / гол. редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2006

### **Питання для самоконтролю**

1. Яка робоча температура вуглецевих інструментальних сталей?
2. Яку допустиму швидкість різання мають вуглецеві сталі?
3. Яку допустиму швидкість мають швидкорізальні сталі?
4. На які групи поділяють тверді сплави?
5. Назвіть галузь застосування твердих сплавів групи ВК.
6. Назвіть галузь застосування твердих сплавів групи ТК.
7. Назвіть галузь застосування твердих сплавів групи ТТК.
8. Тверді сплави отримують методи сплаву чи методом порошкової металургії?
9. Якою є найбільша температура роботи твердих сплавів?
10. Якою є найбільша швидкість різання для твердих сплавів?
11. Яка твердість твердого сплаву?
12. При якій температурі відбувається процес спікання твердого сплаву?

**Частина II**

**РІЗЦІ ТОКАРНІ**

## 2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Токарний різець є найпоширенішим інструментом у галузі обробки металів. Його застосовують для роботи на токарних, револьверних, розточувальних верстатах, оброблювальних центрах та верстатах з числовим програмним керуванням.

Різноманітність оброблюваних поверхонь (за формою та розмірами) призвела до появи значної кількості різновидів токарного різця.

### 2.1. Елементи різця

Основним елементом різальної частини різця є лезо<sup>3</sup>, що утворює різальну кромку, за допомогою якої здійснюється відділення стружки. Різець складається з двох основних частин (рис. 2.1):

- головки, що є робочою частиною інструмента;
- та тіла (хвостовика), призначеного для закріплення різця у відповідному пристрої верстата.

#### 2.1.1. Лезо та кромки

За ДСТУ 2249-93 на головці різця, незалежно від його конструкції та призначення, розрізняють такі елементи.

**Передня поверхня  $A_\gamma$**

Поверхня різального леза інструмента (різця), яка контактує в процесі різання із зрізуваним шаром та стружкою. Загалом, це поверхня по якій сходить стружка.

**Задня поверхня  $A_\alpha$**

Поверхня різального леза яка контактує в процесі різання з поверхнями заготовки. Загалом, це поверхня яка контактує з утвореною, в процесі різання, поверхнею заготовки.

---

<sup>3</sup>Інколи замість терміна “лезо” використовують термін “клин”. Це застарілий термін, який був у широкому вжитку на початку 30-х років минулого століття, але на жаль ще інколи зустрічається у сучасній літературі.

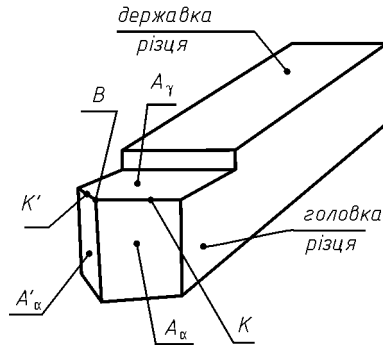


Рис. 2.1. Токарний різець

Токарний різець має дві задні поверхні:

- головну задню поверхню  $A_\alpha$ , яка прилягає до головної різальної кромки  $K$ ;
- та допоміжну задню поверхню  $A'_\alpha$ , яка прилягає до допоміжної різальної кромки  $K'$ .

#### Різальна кромка $K$

Кромка леза інструмента, утворена перерізом (перетином) передньої та задньої поверхні леза.

Слід мати на увазі, що задніх поверхонь інструмента може бути декілька. Тому розрізняють головну та допоміжну різальну кромку.

#### Голова різальна кромка $K$

Частина різальної кромки, що формує більшу сторону перерізу зрізуваного шару.

Можна стверджувати, головна різальна кромка  $K$  утворена перетином передньої поверхні  $A_\gamma$  з головною задньою поверхню  $A_\alpha$ .

#### Допоміжна різальна кромка $K'$

Частина різальної кромки, що формує меншу сторону перерізу зрізуваного шару.

Можна стверджувати, що допоміжна різальна кромка утворена перетином передньої поверхні  $A_\gamma$  та допоміжної задньої  $A'_\alpha$  поверхні.

## Вершина різця $B$

Ділянка різальної кромки у місці перерізу двох задніх площин.

Інколи вершину різця визначають, як точку перетину трьох поверхонь: передньої  $A_\gamma$  та двох задніх – головної задньої  $A_\alpha$  та допоміжної задньої  $A'_\alpha$ . Або як точку перетину головної  $K$  та допоміжної  $K'$  різальної кромки.

### 2.1.2. Поверхні деталі

На заготовці, котру обточує токарний різець, розрізняють такі поверхні (рис. 2.2):

- оброблювана поверхня;
- оброблена поверхня;
- поверхня різання.

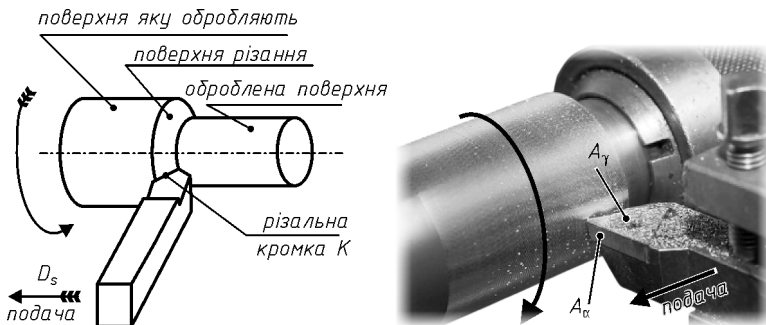


Рис. 2.2. Поверхні заготовки та різця

#### Оброблювана поверхня

Це поверхня заготовки яку обробляють. Тобто та, з якої лезо різця зрізує стружку.

#### Оброблена поверхня

Це поверхня заготовки отримана в результаті зрізання стружки лезом токарного різця.

Оброблена поверхня може бути остаточно отриманою поверхнею деталі або проміжною поверхнею у разі коли заготовку обточують декілька разів, поки не буде отримана кінцева поверхня деталі.

### 2.1.3. Площини

За ДСТУ 2249-93 параметри інструмента, які пов'язані з ним визначають в інструментальній системі координат. Головним параметром цієї системи є інструментальна основна площина.

Інструментальна основна площина  $P_{vi}$

Основна площина інструментальної системи координат.

Для токарних різців за інструментальну основну площину приймають площину, яка паралельна до нижньої опорної поверхні токарного різця (рис. 2.3).

Інструментальна площина різання  $P_{ni}$

Координатна площина дотична до різальної кромки у заданій точці та перпендикулярна до інструментальної основної площини.

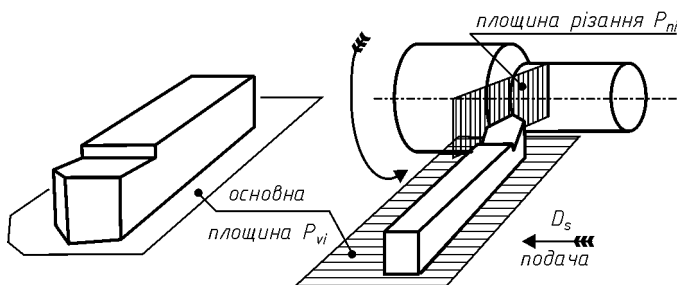


Рис. 2.3. Інструментальна основна площина  
(Тільки для токарних різців загального призначення)

Інструментальна головна січна площина  $P_{ti}$

Координатна площина, перпендикулярна до лінії перетину інструментальної основної площини  $P_{vi}$  та інструментальної площини різання  $P_{ni}$ .

Робоча площина  $P_s$

Площина в якій розміщені напрями швидкостей головного руху різання та руху подачі.

## 2.2. Кути різального леза

Основними елементами різця, які впливають на його працездатність, є геометричні параметри (кути різання). На рис. 2.4 подано основні геометричні параметри різця в інструментальній системі координат (система координат пов'язана з інструментом за рис. 2.3).

**Інструментальний головний задній кут  $\alpha_i$**

Кут в інструментальній головній січній площині між задньою поверхнею леза та інструментальною площиною різання.

**Допоміжний задній кут  $\alpha_1$**

Задній кут виміряний між площиною перпендикулярною до основної інструментальної площини  $P_{vi}$  і задньою допоміжною поверхнею  $A'_\alpha$  різця.

**Інструментальний головний передній кут  $\gamma_i$**

Кут в інструментальній головній січній площині між передньою поверхнею леза та інструментальною основною площиною.

**Інструментальний кут у плані  $\varphi_i$**

Кут в інструментальній основній площині між інструментальною площиною різання та робочою площиною.

**Допоміжний кут у плані  $\varphi_1$**

Кут між проекціями допоміжної різальної кромки  $K'$  та напрямком подачі  $D_s$  на інструментальну основну площину  $P_{vi}$ .

**Інструментальний кут нахилу кромки  $\lambda_i$**

Кут в інструментальній площині різання між різальною кромкою та інструментальною основною площиною.

Кут  $\lambda$  нахилу різальної кромки має суттєвий вплив на напрям сходу стружки.

**Інструментальний головний кут загострення леза  $\beta_i$**

Кут в інструментальній головній січній площині між передньою та задньою поверхнею леза.

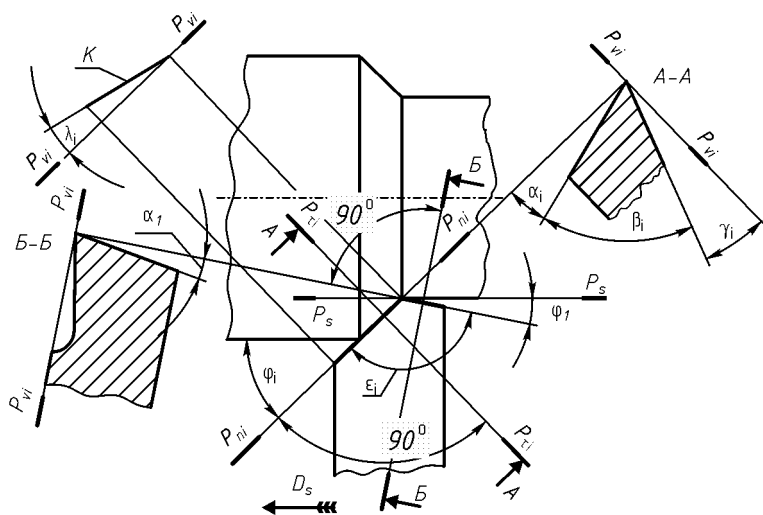


Рис. 2.4. Геометричні параметри різця:

- $\alpha_i$  – інструментальний головний задній кут;
- $\alpha_1$  – допоміжний задній кут;
- $\gamma_i$  – інструментальний передній кут;
- $\phi_i$  – інструментальний кут у плані;
- $\phi_1$  – допоміжний кут у плані;
- $\lambda_i$  – інструментальний кут нахилу різальної кромки;
- $\beta_i$  – інструментальний кут загострення леза;
- $\epsilon_i$  – кут при вершині різця;
- $P_{vi}$  – інструментальна основна площина;
- $P_{ti}$  – інструментальна головна січна площина;
- $P_{ni}$  – інструментальна площина різання;
- $D_s$  – напрям подачі;
- $P_s$  – робоча площина

На “оптимальну” величину кутів різання впливають різні фактори та вимоги, які досить часто суперечать один одному. Внаслідок цього встановити їх теоретичним шляхом практично не можливо. Тому величини прийняті в практиці, базуються тільки на результатах експериментальних досліджень.

### 2.2.1. Задній кут

Задній кут  $\alpha$  служить для зменшення тертя обробленої поверхні по задній поверхні різця та полегшення процесів різання. На величину заднього кута  $\alpha$  впливають :

- розташування вершини різця відносно осі обертання заготовки;
- та величина подачі.

#### Вплив розташування

З рис. 2.5 видно, що розташування вершини різця впливає на величину заднього кута.

У випадку, коли вершина різця розташована (встановлена) вище осі обертання заготовки (рис. 2.5,а) задній кут зменшується.

У випадку, коли вершина різця розташована (встановлена) нижче осі обертання заготовки (рис. 2.5,б) задній кут збільшується.

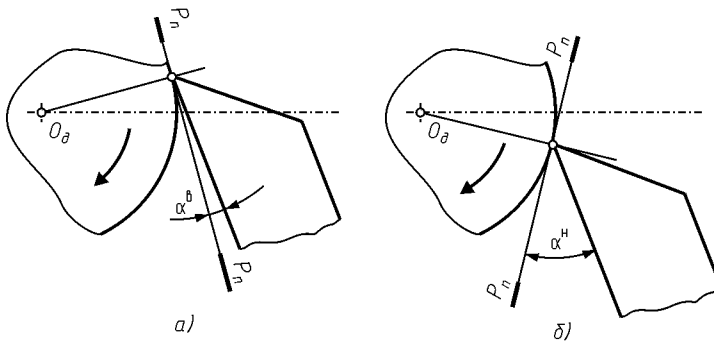


Рис. 2.5. Розташування вершини різця:  
а – вершина різця розташована вище осі заготовки;  
б – вершина різця розташована нижче осі заготовки

Математично величину заднього кута  $\alpha$  можливо розрахувати за наступними формулами:

$$\alpha^B = \alpha_i - \tau, \quad \alpha^H = \alpha_i + \tau, \quad (2.1)$$

$$\sin \tau = \frac{h}{r}, \quad (2.2)$$

- де  $\alpha^B$  – задній кут у випадку, коли вершина різця розташована вище осі заготовки;  
 $\alpha^H$  – задній кут у випадку, коли вершина різця розташована нижче осі заготовки;  
 $\alpha_i$  – задній інструментальний кут;  
 $h$  – величина на яку вершина різця вище або нижче відносно осі заготовки;  
 $r$  – радіус обточеної заготовки.

### Вплив подачі

Вплив подачі на задній кут  $\alpha$  позначається при поздовжньому обточуванні (рис. 2.6). В процесі роботи вершина різця описує гвинтову траєкторію, дотична до якої має кут підйому  $\tau$  відносно напрямку швидкості різання.

Отже, реальний (кінематичний) задній кут  $\alpha_k$  зменшується на величину кута  $\tau$  і може бути розрахований як:

$$\alpha_k = \alpha_i - \tau, \quad (2.3)$$

- де  $\alpha_i$  – інструментальний задній кут різання;  
 $\tau$  – кут підйому гвинтової траєкторії.

У свою чергу кут  $\tau$  підйому гвинтової траєкторії (кут підйому дотичної до гвинтової траєкторії) можна визначити як:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{s}{\pi d} \quad (2.4)$$

- де  $s$  – величина подачі мм/об;  
 $d$  – діаметр обточеної заготовки.

Отже, чим більшою є величина подачі, тем меншим буде реальний задній кут різання. Це необхідно враховувати під час призначення геометричних параметрів токарного різця.

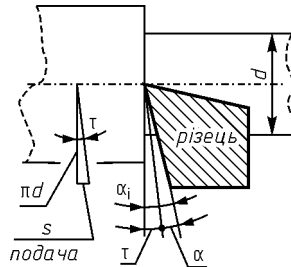


Рис. 2.6. Вплив подачі

Величини кутів  $\tau$ , які виникають в реальних випадках обточування деталей діаметром 50 мм (як середнього з практики) залежно від подачі наведені у табл. 2.1.

Табл. 2.1. Кут підйому траєкторії

|              |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $s$ , мм/об  | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0  |
| $\tau^\circ$ | 3"  | 5"  | 7"  | 9"  | 12" | 22" | 35" | 46" | 1'9" |

З цих даних можна бачити, що фактично кут  $\tau$  підйому дотичної дуже незначний. Тому під час розрахунків його, зазвичай, не враховують<sup>4</sup>.

Кут  $\alpha$  має значний вплив на кут  $\beta$  загострення різця, тому з метою уникнення послаблення різця не є доцільним занадто збільшувати задній кут  $\alpha$ . Окрім цього, при значних величинах заднього кута збільшується вірогідність появи вібрацій інструмента. Це виникає через зменшення зони контакту інструмент-деталь (зменшення опорної площі).

З іншого боку, малий задній кут  $\alpha$  збільшує тертя задньої поверхні різця об оброблювану поверхню, в результаті чого процес різання протікає в гірших умовах (підвищується температура в зоні різання) і стійкість різця зменшується внаслідок його надмірного нагрівання. Але оброблювана поверхня у цьому випадку є більш чистою та гладкою.

Ці суперечливі умови змушують у кожному конкретному випадку вибирати відповідну величину заднього кута  $\alpha$ . Наприклад, при чорновій обробці, коли не потрібно особливої чистоти обробленої поверхні, застосовують різці із великим заднім кутом  $\alpha$ . Та навпаки, при чистовій обробці застосовують різці з меншою величиною заднього кута  $\alpha$ .

Зазвичай величину заднього інструментального кута  $\alpha_i$  приймають залежно від оброблюваного матеріалу (табл. 2.2).

<sup>4</sup> Але все ж таки, доцільно перевірити його величину та вплив на кінцевий результат і вже потім приймати остаточне рішення.

Особливо це має значення при нарізуванні різьб із великим осьовим кроком на деталях невеликого діаметру. Може статись так, що задній кут буде від'ємним. Це призведе до поломки інструменту.

Табл. 2.2. Задні інструментальні кути

| Оброблюваний матеріал         | $\alpha_i, ^\circ$    |               |
|-------------------------------|-----------------------|---------------|
|                               | сталь інструментальна | твердий сплав |
| Сплави алюмінію, магнію, міді | 10 ... 15             | 10 ... 15     |
| Бронза, латунь крихка         | 10 ... 15             | 8 ... 12      |
| Сталь конструкційна           | 8 ... 10              | 8 ... 12      |
| Чавун сірий                   | 8 ... 12              | 6 ... 10      |

### 2.2.2. Передній кут

Передній кут  $\gamma$  має значний вплив на роботу різця. Насамперед, від його величини залежить величина зусиль різання, чим більшим є передній кут, тим меншими є зусилля різання.

Не менший вплив кут  $\gamma$  має на формування відокремлюваної у процесі різання стружки. Проведені експерименти дозволили встановити, що зусилля різання зменшується помітним чином лише за умови, коли передній кут  $\gamma$  більше  $35^\circ$ .

Призначення такого великого кута ( $\gamma = 35^\circ$ ) для різців загального призначення не може бути рекомендований, так як при такій величині кута  $\gamma$ , міцність різця різко зменшується. Одночасно погіршується відведення тепла із зони стружкоутворення. Тому доцільно приймати величину переднього кута за табл. 2.3 залежно від умов обробки.

Табл. 2.3. Передній інструментальні кути

| Оброблюваний матеріал         | $\gamma_i, ^\circ$    |               |
|-------------------------------|-----------------------|---------------|
|                               | сталь інструментальна | твердий сплав |
| Сплави алюмінію, магнію, міді | 25 ... 30             | 12 ... 15     |
| Бронза, латунь крихка         | 15 ... 30             | 15 ... 20     |
| Сталь конструкційна           | 18 ... 25             | 8 ... 12      |
| Чавун сірий                   | 12 ... 25             | 12 ... 15     |

**Зауваження.** У різців призначених для обробки переривчастих поверхонь передній інструментальний кут  $\alpha_i$  приймають меншим на  $5 \dots 7^\circ$  ніж рекомендовано у табл. 2.3.

### Вплив розташування різця

На рис. 2.7 показано, що розташування токарного різця відносно осі обертання заготовки має вплив на його величину.

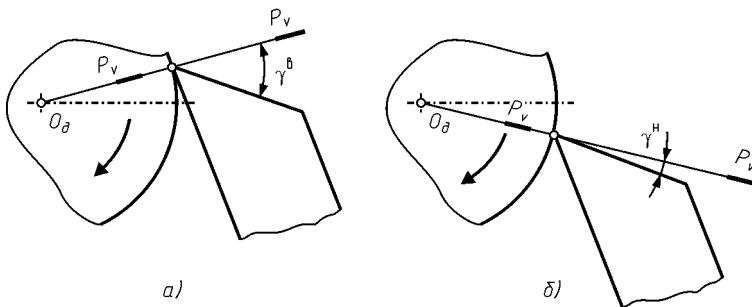


Рис. 2.7. Зміна переднього кута

а – вершина різця розташована вище осі заготовки;

б – вершина різця розташована нижче осі заготовки

У випадку, коли вершина різця розташована (встановлена) вище осі обертання заготовки (рис. 2.7,а) передній кут збільшується.

У випадку, коли вершина різця розташована (встановлена) нижче осі обертання заготовки (рис. 2.7,б) передній кут зменшується.

Математично величину переднього кута  $\gamma$  можливо розрахувати за наступними формулами:

$$\gamma^b = \gamma_i + \tau, \quad \gamma^H = \gamma_i - \tau, \quad (2.5)$$

$$\sin \tau = \frac{h}{r}. \quad (2.6)$$

де  $\gamma^b$  – передній кут у випадку, коли вершина різця розташована вище осі заготовки;

$\gamma^H$  – передній кут у випадку, коли вершина різця розташована нижче осі заготовки;

$\gamma_i$  – передній інструментальний кут;

$h$  – величина на яку вершина різця вище або нижче відносно осі заготовки;

$r$  – радіус обточеної заготовки.

На практиці, під час обробки сталей заготовок, величину переднього кута  $\gamma$  приймають у межах від 0 до 25°.

### 2.2.3. Кут у плані

Кут у плані  $\varphi$  вибирають залежно від виду обробки, твердості матеріалу заготовки та жорсткості верстата. Досліди показують, що при одному і тому ж поперечному перерізі стружки більш довга різальна кромка (рис. 2.8), яка виникає при малому куті  $\varphi$ , дозволяє значно підвищити швидкість різання.

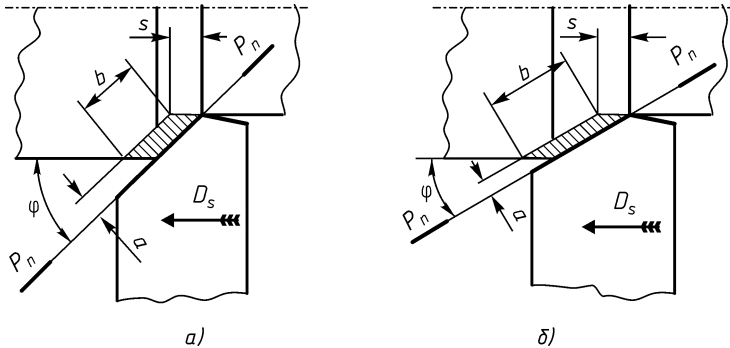


Рис. 2.8. Кут у плані

Це явище можна пояснити таким чином. При застосуванні кута  $\varphi$  малої величини активна довжина різальної кромки збільшується, внаслідок цього тепло відводиться значно швидше, ніж при малій активній довжині кромки.

Тому при роботі токарними різцями треба завжди прагнути застосувати велику глибину різання і малу подачу. Наявність кута у плані  $\varphi$  дозволяє збільшити ширину стружки і одночасно з цим зменшити її товщину.

