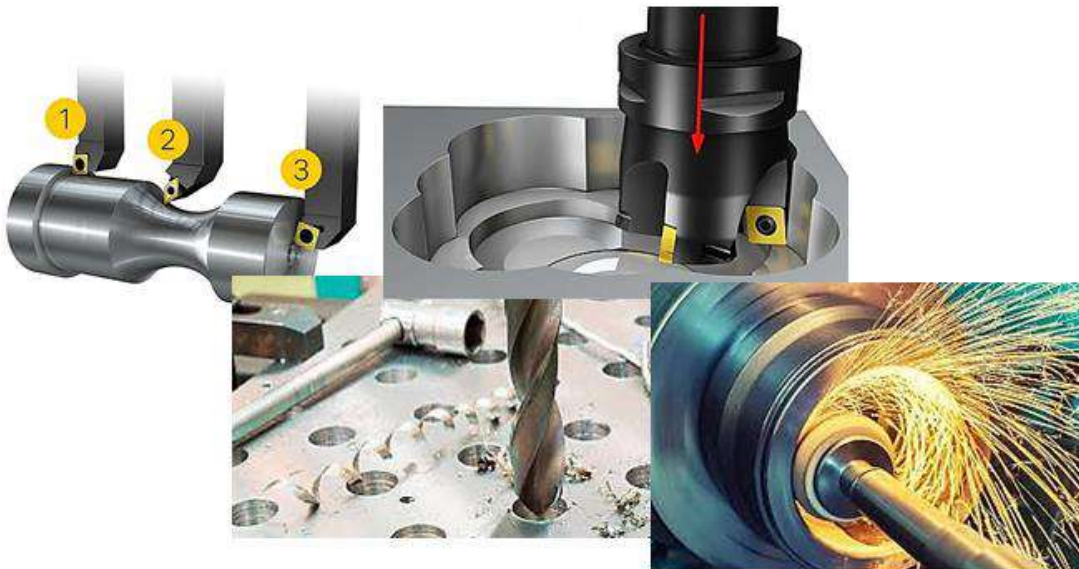


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Є. В. Островерх, В. О. Федорович, Л. І. Пупань

ІНСТРУМЕНТИ ТА РЕЖИМИ РІЗАННЯ
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОБРОБЛЕННЯ
МАТЕРІАЛІВ

Навчальний посібник



Харків
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Є. В. Островерх, В. О. Федорович, Л. І. Пупань

ІНСТРУМЕНТИ ТА РЕЖИМИ РІЗАННЯ
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОБРОБЛЯННЯ
МАТЕРІАЛІВ

Навчальний посібник

для студентів
спеціальності «Прикладна механіка»
денної, заочної та дистанційної форм навчання

Затверджено
редакційно-
видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 16.02.2023 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

УДК 621.7.073

О77

Рецензенти:

Ф. В. Новіков, д-р техн. наук, проф., Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця;

Л. П. Калафатова, д-р техн. наук, проф., Донецький національний технічний університет (м. Покровськ)

У посібнику розглянуто сучасні методики інструментального оснащення найбільш поширених технологічних процесів механічного оброблення у машинобудівному виробництві (точіння, фрезерування, свердління та інших). Надано рекомендації щодо вибору конструкцій різального інструменту, інструментальних матеріалів і режимів різання для високопродуктивного оброблення різних груп конструкційних матеріалів. Визначено доцільність застосування комп'ютерних методів та інструментів у моделюванні та оптимізації процесів різання на прикладі токарної обробки.

Призначений для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання.

Островерх Є. В.

О77 Інструменти та режими різання в технологічних процесах оброблення матеріалів: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Є. В. Островерх, В. О. Федорович, Л. І. Пупань. – Харків: НТУ «ХП», 2023. – 304 с.

The manual discusses modern methods of instrumentation of the most common technological processes of machining in engineering production (turning, milling, drilling, etc.). Recommendations are given on the choice of cutting tool designs, tool materials and cutting conditions for high-performance machining of various groups of structural materials. The expediency of using computer methods and tools in modeling and optimizing cutting processes on the example of turning is determined.

Designed for students of the specialty "Applied Mechanics" full-time, part-time and distance learning.

Іл. 128. Табл. 164. Бібліогр. 21 найм.

УДК 621.7.073

© Є. В. Островерх, В. О. Федорович,
Л. І. Пупань, 2023

ВСТУП

Машинобудування є провідною складовою частиною промисловості, що забезпечує технічне переорієнтування економіки, інтенсифікацію та підвищення ефективності всього суспільного виробництва. Головним методом сучасного машинобудування, який забезпечує високу якість і точність одержуваних деталей, є обробляння різанням.

Усі формотворні процеси різання базуються на впровадженні високопродуктивного автоматизованого устаткування з ЧПК, ефективна експлуатація якого неможлива без створення нових різальних матеріалів та конструкцій інструментів для оснащення металорізальних верстатів, що дозволяють працювати на високих швидкостях різання.

З появою нових конструкцій інструментів, покриттів, нових інструментальних матеріалів має оновлюватись і нормативна база режимів різання.

Останні загальномашинобудівні нормативи режимів різання було випущено в 1991 р. Реальне виробництво тоді спиралося на методичку нормування, запропоновану на початку ХХ століття Ф. Тейлором, основу якої становив емпіричний підхід з використанням статичних моделей стійкості, емпіричних формул або таблиць. Принцип нормування режимів різання, який ґрунтувався переважно на двох факторах (швидкості різання V , м/хв і подачі S , мм/об) з використанням степеневих моделей стійкості, сьогодні не задовольняє вимогам, що висуваються до сучасних технологічних процесів металообробляння. Розрахункові режими різання, отримані за допомогою статичних моделей, не відповідають реальним фізичним умовам зношування, дають малоефективні режими обробляння, особливо при різанні важкооброблюваних матеріалів.

Зміст таблиць для визначення початкових швидкостей різання, як правило, є результатом лабораторних або виробничих досліджень з встановлення зв'язків між стійкістю інструмента та швидкістю різання, рекомендованих вітчизняними та закордонними виробниками інструментальних матеріалів. Поряд із простотою й зручністю ця методика визначення режимів різання вимагає великої кількості випробувань та відомостей про оброблювані й інструментальні матеріали.

На цей час накопичено досить великий практичний досвід,

розроблено рекомендації світових виробників різального інструменту з призначення режимів різання для обробляння різних груп матеріалів. Сьогодні закордонні виробники (Mitsubishi Materials Corporation, Kennametal Inc., ВАТ «Sandvik MKTC», АТ «Titex Plus», АВ «Sandvik Coromant» та інші) за своїми національними стандартами виготовляють безліч різних марок твердого сплаву і відповідно до них надають рекомендації із призначення режимів різання та вибирання інструментальних матеріалів. Тому необхідно ідентифікувати використовувані марки твердого сплаву та зіставляти їх за властивостями і групами застосування відповідно до Міжнародної системи класифікації ISO.

Завданням цього навчального посібника є ознайомлення студентів із сучасною методикою інструментального оснащення технологічних процесів механічного обробляння (точіння, фрезерування, свердління та інших) машинобудівних виробництв, у тому числі з методиками, в яких є вибирання різальних інструментів і режимів різання. Надано огляд сучасних конструкцій металорізального інструменту з механічним кріпленням різальних пластин, представлено рекомендації щодо застосування інструментальних матеріалів для лезових інструментів залежно від групи різання, наведено таблиці ідентифікації існуючих марок сталей і сплавів за міжнародними і державними стандартами.

При вибиранні інструментальних матеріалів, аналізі конструкцій основних типів різальних інструментів, тенденцій їхнього розвитку було враховано міжнародний досвід і сучасні практичні досягнення.

Окремий розділ посібника присвячений застосуванню обчислювальних методів та інструментів у моделюванні складних процесів, до яких належить механічне обробляння різанням. Розгляд надано на прикладі токарної обробки. Цей матеріал є досить важливим для розуміння сутності самого процесу механічного обробляння, планування ефективних методів різання та їх оптимізації. Наведено тенденції розвитку цього напрямку у майбутньому.

РОЗДІЛ 1 ТОЧІННЯ

Вимоги до продуктивності й якості обробляння, що безупинно підвищуються, широка автоматизація в машинобудуванні обумовили необхідність розробки системи збірних токарних різців з механічним кріпленням тврдосплавних пластин. В силу певних переваг широке поширення одержали змінні багатогранні пластини (ЗБП).

Різці зі ЗБП у порівнянні з напайними найбільш надійні й довговічні, забезпечують економію інструментального матеріалу й конструкційної сталі, мають менше розсіювання стійкості, більшу продуктивність (на 15...20 %). Їх застосовують при менших подачах, але у всіх випадках при більшій швидкості різання, що й забезпечує ріст продуктивності.

За технологічним призначенням система різців зі ЗБП підрозділяється на підсистеми:

- різці для зовнішнього точіння;
- розточувальні різці;
- різцеві вставки;
- відрізні й канавкові різці;
- різьбові різці.

Кожна з підсистем має свої специфічні особливості, обумовлені в першу чергу конструкцією устаткування і його технологічним призначенням. Вибирання різального інструменту для інструментального оснащення токарного обробляння здійснюється покроково:

- 1) Система кріплення різальної пластини;
- 2) Тип і розмір різцетримача;
- 3) Форма, тип і розміри різальної пластини;
- 4) Геометрія передньої поверхні пластини;
- 5) Матеріал різальної пластини;
- 6) Режими різання.

1.1. Система кріплення різальної пластини

Відповідно до ДСТУ 26476-86 і міжнародної класифікації ISO способи кріплення пластин і їхню умовну позначку наведено на рис. 1.1. Незва-

жаючи на різноманіття конструкторських рішень з реалізації зазначених способів кріплення у різцях, що серійно виготовляються, реально розглядають системи, що використовують сім промислово апробованих схем вузла кріплення ЗБП (табл. 1.1).

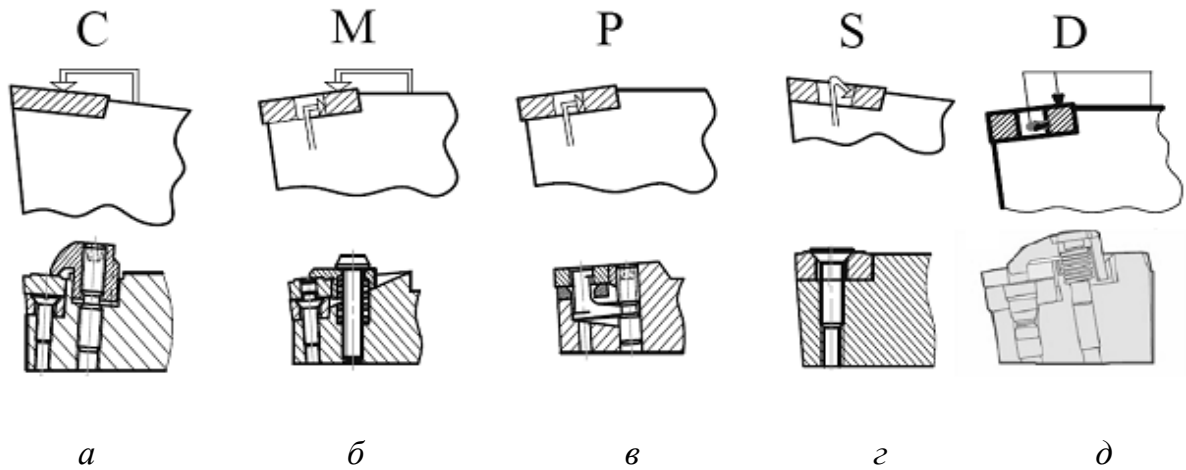


Рисунок 1.1 – Системи кріплення різальної пластини:
а – притискання зверху (С); *б* – притискання зверху та піджимання за отвір (М);
в – притискання важелем за отвір (Р); *г* – кріплення гвинтом (S);
д – притискання підвищеної жорсткості (D)

До системи кріплення різальної пластини, що є частиною державки, пред'являють такі вимоги:

- забезпечення стабільного положення різальної крайки в процесі різання;
- простота й зручність використання;
- добре стружко відведення;
- великий термін експлуатації.


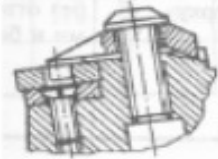
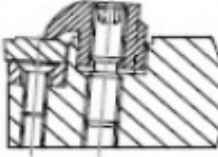
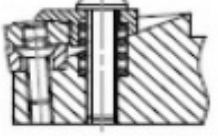


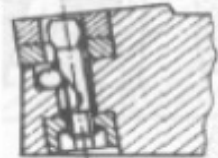
Обмежувальними чинниками, що визначають вибирання тієї або іншої системи кріплення (див. рис. 1.1), є:

- оброблюваний матеріал (ОМ), його код відповідно до груп різання за класифікацією твердих сплавів Міжнародної організації зі стандартизації (ISO);
- тип операції й умови оброблення;
- конструкція деталі й її розміри;
- можливість використання двосторонніх пластин.

Найбільш застарілою є система кріплення С. Тримачі з такою системою використовують як для зовнішньої, так і внутрішнього оброблення

поверхні. Ця система служить для затискача як додатних, так і від'ємних пластин без отворів.

Таблиця 1.1 – Серійно виготовлені різці з ЗБП

| № п/п | Спосіб кріплення | Схема вузла кріплення | Кріплення | Нормативно-технічна документація | | |
|--|------------------|---|---|----------------------------------|---------------------|---------------------------|
| | | | | Різці | Різці для розточки | Різцеві вставки |
| 1 | S |  | Гвинтом пластин з тородальним отвором. $\alpha_n = 7^\circ$ | ТУ 2-035-022 4638-1164-89 | | ТУ 2-035-022 4638-1164-89 |
| 2 | M |  | Прихватом зверху та підтяжкою на базу. $\alpha_n = 0^\circ$ | ТУ2-035-022 1747-9-89 | ТУ2-035-022 4638-90 | |
| 3 | C |  | Притиском зверху. $\alpha_n = 11^\circ$ | ДСТУ 26611-85 | ДСТУ 26612-85 | ТУ2-035-0224638-1164-89 |
| 4 | M |  | Клин-прихватом, $\alpha_n = 0^\circ$ | ТУ2-035-892-82 | | |
| 5 | P |  | L-подібним рычагом, $\alpha_n = 0^\circ$ | ДСТУ 20872-80 | | ТУ2-035-0224638-1164-89 |
| 6 | C |  | Прихватом зверху, $\alpha_n = 0^\circ$ | ТУ2-035-892-82 | | |
| 7 | P |  | Хитним штифтом, $\alpha_n = 0^\circ$ | | | |
| <p>Призначення: точіння 1 – тонке та чистове; 2,3,5 – чистове та напівчистове; 6 – напівчистове та чорнове; 4 – напівчорнове та чорнове; 7 – з важкими умовами роботи</p> | | | | | | |

Для чорнової та напівчистового важкого оброблення використовуються системи кріплення Р і М бо вони більш жорсткі й універсальні, а також дозволяють використовувати двосторонні пластини.

Система Р забезпечує більш надійну і точну фіксацію пластини й іноді використовується при зовнішньому чистовому обробленні, а державки із системою кріплення М, як правило, потрібні для зовнішніх чорнових токарних робіт.

Кращою конструкцією кріплення різальних пластин є система S, яка гарантує надійне притискання пластини, забезпечує безперешкодне відведення стружки із зони різання.

Державки з такою системою використовуються як для зовнішнього, так і внутрішнього точіння.

Система кріплення D забезпечує більш надійне й жорстке закріплення від'ємних пластин притисканням зверху через циліндричний отвір і корпус пластини, що дозволяє використовувати ці державки для важких умов різання.

Різці з конструкцією кріплення № 1 призначені для верстатів легких серій на чистових операціях; № 2 і № 5 – для напівчистових і чистових операцій, де потрібна висока точність позиціонування вершини різця; № 3 – доцільні для оснащення автоматичних ліній і операційних верстатів з фіксованими режимами оброблення; № 4 – забезпечують виконання чорнових і напівчистових операцій і призначені в основному для верстатів з ручним керуванням; № 6 – для кріплення паралелограмних пластин; № 7 – для важких верстатів із стовщеними пластинами.

1.2. Вибір типу й розміру різцеутримувача

Після вибирання системи кріплення необхідно вибрати тип і розмір утримувача. На вибирання типу та розміру різцеутримувача впливають:

- напрямок подачі;
- профіль оброблюваної поверхні;
- тип технологічного устаткування (верстат з ЧПК або без);
- система кріплення пластини.



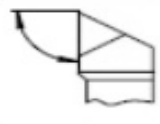



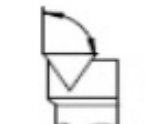



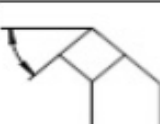





Також залежно від обраної системи кріплення тип різцеутримувача підбирається за головним і допоміжним кутами в плані φ і φ_1 різця (табл. 1.2). Типи та розміри серійно виготовлених різців для зовнішнього точіння представлено в табл. 1.2–1.4.

Для забезпечення більш жорсткого закріплення різальної пластини та з метою зменшення вильоту інструменту різцеутримувач слід вибрати з найбільшою висотою h . Найпоширеніші державки із прямокутним перері-

зом зі співвідношенням $h \times b$: 12×16 ; 16×20 ; 20×25 ; 25×32 ; 32×40 ; 40×50 ; 50×63 і квадратні: 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32 мм.

Для токарних верстатів ЧПК з револьверними головками існують уніфіковані різцеутримувачі, що дозволяють застосовувати різці з розмірами перерізу державок 16×16 – 32×32 мм, а також модульні швидкозмінні інструментальні оснащення з базовими тримачами із кріпленням за хвостовик або Coromant Capto.