Це видно при розгляді рис. 2.8, а також із математичних залежностей між параметрами зрізаного шару:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}, \quad a = s \sin \varphi, \quad (2.7)$$

де  $b$  – ширина стружки;  
 $t$  – глибина різання;  
 $s$  – величина подачі;  
 $a$  – товщина стружки (зрізаного шару);  
 $\varphi$  – кут у плані.

Загалом величину головного кута у плані доцільно приймати за рекомендаціями табл. 2.4

Табл. 2.4. Головний кут у плані

| Тип різця | Умови обробки                                                                  | $\varphi^\circ$ |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Прохідний | Робота різцями що мають $\gamma > 25^\circ$ при жорсткій технологічній системі | 30              |
| Прохідний | Поздовжнє точіння при жорсткій технологічній системі та звичайних умовах       | 45              |
| Прохідний | Поздовжнє точіння при недостатньо жорсткій технологічній системі               | 60...75         |
| Підрізний | Поздовжнє точіння з одночасною підрізкою торця                                 | 90              |

Допоміжний кут у плані  $\varphi_1$  зазвичай приймають у межах  $15 \dots 30^\circ$ .

#### 2.2.4. Кут нахилу різальної кромки

Кут  $\lambda$  (рис. 2.9) нахилу різальної кромки робиться для поліпшення умов різання, хоча правильне використання його не завжди має місце у виробничих цехах.

Для продуктивної та спокійної роботи токарного різця необхідно, щоб стружка вільно сходила з передньої поверхні різального леза інструмента. Відомо, що за виглядом стружки, що відокремлюється, можна судити, наскільки правильно працює різець.

Кут  $\lambda$  нахилу головної різальної кромки вважається:

- від'ємним, якщо вершина різця (рис. 2.9,а) є найвищою точкою різальної кромки;
- рівним нулю, коли головна різальна кромка паралельна відносно основної площини (рис. 2.9,б);
- додатнім, коли вершина різця є нижчою точкою різальної кромки (рис. 2.9,б).

Якщо стружка безперервно завивається то різальна кромка навантажена рівномірно. Якщо ж стружка виходить у вигляді окремих коротких елементів, то різальна кромка піддається змінному та нерівномірному навантаженню, внаслідок якого різальне лезо піддається циклічним коливанням, які призводять до швидкого зносу різця.

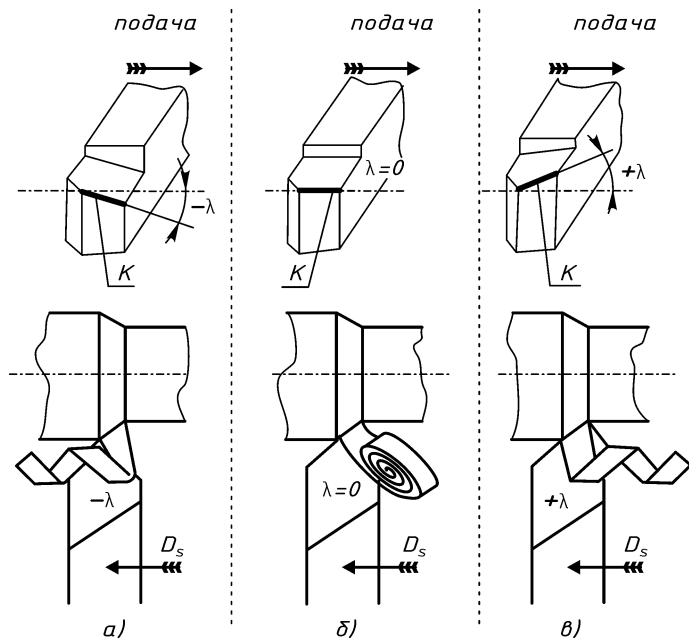


Рис. 2.9. Кут нахилу різальної кромки

- a* – напрям сходу стружки при від'ємному значенні кута  $\lambda$  нахилу різальної кромки;
- б* – напрям сходу стружки при нульовому значенні кута  $\lambda$  нахилу різальної кромки;
- в* – напрям сходу стружки при додатному значенні кута  $\lambda$  нахилу різальної кромки;

Стружка завжди видаляється з передньої поверхні різця перпендикулярно до різальної кромки, а так як кромка може приймати різні положення внаслідок зміни кута  $\lambda$ , то і напрямок стружки, що відокремлюється, також буде різним.

При горизонтально розташованій різальній кромці (кут  $\lambda = 0$ ) стружка виходить у вигляді плоскої спіралі, тобто вона завивається всередину, внаслідок чого вона часто сплутується і ламається.

Якщо ж різальна кромка має нахил (кут  $\lambda \neq 0$ ), то стружка буде приймати гвинтоподібну форму (щось схоже на завиток пружини).

При  $\lambda > 0$ , тобто коли вершина різця займає найнижче положення, стружка виходить з правим ходом (рис. 2.9,в). У такому варіанті стружка відводиться від патрону, в якому закріплена заготовка, але може пошкодити вже оброблену поверхню.

При  $\lambda < 0$ , тобто коли вершина різця займає найвище положення (рис. 2.9,а), стружка має лівий хід. У такому варіанті виключено пошкодження стружкою вже обробленої поверхні, але вона досить часто намотується на патрон в якому закріплена заготовка.

Потрібно відзначити, що виготовлення і заточування різців з горизонтально розташованою різальною кромкою значно простіше, ніж із похилою. Особливо складно заточувати різці у тому випадку, коли крім кута  $\lambda \neq 0$  різець додатково має ще й лунку для кращого відведення стружки. Тому не слід для всіх без винятку робіт застосовувати різці з нахилом різальною кромки.

Значна кількість випадків точіння може бути з успіхом виконана і при горизонтальній різальній кромці при  $\lambda = 0$ , в результаті чого витрати на експлуатацію різців значно знизяться.

Величину кута  $\lambda$  нахилу різальної кромки доцільно приймати за рекомендаціями табл. 2.5.

Табл. 2.5. Кут нахилу різальної кромки

| Умови роботи                              | $\lambda^\circ$ |
|-------------------------------------------|-----------------|
| Чистова та напівчистова обробка           | 0               |
| Чорнова обробка з нерівномірним припуском | 0 . . . 5       |
| Точіння переривчастих поверхонь           | 10 . . . 20     |

## 2.3. Типи різців

У практиці зустрічаються найрізноманітніші типи різців та їх конструкцій<sup>5</sup>. Але серед багатьох ознак є дві головні: поділ різців на праві та ліві, і на прямі та відігнуті.

### 2.3.1. Різці зовнішнього точіння

#### Різці праві та ліві

Різці бувають ліві та праві (рис. 2.10). Правими різцями називаються такі, у яких при накладенні на них зверху долоні правої руки так, щоб пальці були спрямовані до вершини, головна різальна кромка виявляється розташованою на боці великого пальця.

Лівими різцями називаються такі, у яких при накладенні лівої руки головна різальна кромка розташованою на боці великого пальця.

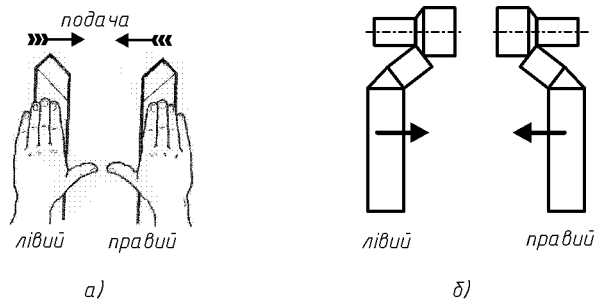


Рис. 2.10. Різці ліві та праві

#### Різці прямі та відігнуті

Різці також різняться за формою головки та за її положенням щодо корпусу інструмента. Прямими різцями називають такі, у яких вісь (лінія симетрії) різця в плані є прямою (рис. 2.10,а). Відігнутими різцями називаються такі, у яких вісь різця в плані вигнута, розрізняють праві та ліві відігнуті різці (рис.2.10,б).

<sup>5</sup>На жаль більшість державних стандартів на токарний інструмент застаріла і відноситься до часів Радянського Союзу.

### **2.3.2. Різці розточувальні**

Операції розточування займають одне з важливих місць у сучасному машинобудуванні. Від правильності і точності обробки отворів залежить надійність роботи інших механізмів. При конструюванні токарних розточувальних різців необхідно враховувати особливості їх роботи.

#### **Розміри отвору**

При розточуванні отворів великий вплив на розміри інструменту мають довжина (глибина) і діаметр отвору, що розточується. У той час як при зовнішньому обточуванні розміри інструмента не є критичними, при обробці отворів інструмент повинен мати розміри які дозволяють розташовувати його в оброблюваному отворі. Чим менше діаметр отвору, тим тонше повинен бути різець, що при значній довжині оброблюваного отвору може викликати значні коливання різця.

Небажані коливання різця виникають ще й тому, що в більшості випадків при розточуванні доводиться застосовувати різці з відігнутою головкою. У таких випадках іноді умови обробки виявляються настільки несприятливими, що доводиться відмовлятися від застосування розточувального різця і проводити обробку спіральним зенкером.

#### **Видалення стружки**

Під час внутрішнього розточування отворів видалення стружки із зони різання є ускладненим через малий обсяг вільного простору. Тому конструкція різця повинна не ускладнювати, а навпаки, полегшувати видалення стружки.

Саме через це у конструкціях розточувальних токарних різців не прийнято використовувати накладні стружколоми або інші додаткові пристрої.

#### **Режими різання**

Внаслідок малої жорсткості інструменту при розточуванні доводиться користувати дещо зниженим режимом обробки, ніж при зовнішньому обточуванні.

#### **Точність розточування**

Точність роботи на розточувальних операціях нижча, ніж при зовнішньому точінні. Це пояснюється наявністю зусиль різання, що впливають на інструмент.

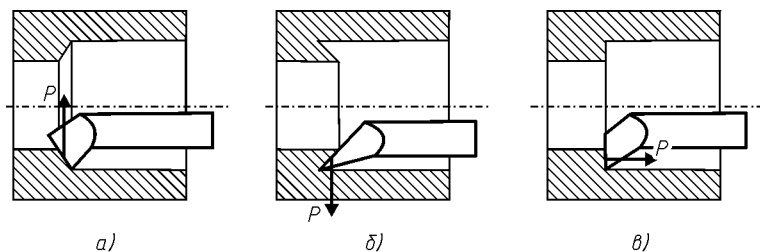


Рис. 2.11. Точність обробки

На роботу розточувального різця значний вплив має форма леза та його положення по відношенню до оброблюваної поверхні, всі вони впливають на розмір обробленого отвору.

#### Зменшення розмірів

При схемі обробки за рис. 2.11,а зусилля різання  $P$  відштовхує (вигинає) інструмент від обробленої поверхні. В наслідок такого явища кінцевий діаметр оброблюваного отвору буде зменшуватись. Також необхідно враховувати явище зносу різальної кромки, в результаті якого зусилля різання будуть збільшуватись.

Отже, по мірі зносу різального леза разом із безперервним збільшенням зносу буде відбуватись безперервне збільшення вигину інструмента, а відповідно і зменшення діаметру оброблюваного отвору.

#### Збільшення розмірів

При схемі обробки за рис. 2.11,б зусилля різання  $P$  вигинає інструмент в напрямку обробленої поверхні. В наслідок цього діаметр обробленого отвору буде дещо збільшений. Якщо враховувати безперервний знос різальної кромки, а відповідно до нього і збільшення зусиль різання, то при такій схемі обробки діаметр отвору буде безперервно збільшуватись.

Ще однією проблемою використання схеми обробки за рис. 2.11,б може стати значна вірогідність пакетування стружки через малий вільний простір в зоні обробки.

#### “Незмінність” розмірів

При схемі обробки за рис. 2.11,в зусилля різання  $P$  не вигинає інструмент. Але сам процес різання відбувається у стислому просторі і тому можливо пакетування стружки.

## Висновки

Отже, найбільш раціональною схемою розточування наскрізних отворів є схема за рис. 2.11,а. У разі обробки ступеневого отвору краще використовувати схему за рис. 2.11,в при цьому розточування доцільно виконувати від центру отвору до периферії.

## 2.4. Різці збірні

Конструкція різців з механічним кріпленням різальних елементів (пластин) забезпечує надійне подрібнення стружки та виключає операцію напаявання інструментальної пластини. Напаявання пластин викликає внутрішні напруження та появу тріщин у пластин твердого сплаву.

Конструкції різців з механічним кріпленням не мають такий недолік, але їх недоцільно переточувати. У той же час для відновлення працездатності зношених різальних елементів достатньо просто замінити на новий<sup>6</sup>.

У сучасному машинобудуванні застосовують токарні різці збірної конструкції. Такі різці мають змінний різальний елемент із твердого сплаву. Перевага різця із змінними елементами полягає у тому, що використовуючи одну оправку можна змінювати різальний елемент залежно від оброблюваного матеріалу та за потреби у разі критичного зносу.

Існують різні конструкції різців з механічним кріпленням різального елемента, але всі вони можуть бути поділені на чотири основні (за умовами обробки) типи:

- C** – з Г-подібним прихватом зверху. Застосовують під час загального точіння конструкційних матеріалів;
- M** – з накладним стружколомом. Застосовують за потреби гарантованого подрібнення стружки;
- P** – з кріпленням L-подібним важелем. Застосовують у випадку необхідності забезпечення вільного сходу стружки;
- S** – із закріпленням гвинтом з конічною головкою. Застосовують при точінні за копіром, коли головний кут у плані змінюється в процесі роботи.

---

<sup>6</sup>У світі зазвичай виробники різальних пластин здійснюють обмін зношених пластин на нові. Тобто замість відновлення переточуванням, старі пласти просто переробляють на нові. Це дозволяє завжди мати пластини одного розміру та геометрії.

## Різці з Г-подібним прихватом

Різці з Г-подібним прихватом (рис. 2.12) застосовують у випадку обробки конструкційних матеріалів. Вони характеризуються відносно вільним сходженням стружки по передній поверхні.

Різальний елемент 2 притиснутий тільки зверху (прихват 1), що є достатнім для чистової обробки.

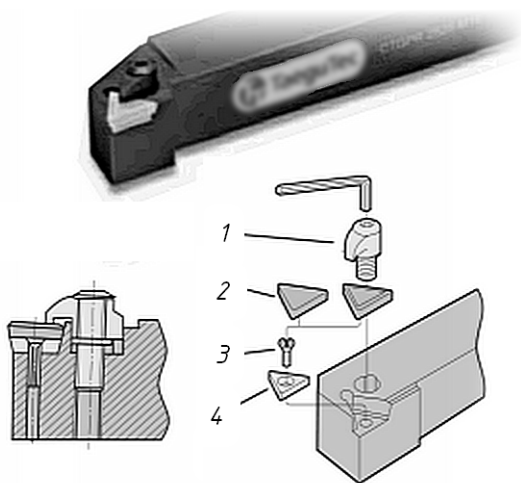


Рис. 2.12. Збірний різець з Г-подібним прихватом:

[Sandvik Coromant]

1 – Г-подібний прихват;

2 – різальний елемент (у даному випадку він трикутний);

3 – гвинт; 4 – загартована підкладка сталеві

Підкладка 4 є проміжним елементом між твердою та крихкою різальною пластиною і м'якою (не загартованою) оправкою різця. Її призначення полягає в наступному.

Різальна пластина 2 притиснута з краю Г-подібним важелем 1. Тому під дією зусиль різання вона може переломитись. Щоб запобігти цьому вставляють підкладку 4, яка запобігає перелому крихкої пластини 2 із твердого сплаву<sup>7</sup>.

Державку різця різця виготовляють із сталі типу 45 або 45Х, гарту не піддають.

<sup>7</sup> Деякі фірми виготовляють підкладку із загартованої сталі, деякі з твердого сплаву типу ВК. Однозначного рішення нема.

### Різці з накладним стружколомом

Різці з накладним стружколомом (рис. 2.13) застосовують у випадках коли необхідно гарантовано подрібнити стружку у процесі роботи інструмента. Стружка впирається в стружколом і ламається на дрібні частини.

Залежно від режимів обробки (подача та глибина) накладний стружколом можна дещо перемістити вибравши “оптимальний” варіант подрібнення стружки.

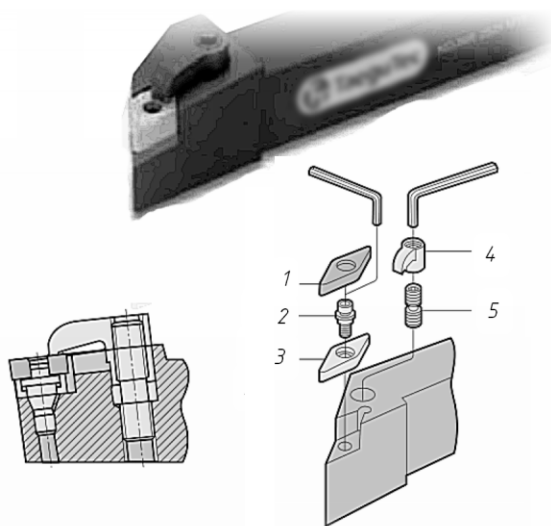


Рис. 2.13. Збірний різець з накладним стружколомом:  
*[Sandvik Coromant]*

- 1 – різальний елемент ромбічної форми;
- 2 – штифт, на якому закріплений різальний елемент;
- 3 – проміжна підкладка;
- 4 – накладний стружколом для подрібнення стружки;
- 5 – гвинт, що закріплює (фіксує) різальну пластину

### Різці з кріпленням L-подібним важелем

Різці з L-подібним важелем застосовують у випадку коли необхідно забезпечити вільне сходження стружки по передній поверхні інструмента.

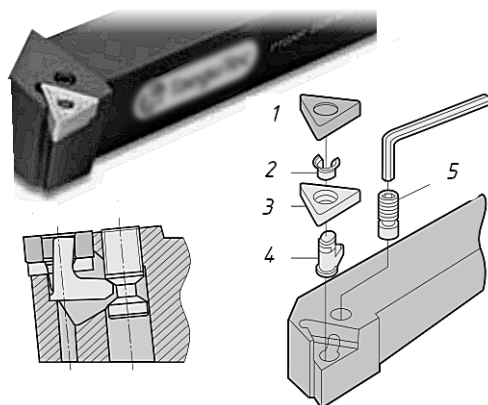


Рис. 2.14. Збірний різець з L-подібним важелем:  
[Sandvik Coromant]

1 – різальний елемент; 2 – проміжна втулка;  
3 – проміжна підкладка; 4 – L-подібний важіль; 5 – гвинт

### Різці з кріпленням гвинтом

Різці із закріпленням різального елемента гвинтом (рис. 2.15) застосовують у випадку коли вся конструкція повинна мати мінімальні габарити. Зазвичай ця проблема виникає при обробці фасонних деталей, коли здійснюється точіння за копіром.

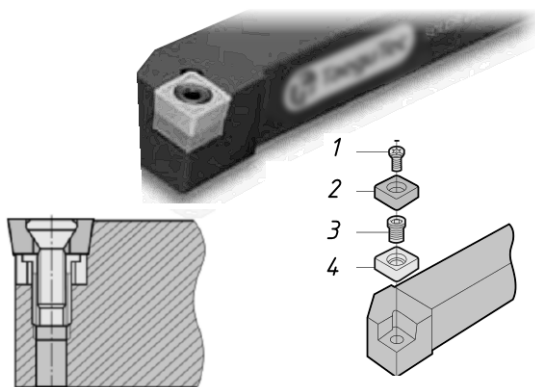


Рис. 2.15. Збірний різець з кріпленням гвинтом  
[Sandvik Coromant]

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке “основна площина” звичайного токарного різця?
2. Яку величину має передній кут токарного різця?
3. Яку величину має задній кут токарного різця?
4. Як впливає величина подачі на величину кінематичних передніх та задніх кутів?
5. Яку величину має головний кут у плані для прохідного різця?
6. Навіщо різальна кромка має нахил відносно осі деталі?
7. Як впливає знак (від’ємний/додатний) кута нахилу кромки на напрям сходу стружки?
8. У якому випадку доцільно використовувати різці з Г-подібним прихватом?
9. У якому випадку доцільно використовувати різці з L-подібним важелем?
10. При якому обробленні доцільно використовувати різці з накладним стружколомом?
11. При якому обробленні доцільно використовувати різці з кріпленням гвинтом із конічною головкою?

### 3. ПРОЕКТУВАННЯ РІЗЦІВ

#### 3.1. Розрахунок державки

При конструюванні токарних різців головним питанням є поперечні розміри державки різця. Занадто тонка державка призведе до значних деформацій інструмента, Занадто масивна – до зайвих витрат матеріалу та коштів.

Отже, основним під час розрахунку токарного різця є визначення параметрів його поперечного перерізу. Схема для подальших розрахунків подана на рис. 3.1.

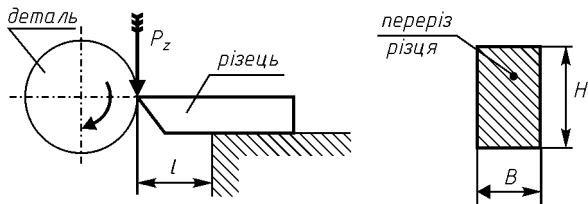


Рис. 3.1. Розрахункова схема визначення перерізу різця

#### Початкові дані

Для визначення параметрів токарного різця необхідно знати наступні початкові дані:

- НВ – твердість оброблюваного матеріалу;
- $s$  – величина подачі, мм/об;
- $t$  – глибина різання, мм/об;
- $\varphi$  – інструментальний головний кут у плані;
- $l$  – виліт різця (відстань від вершини різця до опорної поверхні різцетримача);
- тип обробки (чорнова/чистова).

#### Послідовність розрахунків

1. Визначення головної складової  $P_z$  зусиль різання

$$\begin{aligned} P_z &= 30 t s^{0.75} \text{НВ}^{0.35} \text{ кГс,} \\ P_z &= 293 t s^{0.75} \text{НВ}^{0.35} \text{ Н.} \end{aligned} \quad (3.1)$$

2. Момент опору який повинен мати різець, щоб витримати навантаження, котрі виникають під час роботи інструмента

$$[W] = \frac{P_z l}{\sigma_{tool}} \text{ мм}^2, \quad (3.2)$$

де  $W$  – найбільший допустимий момент опору;  
 $P_z$  – головна складова зусилля різання;  
 $l$  – відстань від вершини різця до опорної поверхні різцетримача;  
 $\sigma_{tool}$  – допустима величина навантаження, яка залежить від головного кута в плані  $\varphi$ .

2.1. Допустиму величину напруження  $\sigma_{tool}$  для матеріалу державки токарного різця приймають залежно від величини головного інструментального кута в плані  $\varphi$  за табл. 3.1:

Табл. 3.1. Допустиме навантаження на різець

| $\varphi^\circ$                       | 30  | 45  | 60  | 75  | 90  |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\sigma_{tool}$ , кГс/мм <sup>2</sup> | 24  | 20  | 16  | 13  | 11  |
| $\sigma_{tool}$ , МПа                 | 235 | 196 | 157 | 127 | 109 |

2.2. Для проміжних величин кута у плані  $\varphi$  величину допустимих навантажень  $\sigma_{tool}$  можна розрахувати за залежностями:

$$\begin{aligned} \sigma_{tool} &= -0,22 \varphi^\circ + 30 \text{ кГс/мм}^2, \\ \sigma_{tool} &= -2,14 \varphi^\circ + 293 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

3. Розрахунковий момент опору різця залежить від форми поперечного перерізу державки різця:

– для різця прямокутного перерізу (шириною  $B$  та висотою  $H$ )

$$W_{BH} = \frac{B H^2}{6} \text{ мм}^3; \quad (3.4)$$

– для різця круглого перерізу (діаметр державки  $d$ )

$$W_d = \frac{\pi d^3}{32} \text{ мм}^3. \quad (3.5)$$

4. Для визначення параметрів поперечного перерізу державки різця необхідно прирівняти (3.2) до (3.4) або до (3.5), залежно від форми оправки різця, звідки знайти або сторони  $H \times B$  прямокутної державки, або її діаметр  $d$ , якщо вона кругла.

4.1. Для прямокутної державки отримаємо:

$$[W] = W_{BH} \quad (3.6)$$

або

$$\frac{P_z l}{\sigma_{tool}} = \frac{B H^2}{6}. \quad (3.7)$$

Отримане рівняння має два невідомі параметри  $B$  та  $H$ . Співвідношення між ними залежить від типу обробки:

$H = 1,6 B$  – чорнова обробка

$H = 1,25 B$  – чистова обробка

$H = B$  – верстати з ЧПК

Розв'язавши рівняння (3.7) визначаємо параметри  $H \times B$  поперечного перерізу державки. Розраховані параметри  $H \times B$  необхідно привести до стандартних значень за табл. 3.2.

Табл. 3.2. Поперечний переріз різців

| $B$ , мм          | 4 | 5 | 6  | 8  | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 |
|-------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $H = 1,25 B$ , мм | – | 6 | 8  | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 |
| $H = 1,6 B$ , мм  | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 |

4.2. Для державки круглого перерізу будемо мати

$$[W] = W_d$$

або

$$\frac{P_z l}{\sigma_{tool}} = \frac{\pi d^3}{32}. \quad (3.8)$$

Звідки діаметр державки токарного різця

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 P_z l}{\pi \sigma_{tool}}}. \quad (3.9)$$

### Приклад 3.1 (Прямокутна державка).

Розрахувати параметри поперечного перерізу державки токарного різця для заданих умов обробки. Державка прямокутна.

*Вихідні дані:*

- $HB = 215$  – твердість оброблюваного матеріалу;  
 $s = 0,12$  мм/об – величина подачі;  
 $t = 1,25$  мм – глибина різання;  
 $\varphi = 45^\circ$  – головний інструментальний кут у плані;  
 $l = 35$  мм – виліт інструмента (відстань від вершини різця до різцетримача);  
чорнова – тип обробки;  
прямокутна – тип державки різця.

*Рішення:*

1. Визначення головної складової  $P_z$  зусиль різання

$$P_z = 30 t s^{0.75} HB^{0.35} = \\ = 30 \cdot 1,25 \cdot 0,12^{0.75} \cdot 215^{0.35} = 50 \text{ кГс [489 Н]}.$$

2. Момент опору, який повинен мати різець, щоб витримати навантаження, які виникають під час роботи інструмента

$$[W] = \frac{P_z l}{\sigma_{tool}},$$

де  $W$  – момент опору;

$P_z$  – головна складова зусилля різання;

$l$  – відстань від вершини різця до опорної поверхні різцетримача;

$\sigma_{tool}$  – допустима величина навантаження, яка залежить від головного кута в плані  $\varphi$ .

2.1. Допустима величина навантаження  $\sigma_{tool}$  для матеріалу оправки токарного різця приймається залежно від величини головного інструментального кута в плані  $\varphi = 45^\circ$  приймаємо за табл. 3.1, Отже:

$$\sigma_{tool} = 20 \text{ кГс/мм}^2 [196 \text{ МПа}].$$

2.2. Отже, за початкову умову маємо допустимий момент опору

$$[W] = \frac{P_z l}{\sigma_{tool}} = \frac{50 \cdot 35}{20} = 87,5 \text{ мм}^3.$$

2.3. Розрахунковий момент опору різця залежить від форми поперечного перерізу державки різця. Для різця прямокутного січення (шириною  $B$  та висотою  $H$ )

$$W_{BH} = \frac{B H^2}{6} \text{ мм}^3.$$

Зважаючи на малу величину глибини різання ( $t = 1,25 \text{ мм}$ ) приймаємо співвідношення між висотою  $H$  оправки та її шириною  $B$  як для чистової обробки

$$H = 1,25 B.$$

Тоді рівняння (3.7) прийме вигляд:

$$[87,5] = \frac{B (1,25 B)^2}{6} = \frac{1,25^2 B^3}{6}.$$

Звідки маємо

$$B = \sqrt[3]{\frac{87,5 \cdot 6}{1,25^2}} = \sqrt[3]{336} = 6,95 \text{ мм}.$$

3. За табл. 3.2 знаходимо параметри  $B \times H$  поперечного перерізу оправки токарного різця, а саме  $8 \times 10 \text{ мм}$ .

**Зауваження.** Ширина  $B$  різця отримана в результаті розрахунків ( $B = 6,95 \text{ мм}$ ) була округлена в більшу сторону та прийнята для подальших розрахунків як  $B = 8 \text{ мм}$ . Це зроблено для забезпечення гарантування працездатності різця у непередбачених випадках.

### Приклад 3.2 (Кругла державка).

Розрахувати параметри поперечного перерізу державки токарного різця для заданих умов обробки. Державка має круглий переріз.

*Вихідні дані:*

- $HB = 215$  – твердість оброблюваного матеріалу;
- $s = 0,12$  мм/об – величина подачі;
- $t = 1,25$  мм – глибина різання;
- $\varphi = 45^\circ$  – головний інструментальний кут у плані;
- $l = 35$  мм – виліт інструмента (відстань від вершини різця до різцетримача);

*Рішення:*

1. Визначення головної складової  $P_z$  зусиль різання

$$\begin{aligned} P_z &= 30 t s^{0.75} HB^{0.35} = \\ &= 30 \cdot 1,25 \cdot 0,12^{0.75} \cdot 215^{0.35} = 50 \text{ кГс } [489 \text{ Н}]. \end{aligned}$$

2. Момент опору який повинен мати різець, щоб витримати напруження, які виникають під час роботи інструмента

$$[W] = \frac{P_z l}{\sigma_{tool}},$$

- де
- $W$  – момент опору;
  - $P_z$  – головна складова зусилля різання;
  - $l$  – відстань від вершини різця до опорної поверхні різцетримача;
  - $\sigma_{tool}$  – допустима величина напруження, яка залежить від головного кута в плані  $\varphi$ .

2.4. Допустима величина напруження  $\sigma_{tool}$  для матеріалу державки токарного різця приймається залежно від величини головного інструментального кута в плані  $\varphi = 45^\circ$  приймаємо за табл. 3.1, Отже:

$$\sigma_{tool} = 20 \text{ кГс/мм}^2 [196 \text{ МПа}].$$

- 2.5. Отже, за початкову умову маємо допустимий момент опору

$$[W] = \frac{P_z l}{\sigma_{tool}} = \frac{50 \cdot 35}{20} = 87,5 \text{ мм}^3.$$

2.6. Розрахунковий момент опору різця залежить від форми поперечного перерізу державки різця. Для різця круглого перерізу (діаметром  $d$ )

$$W_d = \frac{\pi d^3}{32} \text{ мм}^3.$$

Порівнявши

$$[W] = W_d$$

отримуємо вираз

$$[W] = \frac{\pi d^3}{32},$$

$$87,5 = \frac{\pi d^3}{32}.$$

Звідки маємо визначити діаметр  $d$  круглої державки токарного різця

$$d = \sqrt[3]{\frac{87,5 \cdot 32}{\pi}} = 9,6 \text{ мм}.$$

3. За табл. 3.3 приймаємо діаметр круглої державки рівний 10 мм.

Табл. 3.3. Діаметри круглих державок

|                 |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $d, \text{ мм}$ | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
|-----------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|

### 3.2. Перевірка на жорсткість

У процесі роботи вершина різця прогинається під дією зусилля різання  $P_z$  змінюючи своє положення. Це призводить до зміни діаметрального розміру оброблюваної деталі.

Перевірку різця на жорсткість можливо здійснити в такій послідовності.

1. Розрахунковий момент інерції  $J$  державки токарного різця прямокутного перерізу  $B \times H$ :

$$J = \frac{BH^3}{12}. \quad (3.10)$$

2. Найбільше допустиме навантаження  $P_z^{max}$  з умови допустимого прогину оправки (вершини різця) тобто жорсткості інструменту:

$$P_z^{max} = \frac{3f EJ}{l^3}, \quad (3.11)$$

де  $f$  – допустима величина прогину різця:

- $f = 0,1$  мм для чорної обробки;
- $f = 0,05$  мм для чистової обробки.

$E$  – модуль пружності.

Для токарних різців  $E = 2,0 \cdot 10^4 \dots 2,2 \cdot 10^4$  кг/мм<sup>2</sup>;

$J$  – момент інерції;

$l$  – величина вильоту вершини різця відносно різцетримача.

3. Отже, для чистового різця з поперечним перерізом державки  $8 \times 10$  мм та відстанню  $l = 35$  мм від вершини до різцетримача, найбільше допустиме навантаження за (3.10) та (3.11) становить

$$P_z^{max} = \frac{3fEBH^3}{12l^3} = \frac{3 \cdot 0,05 \cdot 21000 \cdot 8 \cdot 10^3}{12 \cdot 35^3} = 49 \text{ кгс [478 Н]}.$$

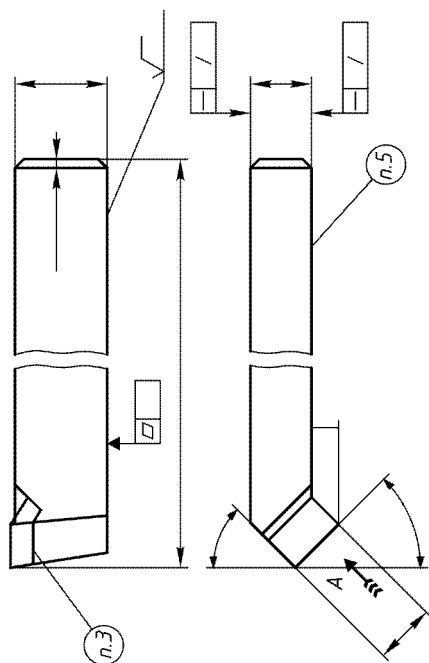
4. Таким чином, можна стверджувати, що розрахунки проведені у прикладі 3.1 на с. 45 є вірними.

### 3.3. Кресленик різця

Завершальним етапом конструювання токарного різця є оформлення його кресленика. На кресленику проставляють габаритні розміри інструмента та геометричні параметри різальної частини різця. Шаблони креслеників подано на рис. 3.2 ... 3.4.

Вимоги до креслеників різців:

- кресленик має бути оформлений з урахування вимог ЄСКД;
- кутові параметри різальної частини мають бути задані з позначенням допуску. Зазвичай допуск на кути різання встановлюють у межах  $\pm (1 \dots 2^\circ)$ .



1. Матеріал державки різця – сталь 50 за ДСТУ 7809  
 2. Пластина різальна з твердого сплаву Т15К6 форми 2421 за ГОСТ 25409  
 3. В якості припою використовувати ПрМНМц 68-4-2 за ТУ 48-21-674-91. Шар припою повинен бути не більше 0,35мм.  
 4. ДСТУ ISO 2768 – мк  
 5. Маркувати: товарний знак; марка твердого сплаву; позначення різця
- Б-Б( )
- А повернуто
- Б

Рис. 3.2. Різець прохідний відігнутий

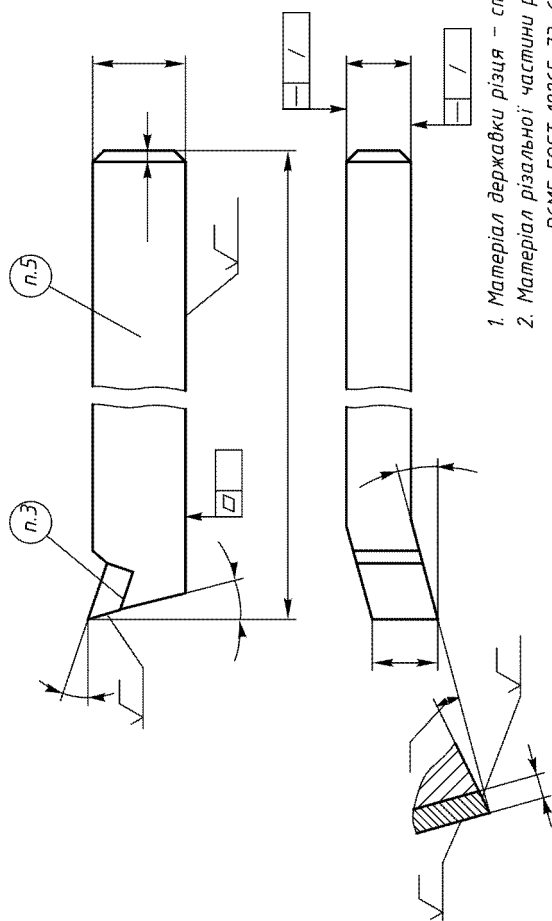
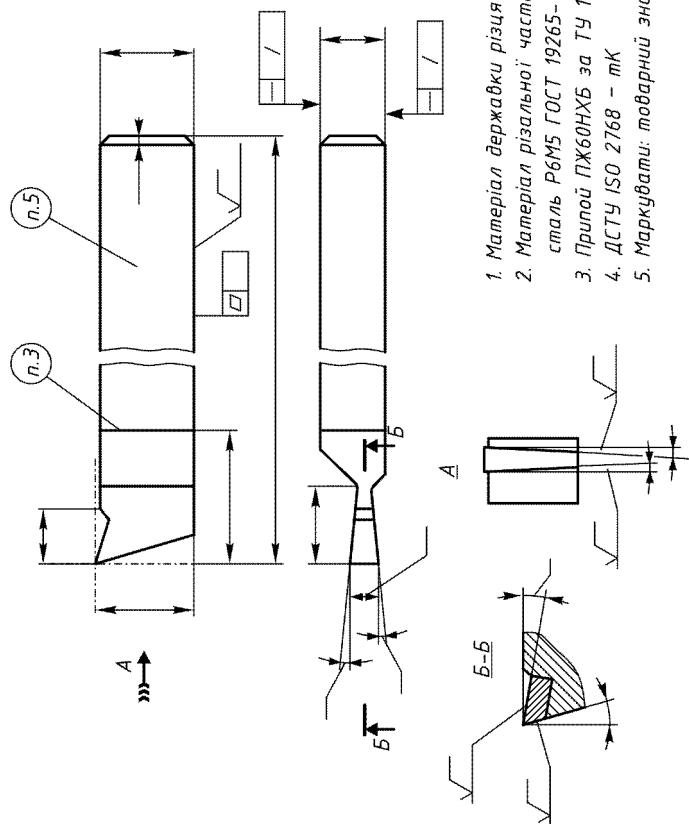


Рис. 3.3. Різець підрізний



1. Матеріал державки різця – сталь 50 за ДСТУ 7809
2. Матеріал різальної частини різця – швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73, 63...66HRC
3. Припой ПЖ60НХБ за ТУ 14-1-3687-84.
4. ДСТУ ISO 2768 – ТК
5. Маркувати: товарний знак; позначення різця

Рис. 3.4. Різець відрізний

## Питання для самоконтролю

1. Покажіть передню поверхню різального леза (намалюйте ескіз).
2. Покажіть задню головну поверхню різального леза (намалюйте ескіз).
3. Покажіть задню допоміжну поверхню різального леза (намалюйте ескіз).
4. Покажіть вершину різця (намалюйте ескіз).
5. Як розташована основна площина? Покажіть її на ескізі.
6. Як розташована площина різання? Покажіть її на ескізі.
7. Що таке “головна січна площина”? Покажіть її на ескізі.
8. Що таке “головний передній кут”? Покажіть його на ескізі.
9. Що таке “головний задній кут”? Покажіть його на ескізі.
10. Що таке “кут загострення різаного леза”? Покажіть його на ескізі інструмента.
11. Що таке “кут різання”? Покажіть його на ескізі.
12. Що таке “головний кут у плані”? Покажіть його на ескізі.
13. Що таке “кут при вершині токарного різця”? Покажіть його.
14. Що таке “кут нахилу різальної кромки”? Покажіть його.
15. Як визначити знак  $\pm$  кута нахилу різальної кромки?
16. Чи можуть бути однаковими за величиною головний та допоміжний кути у плані?
17. Чи може бути передній кут  $\gamma$  різця від’ємним?
18. Чи може бути головний кут у плані  $\varphi$  від’ємним?
19. Чи можливо визначити положення основної площини  $P_v$  не маючи вектора  $\vec{v}$  швидкості різання?
20. Чи можливо обробити токарним різцем отвір?

**Частина III**

**РІЗЦІ ФАСОННІ**

## 4. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Фасонним називають різець (рис. 4.1), різальні кромки якого мають форму подібну до профілю виробу<sup>8</sup>. Фасонні різці застосовують у великосерійному та масовому виробництві. Вони забезпечують високу продуктивність, однорідність форми профілю та точність розмірів оброблюваних деталей.

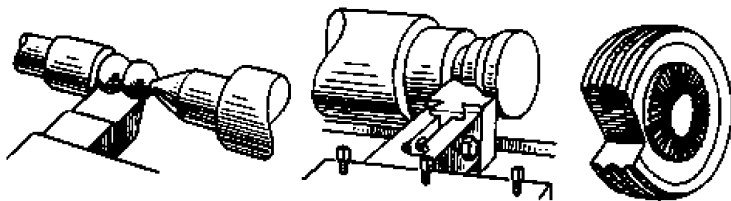


Рис. 4.1. Фасонні токарні різці

Якщо для виготовлення фасонної деталі, звичайними токарними різцями, потрібен кваліфікований робітник або дорогий верстат з числовим програмним керуванням, то при використанні фасонного різця цю роботу виконує робітник низької кваліфікації<sup>9</sup>.

Крім того, звичайні (не фасонні) токарні різці не можуть забезпечити незмінність форми профілю деталі протягом тривалого часу, у той час як фасонними різцями ця умова виконується завжди, навіть за великої партії оброблюваних деталей.

Фасонні різці можна розділити на наступні групи:

- круглі радіальні;
- призматичні (стрижневі) радіальні,
- призматичні тангенціальні.

Проектування різців – це розрахунок основних конструктивних параметрів інструменту (габаритні розміри, геометричні параметри) та визначення профілю різальної кромки.

Різні типи фасонних різців мають різні основні параметри, що викликано різними умовами роботи та різними значеннями геометричних параметрів.

<sup>8</sup>Загалом різальна кромка фасонного різця ніколи не збігається з профілем обробленої ним деталі. Це пояснюється наявністю передніх та задніх кутів різального леза інструмента.

<sup>9</sup>А відповідно і з меншою заробітною платнею.

#### 4.1. Круглий різець

Круглий фасонний різець (рис. 4.2) це тіло обертання, що має отвір або хвостовик для закріплення в державці.

Це найпоширеніша конструкція фасонних різців. Їх застосовують для обробки відносно простих фасонних поверхонь обертання на токарних верстатах.

Форма оброблюваної деталі має не дуже складний профіль. Як правило, це комбінація канавок та конусних поверхонь, які мають незначний перепад діаметрів 3...7 мм. Вісь обертання деталі та вісь круглого різця паралельні між собою.

Круглі фасонні різці мають такі основні конструктивні параметри:

- діаметр різця;
- товщина (ширина) різця;
- діаметр отвору під оправку;
- вузол кріплення – це кругла оправка, на якій закріплено різець.

Усі конструктивні елементи фасонних різців, за винятком елементів профілю, вибирають конструктивно за довідниками, залежно від максимальної висоти фасонного профілю деталі.

Взаємне розташування деталі та круглого радіального фасонного різця подано на рис. 4.2. Передня поверхня круглого різця зазвичай є площина, що не проходить через вісь інструмента. Задня поверхня різця – це фасонна циліндрична поверхня обертання.

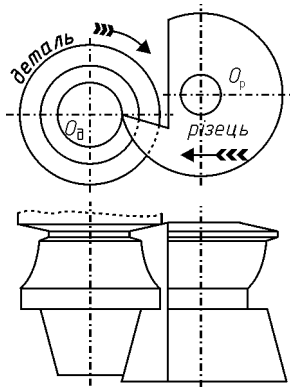


Рис. 4.2. Круглий фасонний різець

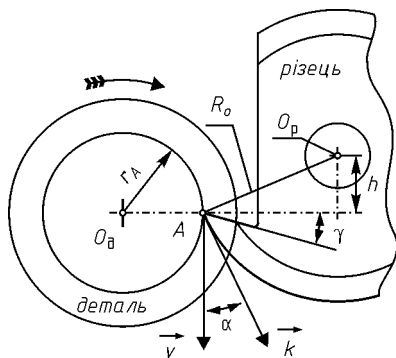


Рис. 4.3. Кути круглого різця

Передній кут  $\gamma$  (рис. 4.3) вимірюють між передньою поверхнею леза та основною площиною. Він утворюється за рахунок заточування та спеціального розташування різця.

Задній кут  $\alpha$  – це кут між вектором  $\vec{v}$  швидкості різання та вектором  $\vec{k}$  дотичним до задньої циліндричної поверхні круглого фасонного різця (рис. 4.3).

Сам по собі круглий різець ніяких задніх кутів не має. Для того щоб утворити кут  $\alpha$  вісь круглого різця необхідно підняти над віссю деталі на величину  $h$ .

#### 4.1.1. Особливість круглого різця

Особливістю круглого фасонного різця є те, що задній кут  $\alpha$  утворюється за рахунок встановлення осі різця вище осі деталі на величину  $h$  (рис. 4.3)

$$h = R_o \sin \alpha, \quad (4.1)$$

де  $R_o$  – найбільший радіус круглого фасонного різця;

$\alpha$  – задній розрахунковий (заданий) кут різця.

Точку  $A$  (рис. 4.3) яку називають базовою точкою різальної кромки розташована найближче до осі обертання заготовки.

#### 4.1.2. Конструкція круглого різця

Основні конструктивні параметри круглого фасонного різця, наведені у табл. 4.1, визначають у наступній послідовності.