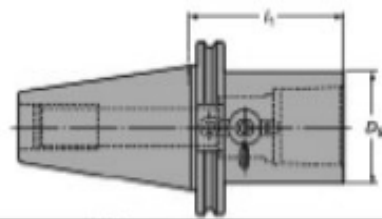
Таблиця 1.2 – Типи серійно виготовлених різців для зовнішнього точіння

| № п/п | Тип різця | Форма пластилини | φ, град | Ескіз | № п/п | Тип різця | Форма пластилини | φ, град | Ескіз |
|-------|-----------|------------------|---------|---|-------|-----------|------------------|---------|---|
| 1 | T | T | 60 |  | 14 | S | H | 45 |  |
| 2 | G | | 90 | | | | | | |
| 3 | A | | 90 | | | | | | |
| 4 | J | T | 93 |  | 15 | L | W | 95 |  |
| 5 | N | T | 63 |  | 16 | G | C | 90 |  |
| | | | | | 17 | L | | 95 | |
| 6 | F | T | 90 |  | 18 | S | C | 45 |  |
| | | | | | 19 | R | | 75 | |
| 7 | S | S | 45 |  | 20 | N | D | 63 |  |
| 8 | D | | 45 | | | | | | |
| 9 | R | | 75 | | | | | | |
| 10 | B | | 75 | | | | | | |
| 11 | S | S | 45 |  | 22 | N | K | 63 |  |
| | | | | | 23 | J | | 93 | |
| 12 | K | S | 75 |  | 24 | | R | |  |
| 13 | T | P | 60 |  | 25 | | R | |  |

Таблиця 1.3 – Довжина різальної країнки l токарних різців, мм

| Форма пластини | Конструктивне рішення по закріпленню пластин (див. табл. 1.1.) | Ширина державки різця b , мм | | | | | | |
|----------------|--|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 |
| T | 1 | 9,6 | 11,0 | 11,0 | 16,5 | 16,5 | 22,0 | 27,5 |
| | 3 | | | 16,5 | | | | |
| | 4 | | | 16,5 | | | | |
| | | | | 16,5 | | | | |
| S | 1 | 6,3 | 9,5 | 9,5 | 12,7 | 12,7 | 15,9 | 19,5 |
| | 2 | | | 12,7 | | | | |
| | 3 | | | 9,5 | | | | |
| | 4 | | | 12,7 | | | | |
| | 5 | | | 12,7 | | | | |
| P H W | 4 | | | 6,5 | 11,5 | 13,8 | 11,0 | |
| | | | | | 8,7 | 11,0 | | |
| | | | | | 10,8 | 10,8 | | |
| C | 1 | | 9,7 | 9,7 | 12,9 | 12,9 | 16,1 | 19,3 |
| | 2 | | | 12,9 | | | | |
| | 4 | | | 12,9 | | | | |
| | 5 | | | 12,9 | | | | |
| | 7 | | | 12,9 | | | | |
| D | 1 | | | 11,6 | 15,5 | 15,5 | 15,5 | 15,5 |
| | 2 | | | 15,5 | | | | |
| | 5 | | | 15,5 | | | | |
| K | 6 | | | | | 19,0 | 19,0 | 19,0 |

Як приклад на рис. 1.2 наведено базовий тримач Coromant Carpo ISO 7388/1 (DIN 69871-A).



| Конус | Розмір з'єднання | Код | Розміри, мм | | |
|-------|------------------|---------------------|-------------|-------|-------|
| | | | D_1 | f_1 | D_2 |
| ISO40 | C5 | C5-390.14004-40 080 | 50 | 80 | 18 |
| ISO50 | | C5-390.14004-50 080 | 50 | 80 | 32 |
| ISO60 | C6 | C6-390.14004-60 090 | 63 | 90 | 39 |
| ISO60 | C8 | C8-390.14004-60 106 | 60 | 106 | 49 |

Рисунок 1.2 – Базовий тримач Coromant Carpo

Таблиця 1.4 – Розміри серійно виготовлених різців, оснащених ЗБП

| $h, \text{мм}$ | | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | | 32 | | 40 | |
|--|-----|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| $b, \text{мм}$ | | 10 | 12 | 16 | 20 | 20 | 25 | 25 | 32 | 32 | 40 |
| Довжина різця $l_1, \text{мм}$ | 70 | ■ | | ■ | | | | | | | |
| | 80 | | ■ | | | | | | | | |
| | 100 | | | ■ | ■ | | ■ | | | | |
| | 125 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 150 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 170 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | 200 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | | | | | | | | | | | |
| Конструктивне рішення кріплення (табл. 1.1.) | 1 | • | • | • | | | | | | | |
| | 2 | | | • | • | | • | | | | |
| | 3 | | | • | • | | • | • | | | |
| | 4 | | | • | • | • | • | • | • | • | • |
| | 5 | | | | • | | • | • | • | • | • |
| | 6 | | | | | | • | • | • | | • |
| | 7 | | | | | | | | • | • | |
| Тип різців (див. табл. 1.2.) | 1 | | | 3,0 | 3,5 | | 3,5 | 3,5 | 5,0 | 5,0 | |
| | 2 | 1,0 | 1,0 | 1,3 | 3,5 | | 3,5 | 3,5 | 5,0 | 5,0 | |
| | 3 | | | | 3,0 | | 3,0 | 3,0 | | | |
| | 4 | | | 4,0 | 4,0 | | 4,0 | | 4,0 | | 4,0 |
| | 5 | | | 4,0 | 4,0 | | 4,0 | | 4,0 | | 4,0 |
| | 6 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 3,5 | | 3,5 | 3,5 | 5,0 | 5,0 | |
| | 7 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 2,3 | | 2,3,5 | 3,5 | 5,0 | | 5,0 |
| | 8 | | | | 3,0 | | 3,0 | 3,0 | 7,0 | 7,0 | |
| | 9 | 1,0 | 1,0 | 11,0 | 3,0 | | 3,0 | 3,0 | | | |
| | 10 | | | | | | 5,0 | 5,0 | | | |
| | 11 | | | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | | 4,0 | 4,0 |
| | 12 | | | | 3,0 | | 3,0 | 3,0 | | | |
| | 13 | | | | 4,0 | | 4,0 | 4,0 | | | |
| | 14 | | | | | | 4,0 | | 4,0 | | |
| | 15 | | | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | | 4,0 | |
| | 16 | | | | | | 5,0 | 5,0 | | | |
| | 17 | | 1,0 | 1,2 | 2,5 | | 2,5 | 5,0 | 5,7 | 7,0 | 5,0 |
| | 18 | | | | | | 4,5 | 4,5 | 5,0 | | 5,0 |
| | 19 | | | | | | | | 7,0 | 7,0 | |
| | 20 | | | 1,0 | 5,0 | | 5,0 | 5,0 | 5,0 | | 5,0 |
| | 21 | | | 1,2 | 2,5 | | 2,5 | 5,0 | 5,0 | | 5,0 |
| | 22 | | | | | | 6,0 | | 6,0 | | 6,0 |
| | 23 | | | | | | 6,0 | 6,0 | 6,0 | | 6,0 |

Примітка .

■ - основний розмір
 ■ - скорочена довжина

Попередньо вибирають довжину різальної крайки токарного різця залежно від ширини державки та форми пластини (див. табл. 1.3). Довжину різця l_1 вибирають залежно від виду операції та устаткування й позначають відповідними буквами, наприклад, Н (100 мм), М (150 мм), Р (170 мм).

Тип різцетримача згідно з розміром головного кута в плані різця позначається відповідними буквами, наприклад, S ($\varphi = 45^\circ$), T ($\varphi = 60^\circ$), B ($\varphi = 75^\circ$), G ($\varphi = 90^\circ$), L ($\varphi = 95^\circ$).

Обрані розміри державки повинні бути скоординовані з подальшим вибором розміру пластини, коли визначена ефективна довжина різальної крайки.

Відповідно до ДСТУ 26476-86 і міжнародною класифікацією ISO систему позначення державок різців для зовнішнього точіння наведено на рис. 1.3.

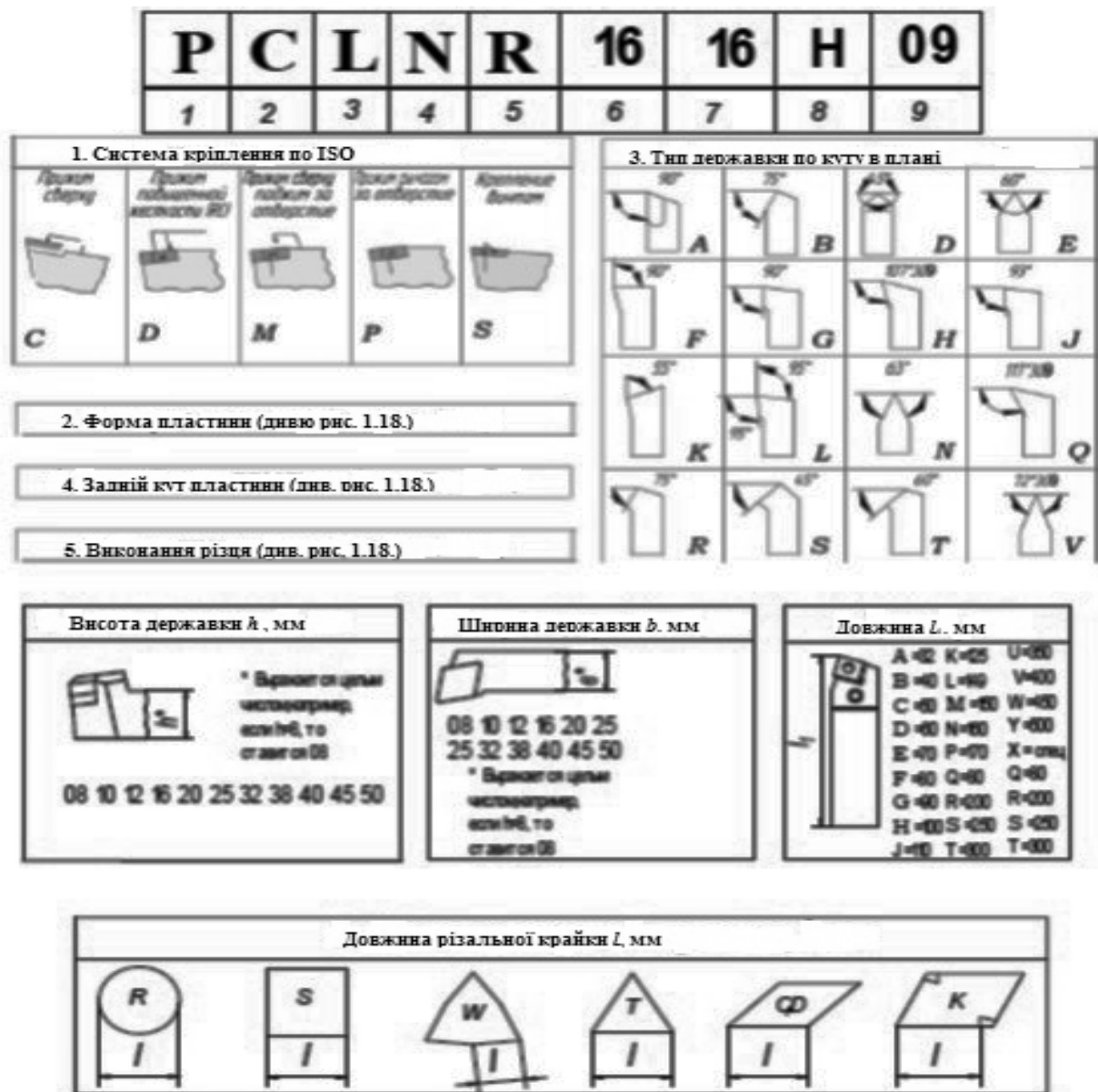


Рисунок 1.3 – Система позначення державок різців для зовнішнього точіння

На рис. 1.4–1.6 наведено приклад вибирання системи кріплення та конструктивних розмірів токарного різця та державки, оснащеної змінними багатограничними пластинами (ЗБП), для поздовжнього точіння (підрізування торцю).

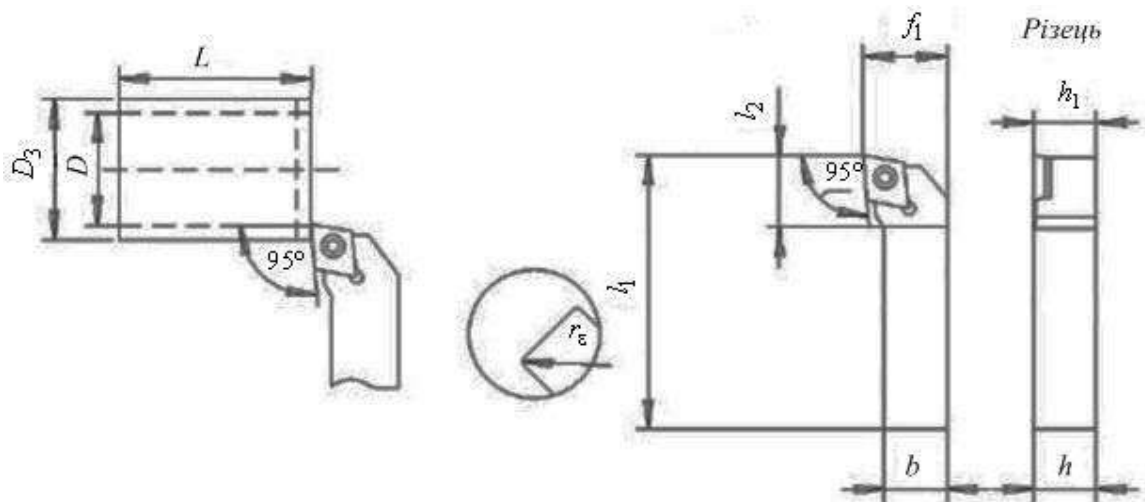


Рисунок 1.4 – Розмір та тип державки

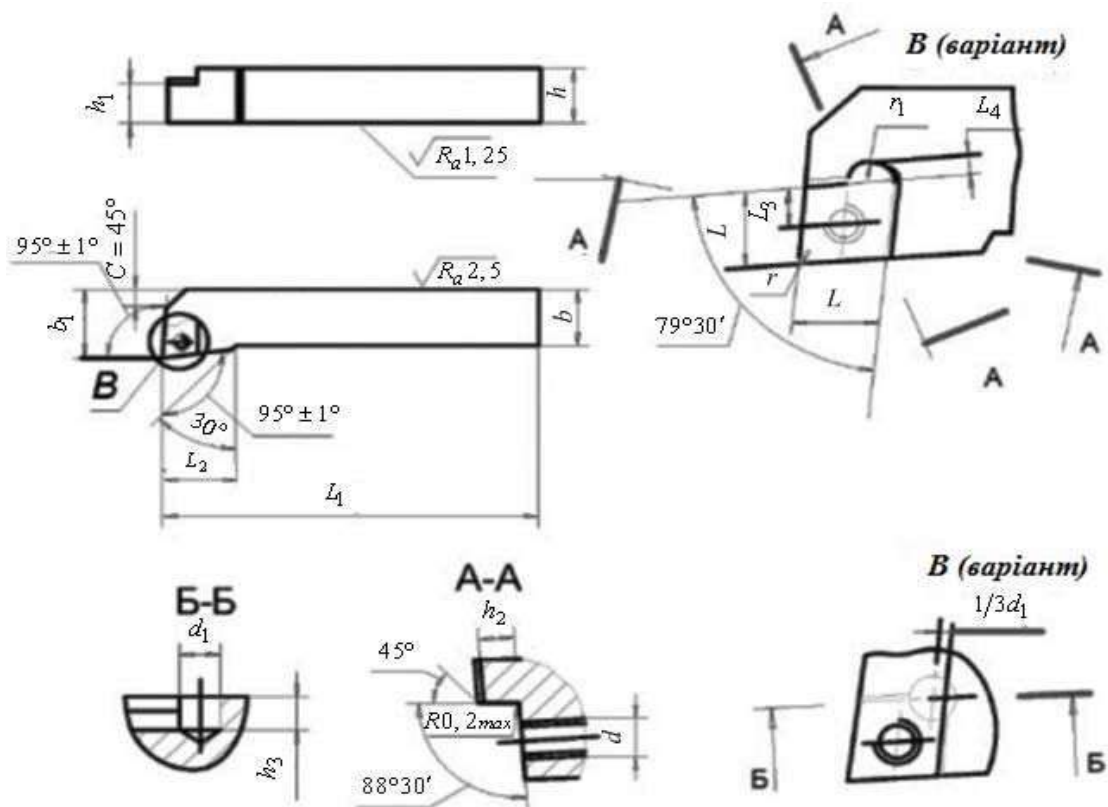
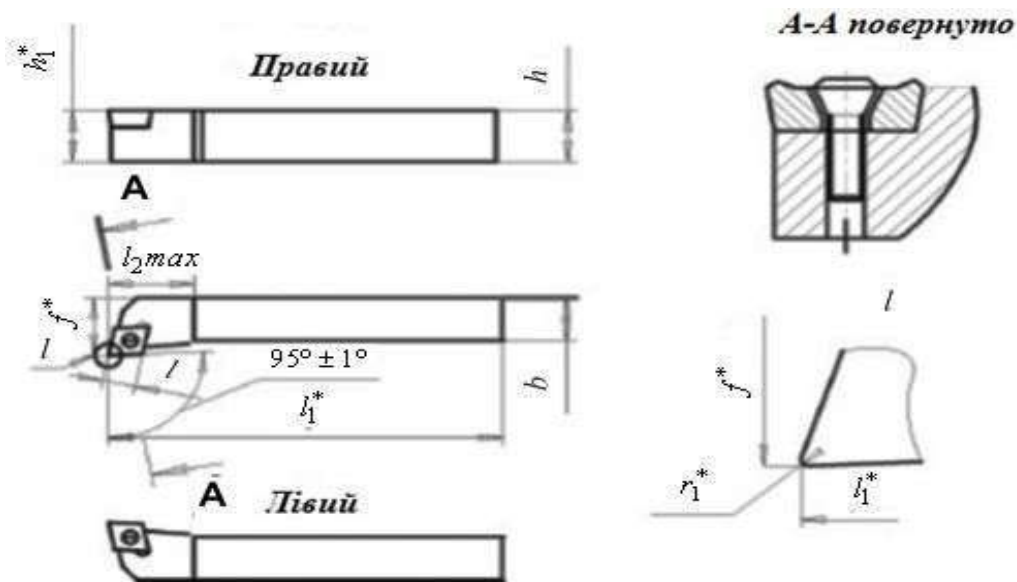


Рисунок 1.5 – Державка прохідного відігнутого різця (відповідає рис. 1.4)



Розміри, мм

| Позначення по ДСТУ 26476-85 | | Пере-різ державки $h \times b$, $h13$ | Довжина різальної крайки l | l_1^* k16 | l_2 max | h_1^* js14 | f^* +0,5 | r_1^* | Маса, кг |
|-----------------------------|--------------|--|------------------------------|-------------|-----------|--------------|------------|---------|----------|
| Правий | Лівий | | | | | | | | |
| SCLCR0808D06 | SCLCL0808D06 | 8×8 | 6,4 | 60 | 15 | 8 | 10 | 0,4 | 0,03 |
| SCLCR1010E06 | SCLCL1010E06 | 10×10 | | 70 | | 10 | | | 12 |
| SCLCR1212F09 | SCLCL1212F09 | 12×12 | 9,7 | 80 | 20 | 12 | 16 | 0,8 | 0,09 |
| SCLCR1616H12 | SCLCL1616H12 | 16×16 | | 100 | | 16 | | | 20 |
| SCLCR1616H12 | SCLCL1616H12 | 16×16 | 12,9 | 125 | 25 | 20 | 25 | 0,8 | 0,41 |
| SCLCR2020K12 | SCLCL2020K12 | 20×20 | | 125 | | 20 | | | 25 |
| SCLCR0808B06 | SCLCL0808B06 | 8×8 | 6,4 | 60 | 15 | 8 | 10 | 0,4 | 0,02 |
| SCLCR1010C06 | SCLCL1010C06 | 10×10 | | 70 | | 10 | | | 12 |
| SCLCR1212D09 | SCLCL1212D09 | 12×12 | 9,7 | 80 | 20 | 12 | 16 | 0,8 | 0,07 |
| SCLCR1616H09 | SCLCL1616E09 | 16×16 | | 100 | | 16 | | | 20 |
| SCLCR1616E12 | SCLCL1616E12 | 16×16 | 12,9 | 125 | 25 | 20 | 25 | 0,8 | 0,27 |
| SCLCR1616E12 | SCLCL1616E12 | 20×20 | | 125 | | 20 | | | 25 |

Рисунок 1.6 – Різець прохідної відігнутий з ромбічною пластиною $\varphi = 95^\circ$ (кріплення гвинтом)

У цьому випадку кращою конструкцією кріплення різальних пластин є система, яка гарантує надійне притискання пластини, забезпечує безперешкодне відведення стружки із зони різання. Державки з такою системою використовують для зовнішнього точіння. За допомогою табл. 1.2 вибираємо: тип державки різця за головним кутом в плані ($\varphi = 95^\circ$) – L; форму пластини – С; задній кут – 7° ; різець – правий.

При обраній формі пластини S , системі кріплення пластини S і ширині державки різця $b = 16$ мм довжина різальної крайки різця складе 9,7 мм (див. табл. 1.3). Надалі ця величина повинна бути скоординована з подальшим вибранням розмірів пластини, коли визначають ефективну довжину різальної крайки. Довжина різця l_1 дорівнює 100 мм. Таким чином, позначення прохідного відігнутого різця з ромбічною пластиною (див. рис. 1.4–1.6) буде **SCLCR 16 16 H 09**.

1.3. Вибрання форми, типу та розміру різальної пластини

Конструкції ЗБП із твердого сплаву відрізняються більшою різноманітністю форм і розмірів, що дозволяє забезпечити різні кути в плані різців, і дає можливість виконання різних технологічних операцій.

Форму пластини вибирають відповідно до напрямку подачі, профілю оброблюваної поверхні та головному куту у плані φ . Вона може бути різної залежно від кута при вершині, який може змінюватися в межах від 35° до 100° , аж до круглих пластин. На рис. 1.7 представлено найпоширеніші ЗБП для токарного оброблення: круглі, квадратні, ромбічні, трикутні.

При вибиранні форми пластини необхідно керуватися тим, що зі збільшенням кута при вершині зростають її міцність і економічність, але підвищується схильність до вібрацій (рис. 1.8). Малий кут при вершині послабляє різальний клин, зменшується довжина різальної крайки, погіршується відведення тепла, що приводить до зниження стійкості різальних пластин, але підвищується універсальність пластин.

До основних розмірів різальних пластин (рис. 1.9) відносяться:

- довжина різальної крайки l ;
- товщина S ;
- радіус при вершині r_ε ;
- діаметр вписаного кола d ;
- задній кут α .

При вибиранні габаритних розмірів пластин зручно користуватися співвідношеннями між діаметром вписаного кола d (основний базовий роз-

мір ЗБП) і довжиною різальної крайки l , наведеними в табл. 1.5. Розміри ЗБП представлено в табл. 1.6.