1. Зусилля різання  $P_z$ , що діє на оправку, на якій закріплено круглий фасонний різець, можна визначити як:

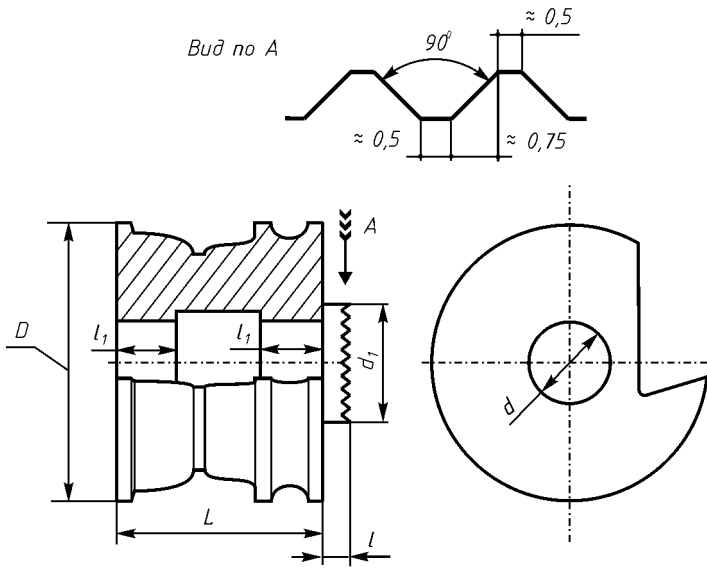
$$P_z = p_{\text{пит}} l_k, \quad (4.2)$$

де  $p_{\text{пит}}$  – питоме зусилля, яке припадає на одиницю довжини різальної кромки. Для сталі:

$$\begin{aligned} p_{\text{пит}} &= 3250 s + 59 \text{ кгс/мм}, \\ p_{\text{пит}} &= 31416 s + 598 \text{ Н/мм}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

$l_k$  – довжина проєкції різальної кромки на вісь різця (практично, це довжина фасонного профілю).

Табл. 4.1. Різець круглий

|  |           |          |            |            |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|------------|------------|----------|
| $t_{max}$ , мм                                                                    | $D$ , мм  | $d$ , мм | $d_1$ , мм | $l_1$ , мм | $l$ , мм |
| 4                                                                                 | 30        | 10       | 15         | 12         | —        |
| 6                                                                                 | 40...50   | 16       | 20         | 12         | 3        |
| 8                                                                                 | 50...70   | 16       | 26         | 12         | 3        |
| 10                                                                                | 60...80   | 22       | 32         | 16         | 3        |
| 12                                                                                | 70...90   | 22       | 35         | 16         | 4        |
| 15                                                                                | 80...100  | 22       | 40         | 16         | 4        |
| 18                                                                                | 90...110  | 27       | 45         | 18         | 5        |
| 21                                                                                | 100...120 | 27       | 50         | 18         | 5        |
| Розмір $L$ приймають на 3...5 мм більший ніж довжина деталі                       |           |          |            |            |          |
| Розмір $t_{max}$ це найбільша глибина профілю деталі                              |           |          |            |            |          |

2. Діаметр  $d$  оправки (отвору  $d$  за табл. 4.1), на якій закріплено круглий різець, приймають залежно від зусилля різання  $P_z$  та довжини  $l_k$  фасонного профілю деталі за наступними рекомендаціями:

| Зусилля $P_z$ ,<br>кГс/Н | Довжина проекції $l_k$ , мм |         |         |         |         |         |
|--------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                          | 10...13                     | 13...18 | 18...25 | 25...34 | 34...45 | 45...60 |
|                          | діаметр оправки $d$ , мм    |         |         |         |         |         |
| 100/980                  | 13                          | 13      | 16      | 16      | 22      | 27      |
| 250/2450                 | 22                          | 22      | 22      | 27      | 27      | 32      |
| 500/4900                 | 27                          | 27      | 27      | 32      | 40      | 40      |
| 1000/9800                | 27                          | 32      | 32      | 40      | 40      | 50      |

3. Найбільший (зовнішній) діаметр  $D$  круглого фасонного різця визначають як:

$$D = 1,5d + 2t_d + (3...6) \text{ мм}, \quad (4.4)$$

де  $d$  – діаметр оправки на яку встановлено круглий різець;  
 $t_d$  – найбільша глибина фасонного профілю деталі.

В разі коли діаметр  $d$  оправки невідомий – габаритний радіус  $R_o$  круглого фасонного різця можливо розрахувати за формулою:

$$R_o = 24 \ln t_d + (15...20) \text{ мм}, \quad (4.5)$$

де  $\ln t_d$  – логарифм натуральний глибини профілю деталі;  
 $t_d$  – глибина профілю деталі.

Треба враховувати, що у разі обробки фасонних отворів діаметр  $D$  різця не повинен перевищувати 0,75 від діаметру отвору деталі.

4. Найбільша ширина  $L$  круглого фасонного різця не може перевищувати допустимих значень. Це залежить від діаметру  $d_{\text{дет}}$  деталі.

Якщо режими різання відомі, то допустиму ширину  $L$  різця можна визначити як:

| Подача, мм/об | Діаметр деталі $d_{\text{дет}}$ , мм |         |        |         |         |         |
|---------------|--------------------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|
|               | до 4,5                               | 4,5...7 | 7...10 | 10...15 | 15...22 | 22...32 |
|               | ширина $L$ різця, мм                 |         |        |         |         |         |
| до 0,03       | 4,5                                  | 8,0     | 13,0   | 24,0    | 42,0    | 75,0    |
| 0,03...0,06   | 3,5                                  | 6,0     | 10,0   | 18,0    | 32,0    | 55,0    |
| 0,06...0,10   | 2,5                                  | 4,5     | 7,5    | 13,0    | 24,0    | 42,0    |

У разі коли режими різання невідомі допустима ширина  $L$  різця не може перевищувати наступні значення:

| $d_{\text{дет}}, \text{ мм}$ | 3...4,5 | 4,5...7 | 7...10 | 10...15 | 15...22 |
|------------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|
| $L, \text{ мм}$              | 3,5     | 6,0     | 10,0   | 18,0    | 32,0    |

або

$$L < 1,97 d_{\text{дет}} - 5,3 \text{ мм.} \quad (4.6)$$

5. Передній кут  $\gamma$  різця залежить від матеріалу деталі і для звичайних умов оброблення становить:

| Матеріал заготовки | алюміній | сталь м'яка | сталь тверда | чавун  |
|--------------------|----------|-------------|--------------|--------|
| $\gamma^\circ$     | 25...30  | 16...20     | 12...16      | 5...10 |

6. Задній кут  $\alpha$  при розрахунках приймають у межах  $8...12^\circ$ , але враховують, що цей кут для круглого фасонного різця досягається відповідним розташуванням різця відносно деталі.

7. Перевірка заднього бокового кута  $\alpha_\tau$  у довільній точці різальної кромки круглого різця в головній січній площині  $P_\tau$  за наближеними формулами (див. приклад 4.1 на наступній сторінці)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_\tau &= \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi_x, \\ \alpha_x &> 3^\circ, \end{aligned} \quad (4.7)$$

де  $\alpha$  – задній розрахунковий кут (прийнятий за п. 6) у базовій (вершинній) точці різця;

$\varphi_x$  – найменший кут між напрямком дотичної  $\vec{k}$  до різальної кромки (у досліджуваній точці) та напрямком подачі  $\vec{s}$  фасонного різця (рис. 4.4).

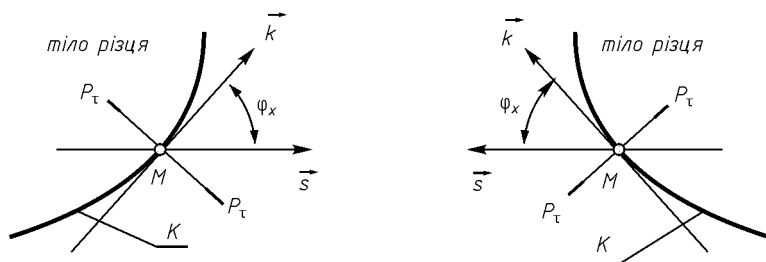


Рис. 4.4. Головна січна площина

На рис. 4.4 позначено такі елементи:

$K$  – різальна кромка;

$\vec{k}$  – вектор, дотичний до проекції різальної кромки на основну площину;

$\vec{s}$  – вектор подачі;

$P_\tau$  – головна січна площина;

$\varphi_x$  – кут між дотичною до кромки і напрямом подачі.

#### Приклад 4.1 (Задній кут $\alpha_\tau$ ).

Нехай маємо:

$\alpha = 10^\circ$  задній розрахунковий кут (прийнятий за п.6) у базовій (вершинній) точці різця;

$\varphi_x = 30^\circ$  найменший кут між напрямком дотичної до різальної кромки (у досліджуваній точці) та напрямком подачі фасонного різця (рис. 4.4).

*Рішення*

$$\operatorname{tg} \alpha_\tau = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi_x \quad \alpha_\tau = 5^\circ 01'$$

$\alpha_\tau = 5^\circ 01' > 3^\circ$

**Зауваження.** Виконувати перевірку кута  $\alpha_\tau$  необхідно для ділянок різальної кромки з найменшим значенням кута  $\varphi$ .

8. Задній кут  $\alpha_\tau$  визначений за наведеною формулою не повинен бути меншим за  $3^\circ$ . У протилежному випадку, різець буде непрацездатний.

Треба розуміти, що умова працездатності інструменту у вигляді математичного запису

$$\alpha_\tau > 3^\circ \tag{4.8}$$

не є абсолютною.

Умова  $\alpha_\tau > 3^\circ$  не означає, що коли кут  $\alpha_\tau$  дорівнює  $3^\circ 10'$  то інструмент ще працездатний. А коли  $\alpha_\tau = 2^\circ 50'$  то інструмент вже не працездатний.

Насправді в обох випадках інструмент буде працювати не дуже добре. Отже, математичну умову  $\alpha_\tau > 3^\circ$  краще сприймати як вислів “... коли кут  $\alpha_\tau$  має величину десь там щось біля  $3^\circ$ , то це не дуже добре ...” і тому у п. 6 на попередній сторінці доцільно прийняти більше значення заднього кута  $\alpha$ .

9. Щоб не коригувати величину заднього кута навантання, доцільно скористатись формулою (4.7). Отже, виходячи з формули (4.7) можна отримати вираз

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{\tau}}{\sin \varphi}. \quad (4.9)$$

тоді прийнявши кут  $\alpha_{\tau} = 3^{\circ}$  (при відомому куті  $\varphi$ ) можна розрахувати необхідну величину кута  $\alpha$ .

**Приклад 4.2** (Найменший допустимий задній кут).

У нашому випадку кут  $\varphi = 30^{\circ}$ . Отже, за (4.9) маємо:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{\tau}}{\sin \varphi} = \frac{\operatorname{tg} 3^{\circ}}{\sin 30^{\circ}} = 0,1048$$

звідки

$$\alpha = 5^{\circ}59'.$$

Отже, для того, щоб наш різець був працездатним він повинен мати задній кут  $\alpha$  не менше  $5^{\circ}59'$ .

## 4.2. Призматичний різець

Призматичні фасонні різці (рис. 4.5), що мають хвостовик у вигляді ластівчиного хвоста для закріплення. Вони більш жорсткі ніж круглі різці, але можуть застосовуватись тільки для зовнішнього точіння.

Ці різці відрізняються від круглих лише своєю формою – вони призматичні. Конструкційно вони мають підвищену жорсткість і тому застосовуються для роботи у важких умовах, наприклад, обточування коліс потягів.

Ще однією перевагою призматичних різців над круглими є те, що їх можна виготовляти із твердого сплаву<sup>10</sup>. Як наслідок цього – підвищена розмірна стійкість та вища продуктивність праці.

Призматичні радіальні фасонні різці мають такі основні конструктивні параметри:

- ширина різця;
- товщина різця;
- висота різця.

---

<sup>10</sup>Насправді вони не цілком з твердого сплаву. З твердого сплаву виготовляють тільки різальну частину, яка закріплена (припаяна) до сталевго корпусу.

Взаємне розташування деталі та призматичного радіального фасонного різця подано на рис. 4.5. Передня поверхня призматичного різця зазвичай є площина. Задня поверхня різця – це фасонна циліндрична поверхня утворена сукупністю прямих.

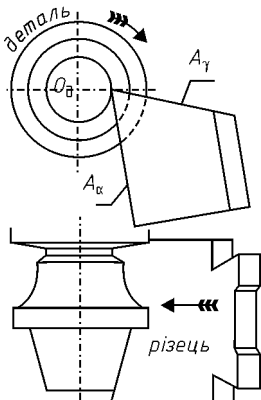


Рис. 4.5. Призматичний фасонний різць

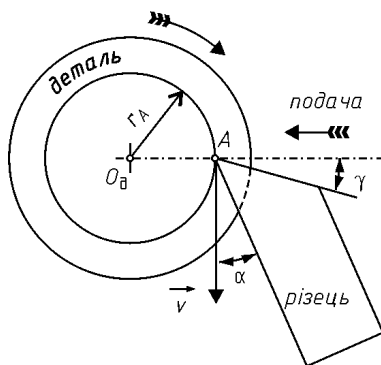


Рис. 4.6. Кути призматичного різця

Задній кут  $\alpha$  (рис. 4.6) – це кут між вектором  $\vec{v}$  швидкості різання та задньою поверхнею різця. Для того щоб утворити кут  $\alpha$  необхідно призматичний різць (що має інструментальний задній кут  $\alpha_i = 0^\circ$ ) повернути навколо вершинної точки  $A$  на кут  $\alpha$ , який було прийнято. Тобто, встановити похило.

Передній статичний кут  $\gamma$  вимірюється між передньою поверхнею та нормаллю до вектора швидкості у базовій точці. Він утворюється за рахунок заточування різця та додаткового повороту на кут  $\alpha$ .

Треба мати на увазі, що призматичний різць заточують тільки по передній поверхні. Задня поверхня призматичного фасонного різця є фасонною і її не переточують ніколи.

Отже, передній статичний кут  $\gamma_c$  радіального призматичного фасонного різця становить:

$$\gamma_c = \gamma_i - \alpha_c \quad (4.10)$$

де  $\gamma_i$  – передній інструментальний кут;  
 $\alpha_c$  – задній статичний кут призматичного різця.

#### 4.2.1. Особливість призматичного різця

Особливістю призматичного фасонного різця є те, що як передній, так і задній кут утворюють за рахунок нахилу різця на верстаті на величину заднього кута  $\alpha$ .

Тобто призматичний різець сам по собі ніякого заднього кута не має (задній інструментальний кут дорівнює нулю). Задній кут  $\alpha$  утворюється тільки за рахунок повороту різця при його встановленні на верстаті.

#### 4.2.2. Конструкція призматичного різця

Загальні конструктивні параметри призматичного фасонного різця наведені в табл. 4.2. Основні конструктивні параметри призматичного фасонного різця визначають у наступній послідовності.

1. Допустима ширина  $L$  фасонного радіального призматичного різця залежить від діаметру  $d_{\text{дет}}$  деталі

| $d_{\text{дет}}, \text{ мм}$ | 3...4,5 | 4,5...7 | 7...10 | 10...15 | 15...22 | 22...32 | 32...45 |
|------------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| $L, \text{ мм}$              | 3,5     | 6,0     | 10,0   | 18,0    | 32,0    | 55,0    | 65,0    |

Наведені дані треба тлумачити так. Якщо деталь має діаметр  $d_{\text{дет}}$  то різець не може обробляти фасонний профіль довший за  $L$ . В протилежному випадку різець зламає або деталь (бо надто широкий), або зламається сам.

За потреби, допустиму ширину  $L$  різця можна розрахувати як:

$$L = 1,9 d_{\text{дет}} - 4,4. \quad (4.11)$$

Якщо ж деталь має довший профіль – то треба застосовувати інший метод обробки. Наприклад, замість радіального фасонного різця використовувати тангенціальний різець.

2. Товщина  $B$  різця може бути визначена за формулою:

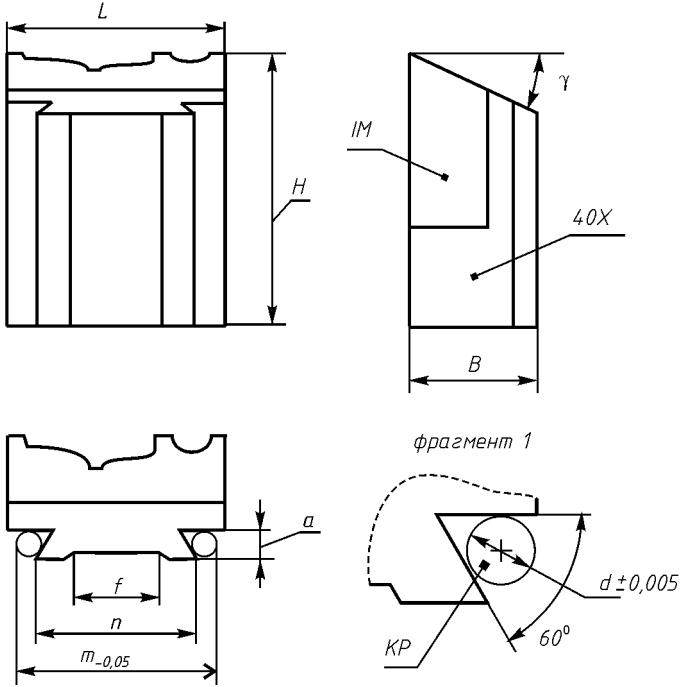
$$B = t_d + c + a, \quad (4.12)$$

де  $t_d$  – найбільша глибина профілю деталі;

$c$  – товщина тіла різця, яка може становити від 0,25 до 0,5 від ширини  $L$  різця. Тобто  $c \approx (0,25 \dots 0,5)L$ ;

$a$  – висота ластівчаного хвостовика, що служить для закріплення різця на верстаті.

Табл. 4.2. Різець призматичний

|  |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $t_{max}$ , мм                                                                    | $H$ , мм | $B$ , мм | $f$ , мм | $a$ , мм | $n$ , мм | $m$ , мм | $d$ , мм |
| 4                                                                                 | 75       | 9        | 7        | 4        | 15       | 18,577   | 3        |
| 6                                                                                 | 75       | 14       | 10       | 6        | 20       | 24,000   | 4        |
| 10                                                                                | 75       | 20       | 15       | 6        | 25       | 29,000   | 4        |
| 14                                                                                | 90       | 25       | 20       | 10       | 30       | 34,896   | 6        |
| 20                                                                                | 90       | 35       | 25       | 10       | 40       | 44,846   | 6        |
| 28                                                                                | 100      | 45       | 40       | 15       | 60       | 64,536   | 8        |
| Розмір $t_{max}$ це найбільша глибина профілю деталі                              |          |          |          |          |          |          |          |
| Позначення: $IM$ – інструментальний матеріал<br>$KP$ – контрольні ролики          |          |          |          |          |          |          |          |

Висота  $a$  ластівчаного хвостовика залежить від глибини  $t_d$  фасонного профілю деталі

|            |   |   |    |    |    |    |
|------------|---|---|----|----|----|----|
| $t_d$ , мм | 4 | 6 | 10 | 14 | 20 | 28 |
| $a$ , мм   | 4 | 6 | 8  | 10 | 12 | 15 |

За потреби висоту  $a$  можна розрахувати як:

$$a = 1,74 t_d^{0,65}. \quad (4.13)$$

3. Ширину ластівчаного хвостовика (параметр  $a$  за табл. 4.2) зазвичай приймають на 5...10 мм меншою за ширину призматичного різця. Загалом, чим ширше хвостовик – тим надійніше утримується різець.

4. Задній кут  $\alpha$  при розрахунках приймають у межах 8...12°, але цей кут досягається поворотом різця на верстаті.

5. Перевірка заднього  $\alpha_\tau$  у довільній точці різальної кромки призматичного різця в головній січній площині (наближено)

$$\operatorname{tg} \alpha_\tau = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi, \quad (4.14)$$

де  $\alpha$  – задній розрахунковий кут у базовій (вершинній) точці різця;

$\varphi_x$  – найменший кут (на всій різальній кромці) між напрямком дотичної до різальної кромки та напрямком подачі різця (рис. 4.4 на с. 60).

Відносно того, що треба робити коли  $\alpha_\tau < 3^\circ$ , див. п.8 розділу "Круглий різець" на с. 61.

За конструкцією кріплення на верстаті призматичний різець більш жорсткий, ніж круглий. Тому їх застосовують для обробки великобаритних деталей із значним перепадом висоти профілю.

### 4.3. Тангенціальний різець

Тангенціальні фасонні різці (рис. 4.7) застосовують для обробки відносно довгих нежорстких фасонних деталей із співвідношенням діаметр/довжина до значення 1/7 (інколи 1/12). Усі інші фасонні різці можуть обробити деталі, що має довжину трохи більшу ніж її діаметр.

У тангенціальних різців (рис. 4.8) все навпаки ніж у всіх інших різців. Там де у всіх різців передня поверхня, у тангенціальних – задня  $A_\alpha$ . Там де задня – передня  $A_\gamma$ .

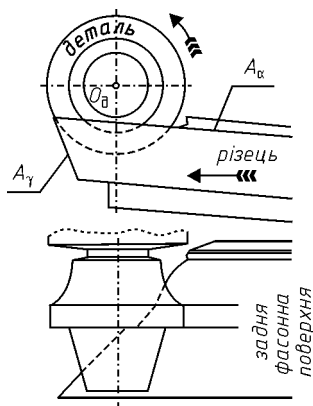


Рис. 4.7. Тангенціальний фасонний різець

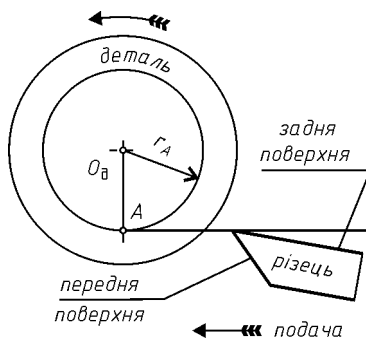


Рис. 4.8. Робота тангенціального різця

Фасонний різець, повинен мати відповідні задні та передні кути з тим, щоб процес зняття стружки проходив за досить вигідних умов.

Однак наявність передніх та задніх кутів призводить до того, що профіль різальної кромки не збігається з профілем оброблюваної деталі. Це вимагає додаткового коригування профілю інструмента.

#### 4.3.1. Особливості тангенціального різця

Особливість тангенціальних різців пролягає в тому, що вони, в процесі роботи, рухаються не до осі заготовки, а по дотичній до оброблюваної деталі (оброблюваного профілю), через що і отримали назву тангенціальних фасонних різців.

Отже, головні особливості тангенціального різця (рис. 4.8) такі:

- інструмент, під час роботи, проходить під деталлю, яку він обробляє, у той час як інші різці рухаються строго у радіальній площині деталі;
- деталь обертається в протилежному напрямку ніж зазвичай;
- у процесі роботи різця, його геометричні параметри змінюються у межах  $\pm 20...30^\circ$ , а інколи і більше.

Конструктивною особливістю тангенціального фасонного різця є те, що його виконують з двох частин – корпусу (сталь 40Х) та різальної частини (інструментальна сталь, або твердий сплав).

### 4.3.2. Конструкція тангенціального різця

Загальні конструктивні параметри тангенціального фасонного різця такі ж самі, як і для призматичного різця (табл. 4.3).

1. Допустима ширина  $L_{\text{тан}}$  фасонного тангенціального призматичного різця залежить від діаметру  $d_{\text{дет}}$  деталі

|                              |         |         |        |         |         |         |         |
|------------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| $d_{\text{дет}}, \text{ мм}$ | 3...4,5 | 4,5...7 | 7...10 | 10...15 | 15...22 | 22...32 | 32...45 |
| $L_{\text{тан}}, \text{ мм}$ | 25      | 35      | 55     | 70      | 100     | 150     | 200     |

За потреби допустиму ширину  $L_{\text{тан}}$  тангенціального різця можна розрахувати як:

$$L_{\text{тан}} = 5 t_{\text{дет}} + 7,3. \quad (4.15)$$

Отже, якщо довжина фасонного профілю деталі перевищує вказані розміри, то існує імовірність, що під час роботи інструмента, внаслідок великих зусиль, він зламає деталь.

2. Товщина  $B$  різця може бути визначена за формулою

$$B = t_d + c + a, \quad (4.16)$$

де  $t_d$  – найбільша глибина профілю деталі;

$c$  – товщина тіла різця, яка може становити від 0,25 до 0,5 від ширини  $B$  різця;

$a$  – висота ластівчинного хвостовика, що служить для закріплення різця на верстаті.

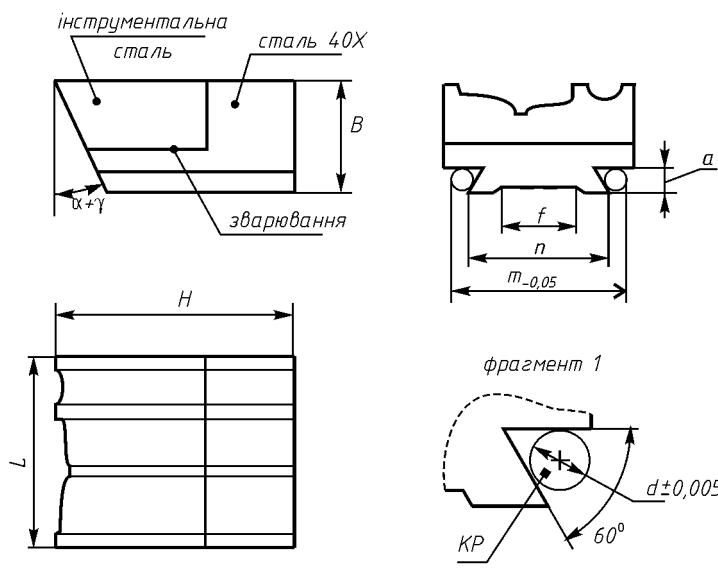
Висота  $a$  ластівчинного хвостовика залежить від глибини  $t_d$  фасонного профілю деталі

|                   |   |   |    |    |    |    |
|-------------------|---|---|----|----|----|----|
| $t_d, \text{ мм}$ | 4 | 6 | 10 | 14 | 20 | 28 |
| $a, \text{ мм}$   | 4 | 6 | 8  | 10 | 12 | 15 |

Ширину ластівчаного хвостовика зазвичай приймають на 5...10 мм меншою за ширину призматичного різця.

3. Задній кут  $\alpha$  при розрахунках приймають рівним  $3^\circ$ . Така мала величина заднього кута у тангенціального різця пояснюється тим, що у процесі роботи задній кут збільшується на  $20 \dots 30^\circ$  від прийнятого (див. розділ 8.3 на с. 111).

Табл. 4.3. Різець тангенціальний

|                   |          |          |          |          |          |          |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $t_{max}$ , мм                                                                                     | $H$ , мм | $B$ , мм | $f$ , мм | $a$ , мм | $n$ , мм | $m$ , мм | $d$ , мм |
| 4                                                                                                  | 75       | 9        | 7        | 4        | 15       | 18,577   | 3        |
| 6                                                                                                  | 75       | 14       | 10       | 6        | 20       | 24,000   | 4        |
| 10                                                                                                 | 75       | 20       | 15       | 6        | 25       | 29,000   | 4        |
| 14                                                                                                 | 90       | 25       | 20       | 10       | 30       | 34,896   | 6        |
| 20                                                                                                 | 90       | 35       | 25       | 10       | 40       | 44,846   | 6        |
| 28                                                                                                 | 100      | 45       | 40       | 15       | 60       | 64,536   | 8        |
| <p>Розмір <math>t_{max}</math> це найбільша глибина профілю деталі<br/> КР – контрольні ролики</p> |          |          |          |          |          |          |          |

## 4.4. Порівняння різців

### 4.4.1. Круглі проти призматичних

Радіальні різці незалежно від конструкції у процесі роботи рухаються у радіальному напрямку до центру оброблюваної деталі. Однак, через різну конструкцію кріплення мають певні розбіжності.

#### Працездатність

| Круглий фасонний                                             | Призматичний фасонний                               |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Можливість обробляти внутрішні поверхні отворів.             | Можливість обробляти тільки зовнішні поверхні.      |
| Компактне кріплення, але жорсткість може бути не достатньою. | Жорстке кріплення, що витримує значні навантаження. |

Не зважаючи на однаковий спосіб оброблення деталі (за рахунок радіальної подачі) круглі та призматичні різці мають значну різницю в утворенні статичних кутів, що подано нижче.

#### Кути радіальних фасонних різців

| Круглий фасонний                                                                                                                                                         | Призматичний фасонний                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Передній кут утворюють під час заточування різця. Єдина умова – вершина різця повинна бути розташована на осі деталі.                                                    | Передній кут утворюють за рахунок установки різця. Різець заточують під деяким кутом (інструментальним), а на верстаті встановлюють нахилено. |
| Задній інструментальний кут дорівнює нулю. Статичний кут утворюють за рахунок встановлення різця вище деталі. Вісь круглого фасонного різця розташована вище осі деталі. | Задній інструментальний кут дорівнює нулю. Статичний кут утворюють за рахунок нахилу різця відносно вертикалі.                                |

#### 4.4.2. Радіальні проти тангенціальних

Радіальні фасонні різці мають практично незмінними статичні кути різання. Як передні, так і задні кути різання не змінюються в процесі роботи інструмента.

Тангенціальні фасонні різці мають складний характер зміни кутів у процесі роботи інструмента. Як передній так і задній кути тангенціального різця утворюються за рахунок спеціальної установки різця на верстаті, аналогічно до звичайного радіального призматичного різця.

Однак, на відміну від радіальних різців статичні кути тангенціального різця значно змінюються в процесі обробки деталі. Це ускладнює вибір та призначення кутів.

Задній статичний кут тангенціального різця приймають найменш можливим, зазвичай  $\alpha_c = 3^\circ$ . На противагу йому, передній статичний кут  $\gamma_c$  приймають якомога більшим.

#### Працездатність

| Радіальні різці                                                         | Тангенціальні різці                                             |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Можливість обробляти внутрішні поверхні отворів.                        | Можливість обробляти тільки зовнішні поверхні.                  |
| Компактне кріплення інструменту, але жорсткість може бути недостатньою. | Жорстке кріплення інструменту, що витримує значні навантаження. |

## 4.5. Допуски на інструмент

Після розрахунку основних конструктивних елементів різця та визначення профілю його різальної кромки необхідно призначити допуски на виготовлення різця. Допуски проставляють на розміри, які визначають розміри реперних точок.

За своєю величиною допуск на виготовлення інструменту залежить від допуску на виготовлення деталі. Прийнято призначати допуск на інструмент  $T_{\text{інс}}$  рівним третині допуску на деталь  $T_{\text{дет}}$ , тобто

$$T_{\text{інс}} = \frac{1}{3} T_{\text{дет}}. \quad (4.17)$$

**Зауваження.** Викладена методика справедлива для фасонних різців всіх типів та конструкцій.

На рис. 4.9 наведені такі елементи потрібні для розрахунку допусків на виготовлення інструменту:

- $D$  – профіль деталі;
- $K$  – профіль різальної кромки;
- $T_A$  – допуск на виготовлення ділянки  $A_D$  деталі;
- $T_B$  – допуск на виготовлення ділянки  $B_D$  деталі;

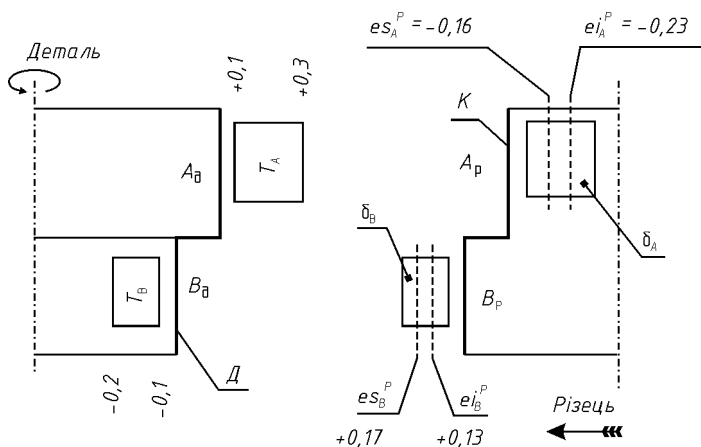


Рис. 4.9. Допуски на різець

Розглянемо призначення розташування полів допусків та розрахунок границь для ділянок  $A$  та  $B$  деталі та інструменту (фасонного різця).

## Ділянка А

1. Ділянка деталі  $A_d$  має такі границі допуску  $(-0,1)$  та  $(-0,3)$  мм. Отже допуск на її виготовлення становить

$$T_A = |-0,3 - (-0,1)| = 0,2 \text{ мм.} \quad (4.18)$$

2. Допуск на виготовлення ділянки  $A_p$  різця згідно з прийнятими  $T_{\text{інс}} = \frac{1}{3}T_{\text{дет}}$  становить

$$T_{\text{інс}} = \frac{1}{3}T_{\text{дет}} = \frac{1}{3}0,2 = 0,0667 \text{ мм.} \quad (4.19)$$

3. Розташування допуску відносно номінального профілю різця визначимо виходячи із наступних міркувань.

3.1. Поле  $\delta_A$  це місце розташування поля допуску на виготовлення різця. Зверніть увагу на наступне, поле допуску  $T_d$  на деталь лежить "зовні деталі" у той час як поле допуску  $\delta_A$  на виготовлення різця лежить "всередині різця".

Коли різальна кромка  $K$  різця наблизиться до деталі і буде співпадати з профілем  $D$  деталі – поля допусків  $T_A$  та  $\delta_A$  "накладуться" одне на одне.

3.2. Отже, значення границі допуску різця найближчої до номінальної лінії буде

$$es_A^{\text{різ}} = 0,1 + \frac{1}{3}T_{\text{дет}} = 0,1 + \frac{1}{3}0,2 = 0,16 \text{ мм.} \quad (4.20)$$

Враховуючи розташування поля допуску відносно номінальної лінії остаточно отримаємо  $es_A^{\text{різ}} = -0,16 \text{ мм.}^{11}$

3.3. Виходячи з аналогічних міркувань для другої гранці допуску на виготовлення різця отримаємо

$$ei_A^{\text{різ}} = 0,1 + \frac{1}{3}T_{\text{дет}} + \frac{1}{3}T_{\text{дет}} = 0,1 + \frac{2}{3}0,2 = 0,23 \text{ мм.} \quad (4.21)$$

Враховуючи розташування поля допуску відносно номінальної лінії остаточно отримаємо  $ei_A^{\text{різ}} = -0,23 \text{ мм.}$

3.4. Отже остаточно для ділянки  $A_{\text{різ}}$  різальної кромки різця маємо:

$$es_A^{\text{різ}} = -0,16 \text{ мм,} \quad ei_A^{\text{різ}} = -0,23 \text{ мм.} \quad (4.22)$$

<sup>11</sup>Зверніть увагу на знак "мінус". Адже поле допуску розташовано "всередині" тіла різця.

## Ділянка В

Для ділянки В необхідно повторити всі дії, що були виконані відносно ділянки А. Після їх виконання отримаємо:

$$es_B^{\text{різ}} = +0,17 \text{ мм}, \quad ei_B^{\text{різ}} = +0,13 \text{ мм}. \quad (4.23)$$

## Загальні поради

Для того щоб не помилитись у визначення розташування поля допуску різця доцільно намалювати поля допуску деталі. Тоді буде добре видно де саме буде розташовано поле допуску різця і відповідно який знак має границя допуску.

Навіть у тому випадку коли поле допуску деталі розташовано по обидва боки номінальної лінії буде добре видно де повинно бути поле допуску різця.

**Загальне правило** таке – границя поля різця повинна мати знак протилежний до знаку границі деталі.

Отже:

- коли границя поля деталі має знак "мінус" – границя різця повинна мати знак "плюс";
- і навпаки, коли границя поля деталі має знак "плюс" – границя різця повинна мати знак "мінус".

Якщо допуск задано стандартним позначенням, наприклад h9, необхідно перевести його у числовий формат  $\begin{smallmatrix} 0 \\ -74 \end{smallmatrix}$  та виконати дії описані в цьому розділі.

### **Питання для самоконтролю**

1. Чому круглі фасонні різці так називають?
2. Які особливості притаманні круглим фасонним різцям?
3. Чому призматичні різці так називають?
4. Які особливості притаманні призматичним фасонним різцям?
5. За якою кінематичною схемою працюють тангенціальні фасонні різці?
6. Чи можливо обробити отвір за допомогою круглого фасонного різця?
7. Чи можливо обробити отвір за допомогою призматичного фасонного різця?
8. Чи можливо обробити отвір за допомогою тангенціального фасонного різця?
9. Чи можливо виготовити фасонний різець із твердого сплаву?
10. Як утворюються передні кути фасонних різців?

## 5. ПРОФІЛЮВАННЯ ГРАФІЧНЕ

### Загальні положення

Для різців всіх типів за базову точку приймають точку профілю деталі, яка розташована ближче за всіх інших до осі обертання деталі. Її прийнято позначати як  $A$

### 5.1. Круглий фасонний різець

#### Прийняті позначення

1. Кресленик графічного профілювання (графічного визначення профілю різця у перерізі нормальному до задньої поверхні) круглого фасонного радіального різця наведено на рис. 5.1 з такими умовними позначеннями:

- $O_d$  – геометричний центр деталі;
- $O_p$  – геометричний центр круглого різця;
- $L$  – слід площини, що проходить через центр  $O_p$ ;
- $G$  – допоміжна (технологічна) горизонталь;
- $O_t$  – технологічний центр;
- $D$  – профіль деталі;
- $A_\gamma$  – передня поверхні різця.

2. Вихідні параметри для профілювання:

- $\alpha$  – прийнятий задній кут різця;
- $\gamma$  – прийнятий передній кут різця;
- $A$  – базова точка профілю деталі (і різця також);
- $M$  – довільна розрахункова точка профілю деталі;
- $r_A$  – радіус деталі у базовій точці  $A$ ;
- $r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $M$ ;
- $l_M$  – відстань вздовж осі деталі від базової точки  $A$  до розрахункової точки  $M$ ;
- $R_o$  – габаритний радіус різця.

3. Параметри що підлягають визначенню:

- $R_M$  – радіус різця в розрахунковій точці  $M$ ;
- $N$  – осьовий переріз круглого фасонного різця.

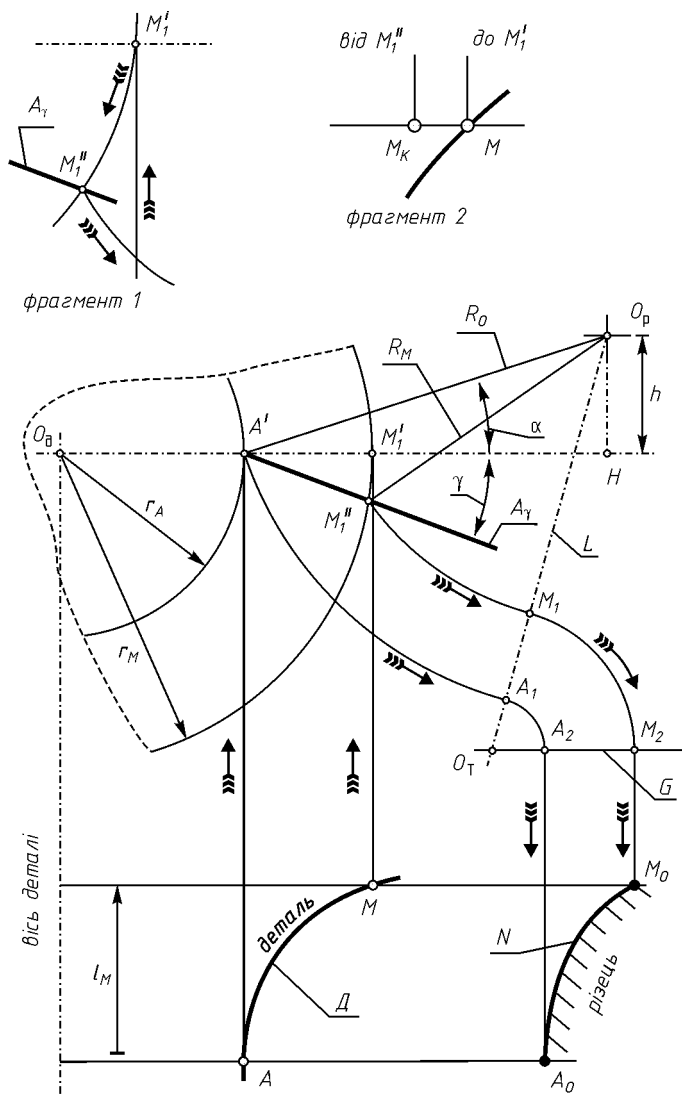


Рис. 5.1. Профілювання круглого різця

## Підготовчі дії

1. Насамперед необхідно викреслити дві проекції деталі – горизонтальну (крива  $D$ ) та фронтальну (дуги  $r_A$  та  $r_M$ ). На фронтальній проекції доцільно викреслити тільки чверть деталі як подано на рис. 5.1. Це забезпечить можливість застосувати найбільший масштаб графічних побудов.

2. Положення центру  $O_p$  різця можливо побудувати трьома різними (але рівноправними) способами:

- використовуючи кут  $\alpha$  та радіус  $R_0$ ;
- використовуючи катет  $h$  та радіус  $R_0$ ;
- використовуючи катети  $h$  та  $\overline{A'H}$ . Цей спосіб найбільш точний.

Величину катету  $h$  можливо визначити як

$$h = R_0 \sin \alpha. \quad (5.1)$$

Величина катету  $\overline{A'H}$  дорівнює

$$\overline{A'H} = R_0 \cos \alpha. \quad (5.2)$$

Отримані значення доцільно округлити до 0,5 мм. Загалом це змінить положення центру  $O_p$ , але для графічного профілювання це не суттєво.

3. Через базову точку  $A'$  під кутом  $\gamma$  провести пряму  $A_\gamma$  як слід перетину фронтальної площини з передньої поверхнею різця.

4. Через центр різця  $O_p$  довільно провести лінію  $L$  (як слід площини яка проходить через вісь різця) та горизонталь  $G$ , бажано приблизно так, як подано на рисунку.

Отримана точка  $O_T$  це технологічний центр повороту, який буде використано під час профілювання.

## Профілювання

1. Здійснити графічне профілювання для базової точки  $A$  у послідовності

$$A \Rightarrow A' \Rightarrow A_1 \Rightarrow A_2 \Rightarrow A_0. \quad (5.3)$$

Отримана, у результаті побудов, точка  $A_0$  буде базовою точкою на різальній кромці різця.

2. Здійснити графічне профілювання для довільної точки  $M$  у такій послідовності (див. рис.5.1 та фраг. 1)

$$M \Rightarrow M'_1 \Rightarrow M''_1 \Rightarrow M_1 \Rightarrow M_2 \Rightarrow M_0. \quad (5.4)$$

Отримана, у результаті побудов, точка  $M_0$  буде точкою на нормальному перерізі різця. Вона обробляє точку  $M$  на профілі деталі.

3. Повторюючи у такій послідовності графічні побудови для інших розрахункових точок профілю деталі, та поєднавши їх плавною кривою, визначимо профіль  $N$  різця в його осьовій площині.

### Деякі зауваження

1. Отримана в результаті побудов крива  $N$  не є ні різальною кромкою, ні її проекцією – це осьовий переріз (осьовий профіль) круглого фасонного різця.

2. На фронтальній площині різальна кромка зіллється зі слідом  $A_\gamma$  передньої площини.

3. На горизонтальній площині:

- точка  $A_K$  різальної кромки буде збігатись з базовою точкою  $A$  (через що точка  $A_K$  не зображена на рисунку);
- довільна точка  $M_K$  буде розташована на одній горизонталі з точкою  $M$  як подано на збільшеному фрагменті профілювання (фраг. 2). Реально, точка  $M_K$  різальної кромки – це проекція точки  $M''_1$  на горизонтальну площину.

4. Для правильного профілювання дугової ділянки профілю деталі, необхідно мати на ній додаткові розрахункові точки, а саме: крайня точка – точка посередині дуги – друга крайня точка;

Тобто, на наведеному прикладі між точками  $A$  та  $M$  на криволінійному профілі деталі  $D$  необхідно взяти, ще одну точку десь посередині дуги.

## 5.2. Призматичний фасонний різець

### Прийняті позначення

1. Кресленик графічного профілювання круглого фасонного радіального різця наведено на рис. 5.2 з такими умовними позначеннями:

$O_d$  – геометричний центр деталі;

$D$  – профіль деталі;

$A_\gamma$  – передня поверхня різця;

$A_\alpha$  – задня поверхня різця.

## 2. Вихідні параметри для профілювання:

$\alpha$  – прийнятий задній кут різця;

$\gamma$  – прийнятий передній кут різця;

$A$  – базова точка профілю деталі (і різця також);

$M$  – довільна розрахункова точка профілю деталі;

$r_A$  – радіус деталі у базовій точці  $A$ ;

$r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $M$ ;

$l_M$  – відстань вздовж осі деталі від базової точки  $A$  до розрахункової  $M$ ;

## 3. Параметри що підлягають визначенню:

$t_p$  – глибина профілю різця для розрахункової точки  $M$ ;

$N$  – профіль різця в площині перпендикулярній до задньої поверхні.

## Підготовчі дії

1. Насамперед необхідно викреслити дві проекції деталі – горизонтальну (крива  $D$ ) та фронтальну (дуги  $r_A$  та  $r_M$ ). На фронтальній проекції доцільно викреслити тільки чверть деталі як подано на рис. 5.2. Це забезпечить можливість застосовувати найбільший масштаб графічних побудов.