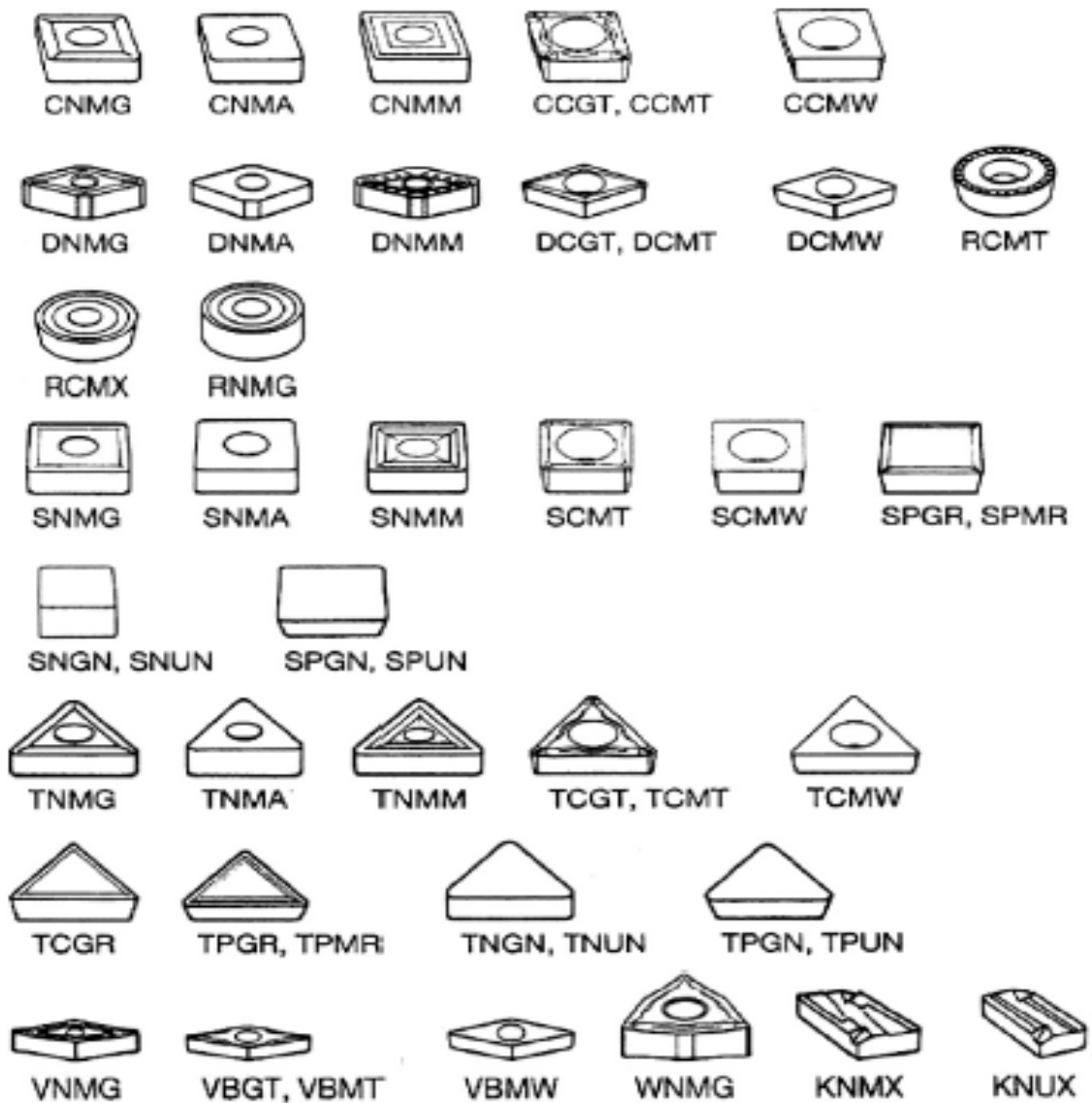


Рисунок 1.7 – Твердосплавні токарні пластини

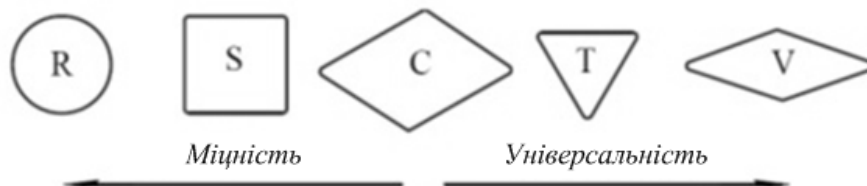


Рисунок 1.8 – Вибір форм пластини

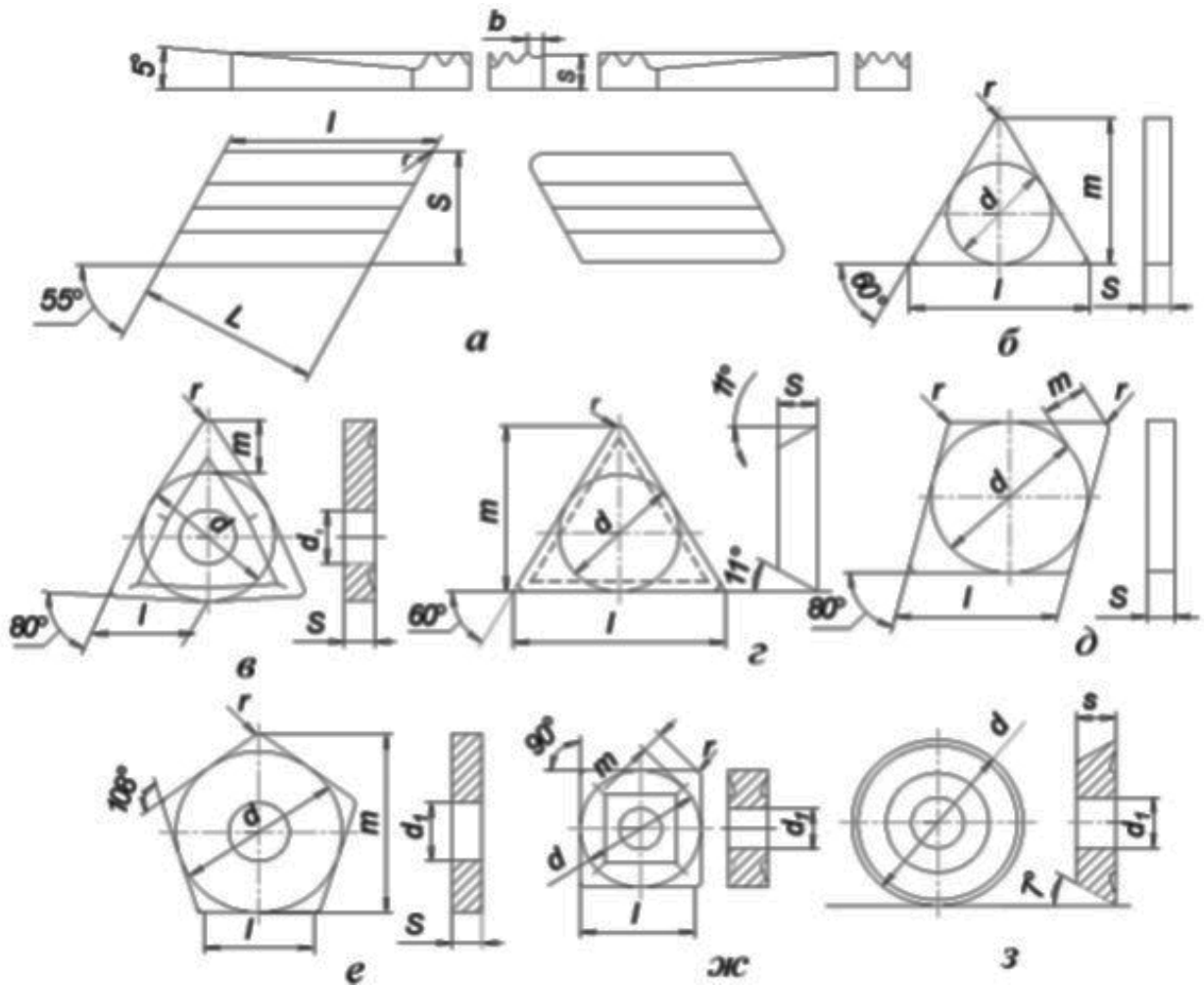


Рисунок 1.9 – Основні розміри змінних багатограних твердосплавних пластин

Для визначення всієї довжини різальної крайки l необхідно знайти її довжину, безпосередньо задіяну у різанні, тобто ефективну довжину l_a , яка залежить від кута φ і глибини різання t (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Вибірвання ефективної довжини різальної крайки

Таблиця 1.5 – Співвідношення розмірів багатограних пластин

| Форма пласти- ни | ε_n , град. | Розміри | | | | |
|---------------------|-------------------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| | | d | l | D | h | L |
| S | 90 | • | d | $1,4142 d$ | | |
| | | l | • | $1,4142 l$ | | |
| T | 60 | • | $1,7321 d$ | $2 d$ | $1,5 d$ | |
| | | $0,5773 l$ | • | $1,1547 l$ | $0,866 l$ | |
| W | 80 | • | $0,684 d$ | $1,5557 d$ | $1,1668 d$ | $1,3473 d$ |
| | | $1,462 l$ | • | $2,2743 l$ | $1,07058 l$ | $1,9697 l$ |
| P | 108 | • | $0,7265 d$ | $1,2361 d$ | $1,118 d$ | $1,1756 d$ |
| | | $1,3765 l$ | • | $1,7013 l$ | $1,5389 l$ | $1,6182 l$ |
| H | 120 | • | $0,5774 d$ | $1,1547 d$ | D | d |
| | | $1,7319 l$ | • | $2 l$ | | |
| C | 80 | • | $1,0154 d$ | | $1,3064 d$ | $1,5557 d$ |
| | | $0,9848 l$ | • | | $1,2856 l$ | $1,5321 l$ |
| D | 55 | • | $1,2208 d$ | | $2,1657 d$ | $1,1274 d$ |
| | | $0,8191 l$ | • | | $1,774 l$ | $0,9235 l$ |

Максимально необхідна ефективна довжина різальної крайки l_a^{\max} , що допускається різальною пластиною, залежить від її форми (рис. 1.11). Розмір пластини l_a повинен дорівнювати l_a^{\max} , а якщо ні, то необхідно вибрати пластину більшого розміру або зменшити глибину різання.

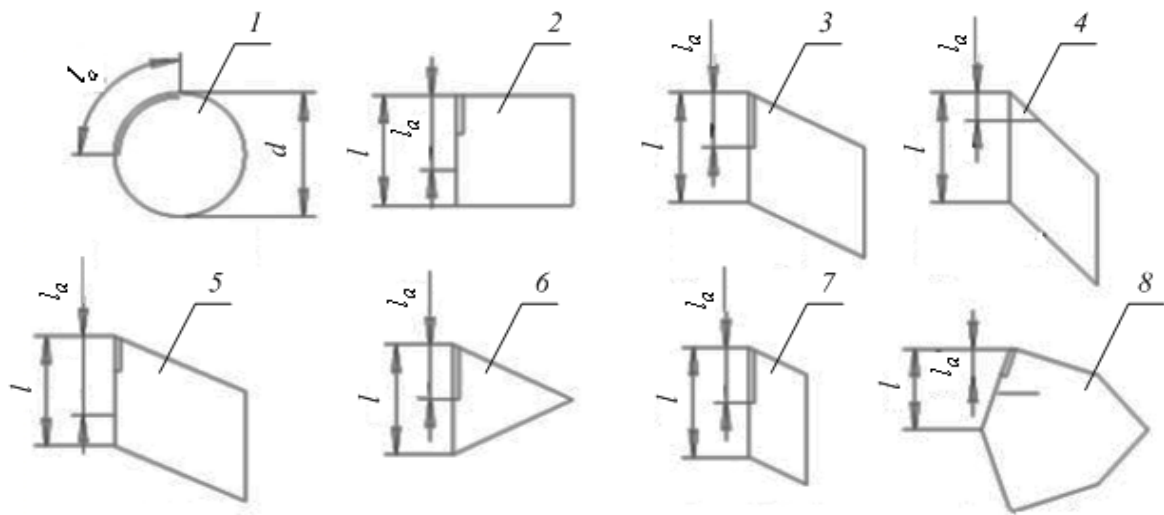


Рисунок 1.11 – Максимально припустимі значення довжини різальної пластини залежно від її форми:

$$1 - l_a = 0,4d; 2 - l_a = 2/3l; 3 - l_a = 1/2l; 4 - l_a = 1/4l;$$

$$5 - l_a = 2/3l; 6 - l_a = 1/2l; 7 - l_a = 1/2l; 8 - l_a = 1/4l$$

Таблиця 1.6 – Розміри твердосплавних змінних багатограних пластин

| Довжина різальної крайки l , мм | | | | | | | | | d , мм, (L) | Товщина пластини, мм | | | | | |
|-----------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------|-----------------------------------|
| Форма пластин | | | | | | | | | | 2,38 | 3,18 | 3,97 | 4,76 | 5,5 | 6,35 |
| R | K | D | C | W | H | P | S | T | | | | | | | |
| | | | | | | | | 9,6 | (5,56) | (T) | | | | | |
| | | 7,75 | 6,4 | | | | | 11 | 6,35 | (T) (C) (D) | T | | | | |
| | | | 8,1 | | | | | 13,6 | 7,93 | | T, C | | | | |
| 9,525 | | 11,6 | 9,7 | 6,5 | | 6,9 | 9,5 | 16,5 | 9,525 | | T, S P, W C, R | (T, S) (C, D) | T, W | | |
| 12,7 | | 15,5 | 12,9 | 8,7 | | 9,2 | 12,7 | 22 | 12,7 | | S, R | | T, S P, W C(D) | | D |
| | 17 | | | | | | 14 | | 14 | | | | S, K | | |
| 115,87 | 19 | 19 | 16,1 | 10,8 | 9,1 | 11,5 | 15,9 | 27,5 | 15,875 | | | | S, P H, W C, R | (S) (C) | T, W K |
| 19,05 | 23 | | 19,0 | 12,8 | 11,0 | 13,8 | 19 | | 19,05 | | | | S, P H, R | | S, (S) P, H W, C R, K |
| 22,2 | | | | | 12,8 | 16,1 | | | 22,2 | | | | | | P, H R |
| 25,4 | | | | | | | 25,4 | | 25,4 | | | | | | R |

Примітка. У дужках зазначено параметри пластин з тороподібним отвором

Величина радіуса при вершині пластини r_ϵ (див. рис. 1.9) визначає її міцність і стійкість при чорновому оброблянні та шорсткість обробленої поверхні при чистовому оброблянні. Для чорнового оброблення найпоширенішим є радіус $r_\epsilon = 1,2 \dots 1,6$ мм (табл. 1.7). При цьому рекомендується призначати максимальну величину подачі, що не перевищує половини радіуса при вершині: $S \leq 0,5r_\epsilon$.

Таблиця 1.7 –Вибирання величини радіуса при вершині пластини

| Найменування | Радіус біля вершини пластини r_ϵ , мм | | | | |
|--------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2,4 |
| Подача S , мм/об | 0,25...0,35 | 0,4...0,7 | 0,5...1,0 | 0,7...1,3 | 1,0...1,8 |
| R_a , мкм | Радіус при вершині пластини, мм | | | | |
| | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2,4 |
| | Подача, мм/об | | | | |
| 0,6 | 0,07 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,17 |
| 1,6 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,22 | 0,26 |
| 3,2 | 0,17 | 0,24 | 0,29 | 0,34 | 0,42 |
| 6,3 | 0,22 | 0,30 | 0,37 | 0,43 | 0,53 |
| 8,0 | 0,27 | 0,38 | 0,47 | 0,54 | 0,66 |
| 12 | | | | 1,08 | 1,32 |

Для досягнення необхідної шорсткості оброблюваної поверхні можна скористатися такими рекомендаціями: установити величину подачі не вище $1/3$ величини радіуса при вершині пластини. Використовуючи залежність, наведену на рис. 1.12, визначити величину шорсткості та звірити отримане значення з необхідним.

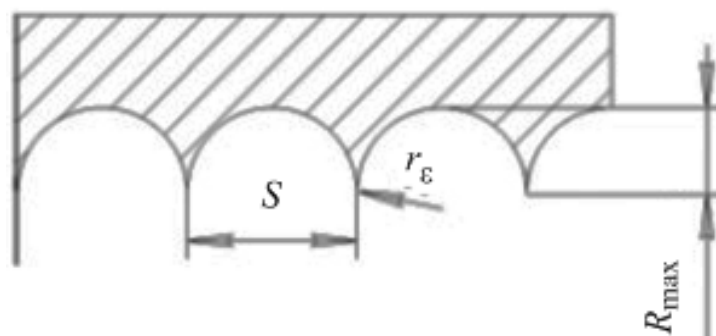


Рисунок 1.12 – Визначення шорсткості поверхні: $R_{\max} = \frac{S^2}{8r_\epsilon} 1000$ мкм

Оскільки різцетримач проектується із гніздом для конкретної форми та відповідно до розміру пластини, то посадкове гніздо в обраній державці

повинно відповідати формі та розміру використовуваної пластини, а також повинен бути забезпечений збіг відповідних елементів стандартних позначень пластини та державки (рис. 1.13).

Державка SCLCR 16 16 H 09
 Пластина CCMG 09 04 08 PF

Рисунок 1.13 – Стандартні позначення пластини й державки різця

Форму та розміри ЗБП із різальної кераміки й кубічного нітриду бору наведено в табл. 1.9 і 1.10.

Таблиця 1.9. – Форма й розміри пластин з різальної кераміки

| Найменування пластин, основні розміри, мм | Інструмент, що оснащується | Ескіз |
|---|--|-------|
| Пластини правильної трикутної форми $d \times S$: 6,35 × 3,18; 9,525 × 3,18; 9,525 × 4,76; 9,525 × 6,36; 12,7 × 4,76; 12,7 × 7,93 | Токарні, прохідні, підрізні та розточувальні різці | |
| Пластина квадратної форми $d \times S$: 9,525 × 3,18; 9,525 × 4,76; 12,7 × 4,76; 12,7 × 6,35; 15,875 × 4,76; 15,875 × 7,93; 19,05 × 6,35; 19,06 × 7,93 | Токарні, прохідні та розточні різці, торцеві фрези | |
| Пластини ромбічної форми з кутом 80°, $d \times S$: 12,7 × 4,76; 12,7 × 7,93; 15,875 × 4,76; 15,875 × 7,93 | Токарні, прохідні та розточні різці, торцеві фрези | |
| Пластина круглої форми $d \times S$: 6,350 × 3,18; 9,525 × 4,76; 9,525 × 7,93; 12,7 × 4,76; 12,7 × 7,93; 15,875 × 7,93 | Торцеві фрези, різці | |

Таблиця 1.10 – Форма пластин з надтвердих матеріалів на основі КНБ

| Форма | Ескіз | Основні розміри |
|-----------|-------|--|
| Тригранна | | $d = 3,97 \dots 7,93 \text{ мм}$ $l = 6,88 \dots 13,75 \text{ мм}$ $S = 3,18 \dots 4,76 \text{ мм}$ $\alpha = 0; 7; 11^\circ$ |
| Квадратна | | $d = 3,18 \dots 9,52 \text{ мм}$ $S = 3,18 \dots 4,76 \text{ мм}$ $\alpha = 0; 7; 11^\circ$ |
| Ромбічна | | $d = 3,18 \dots 9,52 \text{ мм}$ $l = 4,03 \dots 9,66 \text{ мм}$ $S = 3,18 \dots 4,76 \text{ мм}$ $\alpha = 0; 7; 11^\circ$ |
| Кругла | | $d = 3,6 \dots 8,0 \text{ мм}$ $S = 3,18 \dots 3,97 \text{ мм}$ $\alpha = 0; 7; 11^\circ$ |

Примітка. Ц – цільні пластини; Д – двошарові

1.4. Геометрія передньої поверхні пластини

Геометрія передньої поверхні пластини визначає характер процесу різання, її стійкість, а також область стійкого стружкоутворення. Відповідна геометрія вибирається, виходячи з оброблюваного матеріалу, типу й умов оброблення. Форма передньої поверхні у твердосплавних ЗБП може бути плоска (див. рис. 1.9 б, г, д, е) або зі стружколамальними канавками з одного (див. рис. 1.9 а, в, з) або з двох (див. рис. 1.9 ж) боків. При вибиранні форми передньої поверхні ЗБП необхідно забезпечити одержання оптимальних передніх кутів на різальному лезі й на фасці та гарантоване подрібнення стружки із заданими умовами оброблення. Розрізняють геометрії, призначені для чорнового, напівчистового та чистового оброблення як для

від'ємних, так і для додатних і від'ємно-додатних геометрій пластин (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – Види геометрії пластин

Найпоширеніші геометрії передніх поверхонь пластин, що випускаються ВАТ «Sandvik MKTC», наведено на рис. 1.15.

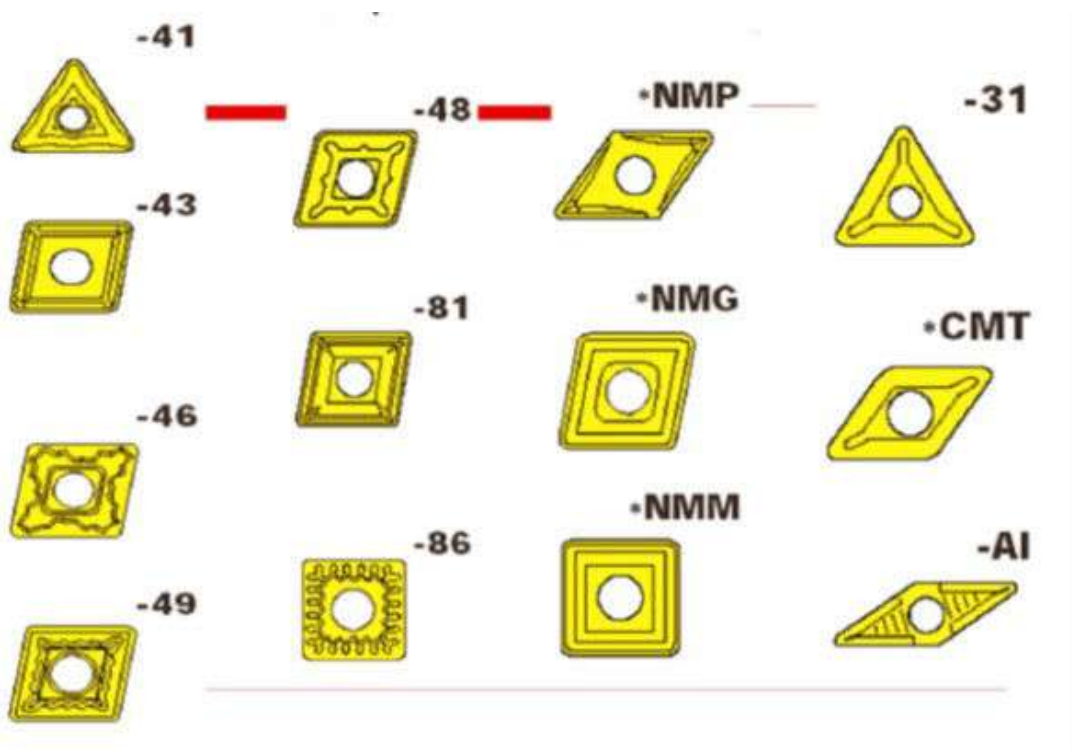


Рисунок 1.15 – Геометрії передніх поверхонь пластин, що випускаються ВАТ «Sandvik MKTC»

Пластини можуть бути оснащені одинарними, подвійними або потрійними стружколамальними канавками (рис. 1.16). Останні забезпечують розширення діапазону значень можливих глибин різання та подач. При малих перетинах зрізу працює перша канавка, при більших – друга і т.п.

Як приклад, на рис. 1.17 наведено геометрії передньої поверхні пластин для обробляння сталі (група різання матеріалів відповідно до ISO – P) для чистових (F), чорнових (R) і напівчистових (M) операцій.

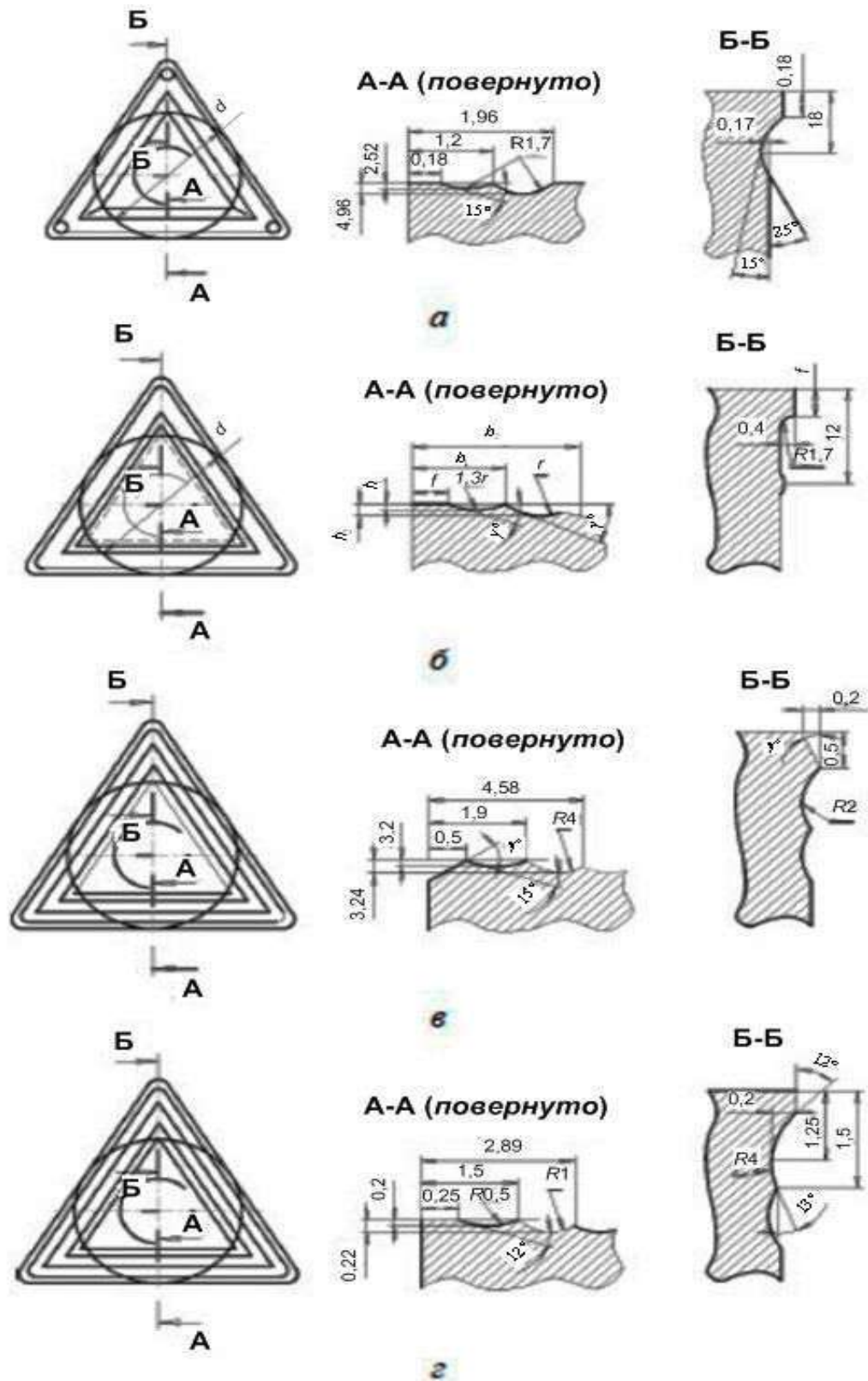


Рисунок 1.16 – Форми передніх поверхонь ЗПІ:
 а – при подачі до 0,25 мм/об; б – при подачі до 0,3 мм/об;
 в – для глибини різання до 8 мм і подачі до 0,4 мм/об;
 г – важкі умови оброблення (глибина до 15 мм, подача більша за 0,4 мм/об.)

Пластини додатньо-від'ємної геометрії (див. рис. 1.15, $\alpha = 0$, $\gamma > 0$):

- 41, 43 – двобічні з більшим додатнім переднім кутом γ для чистового оброблення;
- 46 – двобічна для чистового й напівчистового оброблення;
- 49 – двобічна з більшими від'ємними фасками для чистового й напівчистового оброблення;
- 48 – двобічна з малими кутами γ для чорнового оброблення;
- 81 – однобічна з більшим додатнім переднім кутом γ – для чорнового оброблення;
- 86 – однобічна з додатніми передніми кутами γ для чорнового оброблення при переривчастому різанні;
- NMP – двобічна з додатнім переднім кутом γ для оброблення жароміцних і кольорових сплавів;
- HMG – двобічна пластина з від'ємною фаскою для оброблення вуглецевих сталей;
- NMM – однобічна пластина у вигляді подвійної лунки з від'ємною фаскою для оброблення нержавіючих сталей.

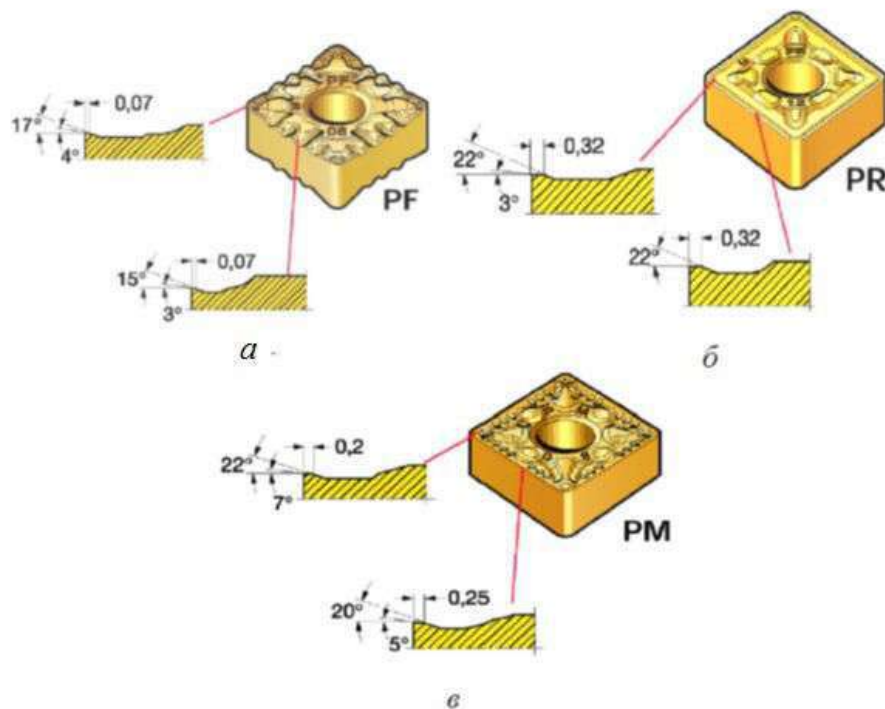


Рисунок 1.17 – Геометрії пластин:

- a* – для чистових операцій з діапазоном подач $S = 0,1 \dots 0,4$ мм/об та глибиною різання $t = 0,3 \dots 1,5$ мм; *б* – для чорнових операцій $S = 0,25 \dots 0,8$ мм/об та $t = 1,5 \dots 10$ мм; *в* – для напівчистових операцій $S = 0,15 \dots 0,5$ мм/об та $t = 0,5 \dots 5,5$ мм

Геометрія додатних пластин (див. рис. 1.15, $\alpha > 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$):

- 31 – пластина із задніми кутами для оброблення різних матеріалів;
- СМТ – пластина із задніми кутами з фасками по передній поверхні для чистового та напівчистового оброблення;
- АІ – високоточна пластина із задніми кутами й гострими різальними краями для оброблення кольорових сплавів і пластмас.

Таким чином, відповідно до ДСТУ 26476-86 і міжнародної класифікації ISO, систему позначення різальних пластин різців для зовнішнього точіння наведено на рис. 1.18.

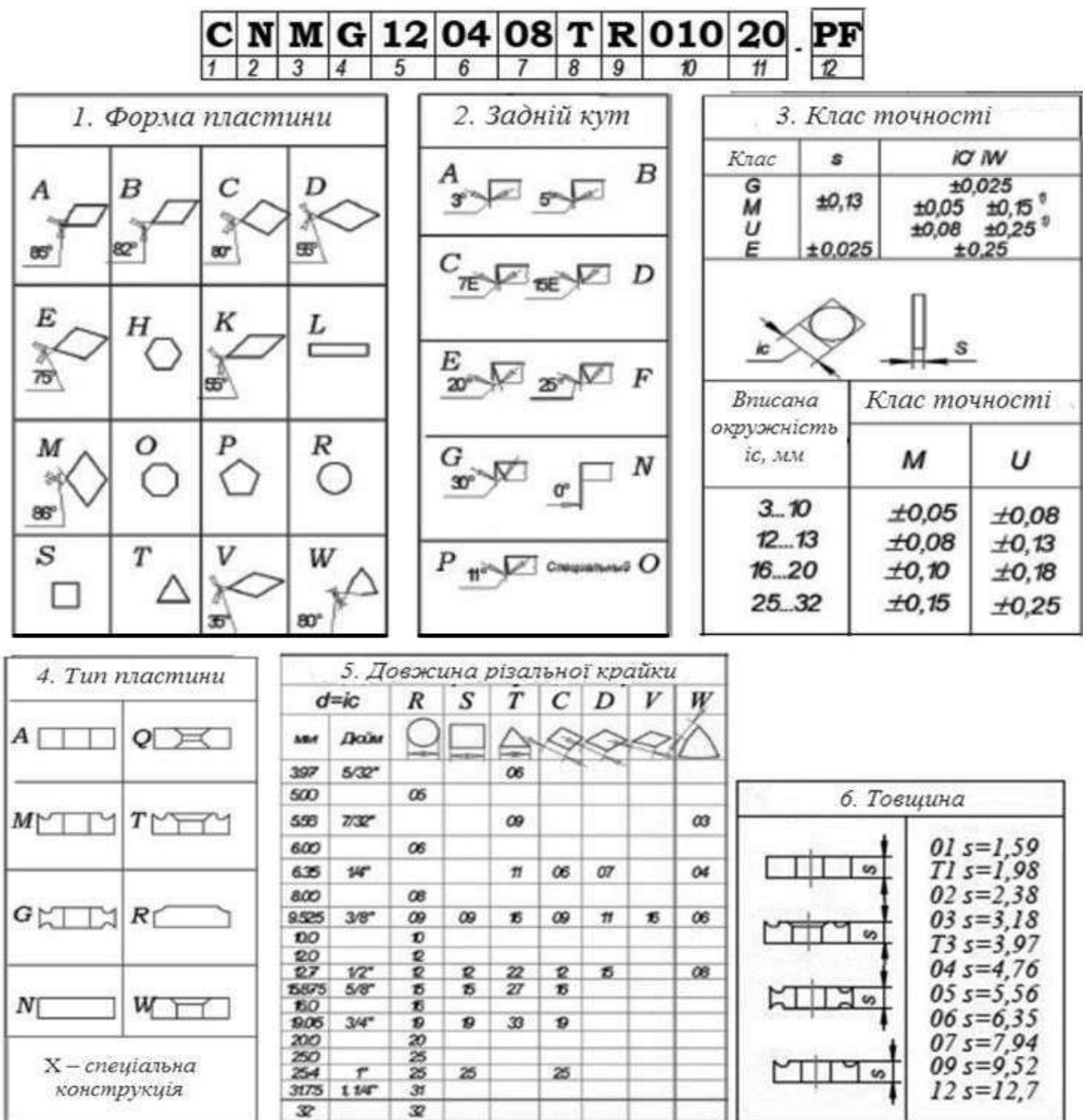


Рисунок 1.18 – Система позначення пластин (початок)

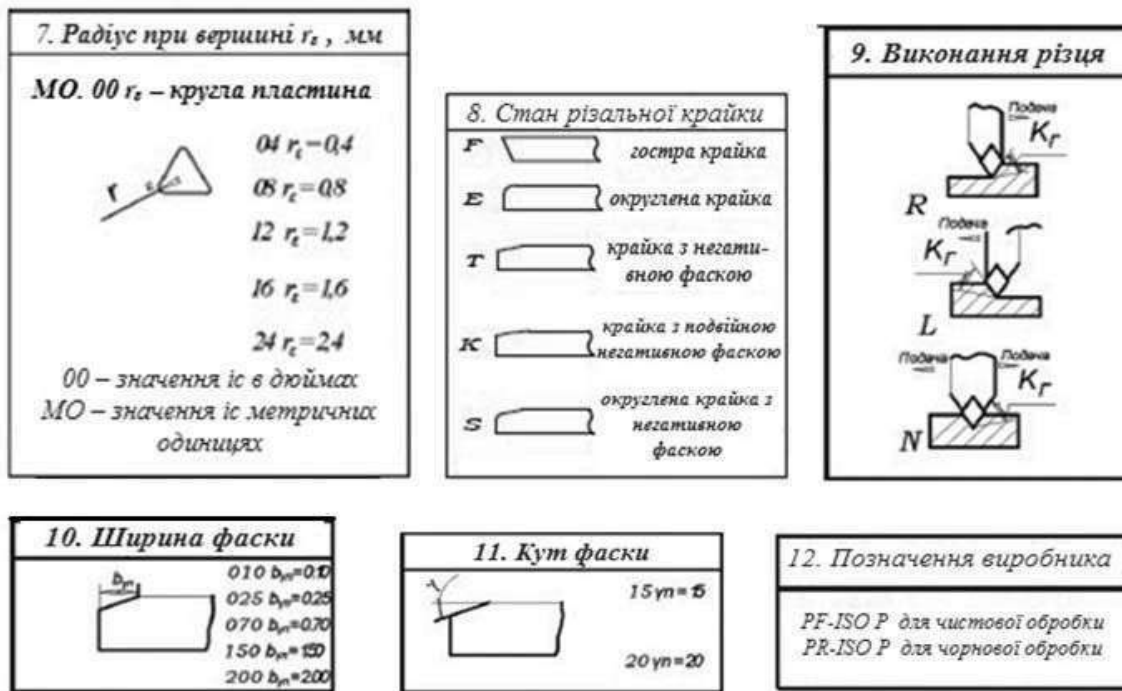


Рисунок 1.18 – Система позначення пластин (кінець)

Вибір геометрії пластин можна здійснити згідно з приналежністю оброблюваного матеріалу до якоїсь із основних груп різання P, M, K, N, S, H, а також відповідно до виду оброблення (табл. 1.11).

Таблиця 1.11 – Вибір геометрії передньої поверхні пластин

| Група різання по ISO | Тип обробки | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|------|--------------|------|---------------|------|---------|------|
| | Чистова | | Напівчистова | | Легка чорнова | | Чорнова | |
| | P/M | S | P/M | S | P/M | S | P/M | S |
| P Сталь | -43 | -31 | -46 | *CMT | -49 | *CMT | -86 | – |
| M Нержавіюча сталь | -43/-46 | -31 | -46 | *CMT | -49 | *CMT | -49 | – |
| K Чугун | *NMA | *CMT | *NMA | *CMT | *NMA | *CMT | *NMA | *CMT |
| N Кольорові метали | *NMP | -AI | *NMP | -AI | *NMP | -AI | *NMP | -AI |
| S Жароміцні та титанові сплави | *NMP | -31 | *NMP | -31 | *NMP | – | *NMP | – |
| H Матеріали високої твердості | *NMA | *CMT | *NMA | *CMT | *NMA | *CMT | *NMA | *CMT |

1.5. Матеріал різальної пластини

Для оснащення токарного інструменту використовуються такі інструментальні матеріали:

- швидкорізальні сталі (ШС);
- твердий сплав з покриттям (НС);
- твердий сплав без покриття (НВ);
- кермети з покриттям (НС);
- кермети без покриття (НТ);
- оксидна ріжуча кераміка (СА);
- оксидно-карбідна різальна кераміка (СМ);
- нітридна кераміка (СN);
- кераміка з покриттям (СС);
- кубічний нітрид бору (СВN);
- штучні полікристалічні алмази (DP);
- твердий сплав з покриттям CVD з полікристалічного алмазу (НС).

Відповідно до ДСТУ 19269-73 (у ред. 1991 р.) швидкорізальні сталі підрозділяються на такі види:

1. Швидкорізальні сталі нормальної продуктивності, теплостійкість яких становить не менше 620 °С (що відповідає швидкорізальним сталям HSS (High Speed Steel) за стандартом ISO 4957-80).

2. Швидкорізальні сталі підвищеної продуктивності (теплостійкості) зі збільшенням змісту вуглецю, ванадію й кобальту. За системою ISO ці сталі позначаються: HSS-E, HSS-Co (HSS-K).

3. Швидкорізальні сталі високої продуктивності (теплостійкості), що характеризуються зниженим змістом вуглецю, але значно більшим змістом легуючих елементів. Швидкорізальні сталі, отримані традиційним методом електрошлакового переплавлення, характеризуються значно більш крупним зерном і балом карбідної неоднорідності (8...9 балів). Ефективним засобом поліпшення технологічних та експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей є метод порошкової металургії. Швидкорізальні сталі, отримані методами порошкової металургії, мають однорідну дрібнозернисту структуру, добрі технологічні й експлуатаційні властивості.