2. Через базову точку  $A$  провести сліди передньої та задньої площин – прямі  $A_\gamma$  та  $A_\alpha$  під кутами  $\gamma$  та  $\alpha$ .

## Профілювання

### 1. Виконати профілювання базової точки $A$ у послідовності

$$A \Rightarrow A' \Rightarrow A_N. \quad (5.5)$$

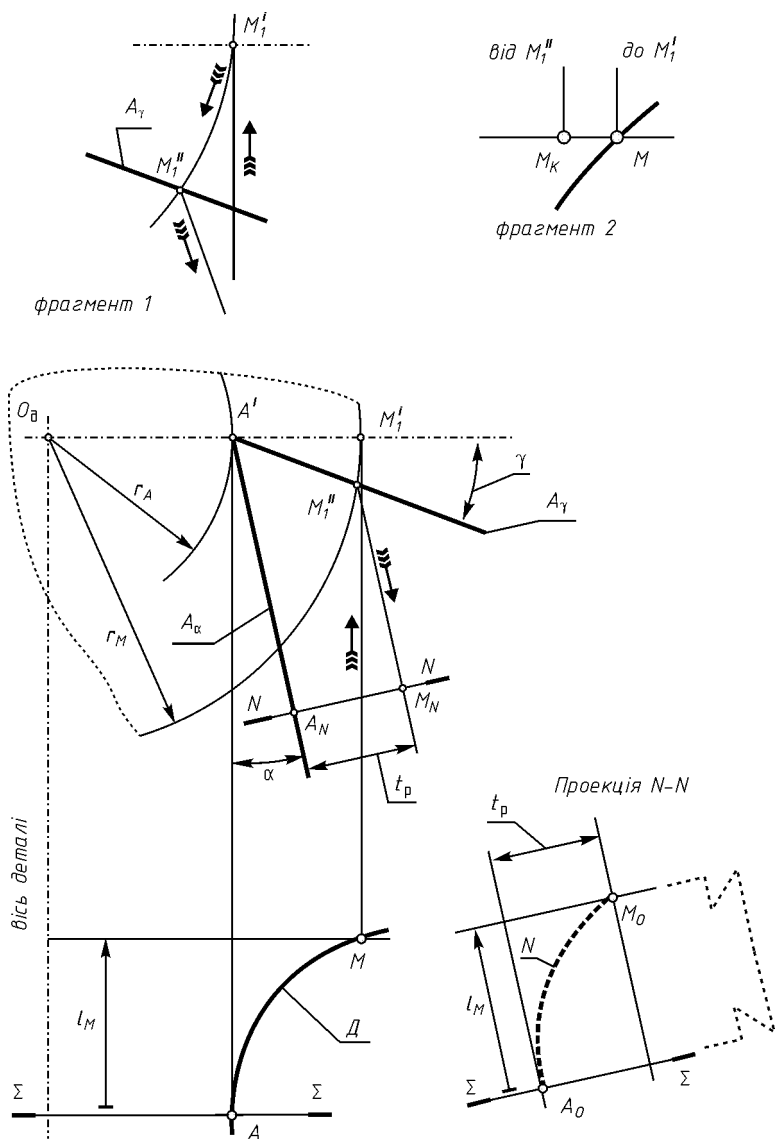


Рис. 5.2. Профілювання призматичного різця

2. Виконати профілювання довільної розрахункової точки  $M$  у послідовності

$$M \Rightarrow M'_1 \Rightarrow M''_1 \Rightarrow M_N. \quad (5.6)$$

(див. рис.5.2 та фраг.1).

3. Знаючи відстань  $t_p$  побудувати проекцію  $N-N$  позначивши відповідні точки як  $A_o$  та  $M_o$ . Отримана, у результаті побудов, точка  $M_o$  буде точкою на нормальному перерізі різця, яка обробляє точку  $M$  на профілі деталі.

Повторюючи у такій послідовності графічні побудови для інших розрахункових точок профілю деталі, та поєднавши їх плавною кривою, визначимо профіль  $N$  різця в площині нормальній до задньої поверхні.

### Деякі зауваження

1. Отримана в результаті побудов крива  $N$  не є ні різальною кромкою, ні її проекцією – це осьовий переріз (осьовий профіль) круглого фасонного різця.

2. На фронтальній площині різальна кромка зіллється зі слідом  $A_\gamma$  передньої площини.

На горизонтальній площині:

- точка  $A_K$  різальної кромки буде співпадати з базовою точкою  $A$  (через що точка  $A_K$  не зображена на рисунку);
- довільна точка  $M_K$  буде розташована на одній горизонталі з точкою  $M$  як подано на збільшеному фрагменті 2 профілювання. Реально, точка  $M_K$  – це проекція точки  $M''_1$  на горизонтальну площину.

3. Для правильного профілювання дугової ділянки профілю деталі необхідно мати на ній додаткові розрахункові точки, а саме:

- мінімальний варіант: крайня точка – точка посередині дуги – друга крайня точка;
- максимальний варіант: дві крайні і три проміжні (всього п'ять точок).

Тобто, на наведеному прикладі між точками  $A$  та  $M$  на криволінійному профілі деталі  $D$  необхідно взяти, ще (як мінімум) одну точку посередині дуги.

### 5.3. Тангенціальний фасонний різець

#### Прийняті позначення

1. Кресленик графічного профілювання круглого фасонного радіального різця наведено на рис. 5.3 з такими умовними позначеннями:

- $O_d$  – геометричний центр деталі;
- $D$  – профіль деталі;
- $\omega$  – напрям обертання деталі;
- $F$  – лінія профілювання (відстань  $\overline{AA_1}$  довільна);
- $\varphi$  – кут нахилу лінії  $F$  становить  $25 \dots 35^\circ$ .

2. Вихідні параметри для профілювання:

- $\alpha$  – прийнятий задній кут різця (див. фраг. 1);
- $\gamma$  – прийнятий передній кут різця;
- $A$  – базова точка профілю деталі (і різця також);
- $M$  – довільна розрахункова точка профілю деталі;
- $r_A$  – радіус деталі у базовій точці  $A$ ;
- $r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $M$ ;
- $l_M$  – відстань вздовж осі деталі від базової точки  $A$  до розрахункової  $M$ .

3. Параметри що підлягають визначенню:

- $t_p$  – глибина профілю різця для розрахункової точки  $M$ ;
- $N$  – профіль різця в площині перпендикулярній до задньої поверхні.

#### Підготовчі дії

1. Насамперед необхідно викреслити дві проекції деталі – горизонтальну (крива  $D$ ) та фронтальну (дуги  $r_A$  та  $r_M$ ). На фронтальній проекції доцільно викреслити тільки чверть деталі як подано на рис. 5.3. Це забезпечить можливість застосовувати найбільший масштаб побудов.

2. Через базову точку  $A'$  провести горизонталь  $G$ . Всі подальші дії для всіх розрахункових точок будуть пов'язані з нею.

3. Провести лінію  $F$  під кутом  $\varphi$ . Відстань  $\overline{AA_1}$  довільна, але бажано щоб вертикальна лінія  $V$  не перетинала профіль деталі.

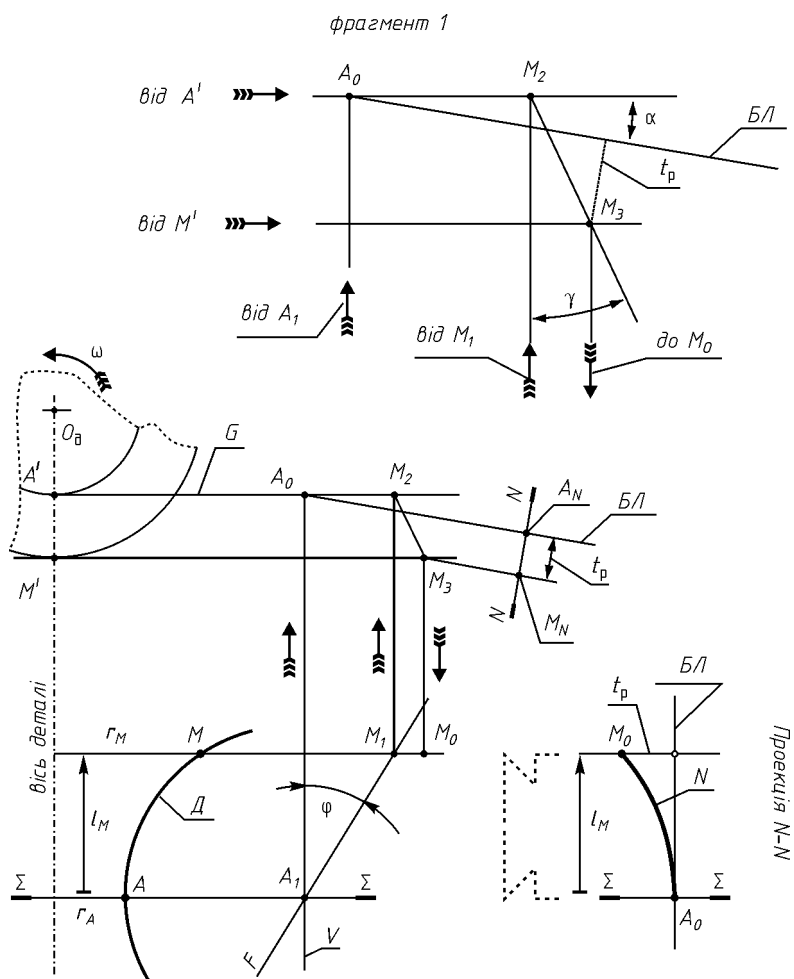


Рис. 5.3. Профілювання тангенціального різця

## Профілювання

1. Виконати профілювання для базової точки  $A$  у послідовності

$$A \Rightarrow A' \Rightarrow A_N \Rightarrow A_0. \quad (5.7)$$

2. Профілювання довільної точки  $M$  профілю деталі.

- 2.1. Через точку  $M$  провести горизонталь.

- 2.2. Виконати профілювання для довільної розрахункової точки  $M$  (див. рис.5.3 та фраг.1) у послідовності

$$M \Rightarrow M_1 \Rightarrow M_2 \Rightarrow M_3 \Rightarrow \begin{cases} M_N \\ M_0 \end{cases}. \quad (5.8)$$

Точка  $M_N$  належить площині  $N-N$  нормальній до задньої поверхні тангенціального різця.

Точка  $M_0$  належить до торцевого перерізу тангенціального різця (по суті, це одна і та ж точка, але віднесена до різних об'єктів).

- 2.3. Параметр  $t_p$  це глибина профілю відрахована від базової лінії  $БЛ$ . Параметр  $t_p$  може бути розташований як під лінією  $БЛ$  так і над нею, що залежить від профілю деталі.

3. Знаючи відстань  $t_p$  побудувати проекцію  $N-N$  позначивши відповідні точки як  $A_0$  та  $M_0$ . Отримана, у результаті побудов, точка  $M_0$  буде точкою на нормальному перерізі різця, яка обробляє точку  $M$  на профілі деталі.

4. Повторюючи у такій послідовності графічні побудови для інших розрахункових точок профілю деталі, та поєднавши їх плавною кривою, визначимо профіль  $N$  різця в площині нормальній до задньої поверхні.

## Деякі зауваження

1. Отримана в результаті побудов крива  $N$  не є ні різальною кромкою, ні її проекцією – це переріз нормальний до задньої поверхні (нормальний профіль) тангенціального фасонного різця.

2. На фронтальній проекції до різальної кромки належать такі розрахункові точки:

$A_0$  – базова точка (вона завжди буде на лінії  $G$ );

$M_3$  – довільна точка  $M$  (ні в якому разі не плутати її з точкою  $M_2$  яка є просто проміжною точкою графічних побудов).

3. На горизонтальній проекції до різальної кромки належать такі розрахункові точки:

$A_1$  – базова точка різальної кромки (вона завжди буде у цьому положенні);

$M_0$  – довільна точка. На проекції  $N-N$  точка  $M_0$  належить торцевому перерізу тангенціального різця.

4. Для правильного профілювання дугової ділянки профілю деталі необхідно мати на ній додаткові розрахункові точки, а саме: крайня точка – точка посередині дуги – друга крайня точка;

Тобто, на наведеному прикладі між точками  $A$  та  $M$  на криволінійному профілі деталі  $D$  необхідно взяти, ще (як мінімум) одну точку посередині дуги.

### **Питання для самоконтролю**

1. В чому полягає графічне профілювання фасонних різців?
2. У якому перерізі (січенні) визначають профіль фасонного різця?
3. Що таке базова точка під час профілювання?
4. На якій відстані від осі деталі розташована базова точка?
5. Що таке “лінія профілювання” у тангенціальних фасонних різцях?
6. Які підготовчі дії необхідно здійснити під час графічного профілювання круглого фасонного різця?
7. Які підготовчі дії необхідно здійснити під час графічного профілювання призматичного фасонного різця?
8. Які особливості графічного профілювання тангенціального фасонного різця?
9. Як визначити поля допуску на виготовлення фасонного різця?
10. Чи залежить поле допуску на виготовлення фасонного різця від допуску на виготовлення деталі?

## 6. ПРОФІЛЮВАННЯ АНАЛІТИЧНЕ

### 6.1. Круглий фасонний різець

Розрахункова схема для аналітичного профілювання круглого фасонного радіального різця наведена на рис. 6.1.

При розрахунках необхідно враховувати, що задня поверхня круглого різця це поверхня обертання навколо осі різця  $O_p$ . У то час, як передня поверхня – площинна, розташована перпендикулярно до площини креслення. Пряма  $CD$  це слід передньої площини  $A_\gamma$ .

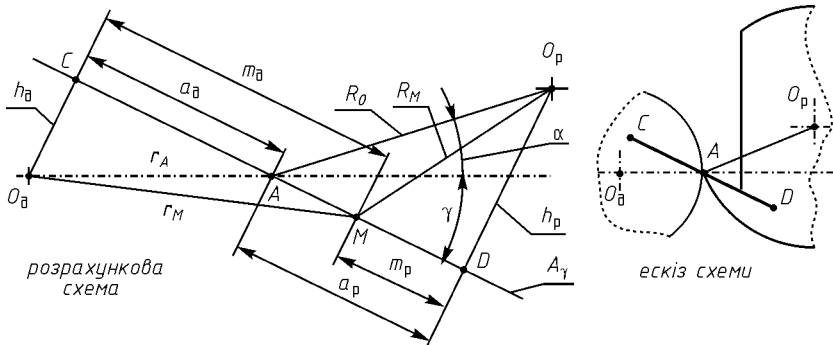


Рис. 6.1. Схема профілювання круглого різця.

Пряма ділянка профілю деталі може бути задана її двома крайніми точками. Цього достатньо. Криволінійну ділянку профілю необхідно задати мінімум трьома точками.

Розрахунок профілю круглого фасонного різця доцільно проводити у наступній послідовності.

#### 1. Початкові параметри для профілювання:

- $R_o$  – габаритний радіус круглого фасонного різця, мм;
- $\alpha$  – прийнятий задній кут, градуси;
- $\gamma$  – прийнятий передній кут, градуси;
- $r_A$  – радіус деталі в базовій точці профілю;
- $r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $M$  профілю.

#### 2. Параметри що підлягають визначенню (розрахунку):

- $R_M$  – радіус різця у розрахунковій точці  $M$  профілю.

### 3. Послідовність розрахунків :

$$h_d = r_A \sin \gamma, \quad (6.1)$$

$$m_d = \sqrt{r_M^2 - h_d^2}, \quad (6.2)$$

$$a_d = r_A \cos \gamma, \quad (6.3)$$

$$t_\Pi = m_d - a_d, \quad (6.4)$$

$$a_p = R_o \cos(\alpha + \gamma), \quad (6.5)$$

$$m_p = a_p - t_\Pi, \quad (6.6)$$

$$h_p = R_o \sin(\alpha + \gamma), \quad (6.7)$$

$$R_M = \sqrt{h_p^2 + m_p^2}. \quad (6.8)$$

Параметр  $t_\Pi$  це глибина профілю різця виміряна у передній площині (поверхні) різця.

За наведеними формулами виконують розрахунки для всіх розрахункових точок профілю деталі, окрім базової точки  $A$ .

Розрахункові параметри, що мають індекс "д" відносяться до деталі, параметри з індексом "р" – до різця.

4. Відстань  $l_{\text{різ}}$  (вздовж осі різця) між розрахунковими точками профілю фасонного різця дорівнює відстані  $l_{\text{дет}}$  (вздовж осі деталі) між відповідними точками профілю деталі.

#### **Приклад 6.1** (Профілювання круглого різця).

Визначити радіус  $R_M$  для довільної точки  $M$  різальної кромки круглого фасонного радіального різця.

*Початкові данні*

$R_o = 35$  мм    габаритний радіус різця;

$\alpha = 10^\circ$     прийнятий задній кут;

$\gamma = 12^\circ$     прийнятий передній кут;

$r_A = 30$  мм    радіус деталі у базовій точці  $A$ ;

$r_M = 33$  мм    радіус деталі у розрахунковій точці  $M$ .

Рішення. За формулами (6.1) ... (6.8) маємо:

$$\begin{array}{ll}
 h_d = r_A \sin \gamma & h_d = 6,24 \text{ мм}, \\
 m_d = \sqrt{r_M^2 - h_d^2} & m_d = 32,41 \text{ мм}, \\
 a_d = r_A \cos \gamma & a_d = 29,34 \text{ мм}, \\
 t_p = m_d - a_d & t_p = 3,07 \text{ мм}, \\
 a_p = R_o \cos(\alpha + \gamma) & a_p = 32,45 \text{ мм}, \\
 m_p = a_p - t_p & m_p = 29,38 \text{ мм}, \\
 h_p = R_o \sin(\alpha + \gamma) & h_p = 13,11 \text{ мм}, \\
 R_M = \sqrt{h_p^2 + m_p^2} & \boxed{R_M = 32,17 \text{ мм}}
 \end{array}$$

## 6.2. Призматичний фасонний різець

Розрахункова схема для аналітичного профілювання круглого фасонного радіального різця подана на рис. 6.2

При розрахунках необхідно враховувати, що задня поверхня  $A_\gamma$  призматичного фасонного різця – прямолінійна фасонна.

Розрахунок профілю призматичного фасонного різця доцільно проводити у наступній послідовності.

1. Початкові параметри для профілювання:

- $\alpha$  – прийнятий задній кут, градуси;
- $\gamma$  – прийнятий передній кут, градуси;
- $r_A$  – радіус деталі в базовій точці  $A$ ;
- $r_M$  – радіус довільної точки  $M$  профілю деталі.

2. Параметр що підлягає визначенню (розрахунку):

- $t_p$  – глибина профілю різця для розрахункової точки  $M$  профілю відносно базової точки  $A$ .

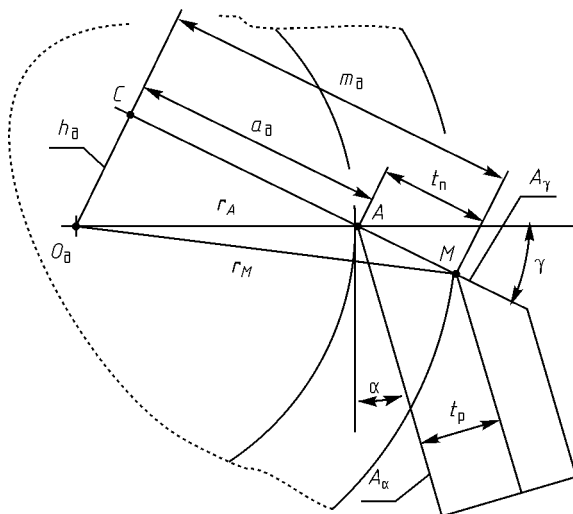


Рис. 6.2. Схема призматичного різця

3. Послідовність розрахунків :

$$h_d = r_A \sin \gamma, \quad (6.9)$$

$$m_d = (r_M^2 - h_d^2)^{1/2}, \quad (6.10)$$

$$a_d = r_A \cos \gamma, \quad (6.11)$$

$$t_n = m_d - a_d, \quad (6.12)$$

$$t_p = t_n \cos (\alpha + \gamma), \quad (6.13)$$

де  $t_n$  – глибина профілю виміряна по передній поверхні різця (не плутати з  $t_p$ ).

За наведеними формулами виконують розрахунки для всіх розрахункових точок профілю деталі.

4. Відстань  $l_{\text{різ}}$  (вздовж осі різця) між розрахунковими точками профілю фасонного різця дорівнює відстані  $l_{\text{дет}}$  (вздовж осі деталі) між відповідними точками профілю деталі.

### Приклад 6.2 (Профілювання призматичного різця).

Визначити параметри профілю призматичного фасонного різця.

*Початкові данні*

- $\alpha = 10^\circ$  прийнятий задній кут;
- $\gamma = 12^\circ$  прийнятий передній кут;
- $r_A = 30$  мм радіус деталі у базовій точці  $A$ ;
- $r_M = 33$  мм радіус деталі у довільній точці  $M$ .

*Рішення.* За формулами (6.9) ... (6.13) маємо:

|                                    |                                                                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $h_d = r_A \sin \gamma$            | $h_d = 6,24$ мм ,                                                                    |
| $m_d = (r_M^2 - h_d^2)^{1/2}$      | $m_d = 32,41$ мм ,                                                                   |
| $a_d = r_A \cos \gamma$            | $a_d = 29,34$ мм ,                                                                   |
| $t_n = m_d - a_d$                  | $t_n = 3,07$ мм ,                                                                    |
| $t_p = t_n \cos (\alpha + \gamma)$ | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>t_p = 2,85</math> мм</div> |

### 6.3. Тангенціальний фасонний різець

Розрахункова схема аналітичного профілювання тангенціального фасонного радіального різця подана на рис. 6.3 де зображено профілювання тільки для однієї довільної точки  $M$ . Профілюванні (графічні побудови) інших точок аналогічне. На рисунку умовно позначені:

- $A$  – базова точка  $A$  профілю деталі;
- $M$  – довільна точка  $M$  профілю деталі;
- $F$  – базова лінія профілювання;
- $D$  – осьовий профіль деталі.

Побудови для довільної точки  $M$  виконують у послідовності  $M \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_0$  (див. фраг. 1 на рис. 6.3). Точка  $M_3$  це проекція різальної кромки на фронтальну площину. Точка  $M_0$  це проекція точки кромки на горизонтальну площину.

Початкові параметри для профілювання:

- $\alpha$  – прийнятий задній кут;
- $\gamma$  – прийнятий передній кут;



$\varphi$  – кут нахилу базової лінії профілювання;  
 $r_A$  – радіус деталі у базовій точці  $A$  профілю;  
 $r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $M$  профілю;  
 $l_M$  – відстань вздовж осі деталі від базової точки  $A$  до довільної точки  $M$ .

Параметр, що підлягає визначенню:

$t_p$  – глибина профілю різця для розрахункової точки  $M$ .