Основні властивості й область застосування швидкорізальних сталей наведено в табл. 1.12.

Таблиця 1.12 – Основні характеристики й область застосування швидкорізальної сталі

| Марки по ДСТУ 19265-91 | Властивості | | Галузь застосування |
|--|--------------------|--|---|
| | Теплостійкість, °С | Границя міцності при згинанні $\sigma_{\text{вг}}$, МПа | |
| Нормальної теплостійкості | | | |
| P18, P6M5, P8M3, P9M4, 10P6M5 | 600...620 | 3000...3700 | Для виготовлення універсального інструменту при оброблянні конструкційних матеріалів з $\sigma_{\text{в}} < 800$ МПа |
| Підвищеної теплостійкості кобальтові та ванадієві | | | |
| P9K5, P9K10, P6M5K5, P9Ф5, P12Ф3, P6M5Ф3, 11P3M3Ф2 | 630...640 | 2500...3000 | Оброблення конструкційних матеріалів з $\sigma_{\text{в}} > 800$ МПа жароміцних, нержавіючих та важкооброблюваних матеріалів та сплавів |
| Підвищеної теплостійкості кобальтованадієві | | | |
| P9M5Ф2K8, P10Ф5K5, P12Ф4K5, P12M3Ф2K5, P12M3Ф2K8 | 640...650 | 2000...2700 | Оброблення матеріалів (понад 45...60 HRC), жароміцних, нержавіючих та важкооброблюваних матеріалів та сплавів |
| Високої теплостійкості | | | |
| B11M7K23, B14M7K25, B18M25K4 | 700...720 | 2000...2500 | Чистове та напівчистове оброблення титанових високолегованих, важкооброблюваних матеріалів та сплавів |
| Порошкові | | | |
| P6M5K5-МП, P6M5Ф4-МП, P9K5-МП, P12M3K5Ф2-МП | 635...640 | 2600...3500 | Чорнове та напівчистове оброблення жароміцних та високоміцних сталей та сплавів |

Матеріал різальних тврдосплавних пластин вибирається залежно від оброблюваного матеріалу, типу операції та умов оброблення. Відповідно до державних стандартів існує величезна різноманітність оброблюваних матеріалів.

Існують національні стандарти, де окремим групам матеріалів привласнено відповідні коди. На їхній основі була розроблена Міжнародна система класифікації оброблюваних матеріалів відповідно до груп різання (оброблюваності).

Марки твердих сплавів розподілено за шістьма групами оброблюваних матеріалів – P, M, K, N, S, H:

- P – сталі та сталеве литво, що дають при різанні зливну стружку;
- M – нержавіючі сталі аустенітного, феритного та мартенситного класу, що дають при різанні стружку сколювання;
- K – ковкі, сірі, з кулястим графітом чавуни, що дають при різанні стружку елементну або надламу;
- N – алюміній і кольорові метали, що дають при різанні зливну стружку;
- S – жароміцні та титанові сплави, що дають при різанні східчасту стружку;
- H – матеріали з високою поверхневою твердістю, а також вибілені, загартовані чавуни, що дають при різанні елементну стружку або стружку надлому.

Ця класифікація була зроблена Міжнародною організацією згідно з стандартизацією (ISO). Кожній групі привласнено певний колір: P – синій, M – жовтий, K – червоний, N – зелений, S – брунатний, H – сірий.

Отже, при вибиранні інструменту та режимів різання необхідно визначити приналежність оброблюваного матеріалу до однієї із шести груп. Як приклад у табл. 1.13 показано відповідність оброблюваного матеріалу за ДСТУ групам різання ISO.

Групи різання підрозділяються, у свою чергу, на групи застосування твердого сплаву, які позначаються буквою (група різання) і числовим індексом (група застосування), наприклад, P01, P10, P20 і т.п. При цьому чим вищим є число індексу, тим нижчою є твердість, зносостійкість твердого сплаву та вищою міцність, отже, знижується й швидкість різання. Сплави з меншим значенням індексу групи застосування використовують для чистового точіння, коли від сплаву потрібні висока твердість і зносостійкість, сплави з більшим значенням індексу використовуються для чорнового оброблення, коли від сплаву потрібна висока міцність.

Кожний сплав у групі охоплює та перекриває деякий діапазон застосування для конкретної операції стосовно певного оброблюваного матеріалу. Графічно ці зони позначають прямокутником із загостренням, яке вказує середину діапазону застосування (див. рис. 1.19).

Тверді сплави з покриттям домінують у сучасному обробленні, тому їх необхідно вибирати в першу чергу для більшості операцій, а також використовувати як основний матеріал при різанні різних матеріалів.

Таблиця 1.13 – Відповідність марок сталей і сплавів за ДСТУ класифікаціям ISO

| ISO | | Матеріал | Сталі та сплави по ДСТУ | |
|-------|--------------------------------------|--|---|--|
| Гр. | Підгр. | | | |
| Сталі | P01 | Нелеговані сталі; незагартовані сталі з вмістом вуглецю: C = 0,1...0,25% | Ст0, Ст1, Ст2, Ст3 – група Б, 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 15Г, 20Г, 25Г, 10Г2, 09Г2, 09Г2С, А11, А12, А20, АС14, 14Г2АФ, 18Г2АФ, 10ХСНД, 15ХСНД. Електротехнічні: Е 12 (10895, 20895, 11895, 21895), Е10 (10880, 20880, 11880, 21880), Е8 (10864, 20864, 11864) | |
| | | C = 0,25...0,55 % | Ст4, Ст5, Ст6 – група Б, 30, 35, 30Г, 35Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 47ГТ, 50, А30, А35, А40, А35Е, А45Е, АС40, АС35Г2, АС40Г2 | |
| | P10 | C = 0,55...0,8 % | 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А, 80С | |
| | | Високовуглецеві, відпалені сталі | Сталь 35, сталь 40, сталь 45, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А, 80С | |
| | | Загартовані та відпущені сталі | Сталь 75, сталь 80, сталь 85, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А, 80С | |
| | P20 | Низьколеговані сталі (менше 5% легуючих матеріалів) | 15Х, 20Х, 18ХГ, 15ХФ, 20ХФ, 12Г2НМФАЮ, 20ХН, 12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 12ХН4А, 20ХН4А, 14Х2Н3МА, 18Х2Н4МА, 20ХН2М, 15Н2М, 20Н2М, 15ХМ, 20ХМ, 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 20ХГР, 27ХГР, 20ХНР, 20ХГНР, 15ХГН2А, 20ХГНГР, 15Х2ГН2А, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 50Г2, 30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х, 30ХРА, 33ХС, 38ХС, 40ХС, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХМА, 35ХМ, 38ХМ, 40ХФА, 40ХГР, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХН3А, 38ХН, 30ХГСН2А, 30ХН2МА, 38ХН2МА, 40ХН2МА, 40ХН2МА, 25ХН4МА, 20ХН4ФА, 45ХН2МФА, 20Х3ВМФ, 30Х3МФ, 38ХН3МФА | |
| | | | 36ХН2МФА, 34ХН1МА, АС12ХН, АС14ХН, АС19ХН, АС20ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХЕ, АС40ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХЕ, АС40ХГНМ, 55С2А, 60С2А, 70С3А, 50ХГА, 55ХГР, 50ХФА, 50ХГФА, 60С2ХА, 70С2ХА, 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А | |
| | | | Підшипникові | ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС, ШХ4РП |
| | | | Електротехнічні | Э310-Э360 (3411-3425), 2011-2412 |
| | | | Високолеговані та інструментальні сталі (> 5% лег. елементів) | Х12М, Х6ВФ, 7ХГ2ВМ, 6Х6В3МФС, 5ХНМ, 5ХНВ, 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 3Х2В8Ф, 11ХФ, 13Х, ХВГ, ХСВГ, 9ХС, Х, В2Ф |
| | P30 | Відпалені швидкорізальні сталі | P18, P9, P6M5, P18K5Ф2, P9K5 | |
| | | Загартовані інструментальні сталі | P6M5K5, P2AM9K5, 11P3AM3Ф2, P12Ф3 | |
| P40 | Стальне лиття: нелеговане | 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л, У8Л | | |
| | Низьколеговане (< 5% лег. елементів) | 20ГЛ, 35ГЛ, 30ГЛС, 20ГФЛ, 30ХГСФЛ, 45ФЛ, 30ХНМЛ, 23ХГС2МФЛ, 20Х5МЛ | | |

| ISO | | Матеріал | Сталі та сплави по ДСТУ |
|---------------------|---|---|---|
| Гр. | Підгр. | | |
| | P50 | Високолеговане (> 5% легуючих елементів): | 10X13Л, 15X13Л, 20X13Л, 5X14НДЛ, 10X14НДЛ, 20X8ВЛ |
| | | ферритне | 15X25ТЛ, 75X28Л, 185X34Л |
| | | аустенітне | 110Г13Л, 10X18Н9ТЛ, 10X18Н9Л, 15X25Н19СЛ |
| | | Марганцовиста броньова сталь | 10Г13, Г13 |
| | | Загартоване стальне лиття | 10X25Н5ТМФЛ, 25X23Н7СЛ, 30X24Н12СЛ |
| M | | Нержавіючі сталі мартенситного та ферритного класів з вмістом 18...25% Cr | 08X13, 12X13, 20X13, 30X13, 40X13, 14X17Н2, 12X17, 15X25Т, 40X9С2Л, 5X18 |
| Нержавіючі сталі | M10 | Теплостійкі та мартенситно-старіючі | 11X11Н2В2МФ, Х5Н12К3М7Т, Н18К9М5Т, Н12К8М4Г2, Н10X11М2Т, Н9X12Д2ТБ, 30X9Н8М4Г2С2, 25Н25М4Г1 (TRIP або ПНП). |
| | | Загартовані | 04X11Н9М2Д2ТЮ (ЭП832), 03Н17К10В10МТ-ВД (ЭП836-ВД), 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП637-ВД), ЧС4-ВИ. |
| | M20 | Аустенітного класу з вмістом 18...25% Cr та 8% Ni | 12X18Н10Т, 17X18Н9, 06X18Н11, 10X14АГ15, 10X14Г14Н4Т (ЭИ711), 12X17Г9АН4 (ЭИ878), |
| | | Супераустенітні | 20X13Н4Г9 (ЭИ100), 08X10Н20Т2, 09X16Н4Б (ЭП56) |
| | M30 | Аустенітно-ферритні, (дуплекс) | 08X22Н6Т, 12X21Н5Т, 08X21Н6М2Т, 08X18Г8Н2Т, 15X18Н12С4ТЮ |
| | M40 | Вилівки: аустенітні, незагартовані | 30X24Н12СЛ, 40X24Н12СЛ, 35X23Н7СЛ, 12X18Н9ТЛ, 10X18Н11БЛ, 12X18Н12М3ТЛ, 55X18Г14С2ТЛ, |
| | | дисперсійно-твердіючі | 45Г13Н3ЮЛ, 15X18Н22В6М2Л, 20X21Н46В8Л, |
| | | загартовані надаустенітні | 31X19Н9МВБТЛ, 10X17Н10Г4МБЛ, 08X17Н34В5Т3Ю2Л |
| | | аустенітно-ферритні, (дуплекс) | не можуть зварюватись (C > 0,05%) можуть зварюватись (C < 0,05%) |
| | Чавуни | K01 | Кувальні чавуни: ферритного класу |
| перлитного класу | | | КЧ50-5, КЧ55-4 |
| мартенситного класу | | | КЧ60-3, КЧ63-2 |
| K10 | | Сірі чавуни: ферритного класу | СЧ10, СЧ15, СЧ18, АЧС-3 |
| | | перлитного класу | СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ30, СЧ35, АЧС-1, АЧС-2 |
| | | аустенітного класу | СЧ12-28, АЧС-5 |
| K20 | | Чавуни з шароподібним графітом: високоміцний ферритний | ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45 |
| | | перлитного класу | ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100 |
| K30 | | мартенситного класу | ВЧ120-4 |
| N | | N01 | Алюмінієві сплави. Алюміній чистий |
| | Алюмінієві сплави, що піддаються деформації | | АМЦ, АМГ2, АМГ3, АМГ5, АМГ6 |

| ISO | | Матеріал | Сталі та сплави по ДСТУ |
|------------------------------|--------|--|---|
| Гр. | Пілгр. | | |
| Кольорові | N20 | Загартовані + старіння | АД31, Д1, Д16, АК4, АК6, АК8, В95 |
| | | Ливарні алюмінієві сплави Si < 13%, м'які | АЛ3, АЛ5, АЛ32, АК52М, АЛ8, АЛ23, АЛ23-1, АЛ27 |
| | | Загартовані + старіння | АЛ27-1, АЛ28, АЛ7, АЛ19, АЛ33, ВАЛ10, АЛ1, АЛ21, АЛ24 |
| | | Силуміни Si > 8% | АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34 |
| Кольорові | N30 | Міді та сплави на її основі. Бронзи та латуні >1% Pb | ЛС59-1, ЛС60-1, ЛС64-2, ЛС74-3, ЛС63-3, ЛЖС58-1-1, БрОЦС4-4-4, БрО6Ц6С3 |
| | | Бронзи та латуні <1% Pb | Л90, Л85, Л80, Л70, Л68, Л63, Л60, БрОФ6,5-04, БрАЖН10-4-4 |
| | | Чиста мідь | М00ж, М16 |
| Жароміцні та титанові сплави | S01 | Жароміцні сплави на залізній основі, м'які | ХН38ВТ (Эи703), ХН28МАБ (ЭП126), 36ХНТЮ (ЭИ702) |
| | | Старіння | ХН35ВТЮ (ЭИ787), ХН32Т (ЭП99) |
| | S10 | На нікелевій основі: випалення; | ХН60В (ВЖ98, ЭИ868), ХН77ТЮ (ЭИ437), ХН56МТЮ (ЭП199), ХН67ВМТЮЛ (ЭП202Л) |
| | | старіння: | ХН72МВКЮ (ЭИ867), ХН60МВТЮ |
| | | лиття або після старіння | (ЭП487), ХН82ТЮМВ (ЭП460), ВЖ36-Л2, АНВ-300, ЖС6К, ЖС3ДК, сплави: Inconel 600, 601, 604, 625 |
| | S20 | Жароміцні сплави на основі кобальту: випалення, відпускання | Сплави закордонного виробництва: Наурес-36 (-151), Jessor-832 (-834, -865, -875, -887), Air Resist-13 (-213) |
| | | лиття, старіння | |
| | S30 | Титанові сплави. Титан технічний | ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1Л |
| | | α – титані сплави | ВТ3-1, ВТ3-1Л, ВТ4, ВТ5, ВТ5-1, ОТ4 |
| | | α+β титанові сплави | ВТ6, ВТ6С, ВТ6Л, ВТ9Л, ВТ14, ВТ14Л, ВТ20, ВТ21Л |
| Матеріали високої твердості | H01 | Матеріали з високою поверхневою твердістю. Загартовані сталі 45...50 HRC | 40ХФА, 40ХГТР, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХН3А, 38ХГН, 30ХГСН2А, 30ХН2МА, 38ХН2МА, 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, 25Х2Н4МА, 20ХН4ФА, 45ХН2МФА, 20Х3ВМФ, 30Х3МФ, 38ХН3МФА |
| | | Надтверді загартовані 55 HRC | 36Х2Н2МФА, 34ХН1МА, АС12ХН, АС14ХГН, АС19ХГН, АС20ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХЕ, АС40ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХЕ, АС40ХГНМ, 55С2А, 60С2А, 70С3А, 50ХГА, 55ХГР, 50ХФА, 50ХГФА, 60С2ХА, 70С2ХА, 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А, Р6М5К5, Р2АМ9К5, 11Р3АМ3Ф2, Р12Ф3 |
| | H20 | Надтверді загартовані 60...65 HRC | КЧ37-12, КЧ35-10, КЧ30-6, КЧ33-8, АЧК-1, ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100 |
| | | Відбілений чавун | КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ63-2, ЧХ16, ЧХ28, ЧХ32, ЧН15Д7, ЧН15Д3Ш, ЧН19Х3Ш, ЧН11Г7Ш, ЧС13, ЧС15, ЧС17 |
| | H30 | Відбілений або легований зносостійкий чавун | |

Для покриття використовуються два основні методи нанесення покриттів з тугоплавких металів: хімічний метод CVD (Chemical Vapour Deposition) і фізичний PVD (Physical Vapour Deposition). Методи розрізняються за температурою нанесення та тиском. Зараз використовується покриття MT-CVD з низьким рівнем напруг, яке здійснюється при температурі нижче за 800 °С, що попереджає ріст тріщин і дозволяє підвищити міцність різальної крайки в порівнянні із твердими сплавами зі звичайним високо-температурним покриттям HT-CVD. Можна одержати одношарові й багатшарові покриття з різними властивостями та застосовувати в різних областях. Типовим представником тришарового покриття є покриття сплавів СТ15М, СТ25М, СТ35М, що складається з $TiCN-Al_2O_3-TiN$, товщиною 8...12 мкм. Таке покриття дозволяє підвищити стійкість інструментів в 2...5 разів і суттєво підняти продуктивність різання. Зараз вітчизняні й закордонні виготовлювачі відповідно до свого національного стандарту роблять безліч різних марок твердого сплаву, тому необхідно ідентифікувати всі марки твердого сплаву та зробити зіставлення їх за властивостями і групами застосовності згідно з Міжнародною системою класифікації ISO.

На вітчизняних машинобудівних підприємствах широко використовуються інструменти, оснащені твердосплавними ЗБП як закордонного, так і українського виробництва. Їхні марки та позначення дуже різноманітні за складом твердих сплавів, геометрії й покриттям. Тому зіставлення та ідентифікація марок сплавів різних виробників за їхніми властивостями, які мають одну групу різання й групу застосування за ISO і ДСТУ 19042-91, є необхідною умовою їхнього застосування. Ряд робіт містить відомості та результати виробничого досвіду із зіставлення властивостей ЗБП із твердого сплаву й керметів, виготовлених різними виробниками, та вони носять вибиранняковий і неповний характер.

Аналіз сучасних марок твердого сплаву, керметів (безвольфрамових твердих сплавів) різальної кераміки і надтвердих матеріалів (ПКА, ПКНБ) з покриттям і без покриття провідних світових виробників, дозволив зіставити їх згідно із групами застосовності за ISO для технологічних процесів механічного оброблення.

У табл. 1.14 зроблено зіставлення марок твердого сплаву зі зносостійкими покриттями, що випускають вітчизняні та закордонні виготовлювачі для токарних робіт, відповідно в табл. 1.15 представлено марки твердих сплавів без покриття.

Розподіл марок твердого сплаву різних виробників за групами застосування зроблено орієнтовно. Кожна марка твердого сплаву має краще застосування при оброблянні матеріалів тієї підгрупи різання, де вона перебуває, і перебиває деякий діапазон сусідніх груп різання, тому кожна марка твердого сплаву може добре працювати в різних групах різання. Існують спеціалізовані марки твердого сплаву, які використовуються для певного оброблюваного матеріалу та типу операції, а також універсальні марки, які дозволяють обробляти різні матеріали при різних типах операцій.

Марки твердих сплавів з покриттям мають деякі обмеження при експлуатації. При нанесенні покриттів на твердосплавні пластини збільшується величина радіуса округлення різальної крайки (до 40 мкм), тому їхнє застосування обмежується при чистових операціях і чорнових з переривчастим різанням.

Світові виробники твердого сплаву дають область раціонального його застосування й указують групу різання та кращі групи застосування та різання (див. табл. 1.14 і 1.15). Критеріями вибирання матеріалу ЗБП для механічного оброблення є тип операції: чистова, напівчистова, легка чорнова, чорнова, а також умови оброблення:

1. *Добрі*. Високі швидкості. Безперервне різання. Попередньо оброблені заготовки. Висока жорсткість технологічної системи (верстат–пристосування –інструмент–заготовка). Вимоги до твердого сплаву – висока зносостійкість;

2. *Нормальні*. Помірні швидкості різання. Контурне точіння. Кування та виливки. Досить жорстка технологічна система. Вимоги до твердого сплаву – гарна міцність у комбінації з досить високою зносостійкістю;

3. *Важкі*. Невисокі швидкості. Переривчасте різання. Товста кірка на литві або куваннях. Технологічна система – нежорстка. Вимоги до твердого сплаву – висока міцність.

Розглянуті критерії вибирання інструментального матеріалу для різних умов оброблення дозволяють визначити раціональні області для використання обраної марки твердого сплаву в межах групи застосування за ISO. У табл. 1.16 представлено області застосування твердого сплаву залежно від типу операції й умов оброблення відповідно до кодової назви матеріалу заготовки за ISO.

Приклад: Вибрати марку твердого сплаву для токарної операції.

Оброблюваний матеріал – сталь 45, операція – чистова, умови оброблення – добрі.

Згідно з табл. 1.13 сталь 45 відноситься до групи різання Р (підгрупа P01), отже, зіставивши матеріал заготовки з кодовим номером ISO – Р, знайдемо область застосування твердого сплаву P01–P10 (див. табл. 1.16).

Цій області застосування P01–P10 згідно з каталогом ВАТ «Кіровоградський завод твердих сплавів» відповідають дві марки твердого сплаву з покриттям TC20HT і HP10AT і одна без покриття H10. Рекомендується вибрати марку твердого сплаву, у якого середина шкали області застосування перебуває ближче всіх до діапазону області застосування. У цьому випадку – це марка твердого сплаву з покриттям TC20HT або марка твердого сплаву без покриття H10.

Таблиця 1.14 – Марки твердих сплавів з покриттям для токарних робіт

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TaeguTec (Корея) | Pramet (Чехія) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--|-------------------------|--|--|---|---|
| P | P01 | CT15M | GC4215 GC3005 GC1115 | | NC3010 | TT8115 | T9310 T8315 | WPP01 WPP05 WPP10 WSM10 WXN10 WPP10S WKK20S TN7105 TN7110 |
| | P10 | CT15M, CT25M | GC4215 GC4225 GC3005 GC1515 GC1125 GC15 GC1115 GC4315 | TGK25 CP200 | NC3010 NC3220 NC3120 | TT8115 TT8125 | T8315 T9310 T9315 T5305 T9310 | WPP10S WPP20S WMM20S WPP01 WPP05 WPP10 WPP20 WKK20S WSM21 WXN10 WAK20 TN7105 TN7110 TN7115 |
| | P20 | CT15M, CT25M, CT35M T35P | GC4215 GC4225 GC4235 GC3005 GC2015 GC2025 GC1515 GC1125 GC1115 GC4315 GC4325 | TGK25 CP200 CP500 | NC3010 NC3220 NC3120 NC3030 NC5330 NC500H | TT5100 TT8115 TT8125 TT8135 TT9020 | T9315 T9325 6630 T8315 T8330 T5305 T5315 T9310 | WPP10S WPP20S WPP30S WMP20S WPP05 WPP10 WPP20 WPP30 WSM10 WSM20 WSM21 WSM30 WKK20S WAK20 TN7115 TN7125 |
| | P30 | CT15M, CT25M, CT35M T35P | GC4215 GC4225 GC4235 GC3005 GC2025 GC1515 GC1125 GC30 GC4325 | TGK25 CP500 CP600 | NC3220 NC3120 NC3030, NC5330 NC500H | TT5100 TT7100 TT8020 TT8125 TT8135 TT9020 | T9325 T9335 T5315 T7335 6630 6640 T8030 | WPP20S WPP30S WMP20S WPP20 WPP30 WSM20 WSM21 WSM30 WAK30 TN7125 TN7135 |

Продовження табл. 1.14

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Почія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TaeguTec (Корея) | Pramet (Чехія) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|------------------------------------|--|--|--|--|--|
| P40 | CT25M, CT35M CU45 T35P | GC4225 GC4235 GC2025 | TGP25 CP500 CP600 | NC3030 NC5330 | TT5100 TT7100 TT8020 TT8125 TT8135 TT9020 | 6640 T8345 T9335 T7335 T8030 | WPP30S WPP30 WSM30 WAK30 | TN7135 | |
| | P50 | T35P CU45 | GC4235 | CP600 | | T8345 | WAK30 | | |
| M | M01 | | GC2015 GC1115 GC1105 | CP200 | | TT9215 TT5080 | T8315 | WSM10 WMP20S WXN10 | TN6010 |
| | M10 | CT25M | GC2015 GC1115 GC1125 GC2025 GC1105 GC1515 | TGP25 CP200 CP500 | PC8110 | TT5080 TT9080 TT9225 TT9215 | 6630 T8315 T5315 T8310 | WMP20S WSM10 WSM20 WSM21 WXN10 | TN6010 |
| | M20 | CT25M, CT35M T35P CU45 | GC2015 GC1115 GC1125 GC2025 GC2035 GC235 GC1105 GC1515 | TGP25 CP200 CP500 CP600 | PC8110 NC9025, PC5300, PC9030 | TT5080 TT9080 TT9215 TT9225 TT9235 | T9325 T5315 6630 6635 6640 T8310 | WMP20S WSM10 WSM20 WSM21 WSM30 | TN6010 TN6025 TN7125 TN8025 |
| | M30 | CT25M, CT35M, T35P CU45 | GC2015 GC1115 GC1125 GC2025 GC2035 GC235 GC1515 GC30 | TGP25 CP500 CP600 | PC8110 NC9025 PC5300 PC9030 | TT9080 TT8020 TT9020 TT9225 TT9235 | T9325 6630 6640 T8330 T7335 T8030 | WSM20 WSM30 WSM21 | TN6025 TN7125 TN8025 |
| | M40 | CT35M, T35P CU45 | GC2025 GC2035 GC235 | CP500 CP600 | NC9025 PC5300 PC9030 | TT9020 TT9235 TT8020 TT9080 | T8345 T8030 | WSM30 | |
| | M40 | CT35M, T35P CU45 | GC2025 GC2035 GC235 | CP500 CP600 | NC9025 PC5300 PC9030 | TT9020 TT9235 TT8020 TT9080 | T8345 T8030 | WSM30 | |
| K | K01 | CK15M K10M | GC3205 GC3210 GC3215 | | NC6205 NC6210 | TT7005 | T8315 T7335 | WPP01 WKK10S WAK10 | TN6010 |
| | K10 | CK15M K10M K20M CT25M | GC3205 GC3210 GC3215 GC4315 | TGP25 TGK1500 CP200 | NC6205 NC6210 NC315K | TT7005 TT7015 TT7310 | T9315 T8315 T5305 T5315 T9310 | WPP01 WKK10S WPP10 WKK20S WAK10 WAK20 | TN5105 TN6010 TN5120 TN7115 |
| | K20 | CK15M K10M K20M CT25M | GC3205 GC3210 GC3215 GC4315 GC4325 | TGP25 TGK1500 CP200 CP500 | NC6210 NC315K NC5330 PC5300 | | T9325 T9315 T5305 T5315 6630 T8315 T9310 | WPP01 WKK10S WPP10 WKK20S WPP20 WAK10 WAK20 WAK30 | TN5105 TN5125 TN6010 TN5120 TN7115 |

Продовження табл. 1.14

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TaeguTec (Корея) | Pramet (Чехія) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) | |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|--|-------------------------|----------------------------|--|--|--|----------------------------|
| K | K30 | K20M CT25M | GC3215 GC4325 GC30 | TGP25 CP500 | NC5330 PC5300 | | 6630 6635 6640 T8315 T8330 T5315 T8030 | WKK10S WPP10 WKK20S WPP20S WPP20 WAK20 WAK30 | TN5120 |
| | K40 | | GC30 | CP500 CP600 | | | 6640 T8030 | WPP20S WPP20 WAK30 | |
| | K50 | | | | | | | | |
| N | N01 | | | | | | WXN10 | | |
| | N10 | | GC1115 GC15 GC1125 GC1025 | | | | T8315 T8310 | WXN10 | HCK10 |
| | N20 | | GC1115 GC15 GC1125 GC1025 | | | | T8315 T8330 T8030 T8310 | WXN10 | HCK10 |
| | N30 | | GC1125 GC1025 | | | | T8315 T8330 T8345 T8030 | | |
| S | S10 | | S05F GC1005 GC1025 GC1105 GC1115 GC15 | CP200 CP500 CP600 | PC8110 | TT5080 TT9215 TT9225 | T8315 T8310 | WMP20S WSM10 WSM20 WSM21 | TN6010 TN8025 |
| | S20 | | S05F GC1005 GC1025 GC1105 GC1115 GC15 GC1125 | CP200 CP500 CP600 | PC8110 NC5330 PC5300 | TT5080 TT9215 TT9225 TT9235 TT9080 | 6640 T8315 T8030 T8310 | WMP20S WSM10 WSM20 WSM21 WSM30 | TN6025 TN6010 TN8025 |
| | S30 | | GC1005 GC1025 GC1115 GC1125 | CP500 CP600 | NC5330 PC5300 | TT5080 TT9235 TT9225 TT9080 | 6640 T8330 T8030 | WMP20S WSM20 WSM21 WSM30 | TN6025 TN8025 |
| | S40 | | GC30 | | | TT9235 | | WSM30 | TN8025 |
| H | H01 | K10M | GC4205 GC4215 | | PC8110 | | T8315 | | |
| | H10 | CK15M K10M CT15M | GC4205 GC4215 | | PC8110 | | T9315 T8315 T8310 | WKK10S WAK10 | |
| | H20 | CK15M K10M CT15M | GC4205 GC4215 | CP200 | | | T9315 T5315 T8030 T8310 T9310 | WKK10S WAK10 | |
| | H30 | CT15M | GC4215 | CP200 | | | T8330 T8345 T5315 T8030 | WKK10S WAK10 | |

Продовження табл. 1.14

| Групи різання та використання | K3TC (Росія) | Kyocera (Японія) | Sumitomo (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Dijet (Японія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Kannametal (США) | Tungaloy (Японія) |
|-------------------------------------|-----------------|--|--|----------------------------|--|--------------------------------------|---|---|
| P | P01 | HP10TT | PR915 PR930 PR1005 CA5515 CA5505 | AC810P | IC428 IC5005 IC8048 IC9150 IC8150 | JC110V | UE6105 UE6110 MY5015 | KCP05 T9105 |
| | P10 | TC20PT HP10TT TC20HT TP20AM | PR915 PR930 PR1005 PR1025 CA5515 CA5505 CA5525 | AC810P AC820P | IC428 IC5005 IC8048 IC9007 IC9150 IC8150 IC9250 IC8250 IC9054 IC507 IC807 IC907 IC908 | JC110V JC215V | UE6105 UE6110 VP10RT MY5015 | KCK15 KCK05 KCP10 KCP05 KCU10 KC5010 KC5510 T9105 T9115 T9115 T9125 T313V AH710 |
| | P20 | TC20PT TC40PT HP10TT HP30TT TC20HT TC35PT TP20AM | PR915 PR930 PR1025 PR1115 PR1225 PR1425 CA5515 CA5525 | AC810P AC820P AC820P | IC428 IC5005 IC8048 IC9007 IC9150 IC8150 IC9250 IC8250 IC9350 IC8350 IC9054 IC3028 IC330 IC507 IC807 IC907 IC908 | JC110V JC215V JC325V JC450V | UE6110 MY5015 VP10RT MC6025 UE6020 VP15TF VP20MF VP20RT UP20M | KCK15 KCP10 KCP05 KCP25 KCP30 KCU10 KCU25 KC5010 KC5025 KC5510 KC5525 T9105 T9115 T9115 T9125 T313V AH725 AH120 SH730 GH730 GH130 |
| | P30 | TC20PT TC40PT TP40AM HP30TT TC20HT TC35PT TP20AM | PR1025 PR1225 PR1425 CA5525 CA5535 | AC820P AC830P | IC8048 IC9150 IC8150 IC9250 IC8250 IC9350 IC8350 IC9054 IC3028 IC330 IC507 IC807 IC907 IC908 | JC215V JC325V JC450V | MC6025 UE6020 VP15TF VP20MF VP20RT UP20M UE6035 UH6400 | KCM25 KCM15 KCP25 KCP10 KCP40 KCU25 KC5025 KC5525 T9125 T9135 T313V AH725 AH120 SH730 GH730 GH130 GH740 J740 |
| | P40 | TC40PT TP40AM HP30TT TC35PT | CA5535 | AC830P | IC9150 IC8150 IC9250 IC8250 IC9350 IC8350 IC9054 IC3028 IC330 | JC325V JC450V | UE6035 UH6400 | KCM35 KCM25 KCP30 KCP40 T9135 AH725 AH120 SH730 GH730 GH130 GH740 J740 |

Продовження табл. 1.14

| Групи різання та використання | | КЗТС (Росія) | Кусоера (Японія) | Sumitomo (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Dijet (Японія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Kannametal (США) | Tungaloy (Японія) |
|-------------------------------------|-----|--|---|--|--|---|---|--|--|
| P | P50 | TP40AM | | | IC9350 IC8350 IC3028 IC330 | | | KCM35 KCP40 | |
| | M01 | AP10AT | | | | JC5003 | MC7015 | | T9115 |
| M | M10 | AP10AT BP20AM TP20TT AP30AT BP20TT | CA6515 CA6525 PR1025 PR1125 PR1225 PR1425 PR930 | AC405K AC415K AC420K AC610M AC630M | IC9250 IC8250 IC350 IC8350 IC9054 IC3028 IC330 IC507 IC520 IC570 IC807 | JC110V JC5003 JC8015 | MC7015 US7020 VP10RT | KCM15 KCU10 KC5010 KC5510 | T6120 T9115 T6020 T6120 T9115 T6130 T9125 T313V AH710 |
| | M20 | AP10AT BC35PT BP20AM BP35AM TC40PT TP20TT TP40TT AP30AT BP20TT | CA6515 CA6525 PR1025 PR1125 PR1225 PR1425 PR930 | AC415K AC420K AC820P AC610M AC630M AC530U | IC9250 IC8250 IC350 IC8350 IC9054 IC3028 IC330 IC507 IC520 IC570 IC907 | JC5003 JC110V JC8015 JC525X JC5015 | MC7015 MC7025 US7020 VP10RT VP15TF VP20MF VP20RT UP20M | KCM15 KCP40 KCU10 KCU25 KC5010 KC5025 KC5510 KC5525 | T6020 T6120 T9115 T6130 T9125 T313V AH710 AH630 AH710 GH330 AH120 GH730 |
| | M30 | BC35PT BP35AM TC40PT TP20TT TP40TT AP30AT | CA6525 PR1025 PR1125 PR1225 PR1425 | AC820P AC830P AC630M AC530U | IC9350 IC8350 IC9054 IC3028 IC330 IC908 | JC5015 JC8015 JC525X | MC7025 MP7035 VP15TF VP20MF VP20RT UP20M US735 | KCM35 KCM25 KCP40 KCU25 KC5025 KC5525 | T6020 T6130 T9125 T313V AH725 AH630 AH645 AH120 GH330 GH730 SH730 GH130 J740 |
| | M40 | BC35PT BP35AM TP40TT | PR1225 | AC830P AC630M AC530U | IC3028 IC330 | JC525X | MP7035 US735 | KCM35 KCP40 | T6030 T6130 AH725 AH645 AH120 GH730 SH730 GH130 J740 |
| | K | K01 | AP10AT | CA4505 | AC405K AC410K AC415K | IC428 IC5005 IC4028 IC5010 IC8048 IC9150 IC8150 | JC105V JC525X | MC5005 MC5015 UC5105 UC5115 MY5015 | KCK05 |

Продовження табл. 1.14

| Групи різання та використання | КЗТС (Росія) | Кусога (Японія) | Sumitomo (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Dijet (Японія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Kannametal (США) | Tugaloy (Японія) | |
|-------------------------------------|-----------------|---|---|--|---|-----------------------------------|--|---|--|
| К | K10 | AP10AT BC20HT BC25HT BP20AM | CA4010 CA4115 CA4120 CA45005 CA4515 | AC410K AC415K AC420K AC700G AC820P AC900G | IC418 IC428 IC5005 IC4028 IC5010 IC8048 IC9150 IC9007 IC8150 | JC525X JC050W JC110V | MC5005 MC5015 UC5105 UC5115 MY5015 VP10RT | KCK15 KCK05 KCP05 KCP10 KCU10 KC5010 KC5510 | T5105 T5115 T5125 GH110 AH110 AH710 |
| | K20 | BC20H BC25HT BC35PT BP20AM BP35AM | CA4010 CA4115 CA4120 CA4515 | AC415K AC420K AC700G AC820P AC900G | IC418 IC428 IC5005 IC4028 IC5010 IC8048 IC9150 IC9007 IC8150 IC908 | JC110V JC215V | MC5015 UC5115 MY5015 VP10RT VP15TF VP20RT | KCK15 KCP05 KCP10 KCU10 KCU25 KC5010 KC5025 KC5510 KC5525 | T5105 T5115 T5125 GH725 GH130 |
| | K30 | BC25HT BC35PT BP20AM BP35AM | CA4120 CA4515 | AC820P | IC418 IC908 | JC110V JC215V | VP15TF VP20RT | KCP25 KCU25 KC5025 KC5525 | <u>T5125</u> <u>T9125</u> <u>T313V</u> <u>GH110</u> <u>AH110</u> <u>AH710</u> <u>AH725</u> <u>AH120</u> <u>GH730</u> <u>GH130</u> |
| | K40 | BP35AM | | | IC908 | | | KCP25 | <u>AH725</u> <u>AH120</u> <u>GH730</u> <u>GH130</u> |
| | K50 | | | | | | | | |
| N | N01 | AP10AT | | | IC520 | | KC5410 | | |
| | N10 | AP10AT BP20AM | | | IC520 IC908 | | KCU10 KC5010 KC5410 KC5510 | DS1100 DS1200 GH110 | |
| | N20 | AP10AT BP20AM | | AC510U | IC520 IC908 | | KCU10 KCU25 KC5010 KC5025 KC5410 KC5510 KC5525 | DS1100 DS1200 GH110 | |
| | N30 | BP20AM | | | IC908 | | KCU25 KC5025 KC5525 | DS1200 | |
| S | S10 | AP10AT BP20AM BP35AM AP30AT | CA6515 PR1305 PR1310 | AC510U, AC520U | IC507 IC907 IC908 | JC5003 JC8015 JC5015 | VP10RT MP9005 MP9015 VP15TF VP20RT | KCU10 KC5010 KC5510 | AH905 SH730 AH110 AH120 |

| Групи різання та використання | КЗТС (Росія) | Кусоера (Японія) | Sumitomo (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Dijet (Японія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Kannametal (США) | Tungaloy (Японія) | |
|-------------------------------|--------------|--------------------------------------|--|-------------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|
| S | S20 | AP10AT BP20AM BP35AM AP30AT | CA6515 CA6525 PR1125 PR1310 PR1325 | AC510U, AC520U | IC3028 IC330 IC507 IC907 IC908 | JC1515 JC8015 | MP9015 VP10RT VP20RT VP15TF | KCU10 KCU25 KC5010 KC5025 KC5510 KC5525 | SH730 AH110 AH120 AH725 |
| | S30 | BP35AM AP30AT | CA6515 PR1125 PR1310 PR1325 | AC520U, AC530U | IC3028 IC330 IC908 | | | KCU25 KC5025 KC5525 | AH120 AH725 |
| | S40 | | | AC530U | | | | | |
| H | H01 | | PR1025 | | IC507 IC907 | | | | |
| | H10 | AP10AT BC20HT | PR1025 PR1125 PR1225 | | IC428 IC5005 IC507 IC907 | | | KCU10 KC5010 KC5510 | |
| | H20 | AP10AT BC20HT | PR1125 PR1225 PR1425 | | IC428 IC5005 IC507 IC907 IC908 | | | | |
| | H30 | | PR1425 | | IC428 IC5005 IC908 | | | | |

Таблиця 1.15 – Марки твердих сплавів без покриття для токарних робіт

| Групи різання та використання | КЗТС Росія | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco Tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Pramet (Чехія) | Walter (Німеччина) |
|-------------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| P | P01 | H10 H05 | PT10 | | ST05 ST10 | | | |
| | P10 | H10 H20 | PT10, PT20 | | ST05 ST10 ST15 ST20 | | | |
| | P20 | H10 H30 H20 | PT10 PT20 PT30 | | ST10 ST15 ST20 ST30N ST30 | P20 P30 | | |
| | P30 | H30 T40 H20 | PT20 PT30 PT40 | | ST30N ST30 ST40 | P30 | | |
| | P40 | H30 T40 T50 | PT30 PT40 | | ST40 ST46 ST45 | | | |
| | P50 | T40 T50 | PT40 | | ST46 ST45 | | | |
| M | M01 | A10 | | | | | | |
| | M10 | A10 B20 B35 T20 | TK20 TK25 | 890 | | | HF7 | |