Розрахунок профілю призматичного фасонного різця доцільно проводити у наступній послідовності.

#### 1. Послідовність розрахунків

$$m = l_M \operatorname{tg} \varphi, \quad (6.14)$$

$$n = (r_M - r_A) \operatorname{tg} \gamma, \quad (6.15)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{r_M - r_A}{m + n}, \quad (6.16)$$

$$\xi = \psi - \alpha, \quad (6.17)$$

$$g = \sqrt{(r_M - r_A)^2 + (m + n)^2}, \quad (6.18)$$

$$t_p = g \sin \xi. \quad (6.19)$$

За наведеними формулами виконують розрахунки для всіх розрахункових точок профілю деталі.

**Зауваження.** Залежно від параметрів профілю деталі та геометричних параметрів інструменту, глибина профілю  $t_p$  може мати додатній або від'ємний знак, що треба враховувати при побудові профілю різця.

2. Відстань  $l_{\text{різ}}$  (вздовж осі різця) між розрахунковими точками профілю фасонного різця дорівнює відстані  $l_{\text{дет}}$  (вздовж осі деталі) між відповідними точками профілю деталі.

### Приклад 6.3 (Профілювання тангенціального різця).

Визначити параметри профілю фасонного тангенціального різця.

*Початкові данні*

|                      |                                                                           |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha = 3^\circ$   | прийнятий задній кут;                                                     |
| $\gamma = 20^\circ$  | прийнятий передній кут;                                                   |
| $\varphi = 30^\circ$ | кут нахилу базової лінії профілювання;                                    |
| $r_A = 30$ мм        | радіус деталі у базовій точці профілю $A$ ;                               |
| $r_M = 33$ мм        | радіус деталі у розрахунковій точці $M$ .                                 |
| $l_M = 15$ мм        | відстань вздовж осі деталі від базової точки $A$ до довільної точки $M$ . |

*Рішення.* За формулами (6.14) ... (6.19) маємо:

|                                                    |                        |
|----------------------------------------------------|------------------------|
| $m = l_M \operatorname{tg} \varphi$                | $m = 8,66$ мм ,        |
| $n = (r_M - r_A) \operatorname{tg} \gamma$         | $n = 1,09$ мм ,        |
| $\operatorname{tg} \psi = \frac{r_M - r_A}{m + n}$ | $\psi = 17,10^\circ$ , |
| $\xi = \psi - \alpha$                              | $\xi = 14,10^\circ$ ,  |
| $g = \sqrt{(r_M - r_A)^2 + (m + n)^2}$             | $g = 10,20$ мм ,       |
| $t_p = g \sin \xi$                                 | $t_p = 2,49$ мм        |

Отже, глибина профілю різця у розрахунковій точці становить  $t_p = 2,49$  мм відносно базової лінії *Б.Л.*

### **Питання для самоконтролю**

1. Які початкові дані необхідно мати для аналітичного профілювання круглого фасонного різця?
2. Які початкові дані необхідно мати для аналітичного профілювання призматичного фасонного різця?
3. Які початкові дані необхідно мати для аналітичного профілювання тангенціального фасонного різця?
4. У якому перерізі аналітично розраховують профіль різця?
5. Що таке “базова точка” профілю?
6. Чи залежить профіль різця від величини переднього кута?
7. Чи залежить профіль різця від величини заднього кута?
8. У яких межах приймають величину переднього кута фасони різців?
9. У яких межах можливе існування задніх тів фасонних різців?
10. Яку величину заднього кута тангенціального різця доцільно приймати?

## 7. ЗАМІНА ДУГИ ЧАСТИНОЮ КОЛА

Профіль різальної кромки фасонного різця ніколи не збігається з профілем деталі. Це призводить до того, що у випадку коли профіль деталі описано частиною кола – відповідна ділянка кромки різця має складний криволінійний профіль.

Виготовлення таких різців досить дороге, тому криволінійну ділянку різальної кромки замінюють частиною кола.

### 7.1. Загальний випадок

Нижче подано узагальнені методики визначення параметрів кола, що проходить через три довільні точки.

#### 7.1.1. Графічний метод

Методика графічної проведення кола через три точки подана на рис. 7.1. Дуга кола, що замінює криволінійний профіль різальної кромки обов'язково проходить через реперні точки 1, 2 та 3.

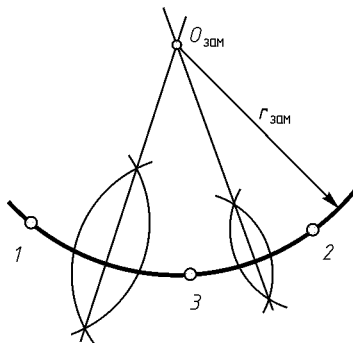


Рис. 7.1. Графічна заміна дуги

#### 7.1.2. Аналітичний метод

1. Аналітичний розрахунок радіусу кола  $r_{\text{зам}}$  можливо виконати за двома варіантами у такій послідовності.

Початок системи координат  
розташовано довільно

$$a = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (7.1)$$

$$b = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2} \quad (7.2)$$

$$c = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2} \quad (7.3)$$

Початок системи координат  
розташовано в точці  $I$  рис. 7.1

$$a = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \quad (7.4)$$

$$b = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2} \quad (7.5)$$

$$c = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \quad (7.6)$$

$$p = \frac{1}{2} (a + b + c) , \quad (7.7)$$

$$r_{\text{зам}} = \frac{a b c}{4 \sqrt{p (p - a) (p - b) (p - c)}} . \quad (7.8)$$

2. Координати  $x_0$  та  $y_0$  центру кола, що замінює дугу можливо розрахувати за спрощеними математичними залежностями:

$$\cos \mu = \frac{a}{2r_{\text{зам}}} , \quad (7.9)$$

$$\sin \delta = \frac{y_1 - y_2}{a} , \quad (7.10)$$

$$x_0 = x_1 + r_{\text{зам}} \cos (\mu - \delta) , \quad (7.11)$$

$$y_0 = y_1 + r_{\text{зам}} \sin (\mu - \delta) . \quad (7.12)$$

Через те, що формули спрощені, знак координати  $y_0$  необхідно коригувати "вручну", залежно від взаємної орієнтації реперних точок. Тобто, треба дивитись на кресленик і вирішувати де саме може бути розташований центр ( $x_0$  та  $y_0$ ) кола – зверху, чи знизу.

**Порада 1.** Для того щоб не припуститись помилки доцільно просто накреслити положення реперних точок і залежно від їх взаємного розташування вирішити де має бути центр кола, що проходить через ці точки.

**Порада 2.** Для розрахунку параметрів замінюючого кола доцільно застосовувати варіант, коли початок координат збігається з точкою  $I$  рис. 7.1

### Приклад 7.1 (Розрахунок заміняючого кола).

Визначимо параметри кола, що проходить через три реперні точки.

*Початкові дані:*

- $x_1(1; 1)$  координати першої реперної точки дуги;
- $x_2(5; 2)$  координати другої реперної точки дуги;
- $x_3(3; -1)$  координати точки посередині дуги.

*Рішення*

$$\begin{aligned}a &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} & a &= 4,12 \text{ мм}, \\b &= \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2} & b &= 3,61 \text{ мм}, \\c &= \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2} & c &= 2,83 \text{ мм}, \\p &= \frac{1}{2}(a + b + c) & p &= 5,28 \text{ мм}, \\r_{\text{зам}} &= \frac{abc}{4\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}}. & r_{\text{зам}} &= 2,104 \text{ мм}\end{aligned}$$

Отже, радіус кола яке пройде через три реперні точки становить  $r_{\text{зам}} = 2,104$  мм.

### 7.1.3. Особливі випадки

Нижче подано методики аналітичного визначення параметрів кола що проходить через дві реперні точки розташовані за особливих умов розташування [2].

### Симетричний профіль

Взаємне розташування реперних точок є симетричне (рис. 7.2,а).

*Початкові параметри:*

- $x_0$  – половина ширини дугового профілю;
- $h$  – висота дугового профілю.

Радіус  $R$  кола яке проходить через реперні точки можливо визначити за формулами

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{x_0}, \quad (7.13)$$

$$R = \frac{x_0}{\sin 2\beta}. \quad (7.14)$$

Положення центру кола розташовано симетрично відносно реперних точок 1 та 2.

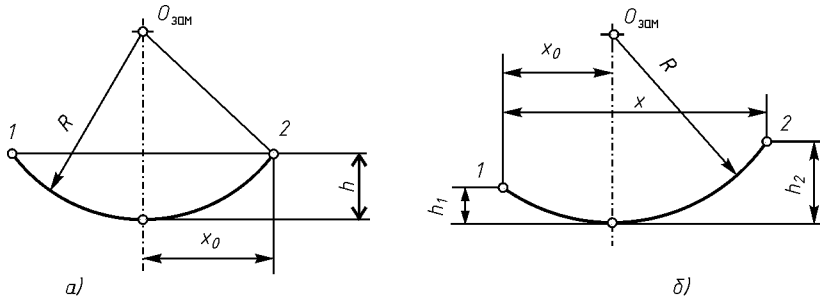


Рис. 7.2. Типові варіанти профілю

### Приклад 7.2 (Симетричний профіль).

Визначити параметри кола яке проходить через дві симетричні реперні точки.

*Початкові параметри*

$x_0 = 2,0$  половина ширини дугового профілю;

$h = 1,0$  висота дугового профілю.

*Рішення:*

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{x_0}$$

$$\beta = 26,57^\circ,$$

$$R = \frac{x_0}{\sin 2\beta}$$

$$R = 2,50 \text{ мм}$$

### Несиметричний профіль

Взаємне розташування реперних точок є несиметричне (рис. 7.2,б).

Початкові параметри:

$x$  – ширина дугового профілю;

$h_1$  – менша висота крайньої реперної точки профілю;

$h_2$  – більша висота крайньої реперної точки профілю.

Параметри що підлягають визначенню:

$R$  – радіус кола яке проходить через три реперні точки;;

$x_0$  – положення центру кола відносно точки з меншою висотою. В даному прикладі це реперна точка 1;

Послідовність рішення:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_2 - h_1}{x}, \quad (7.15)$$

$$A = 2\sqrt{h_1 h_2} \cos \beta, \quad (7.16)$$

$$R = \frac{h_1 + h_2 - A}{2 \sin^2 \beta}, \quad (7.17)$$

$$x_0 = \sqrt{h_1 (2R - h_1)}. \quad (7.18)$$

### Приклад 7.3 (Несиметричний профіль).

Визначити параметри кола, яке проходить через три несиметричні реперні точки.

*Початкові дані:*

$x = 4,0$  ширина дугового профілю;

$h_1 = 2,0$  менша висота крайньої точки 1 профілю;

$h_2 = 3,0$  більша висота крайньої точки 2 профілю.

*Рішення:*

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_2 - h_1}{x} \quad \beta = 14,036^\circ,$$

$$A = 2\sqrt{h_1 h_2} \cos \beta \quad A = 4,753 \text{ мм},$$

$$R = \frac{h_1 + h_2 - A}{2 \sin^2 \beta} \quad R = 2,102 \text{ мм}$$

$$x_0 = \sqrt{h_1 (2R - h_1)} \quad x_0 = 2,099 \text{ мм}$$

Порівняйте отримані результати з результатами прикладу 7.1 на с. 99. Отримана розбіжність в останньому знаку пояснюється округленням числових значень під час обчислення.

### **Питання для самоконтролю**

1. Чому виконують заміну дуги профілю різця частиною кола?
2. Через яку кількість точок має проходити дуга кола?
3. Яку точку кривої профілю необхідно прийняти за початок координат?
4. Чи є достатнім наявність трьох точок профілю, щоб виконати заміну профілю частиною дуги?
5. Чи можна вибирати початок системи координат довільно?
6. Як графічно визначити коло що проходить через три точки?
7. Який методи дає більш точні результати, графічний чи аналітичний?

## 8. ГЕОМЕТРІЯ ФАСОННИХ РІЗЦІВ

Геометричні параметри фасонних різців значно відрізняється від геометрії звичайних токарних різців. Це обумовлено:

- значною довжиною активної ділянки різальної кромки;
- фасонним профілем деталі.

Передні та задні кути звичайного токарного різця утворюють заточуванням його робочих поверхонь під відповідними кутами.

На відміну від них, передні та задні кути фасонних різців утворюються за рахунок спеціальної установки (спеціального розташування) різця відносно деталі.

### 8.1. Круглий радіальний різець

Прийняті при проектуванні значення переднього і заднього кутів є тільки розрахунковими і відносяться тільки до, так званої, базової точки. Базова точка (точка  $A$ ), це точка профілю деталі для якої призначають геометричні параметри. У всіх інших точках кромки різця геометричні параметри будуть іншими.

Розглянемо рис. 8.1 на якому зображено:

- $A$  – вершинна точка різця;
- $\vec{v}$  – вектор швидкості різання у точці ( $A$  або  $M$ );
- $\vec{k}$  – вектор дотичний до задньої поверхні (поверхня обертання) у точці ( $A$  або  $M$ );
- $A_\gamma$  – передня поверхня різця;
- $A_\alpha$  – задня поверхня різця;
- $h$  – підйом осі різця над віссю деталі.

Для точки  $A$  (рис. 8.1,*а*), яка розташована на горизонтальній осі деталі, вектор швидкості  $\vec{v}$  орієнтований перпендикулярно до лінії  $O_dA$ . Тому передній і задній статичні кути дорівнюють прийнятим розрахунковим значенням.

Зовсім інші величина кутів для точки  $M$  (рис. 8.1,*б*), яка розташована на деякій відстані від вершини різця.

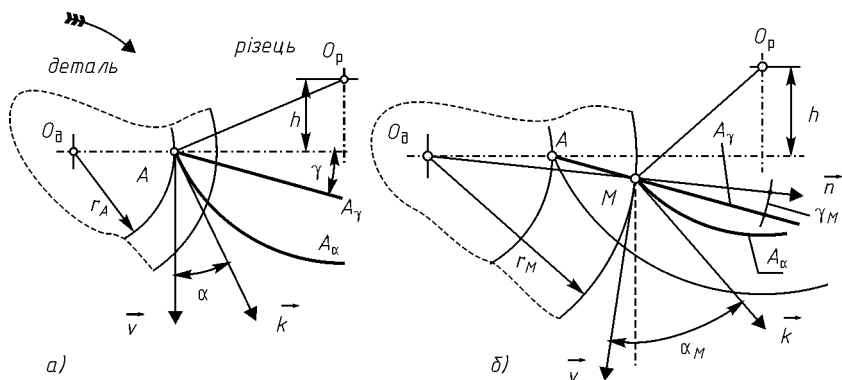


Рис. 8.1. Геометричні параметри круглого різця

Вектор  $\vec{v}$  розташований перпендикулярно до відрізка  $\overline{O_d M}$  і має відхилення від вертикалі. Вектор  $\vec{k}$  дотичний до задньої поверхні різця в точці  $M$  перпендикулярний до лінії  $\overline{MO_p}$ . Наслідком цього стало збільшення заднього статичного кута  $\alpha_M$ . Одночасно передній кут  $\gamma_M$  між вектором  $\vec{n}$  і передньою поверхнею  $A_\gamma$  став меншим.

### Аналітика геометрії

Передні та задні кути у довільній точці різальної кромки можна визначити у такій послідовності.

1. Передній кут для круглого<sup>12</sup> фасонного різця в довільній точці  $M$  різальної кромки можливо визначити за розрахунковою схемою представленою на рис. 8.2.

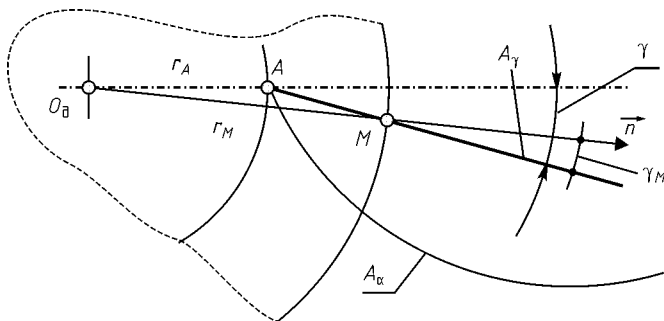


Рис. 8.2. Передні кути круглого різця

<sup>12</sup> Для призматичного різця буде та ж сама схема.

Прийняті параметри та позначення:

- $\gamma$  – прийнятий розрахунковий передній кут різця;
- $\gamma_M$  – передній статичний кут різця у довільній точці  $M$  різальної кромки;
- $r_A$  – радіус деталі у базовій точці  $A$  її профілю;
- $r_M$  – радіус деталі у довільній розрахунковій точці  $M$  деталі (кромки);

1.1. За теоремою синусів можливо скласти співвідношення

$$\frac{\sin \gamma_M}{r_A} = \frac{\sin \beta}{r_M}, \quad (8.1)$$

де  $\beta = 180^\circ - \gamma$ . Звідки остаточно маємо

$$\sin \gamma_M = \frac{r_A}{r_M} \sin \beta. \quad (8.2)$$

2. Аналітичне визначення заднього кута дещо складніше<sup>13</sup>. Розрахункова схема визначення заднього кута у довільній точці різальної кромки подана на рис. 8.3.

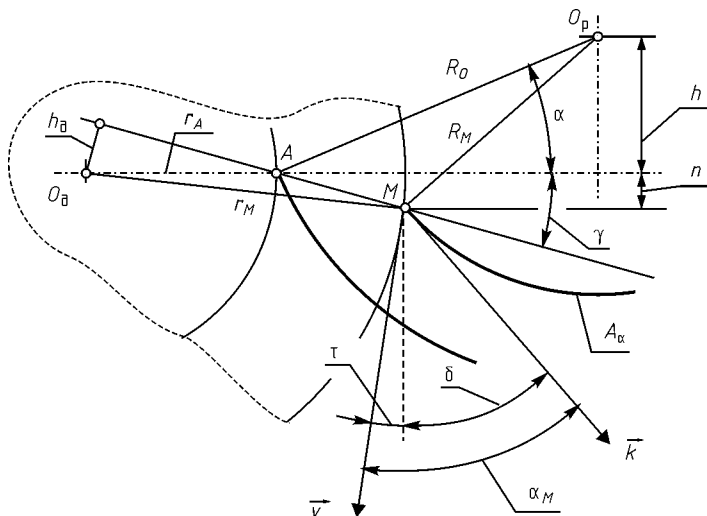


Рис. 8.3. Задні кути круглого різця

<sup>13</sup> Для призматичного різця інші залежності.

Прийняті позначення та параметри:

- $\gamma$  – прийнятий розрахунковий передній кут різця;
- $\alpha_M$  – задній статичний кут різця у довільній точці  $M$  різальної кромки;
- $r_A$  – радіус деталі у базовій точці  $A$  її профілю;
- $r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $M$  кромки;
- $h$  – підйом осі різця відносно осі деталі;
- $t_n$  – глибина профілю у передній площині різця (відрізок  $AM$ );
- $\vec{k}$  – вектор дотичний до задньої поверхні різця у довільній точці  $M$ ;
- $\vec{v}$  – вектор швидкості у точці  $M$ .

2.1. Отже, відповідно до прийнятої розрахункової схеми задній статичний кут  $\alpha_M$  у довільній точці  $M$  різальної кромки становить

$$\alpha_M = \tau + \delta. \quad (8.3)$$

2.2. Кут  $\tau$  можливо визначити у такій послідовності:

$$h_d = r_A \sin \gamma, \quad (8.4)$$

$$m_d = \sqrt{r_M^2 - h_d^2}, \quad (8.5)$$

$$a_d = r_A \cos \gamma, \quad (8.6)$$

$$t_n = m_d - a_d. \quad (8.7)$$

За теоремою синусів можливо записати

$$\frac{\sin \beta}{r_M} = \frac{\sin \tau}{t_n}, \quad (8.8)$$

де  $\beta = 180^\circ - \gamma$ . Звідки кут  $\tau$  визначимо як

$$\sin \tau = \frac{t_n}{r_M} \sin \beta. \quad (8.9)$$

2.3. Кут  $\delta$  визначимо у такій послідовності

$$h = R_o \sin \alpha, \quad (8.10)$$

$$n = r_M \sin \tau, \quad (8.11)$$

$$\sin \delta = \frac{h + n}{R_M}. \quad (8.12)$$

де  $R_o$  – зовнішній радіус різця у базовій точці;  
 $R_M$  – радіус різця у довільній точці  $M$ .

3. Нагадаємо, що задній статичний кут  $\alpha_M$  у довільній точці  $M$  різальної кромки круглого фасонного різця становить

$$\alpha_M = \tau + \delta. \quad (8.13)$$

Отже, чим далі від базової точки  $A$  розташована досліджувана точка  $M$ , тим більшу величину має задній статичний кут  $\alpha_M$ .

### Приклад 8.1 (Задній статичний кут).

Визначимо задній кут  $\alpha_M$  у довільній точці  $M$  різальної кромки круглого фасонного різця.

*Початкові данні:*

$\gamma = 12^\circ$  прийнятий передній кут;

$\alpha = 10^\circ$  прийнятий задній кут;

$r_M = 33$  мм радіус деталі у довільній точці  $M$ ;

$r_A = 30$  мм радіус деталі у базовій точці  $A$ ;

$R_o = 35$  мм габаритний радіус різця;

$R_M = 32,17$  мм радіус різця у довільній точці  $M$ .

*Рішення.* За формулами (8.4) ... (8.12) маємо:

$$\begin{aligned} h_d &= r_A \sin \gamma, & h_d &= 6,24 \text{ мм}, \\ m_d &= \sqrt{r_M^2 - h_d^2}, & m_d &= 32,41 \text{ мм}, \\ a_d &= r_A \cos \gamma, & a_d &= 29,34 \text{ мм}, \\ t_n &= m_d - a_d, & t_n &= 3,06 \text{ мм}, \\ \beta &= 180^\circ - \gamma, & \beta &= 168^\circ, \\ \sin \tau &= \frac{t_n}{r_M} \sin \beta, & \tau &= 1,11^\circ, \\ h &= R_o \sin \alpha, & h &= 6,08 \text{ мм}, \\ n &= r_M \sin \tau, & n &= 0,64 \text{ мм}, \\ \sin \delta &= \frac{h + n}{R_M}, & \delta &= 12,05^\circ, \\ \alpha_M &= \tau + \delta, & \alpha_M &= 13,15^\circ \end{aligned}$$

Нагадаємо, що прийнятий задній кут  $\alpha$  становив лише  $10^\circ$ .

## 8.2. Призматичний радіальний різець

Прийняті при проектуванні значення переднього і заднього кутів є тільки розрахунковими і відносяться тільки до, так званої, базової точки  $A$  (рис. 8.4). Базова точка, це точка профілю деталі для якої призначають геометричні параметри. У всіх інших точках кромки різця геометричні параметри будуть іншими.

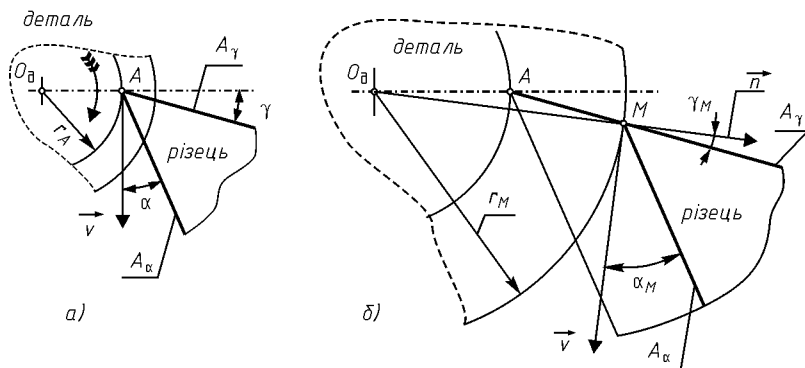


Рис. 8.4. Геометрія призматичного різця

Розглянемо рис. 8.4 на якому зображено:

- $A$  – вершинна точка різця (базова точка);
- $\vec{v}$  – вектор швидкості різання у точці ( $A$  або  $M$ );
- $A_\gamma$  – передня поверхня різця;
- $A_\alpha$  – задня поверхня різця.

Для точки  $A$  (рис. 8.4,а), яка розташована на горизонтальній осі деталі, вектор швидкості  $\vec{v}$  перпендикулярний до лінії  $O_d A$  орієнтований вертикально. Тому передній і задній статичні кути дорівнюють прийнятим розрахунковим значенням.

Зовсім інші величина кутів для точки  $M$  (рис. 8.4,б), яка розташована на деякій відстані від вершини різця.

Вектор швидкості  $\vec{v}$  розташований перпендикулярно до відрізка  $O_d M$  і має відхилення від вертикалі. Наслідком цього стало збільшення заднього статичного кута  $\alpha_M$ . Одночасно передній кут  $\gamma_M$  між вектором  $\vec{n}$  (нормальним до обробленої поверхні деталі) і передньою поверхнею  $A_\gamma$  інструменту став меншим ніж було прийнято при розрахунках.

## Аналітика геометрії

Передній кут призматичного фасонного різця у довільній точці різальної кромки можливо визначити за тією ж методикою що і для круглого фасонного різця (розділ "Аналітика геометрії" на с. 104).

Задній кут  $\alpha$  у довільній точці  $M$  для призматичного фасонного токарного різця визначимо за схемою поданою на рис. 8.5.

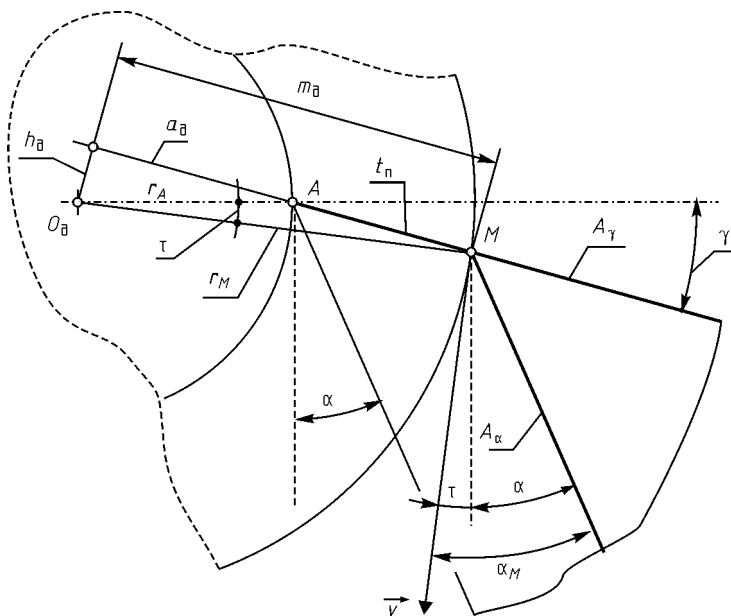


Рис. 8.5. Задні кути призматичного різця

### 1. Прийняті позначення та параметри:

- $A_\gamma$  – передня поверхня призматичного різця;
- $A_\alpha$  – задня фасонна поверхня призматичного різця;
- $\gamma$  – прийнятий розрахунковий передній кут;
- $\alpha$  – прийнятий задній розрахунковий кут;
- $\alpha_M$  – Задній кут у довільній точці  $M$  різальної кромки;
- $r_A$  – радіус деталі у базовій точці профілю;
- $r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $M$  профілю.

2. Отже, відповідно до прийнятої розрахункової схеми задній статичний кут  $\alpha_M$  у довільній точці  $M$  різальної кромки становить

$$\alpha_M = \tau + \alpha. \quad (8.14)$$

3. Кут  $\tau$  можливо визначити у такій послідовності:

$$h_d = r_A \sin \gamma, \quad (8.15)$$

$$m_d = \sqrt{r_M^2 + h_d^2}, \quad (8.16)$$

$$a_d = r_A \cos \gamma, \quad (8.17)$$

$$t_n = m_d - a_d, \quad (8.18)$$

$$\beta = 180^\circ - \gamma. \quad (8.19)$$

За теоремою синусів можливо записати

$$\frac{\sin \beta}{r_M} = \frac{\sin \tau}{t_n} \quad (8.20)$$

де  $\beta = 180^\circ - \gamma$ . Звідки кут  $\tau$  визначимо як

$$\sin \tau = \frac{t_n}{r_M} \sin \beta. \quad (8.21)$$

4. Нагадаємо, що задній статичний кут  $\alpha_M$  у довільній точці  $M$  різальної кромки призматичного фасонного різця становить

$$\alpha_M = \tau + \alpha. \quad (8.22)$$

Отже, можливо стверджувати, що чим далі від базової точки  $A$  розташована досліджувана точка  $M$ , тим більшу величину має задній статичний кут  $\alpha_M$ .

### Приклад 8.2 (Задній кут).

Визначимо задній кут  $\alpha_M$  у довільній точці  $M$  різальної кромки призматичного фасонного різця.

*Початкові данні:*

$\gamma = 12^\circ$  прийнятий передній кут;

$\alpha = 10^\circ$  прийнятий задній кут;

$r_M = 33$  мм радіус деталі у довільній точці  $M$ ;

$r_A = 30$  мм радіус деталі у базовій точці  $A$ ;

Рішення:

$$\begin{aligned}
 h_d &= r_A \sin \gamma, & h_d &= 6,24 \text{ мм}, \\
 m_d &= \sqrt{r_M^2 + h_d^2}, & m_d &= 32,41 \text{ мм}, \\
 a_d &= r_A \cos \gamma, & a_d &= 29,34 \text{ мм}, \\
 t_n &= m_d - a_d, & t_n &= 3,07 \text{ мм}, \\
 \beta &= 180^\circ - \gamma, & \beta &= 168^\circ, \\
 \sin \tau &= \frac{t_n}{r_M} \sin \beta, & \tau &= 1,11^\circ, \\
 \alpha_M &= \tau + \alpha, & \alpha_M &= 11^\circ 11'.
 \end{aligned}$$

Отже, чим далі від вершини призматичного різця – тим більшим буде задній статичний кут.

### 8.3. Тангенціальний різець

Геометричні параметри призматичного тангенціального різця змінюються не тільки вздовж різальної кромки, але і в процесі різання, що значно ускладнює їх призначення.

Розглянемо рис. 8.6 на якому зображено:

$\vec{v}$  – вектор швидкості різання у точці ( $A$  або  $M$ );

$\vec{n}$  – вектор нормалі до обробленої поверхні;

$A_\gamma$  – передня поверхня різця;

$A_\alpha$  – задня поверхня різця;

$ПП$  – початкове положення різця;

$КП$  – кінцеве положення різця.

У початковий момент оброблення деталі (рис. 8.6,а положення  $ПП$ ), коли вершина різця тільки торкається зовнішнього діаметру деталі задній статичний кут  $\alpha_n$  має найбільшу величину. У цей же момент передній статичний кут  $\gamma_n$  (початковий) має найменшу величину.

У кінцевий момент оброблення деталі (рис. 8.6,б положення  $КП$ ) задній статичний кут  $\alpha_k$  найменший і дорівнює прийнятому розрахунковому. В той же момент передній кут  $\gamma_k$  (кінцевий) буде найбільшим і рівним прийнятому розрахунковому.

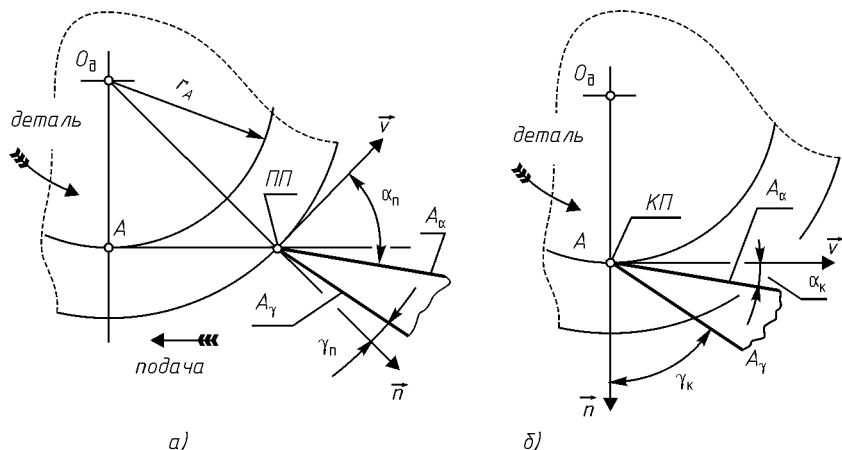


Рис. 8.6. Геометрія тангенціального різця:  
 а – початок роботи інструмента;  
 б – кінець роботи інструмента

**Зауваження.** Передній та задній кути тангенціального фасонного різця, мають значення прийняті при розрахунках, тільки в кінцевий момент оброблення деталі.

### Передній кут

Передній кут  $\gamma$  тангенціального різця приймають найбільшим із рекомендованих довідковою літературою. Це обумовлено тим, що на початку роботи різця, коли він тільки врізається у деталь, передній статичний кут буде мінімальним.

Потім, по мірі подальшого врізання у деталь він буде збільшуватись (градусів на 20...30 більше). Але на самому початку його величина мінімальна. Саме через це його і призначають найбільшим допустимим.

### Задній кут

Для заднього кута  $\alpha$  тангенціального різця все навпаки. Задній кут для тангенціального різця приймають найменшим із можливих, зазвичай 2,5...3°. Це обумовлено тим, що у початковий момент врізання різця в деталь величина статичного заднього кута буде на 20...30° більше ніж прийнятий.

У мірі врізання в деталь значення статичного заднього кута буде поступово зменшуватись, поки не зрівняються із величиною прийнятого при проектуванні інструмента заднього розрахункового кута.

## Аналітика геометрії

Нагадаємо, що розташування передніх та задніх кути тангенціаль-ного фасонного різця відрізняється від радіальних різців. Одночасно треба мати на увазі, що у тангенціальних різців відбувається значна зміна величин кутів під час роботи інструменту.

1. З рис. 8.6,б видно, що у кінцевий момент формування точки профілю деталі, передній  $\gamma_k$  та задній  $\alpha_k$  статичні кути дорівнюють значенням  $\gamma$  та  $\alpha$  прийнятим при розрахунках.

2. Задній та передній кути у початковий момент оброблення деталі визначимо за розрахунковою схемою наведеною на рис. 8.7.

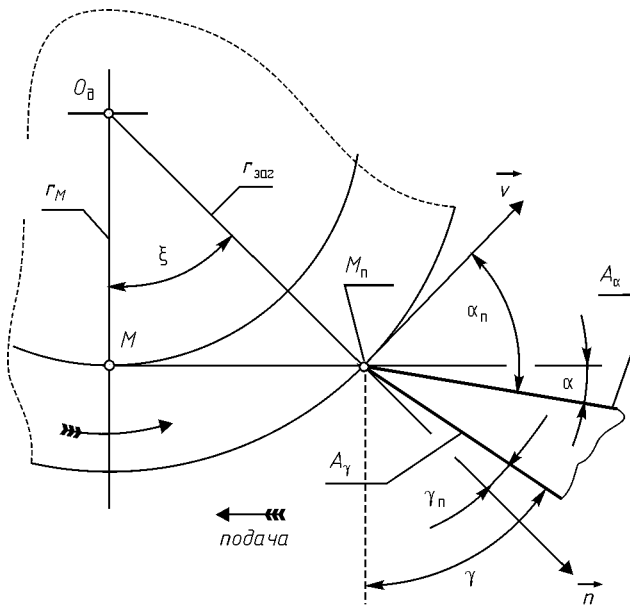


Рис. 8.7. Схема геометрії тангенціального різця

Прийняті позначення та параметри:

$M$  – довільна точка профілю;

$M_{\Pi}$  – точка кромки різця на початку оброблення;

$\alpha$  – прийнятий для розрахунків задній кут;

$\gamma$  – прийнятий для розрахунків передній кут;

$\alpha_{\text{п}}$  – задній статичний кут на початку оброблення;

$\gamma_{\text{п}}$  – передній статичний кут на початку оброблення;

$r_M$  – радіус деталі у довільній точці  $r_M$  профілю;

$r_{\text{заг}}$  – радіус заготовки.

3. Отже, відповідно до прийнятої розрахункової схеми задній статичний кут  $\alpha_{\text{п}}$  у початковий момент формоутворення (оброблення) для довільної точки  $M$  становить

$$\alpha_{\text{п}} = \alpha + \xi. \quad (8.23)$$

4. Так само, передній статичний кут  $\gamma_{\text{п}}$  у початковий момент формоутворення (оброблення) для довільної точки  $M$  становить

$$\gamma_{\text{п}} = \gamma - \xi. \quad (8.24)$$

5. Кут  $\xi$  можливо визначити як

$$\cos \xi = \frac{r_M}{r_{\text{заг}}}. \quad (8.25)$$

## Висновки

З аналізу отриманих графічних побудов та математичних залежностей можливо зробити наступні висновки.

### Передній кут

При призначенні переднього кута для тангенціального фасонного різця необхідно приймати найбільші із рекомендованих значень.

Це ґрунтується на тому, що після початку процесу оброблення, передній статичний кут тангенціального різця буде значно менший за прийнятий.

### Задній кут

При призначенні заднього кута для тангенціального фасонного різця необхідно приймати найменші із рекомендованих значень.

Це ґрунтується на тому, що на початку процесу оброблення, задній статичний кут тангенціального різця буде значно більший за розрахунковий.

**Приклад 8.3** (Початкові кути різання).

Приймемо такі розрахункові значення:

$$\begin{array}{ll} r_M = 30 \text{ мм}, & r_{\text{заг}} = 35 \text{ мм}, \\ \alpha = 3^\circ, & \gamma = 35^\circ. \end{array}$$

Тоді у початковий момент оброблення отримаємо:

$$\alpha_{\text{п}} = 34^\circ, \quad \gamma_{\text{п}} = 4^\circ,$$

що суттєво відрізняється від прийнятих значень  $\alpha = 3^\circ$  та  $\gamma = 35^\circ$ .

Перед тим, як остаточно призначити кути різання, доцільно перевірити їх значення у початковий момент роботи інструмента.

## 8.4. Епюри задніх кутів

Епюри розподілу задніх кутів дозволяють наочно провести аналіз характеру розподілу кутів вздовж різальної кромки інструменту. Виведемо математичні залежності для розрахунку задніх кутів у головній січній площині. Розглянемо рис. 8.8,а.

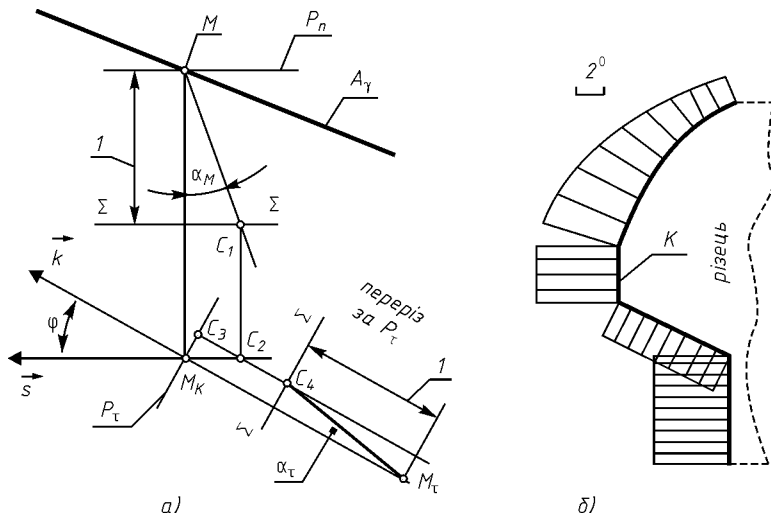


Рис. 8.8. Епюри задніх кутів

Прийняті позначення та параметри:

- $M$  – розрахункова точка різальної кромки;
- $A_f$  – передня площина (її слід);
- $P_n$  – основна площина
- $\Sigma$  – площина паралельна до основної площини;
- $\vec{k}$  – вектор дотичний до різальної кромки в розрахунковій точці;
- $\vec{s}$  – вектор напрямку подачі інструменту;
- $\varphi$  – кут між напрямом подачі і дотичною до різальної кромки (детально див. рис. 4.4 на с. 60).

Точка  $M$  належить різальній кромці у фронтальній площині (пряма  $A_f$  слід передньої поверхні). Точка  $M_K$  лежить у горизонтальній

площин, а точка  $M_\tau$  належить головній січній площині. Їх побудову виконують у послідовності  $M \Rightarrow M_K \Rightarrow M_\tau$ .

Отже, задній кут  $\alpha_\tau$  у головній січній площині можливо наближено<sup>14</sup> визначити за такою математичною залежністю

$$\operatorname{tg} \alpha_\tau = \operatorname{tg} \alpha_M \sin \varphi, \quad (8.26)$$

де  $\alpha_M$  – задній кут у розрахунковій точці:

- для круглого фасонного різця визначений за розділом 8.1 на с. 103;
- для призматичного фасонного різця визначений за розділом 8.2 на с. 108;
- для тангенціального фасонного різця прийнятий для всіх розрахункових точок  $3^\circ$ .

$\varphi$  – кут між напрямом подачі і дотичною до різальної кромки (за рис. 4.4 на с. 60).

### Епюра кутів

На рис 8.8,б наведено приклад зображення епюри задніх кутів  $\alpha_\tau$  кутів для фасонного різця.

Крива  $K$  це різальна кромка. На практиці замість профілю різальної кромки у передній площині, можливо викреслити профіль інструменту у його нормальному перерізі.

Позначка  $2^\circ$  – це масштаб. Тобто масштаб кутових величин відкладений у лінійному вимірі. На епюрі відрізок значення кута відкладають по нормалі до різальної кромки.

### Приклад 8.4 (Епюра задніх кутів).

Розрахуємо величини задніх кутів  $\alpha_\tau$  у головних січних площинах для різних точок кромки різця<sup>15</sup>.

*Початкові дані:*

$\alpha_M = 12^\circ$  задній кут у довільній точці різальної кромки.

$\varphi = \dots$  ряд значень кута між напрямом подачі та дотичною до кромки (рис. 4.4 на с. 60).

*Рішення*

<sup>14</sup>З похибкою у межах 0,5 відсотка.

<sup>15</sup>Нагадаємо, що в кожній точці кромки своя головна січна площина.

Пошук значень задніх кутів  $\alpha_{\tau}$  виконаємо за залежністю:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\tau} = \operatorname{tg} \alpha_M \sin \varphi. \quad (8.27)$$

Результати розрахунків наступні:

|                   |          |          |         |
|-------------------|----------|----------|---------|
| $\varphi^{\circ}$ | 30       | 15       | 7       |
| $\alpha_{\tau}$   | 6°03'59" | 3°08'56" | 1°29'2" |

#### Висновки

За отриманими результатами можливо зробити висновок, що інструмент буде непрацездатний, так як починаючи з ділянки різальної кромки де кут  $\varphi = 15^{\circ}$  значення заднього кута  $\alpha_{\tau}$  у головних січних площинах будуть меншими за допустимі  $3^{\circ}$ .

Якщо таке сталось, то мабуть при початковому призначенні кутів на етапі проектування інструменту були прийняті занадто малі величини задніх кутів<sup>16</sup>.

<sup>16</sup>Це не відноситься до тангенціальних різців. Адже в них, у процесі роботи, кути зазнають зміни на  $\pm 20 \dots 30^{\circ}$ .

## Питання для самоконтролю

1. Перелічить типи фасонних різців
2. Типи радіальних фасонних різців?
3. Типи призматичних фасонних різців?
4. Форма задньої поверхні круглого радіального фасонного різця?
5. Форма передньої поверхні фасонних токарних різців?
6. Чим відрізняються радіальні різці від тангенціальних?
7. Конструктивні елементи призматичного різця?
8. Конструктивні елементи круглого різця?
9. Конструктивні елементи тангенціального різця?
10. Методи профілювання фасонних інструментів?
11. Покажіть передній статичний кут у довільній точці кромки.
12. Покажіть задній статичний кут у довільній точці кромки.
13. Чому дорівнює інструментальний передній кут різця?
14. Чому дорівнює інструментальний задній кут круглого радіального фасонного різця?
15. Чому дорівнює задній інструментальний кут призматичного радіального фасонного різця?
16. За рахунок чого утворюється задній статичний кут призматичного фасонного різця?
17. За рахунок чого утворюється задній статичний кут круглого різця?
18. Чи змінюється передній статичний кут фасонного радіального різця вздовж різальної кромки?
19. Чи змінюється задній статичний кут фасонного радіального різця вздовж різальної кромки?

## Посилання

1. Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну / В. І. Солодкий, О. А. Плівак, Ю. І. Адаменко, Н. В. Мініцька. – Київ: Політехніка, 2020. – 225 с.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33069>
2. Солодкий, В. І. Проектування металорізальних інструментів [Електронний ресурс] : навчальний посібник / В. І. Солодкий, О. А. Плівак, С. В. Майданюк – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 170 с.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27532>
3. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти. Проектування. / М. Л. Кукляк, І. С. Афтаназів, І. І. Юрчишин. – Львів: Львівська політехніка, 2003. – 556 с.
4. Солодкий В. І. Основи проектування різального інструмента. Частина 1 / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Київ: Політехніка, 2020. – 220 с.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37258>
5. Солодкий В. І. Основи проектування різального інструмента. Частина 2 / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Київ: Політехніка, 2021. – 178 с.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/39956>
6. Солодкий В. І. Основи формоутворення поверхонь різанням / В. І. Солодкий, Д. О. Красновид, О. А. Плівак. – Київ: Політехніка, 2019. – 440 с.  
<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27531>

Електронне мережне видання

Солодкий Валерій Іванович

## ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

### РІЗЦІ ТОКАРНІ

(друга редакція)

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”  
Київ – 2023 р.