Продовження табл. 1.15




| Групи різання та використання | K3TC Росія | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Південія) | Seco Tools (Швеція) | Korloy (Корея) | Teagu Tec (Корея) | Pramet (Чехія) | Walter (Німеччина) | |
|-------------------------------|------------|--|-----------------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|-------------|
| M | M20 | A10 B20 B35 T20 T40 A30 | TK20 TK25 | | 890 883 | U10 U20 | HF7 | | |
| | M30 | B20 B35 T20 T40 A30 T50 | TK25 PT40 | | | U20 U40 | | | |
| | M40 | B35 T40 T50 | PT40 | | | U40 | | | |
| K | K01 | A10 | TK10 | | | H02 | K10 | | |
| | K10 | A10 B20 | TK10 TK20 | CT5015 | 890 | H02 H01 H05 | K10 | HF7 | |
| | K20 | A10 B20 B35 B25 | TK10 TK20 | H13A | 890 883 | H05 H10 G10 | K10 | HF7 PB2 | |
| | K30 | B20 B35 B25 | TK20 | H13A | 890 883 | G10 | | PB2 | |
| | K40 K50 | B35 | | | | | | PB2 | |
| N | N01 | A10 | | | | | PD1 | WK1 | |
| | N10 | A10 B20 | TK20 TK25 | H10 H13A | 890 883 | H01 | K10 | HF7, PD1 | WK1 |
| | N20 | A10 B20 B35 | TK20 TK25 | H10 H13A | 890 883 | H01 | K10 | HF7 PD1 | WK1 |
| | N30 | B20 B35 | TK25 | H10 H13A | 883 | | | HF7 | |
| S | S10 | A10 B20 A30 | TK20 TK25 | H10A H13A H10F | 890 883 | | K10 | HF7 | WS10 WK1 |
| | S20 | A10 B20 B35 A30 | TK20 TK25 | H10A H13A H10F | 890 883 | | K10 | HF7 | WS10 WK1 |
| | S30 | B35 A30 | TK25 | H13A H10F | 890 883 | | | | |
| | S40 | | TK25 | | 890 883 | | | | |
| H | H01 | | TK10 | | | H01 | | | |
| | H10 | A10 H05 | TK10 TK20 | H13A | | H01 | | HF7 PB2 | |
| | H20 | A10 H05 | TK10 TK20 | H13A | 890 883 | | | HF7 PB2 | |
| | H30 | H05 | TK20 | H13A | 890 883 | | | PB2 | |

Продовження табл. 1.15

| Групи різання та використання | WIDIA (Німеччина) | Kannametal (США) | Кусоера (Японія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Sumitomo (Японія) | Tungaloy (Японія) |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------|
| P | P01 | TTX | | | | | |
| | P10 | TTX | | | | | |
| | P20 | TTM TTS | | | UTi20T | IC50M A30 | |
| | P30 | TTM TTR TTS TTR-X | | | UTi20T | IC50M IC28 A30 | UX30 |
| | P40 | TTR TTM TTR-X | | | | IC28 A30 | UX30 |
| | P50 | | | | | IC28 | |
| M | M01 | TTX | | | | | |
| | M10 | TTX | KU10 K313 K68 | | | IC07 IC08 IC20 G10E | UX30 |
| | M20 | TTM | KU10 K313 K68 | | UTi20T | IC07 IC08 IC20 G10E | UX30 |
| | M30 | TTM TTR TTR-X | | | UTi20T | IC08 IC20 | UX30 |
| | M40 | TTR TTR-X | | | | A30 | |
| K | K01 | | KU10 K313 K68 | KW10 | HTi05T | | TH10 |
| | K10 | THM THM-X | KU10 K313 K68 | KW10 GW15 | HTi10 | IC20 G10E | TH10 |
| | K20 | THM THM-X | KU10 K313 K68 | KW10 GW15 | UTi20T | IC20 G10E | TH10 |
| | K30 | | | | UTi20T | | TH10 |
| | K40 | | | | | | |
| | K50 | | | | | | |
| N | N01 | HWK10 | | KW10 | | IC20 | KS05F |
| | N10 | HWK10 HWK15 THM THM-X | KU10 K313 K68 | KW10 GW15 | HTi10 | IC20 IC08 | KS05F TH10 |
| | N20 | HWK10 HWK15 THM THM-X | KU10 K313 K68 | GW15 | HTi10 | IC20 IC08 HJ1 | KS05F TH10 |
| | N30 | | | | | IC20 IC08 | |
| S | S10 | THM | KU10 K313 K68 | SW05 SW10 KW10 GW15 | RT9005 RT9010 | IC07 IC08 IC20 | KS20 TH10 |
| | S20 | THM | KU10 K313 K68 | SW05 SW10 SW25 GW15 | RT9010 TF15 | IC07 IC08 IC20 IC28 | KS20 TH10 |

| Групи різання та використання | | WIDIA (Німеччина) | Kannametal (США) | Кусоера (Японія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Sumitomo (Японія) | Tungaloy (Японія) |
|-------------------------------|-----|-------------------|------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| S | S30 | | | SW25 | TF15 | IC07 IC08 IC28 | | |
| | S40 | | | | | | | |
| H | H01 | | | | | IC20 | | TH03 TH10 |
| | H10 | THM | | | | IC20 | | TH03 TH10 |
| | H20 | THM | | | | IC20 | | TH10 |
| | H30 | | | | | | | |

Таблиця 1.16 – Области застосування твердого сплаву

| Умови обробки | ISO | Тип операції | | | |
|---|-----|--------------|--------------|---------------|---------|
| | | Чистова | Напівчистова | Легка чорнова | чорнова |
| ДОБРИ  | P | P01–P10 | P10–P25 | P25–P30 | P30–P35 |
| | M | M10–M15 | M15–M20 | M20–M25 | M25–M30 |
| | K | K01–K05 | K05–K10 | K10–K15 | K15–K20 |
| | N | N05–N10 | N10–N15 | N15–N20 | N20–N30 |
| | S | S05–S10 | S10–S20 | S20–S25 | S25–S30 |
| | H | H05–H15 | H10–H15 | H10–H15 | H20–H25 |
| НОРМАЛЬНІ  | P | P10–P25 | P25–P30 | P30–P35 | P35–P40 |
| | M | M15–M20 | M20–M25 | M25–M30 | M30–M35 |
| | K | K05–K10 | K10–K15 | K15–K20 | K20–K25 |
| | N | N05–N10 | N10–N15 | N15–N20 | N20–N30 |
| | S | S05–S10 | S10–S20 | S20–S25 | S25–S30 |
| | H | H05–H15 | H10–H15 | H10–H15 | H20–H25 |
| ВАЖКІ  | P | P30–P35 | P35–P40 | P40–P45 | P45–P50 |
| | M | M20–M25 | M25–M30 | M30–M35 | M35–M40 |
| | K | K10–K15 | K15–K20 | K20–K25 | K25–K30 |
| | N | N10–N15 | N15–N20 | N20–N30 | N20–N30 |
| | S | S10–S20 | S20–S25 | S25–S30 | S25–S30 |
| | H | H10–H15 | H10–H20 | H20–H25 | H25–H30 |

Цій області застосування P01–P10 згідно з каталогом ВАТ (Sandvik MKTC) відповідають марки твердого сплаву з покриттям СТ15М і СТ25М та РТ10, РТ20 (без покриття). Ближче всіх середина шкали області застосування (рис. 1.19) марок твердого сплаву до діапазону області застосування P01–P10 перебуває у марки СТ15М (з покриттям) і у марки РТ10 (без покриття). Отже, ці марки твердого сплаву й рекомендуються для інструментального оснащення цієї токарної операції.

Кермети (безвольфрамові тверді сплави) на основі карбідів титану (TiC), карбо-нітридів титану (TiCN) і карбідів ніобію (NbC) з використанням нікель-молібденових зв'язувальних відрізняються високою твердістю, окалиностійкістю, мають низький коефіцієнт тертя, що зменшує зношування інструментів і забезпечує більш низьку шорсткість обробленої поверхні та високу точність розміру. Оптимальна швидкість різання на 20...40% перевершує швидкість різання твердих сплавів груп застосування P01...P30 і K01... K20 без покриття.

| ISO | | Твердий сплав з покриттям | Твердий сплав без покриття |
|----------|-------|---------------------------|----------------------------|
| Гр. | П/гр. | | |
| P | 01 | | |
| | 10 | CT15M | PT10 |
| | 20 | CT25M | PT20 |
| | 30 | CT35M | PT30 |
| | 40 | CU45 | PT40 |
| | 50 | | |

Рисунок 1.19 – Вибирання марки твердого сплаву ВАТ «Sandvik MKTC»

Таким чином, раціональніше використовувати безвольфрамові тверді сплави при чистовому і напівчистовому оброблюванні вуглецевих і легованих конструкційних сталей при високих швидкостях різання та при малих величинах подачі.

У табл. 1.17 представлено області застосування керметів, що випускаються закордонними виготовлювачами для токарних робіт.

Мінералокерамічні тверді сплави (різальнакераміка) з високими властивостями – теплостійкістю (до 1400°), твердістю (до 96 HRA), застосовуються для остаточного оброблювання всіх видів чавунів, високолегованих, загартованих, жароміцних сталей і сплавів при високих швидкостях різання (понад 500 м/хв).

Різальна кераміка, у порівнянні із твердими сплавами, має низькі характеристики за міцністю, тому через невідповідність верстатного устаткування, наявного у вітчизняному машинобудуванні, вимогам експлуатації інструмента, оснащеного різальною керамікою, вона використовується порівняно рідко.

Зараз ведуться роботи зі створення нових марок різальної кераміки з метою підвищення її міцності.

Таблиця 1.17 – Характеристика та область застосування керметів

| Марки | Виготальовач (фірма, країна) | Область та групи використання |
|--|---------------------------------|--|
| На основі TiC TN20 | Росія | Напівчистове та чистове точіння й фрезерування сталей та чавунів P01 ...P20, K10 ... K20 |
| На основі TiCN KHT16 | | Напівчистове та чистове точіння й фрезерування сталей та чавунів P01 ...P20, K10 ... K20 |
| На основі TiC з добавленням NbC, HTH30 | | Чорнове оброблення сталей та твердих чавунів P20 ... P30, K01 ... K10 |
| На основі TiCN TB4 | | Чорнове оброблення сталей P20 ... P30 |
| CT5005, CT5015 CT1525, CT525 | Sandvik Coromant | Оброблення сталей P01 ... P20, M10 ...M20 Оброблення чавунів K01 ... K20 |
| З покриттям GC1525 | (Швеція) | Оброблення сталей P01 ... P30, M10 ... M30 |
| KT125 KT175 KT315 HT2 HTX KZ205 | Kennametal (США) | Обробл. сталей. P01 ... P10, M10 ... M20, P10 ... P20, M10 ...M20 Обробл. чавунів K01 ... K20 Обробл. сталей та чавунів P10 ... P20, K01 ... K10 Обробл. сталей P01 ... P10, M10 ...M30 Обробл. сталей P10 ... P30, M20 ...M30 |
| SC7015 SC8015 SC15, SC40 | CeramTec (Німеччина) | Обробл. сталей та чавунів P10 ...P30, K10 ... K20 Обробл. сталей та чавунів P01 ... P10, K10 ... K20, M10 ... M20, K10 ...K20 |
| IC20N, IC520N, IC530N, IC75T | Iscar (Ізраїль) | Обробл. сталей P01 ... P30 Обробл. сталей P10 ... P30 |
| CN10, CN20, CN30, CN100, CN115, | Korloy (Південна Корея) | Обробл. сталей P10 ... P20, P20 ... P30 Обробл. сталей та чавунів P01 ... P10, K10 ... K20 |

| Марки | Виготовлювач (фірма, країна) | Область та групи використання |
|--|-----------------------------------|--|
| AP25N, NX2525 NX335, UP35N | Mitsubishi Carbide (Японія) | Обробл. сталей та чавунів P01 ... P30, M10 ... M30, K01 ... K20 Обробл. сталей P10 ... P20 |
| TN30, TN60, TN90, TN6020, | Kuocera (Японія) | Обробл. сталей та чавунів P01 ... P10, M10 ... M20, K01 ... K10, P10 ... P30, M20 ... M30, K10 ... K20 |
| T1200A, T2000Z T3000 Z | Sumitomo Electric (Японія) | Обробл. сталей та чавунів P01 ... P20, M10 ... M20, K01 ... K10, P20 ... P30, M20 ... M30, K10 ... K20 |
| CX50, LN10 CX75 | Dijet (Японія) | Обробл. сталей та чавунів: P01 ... P10, M10 ... M20, K01 ... K10, P10 ... P20, M20 ... M30, K10 ... K20 |
| NS520 AT520, GT520 NS530, GT530 | Toshiba (Японія) | Обробл. сталей та чавунів: P01 ... P20, M10 ... M20, K01 ... K20, P01 ... P20, K01 ... K10, P10 ... P30, M10 ... M20, K01 ... K20 |
| CH350 CH550 CH7030, CH7035 CZ1025 | Hitachi (Японія) | Обробл. сталей та чавунів P01 ... P20, K10 ... K20 P01 ... P20, M10 ... M30, K01 ... K10 P01 ... P30, M10 ... M30, K01 ... K20 P01 ... P30, M10 ... M30, K01 ... K20 |

Застосовується легування кераміки карбідами й нітридами титану (TiC, TiN), армування різальної оксидної кераміки ниткоподібними кристалами SiC, нанесення зносостійких покриттів і створюється нітридна кераміка на основі кремнію (Si₃N₄).

Основні марки кераміки, розроблені виробниками з різних країн, наведено в табл. 1.18.

До надтвердих матеріалів (НТМ) відносяться алмази (природні й синтетичні) і композиційні матеріали на основі кубічного нітриду бору. Алмази природні застосовуються в основному при точінні кольорових металів і сплавів. Синтетичні алмази широко застосовуються при оброблянні твердих сплавів шліфуванням, різанні, заточуванні та доведенні, а також для виготовлення кругів, брусків, олівців і роликів для правлення абразивних шліфувальних кругів.

Інструментальні матеріали на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) і полікристалічного алмаза (ПКА) мають високу твердість, що обумовлює

їхню надзвичайну зносостійкість при оброблянні важкооброблюваних матеріалів. Полікристалічний кубічний нітрид бору не містить вуглецю й інертний до заліза та його з'єднань, що дозволяє використовувати його при оброблянні різних сталей і сплавів.

Таблиця 1.18 – Характеристика й область застосування мінералокераміки

| Марки | Виробник (фірма, країна) | Склад | Область та групи використання |
|--|-----------------------------|---|---|
| Оксидна: ЦМ-332 ВО-13 ВШ-75 ВО100 | Україна, Росія | $Al_2O_3 - 99\%$ $MgO - 1\%$ | Чистове та напівчистове обробл. загартованих (30 ... 50 HRC) сталей, чавунів, кольорових металів на основі міді H10 ... H30, K01 ... K10, N30 |
| Оксидно-карбідна В-3 ВОК-63 ВОК200, ВОК300 | | $Al_2O_3 - 60\%$ $TiC - 40\%$ | Чистове та напівчистове обробл. загартованих (45 ... 60 HRC) сталей, чавунів з малими перетинами зрізу H10 ... H30, K01 ... K15 |
| Оксидно-нітридна ОНТ-20 | | $Al_2O_3 > 70\%$ $TiN - 30\%$ | Чистове та напівчистове обробл. чавунів, жаростійких сплавів K10 ... K20, S30 ... S40 |
| Нітридна РК-30 | | Si_3N_4, TiC | Обробл. високоміцних чавунів, нікелевих, титанових сплавів K10 ... K20, S30 ... S40 |
| ТВИН -200 ТВИН-400 | | $Si_3N_4 +$ оксиди $Al_2O_3 + SiC$ | Обробл. чавунів (K01 ... K20) та жаростійких сплавів (S10 ... S20) Обробл. жароміцних сплавів (S10) та матеріалів (H01 ... H20) |
| SL606 SL608, SL658 SH2 SN60 SN80 | CeramTec (Німеччина) | $Si_3N_4 +$ покриття | Обробл. чавуну K05 ... K10 Обробл. чавунів з шароподібним графітом K10 ... K40 Чорнове важке обробл. чавунів K10 ... K20, H10 ... H20 Обробл. чавунів K01 ... K20 Чорнове обробл. чавунів K30 |
| Нітридна SL500, SL550 | | $Si_3N_4 +$ покриття | Високошвидкісне обробл. чавунів K10 ... K40 |

| Марки | Виробник (фірма, країна) | Склад | Область та групи використання |
|--|----------------------------------|--|--|
| NB90S, NB90M NS260, NS260C NB100C | Sumitomo Electric (Японія) | | Чистове та напівчистове обробл. чавунів K01 ... K20 Чорнове обробл. чавунів K01 ... K20 Обробка сталей H10 ... H20 |
| Оксидно- карбідна CC620 CC650 CC670 | Sandvik Coromant (Швеція) | $Al_2O_3 + ZrO_2$ | Високошвидкісне обробл. сталі та чавунів P01 ... P10, K01 ... K10 |
| | | $Al_2O_3 + TiC$ | Чистове обробл. чавуну, жаро- стійких спеціальних сплавів K01 ... K10, S01 ... S20 |
| | | $Al_2O_3 + SiC$ | Обробл. жаростійких сплавів та матеріалів з високою твердістю S01 ... S20, H10 ... H20 |
| CC680 | | Si-Al-O-N (сіалон) | Важке переривчасте різання сірого чавуну; оброблення жаростійких сплавів K10 ... K20. S01 ... S30 |
| CC690 CC6090 GC1690 | | Si_3N_4 Si_3N_4 Si_3N_4 + по- криття | Напівчистове та чорнове обробл. чавунів K10 ... K40 Обробл. високошвидкісне сірого чавуну K01 ... K10 Обробл. чавунів K01 ... K30 |
| KY2000, KY2100 KY1615 KY3400, KY3500 KY4300 KY4400 Нітридна KT1120 KT5020 | Kennametal (США) | Si-Al-O-N (сіалон) $Al_2O_3 + TiCN$ Si_3N_4 + покр. $Al_2O_3 + TiCN$ + покрит. Si_3N_4 | Обробл. жароміцних сплавів S10 ... S20 Обробл. чавунів K01 ... K10 Обробл. чавунів K10 ... K30 Обробл. жароміцних сплавів (S10 ... S20) та загартованих чаву- нів (H30) Обробл. загартованих матеріалів (до 65 HRC) H10 ... H20, K01 ... K10 Обробл. сталей (P01 ... P40) та нержавіючих сталей (M10 ... M30) |

| Марки | Виробник (фірма, країна) | Склад | Область та групи використання |
|---|----------------------------------|---|---|
| NB90S, NB90M NS260, NS260C NB100C | Sumitomo Electric (Японія) | | Чистове та напівчистове обробл. чавунів K01 ... K20 Чорнове обробл. чавунів K01 ... K20 Обробл. сталей H10 ... H20 |
| Оксидно- карбідна CC620 CC650 CC670 | Sandvik Coromant (Швеція) | $Al_2O_3 + ZrO_2$ | Високошвидкісне обробл. сталі та чавунів P01 ... P10; K01 ... K10 |
| | | $Al_2O_3 + TiC$ | Чистове обробл. чавуну, жаростій- ких спеціальних сплавів K01 ... K10, S01 ... S20 |
| | | $Al_2O_3 + SiC$ | Обробл. жаростійких сплавів та матеріалів з високою твердістю S01 ... S20, H10 ... H20 |
| CC680 | | Si-Al-O-N (сіалон) | Важке переривчасте різання сірого чавуну; обробл. жаростійких сплавів K10 ... K20; S01 ... S30 |
| CC690 CC6090 GC1690 | | Si_3N_4 Si_3N_4 Si_3N_4 + по- криття | Напівчистове та чорнове обробл. чавунів K10 ... K40 Обробл. високошвидкісне сірого чавуну K01 ... K10 Обробл. чавунів K01 ... K30 |
| KY2000, KY2100 KY1615 KY3400, KY3500 KY4300 KY4400 Нітридна: KT1120 KT5020 | Kennametal (США) | Si-Al-O-N (сіалон) $Al_2O_3 + TiCN$ Si_3N_4 + покр. $Al_2O_3 + TiCN$ + покриття Si_3N_4 | Обробл. жароміцних сплавів (S10 ... S20) Обробл. чавунів K01 ... K10 Обробл. чавунів K10 ... K30 Обробл. жароміцних сплавів (S10 ... S20) та загартованих чавунів (H30) Обробл. загартованих матеріалів (до 65 HRC) H10 ... H20, K01 ... K10 Обробл. сталей (P01 ... P40) та нержавіючих сталей (M10 ... M30) |

Полікристалічні алмази широко використовуються для оброблення матеріалів, що не містять вуглецю, а також – кольорових металів і немета-

лічних матеріалів (наприклад, для оброблення різних алюмінієвих сплавів), та забезпечують дуже високу стійкість інструменту і якість поверхневого шару. Слід зазначити, що основна область ефективного застосування лезових інструментів із НТМ – це автоматизоване виробництво з використанням верстатів з ЧПК, багатоцільових верстатів, оброблювальних центрів і автоматичних ліній.

Основні характеристики та області застосування полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) на основі різних модифікацій нітриду бору й синтетичного алмазу, вироблених українськими й закордонними виготовлявачами, наведено в табл. 1.19 і 1.20.

Таблиця 1.19 – Характеристика та області застосування матеріалів на основі кубічного нітриду бору

| Матеріал | Розміри полікристалів, мм | Області та групи використання |
|-------------------------------|---------------------------|--|
| Росія | | |
| Композит 01 (ельбор - P) | Ø4...4,5 H = 4...5 | Чистове обробл. загартованих сталей (60 ... 70 HRC), відбілених чавунів, без ударів. H01 ... H30 |
| Композит 05 (карбонадо) | Ø7...10 H = 4...7 | Напівчистове та чистове обробл. незагартованих та загартованих сталей (до 60 HRC), чавуну. P01 ... P10, H01 ... H10, K01 ... K20 |
| Україна | | |
| Композит 10 (гексаніт - P) | Ø5...6 H = 4,5...5,5 | Напівчистове та чистове обробл. з ударами заготовок з незагартованих та загартованих сталей (40 ... 62 HRC) та чавунів. P10 ... P20, H10 ... H30, K10 |
| Кіборит | Ø2...4 | Точіння жароміцних сплавів на нікелевій основі, важкооброблюваних сталей та сплавів. M10 ... M30, S30 ... S40 |
| General Electric (США) | | |
| Боразон BZN-6000 | 2 | Обробл. сірих перлітних чавунів (K10) та група S01 Фінішне обробл. загартованої сталі. H01 ... H10 Точіння та фрезерування сірого чавуну (K10), загартованої сталі та порошкових металів (H01 ... H10) |
| BZN-8100 | 2 | |
| BZN-7000S | 15 | |
| BZN-TC2000 | 2 | |
| Sumitomo Electric (Японія) | | |
| Sumiboron BN100 BN200 | | Обробл. сталей, сірих та відбілених чавунів, сплавів на основі Ni та Co. P10 ... P40, S10 ... S20 Безперервне та переривчасте різання загартованих та легованих сталей, чавунів. H01 ... H10, K10 ... K40 Обробл. загартованих сталей з ударами. H10 ... H20 Обробл. ковкого чавуну з шаровидним графітом. K20 Обробл. загартованих сталей 62...64 HRC. H01 ... H20 Обробл. загартованих сталей. H01 ... H10 Переривчасте точіння загартованих сталей. H01 ... H10 |
| BN300 | | |
| BN500 | | |
| BNX10 | | |
| BNC80 | | |
| BNC200 | | |

Продовження табл. 1.19

| Матеріал | Розміри полікристалів, мм | Області та групи використання |
|--|---------------------------|---|
| Росія | | |
| Композит 01 (ельбор - P) | Ø4...4,5 H = 4...5 | Чистове обробл. загартованих сталей (60 ... 70 HRC), відбілених чавунів, без ударів. H01 ... H30 |
| Композит 05 (карбонадо) | Ø7...10 H = 4...7 | Напівчистове та чистове обробл. незагартованих та загартованих сталей (до 60 HRC), чавуну. P01 .. P10, H01 ... H10, K01 ... K20 |
| Україна | | |
| Композит 10 (гексаніт - P) | Ø5...6 H = 4,5...5,5 | Напівчистове та чистове обробл. з ударами заготовок з незагартованих та загартованих сталей (40 ...62 HRC) та чавунів. P10 ... P20, H10 ... H30, κ10 |
| Кіборит | Ø2...4 | Точіння жароміцних сплавів на нікелевій основі, важкооброблюваних сталей та сплавів. M10 ... M30, S30 ... S40 |
| General Electric (США) | | |
| Боразон BZN-6000 | 2 | Обробл. сірих перлітних чавунів (K10) та група S01 |
| BZN-8100 | 2 | Фінішне обробл. загартованої сталі. H01 ... H10 |
| BZN-7000S | 15 | Точіння та фрезерування сірого чавуну (K10), загартованої сталі та порошкових металів |
| BZN-TC2000 | 2 | (H01 ... H10) |
| Sumitomo Electric (Японія) | | |
| Sumiboron BN100 BN200 | | Обробл. сталей, сірих та відбілених чавунів, сплавів на основі Ni та Co. P10 ... P40, S10 ... S20 |
| BN300 | | Безперервне та переривчасте різання загартованих та легуваних сталей, чавунів. H01 ... H10, K10 ... K40 |
| BN500 | | Обробл. загартованих сталей з ударами. H10 ... H20 |
| BNX10 | | Обробл. ковкого чавуну з шаровидним графітом. K20 |
| BNC80 | | Обробл. загартованих сталей 62...64 HRC. H01 ... H20 |
| BNC200 | | Обробл. загартованих сталей. H01 ... H10 |
| | | Переривчасте точіння загартованих сталей. H01 ... H10 |
| Toshiba, Tungaloy (Японія) | | |
| BX310 BX360, BX340 BX290, BX380 BX930, BX950 | | Обробл. загартованих сталей (до 55 HRC). H01 ... H10 Обробл. загартованих сталей (до 64 HRC). H10 ... H20 Обробл. загартованих сталей (до 65 HRC). H30 Обробл. жароміцних сталей та сплавів (S01 ... S20), чавунів (K01 ... K20) |

| Матеріал | Розміри полікристалів, мм | Області та групи використання |
|--|-----------------------------------|---|
| Kennametal (США) | | |
| KB1610 KB1615 KB5625 KD060, KD081 KD120 KB9640 | мілке мікрозерно | Чистове обробл. загартованих сталей до 65 HRC. H20 Обробл. загартованих сталей. H20 Високопродуктивне точіння. H20 ... H30 Обробл. загартованих сталей. H10 ... H30 Обробл. твердих чавунів та твердих нікелевих матеріалів. K10 ... K30, S10 Чорнове та чистове обробл. сірого чавуну, загартованої сталі, відбіленого чавуну. K10, H10 ... H30 |
| Ceram Tec (Німеччина) | | |
| Wurbon WBN 650 WBN 600 WBN 550 WBN 500 | Тонке та середнє мікрозерно | Обробл. заготовок з рівною та переривчастою поверхнею важкооброблюваних матеріалів. H10 ... H30 Обробл. важкооброблюваних матеріалів в важких умовах різання з переривчастою поверхнею жароміцних матеріалів. H20 ... H30, S10 ... S30 |
| Mitsubishi Carbide (Японія) | | |
| MB810 MB8025 MB825 MB835 MB710 MB730, MB910 | Мікрозерно | Чистове обробл. загартованої сталі. H01 ... H20 Напівчистове обробл. загартованої сталі. H10 ... H30 Важке переривчасте різання. H10 ... H20 Чистове та напівчистове обробл. чавуну, сталі, твердо-го сплаву. K01 ... K20, P10 ... P50 Обробл. теплостійких сплавів на основі Ni та Co і чугунів. S10 ... S20, K01 ... K20 |
| Dijet (Японія) | | |
| JBN330 JBN245 JBN795 | | Обробл. чавунів (K10 ... K20) та матеріалів підвищеної твердості (H01 ... H20) Обробл. матеріалів з підвищеною твердістю. H20 Обробл. чавунів. K01 ... K30 |
| De Beers Industrial Diamonds (Велика Британія) | | |
| AMB 90 DBC 50 DBN 45 DBC 80 | | Обробл. загартованих сталей (H10), чавунів (K10 ... K40) Чистове обробл. загартованих сталей. H10 ... H20 Переривчасте різання загартованих сталей. H20 Обробл. чавунів (перлітних та шаровидних), сплавів на нікелевій основі. K01 ... K20, S10 |

| Матеріал | Розміри полікристалів, мм | Області та групи використання |
|--|---|---|
| Kyocera (Японія) | | |
| KBN10G KBN10B KBN25B KBN65B KBN900 | Субмікронне зерно | Чистове обробл. матеріалів. H10 та H20, K10 та K20 Чистове обробл. сталей та м'яких чавунів. H10, K01 Обробл. сталей (переривчасте різання). H20 Високошвидкісне обробл. сірих чавунів (переривчасте різання). K10 ... K20 Чорнове обробл. з важкими умовами сірого чавуну. K10 ... K20 |
| Sandvik Coromant (Швеція) | | |
| CB20 CB7020 | | Чистове обробл. загартованої сталі (переривчасте різання) та чавунів високої твердості. H01 ... H30 |
| CB50 CB7050 | | Точіння чавунів та матеріалів високої твердості при важких умовах обробки. K01 ... K20, H10 ... H30 |
| Seco (Швеція) | | |
| CBN100 CBN200 CBN300 CBN350 CBN100C CBN400C | Пластина: монолітна напайна монолітна монолітна з покриттям з покриттям | Обробл. теплостійких сплавів на основі Ni та Co (S10 ... S20) та загартованих сталей (H01 ... H10) Обробл. сірих чавунів з шаровидним графітом (K10 ... K20) та загартованих сталей (H10 ... H20) Обробл. чавунів (K30) та загартованих сталей. H20 ... H30 Обробл. сірих чавунів з шаровидним графітом (K01 ... K30) та загартованих сталей (H10 ... H20) |

Таблиця 1.20 – Характеристика й область застосування матеріалів на основі полікристалічних алмазів

| Матеріал | Розміри полікристалів, мм | Область та групи використання |
|-------------------|---------------------------|--|
| Росія | | |
| APB1 балас | Ø3...4 H = 5...6 | Обробл. кольорових металів, пластиків, точіння титанових сплавів. N19 ... N30, S30 |
| APK4 карбонадо | Ø5...6 H = 7...8 | Напівчистове та чистове точіння та фрезерування кольорових металів, твердих сплавів та неметалевих матеріалів. N10 ... N30 |

| Матеріал | Розміри полікристалу, мм | Область та групи використання |
|---|---|--|
| Sumitomo Electric (Японія) | | |
| Sumidia DA90 DA150 DA200 DA2200 | Зерно дрібне середнє велике | Обробл. кольорових металів та сплавів, неметалевих матеріалів. N01 ... N1 Обробл. кольорових металів та сплавів. N10 Обробл. кольорових металів та сплавів. N20 Обробл. мідних сплавів. N30 |
| Mitsubishi (Японія) | | |
| MD205 MD220 MD230 | | Чистове обробл. кольорових металів. N01 ... N10 Обробл. кольорових металів. N10 ... N20 Обробл. кольорових металів. N20 ... N30 |
| Kennametal (США) | | |
| KD100 KD105, KD300 KD1405 ал- мазне по- криття | 0, 020...0,025 Середнє Товщина 0,5 мм | Точіння алюмінію, абразивних матеріалів. N01 Обробл. кольорових металів. N10 Обробл. кольорових металів в умовах безперервного різання. N01 ... N20 |
| De Beers Industrial Diamonds (Велика Британія) | | |
| Syndite CTB 002 CTB 010 CTB 025 CTM302 | 0,002 0,01 0,025 0,002...0,03 | Чистове обробл. кольорових металів та сплавів і неметалевих матеріалів з малим змістом зміцнюючих абразивів та кремнію. N01 ... N30 |
| Becker (Німеччина) | | |
| PDC PDC-L | Дрібне Ультра - дрібне | Обробл. кольорових металів та сплавів, неметалевих матеріалів з малим змістом зміцнюючих абразивів та кремнію. N01 ... N30 |
| PDC-S PDC-A | Велике | Точіння та фрезерування кольорових металів та сплавів і неметалевих матеріалів з високим змістом зміцнюючих абразивів та кремнію. N01 ... N30 |
| Sandvik Coromant (Швеція) | | |
| CD 10, CD1810 (алмазне по- криття) | 0,007 Товщиною 0,2 мм | Чистове обробл. кольорових металів та сплавів і неметалевих матеріалів, точіння титанових сплавів. N01 ... N30; S30 |

Закінчення табл 1.20

| Матеріал | Розміри полікристалу, мм | Область та групи використання |
|--|-----------------------------|---|
| Seco (Швеція) | | |
| PAX30 PAX20, PCD30 PCD20 PCD10 | 0,002 0,01 0,025 | Обробл. алюмінію та кольорових сплавів. N01 ... N10 Обробл. алюмінію та мідних сплавів. N10 ... N20 Обробл. алюмінієвих сплавів. N20 Обробл. міді та її сплавів. N30 |
| Toshiba (Японія) | | |
| DX180 DX160 DX140, DX120 | Дрібне Середнє Велике | Обробл. кольорових сплавів. N01 ... N20 Обробл. кольорових сплавів. N10 Обробл. кольорових сплавів. N20 |
| Kyocera (Японія) | | |
| KPD001 KPD002 KPD010 KPD025 | Дрібне Середнє Велике | Обробл. міді та сплавів на її основі. N30 Обробл. алюмінієвих сплавів. N20 Обробл. алюмінієвих сплавів. N10 Обробл. алюмінію. N01 |
| Dijet (Японія) | | |
| JDA735 JDA745 JDA715 | | Обробл. алюмінію та сплавів на його основі. N01 Обробл. алюмінієвих сплавів. N10 Обробл. алюмінієвих сплавів. N20 |
| Kooyo (Південна Корея) | | |
| DP90 DP150 DP200 | | Обробл. алюмінію та сплавів на його основі. N01 Обробл. алюмінієвих сплавів. N10 Обробл. алюмінієвих сплавів, міді та сплавів на її основі. N30 |
| WIDIA (Німеччина) | | |
| PD100 | | Обробл. кольорових металів, пластиків. N01 ... N30 |
| Iscar (Ізраїль) | | |
| IDS | Середнє | Обробл. алюмінієвих сплавів. N10 ... N20 |

1.6. Режими різання

Елементи режиму різання при зовнішньому поздовжньому точінні, якщо вони не обмежені технологічними параметрами (верстат, пристосування, деталь), визначаються тільки можливостями різального інструменту, у першу чергу інструментальним матеріалом. У цьому випадку глибину

різання t , мм, і величину подачі S , мм/об., вибираються з умови забезпечення найбільшої продуктивності процесу різання. Швидкості різання призначаються за рекомендаціями постачальників інструменту. Вибірання подачі при чорновому оброблянні обмежується потужністю верстата, жорсткістю устаткування та стружковідведенням. Як правило, необхідно вибрати максимально можливу величину подачі (табл. 1.21).

Таблиця 1.21 – Значення величини подачі при чорновому оброблянні

| Діаметр заготовки D , мм | Сталі конструкційні та леговані при глибині різання t , мм | | Чавуни при глибині різання t , мм | |
|----------------------------|--|-----------|-------------------------------------|-----------|
| | < 5 | ≥ 5 | < 5 | ≥ 5 |
| До 60 | 0,5...0,7 | 0,4...0,6 | 0,5...0,8 | 0,4...0,6 |
| До 100 | 0,7...0,9 | 0,5...0,7 | 0,7...1,0 | 0,6...0,8 |
| До 400 | 1,0...1,2 | 0,8...1,0 | 1,0...1,2 | 0,8...1,0 |

При цьому подача при чорновому оброблянні не повинна перевищувати половини радіуса при вершині: $S \leq 0,5 r_{\epsilon}$ (див. табл. 1.7).

Величину подачі при чистовому оброблянні можна визначити залежно від необхідної шорсткості оброблюваної поверхні й обраного радіуса при вершині пластини (див. табл. 1.8). Отриману величину подачі слід зіставити з характеристикою верстата. Якщо на верстаті немає такої подачі, слід прийняти найближчу меншу.

Вихідні дані при вибиранні швидкості різання, м/хв:

- марка оброблюваного матеріалу і його твердість;
- марка інструментального матеріалу;
- величина головного кута в плані ϕ ;
- величина подачі S , мм/об;
- необхідний період стійкості T_M , хв.

Дійсна швидкість різання $V_{\text{ш}}$ визначається за формулою:

$$V_{\text{ш}} = V_{\text{ш.о}} K_{\text{нв}} K_{\text{т}} K_{\phi},$$

де $V_{\text{ш.о}}$ – початкова швидкість різання визначається залежно від оброблюваного матеріалу певної твердості та обраної марки інструментального матеріалу для інструментів з головним кутом у плані 90° за каталогами; $K_{\text{нв}}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує різницю у твердості оброблюваного

матеріалу та матеріалу, використовуваного при розроблянні нормативів різання (табл. 1.22); K_T – поправковий коефіцієнт, що враховує різницю між обраним і початковим періодом стійкості інструмента. Значення K_T залежно від обраної стійкості інструмента T_i :

| | | | | | | | |
|-------|------|-----|------|------|------|------|-------|
| T_i | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 45 | 60, |
| K_T | 1,10 | 1,0 | 0,95 | 0,90 | 0,87 | 0,80 | 0,75; |

K_ϕ – поправковий коефіцієнт, що враховує різницю кута в плані ϕ (початкове значення рівне 90°). Значення K_ϕ залежно від ϕ :

| | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|------|
| ϕ | 90 | 75 | 60 | 45 | 30, |
| K_ϕ | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4. |

Таблиця 1.22 – Значення поправкового коефіцієнту K_{HB}

| Різниця в твердості оброблюваного матеріалу та матеріалу, який був використаний при розробці нормативів різання (табл. 1.24.) | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Групи різання по ISO коду | Твердість по Бринелю (HB) | | | | | | | | |
| | -80 | -60 | -40 | -20 | 0 | +20 | +40 | +60 | +80 |
| P01 ... P10 Нелеговані сталі | — | — | — | 1,07 | 1,0 | 0,95 | 0,90 | — | — |
| P20 Низьколеговані сталі | 1,26 | 1,18 | 1,12 | 1,05 | 1,0 | 0,94 | 0,91 | 0,86 | 0,83 |
| P30 Високолеговані сталі | — | — | 1,21 | 1,10 | 1,0 | 0,91 | 0,84 | 0,79 | — |
| P40, P50 Стальне лиття | — | — | 1,31 | 1,13 | 1,0 | 0,87 | 0,80 | 0,73 | — |
| M10 ... M40 Нержавіючі сталі | — | — | 1,21 | 1,10 | 1,0 | 0,91 | 0,85 | 0,79 | 0,75 |
| K01 Ковкий чавун | — | 1,14 | 1,08 | 1,03 | 1,0 | 0,96 | 0,92 | — | — |
| K10 Сірий чавун | — | — | 1,25 | 1,10 | 1,0 | 0,92 | 0,86 | 0,80 | — |
| K20 ... K30 Чавун з шаровидним графітом | — | — | 1,07 | 1,03 | 1,0 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | 0,91 |
| N10 ... N30 Кольорові сплави | — | — | 1,07 | 1,03 | 1,0 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | 0,91 |
| S01 ... S30 Жароміцні та титанові сплави | 1,26 | — | — | — | 1,0 | — | 0,90 | — | 0,82 |
| Твердість по Роквеллу (HRC) | | | | | | | | | |
| | | -6 | -3 | 0 | +3 | +6 | +9 | | |
| H01 ... H30 матеріали високої твердості | | 1,10 | 1,02 | 1,0 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | | |

У табл. 1.23 наведено значення твердості, отримані різними методами.

Таблиця 1.23 – Зіставлення значень твердості, отриманих різними методами

| Міцність σ_t , Н/мм ² | Твердість по Вікерсу (HV) | Твердість по Бринелю (HB) | Твердість по Роквеллу (HRC) | Міцність σ_t , Н/мм ² | Твердість по Вікерсу (HV) | Твердість по Бринелю (HB) | Твердість по Роквеллу (HRC) |
|---|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 700 | | 200 | – | 2030 | 580 | 527 | 53,3 |
| 740 | | 210 | – | 2070 | 590 | 533 | 53,8 |
| 770 | | 220 | – | 2100 | 600 | 533 | 54,4 |
| 810 | | 230 | 19,2 | 2140 | 610 | 543 | 54,9 |
| 840 | | 240 | 21,2 | 2170 | 620 | 549 | 55,4 |
| 880 | | 250 | 23,0 | 2210 | 630 | 555 | 55,9 |
| 910 | | 260 | 24,7 | 2240 | 640 | 561 | 56,4 |
| 950 | | 270 | 26,1 | 2280 | 650 | 568 | 56,9 |
| 980 | | 280 | 27,6 | 2310 | 660 | 574 | 57,4 |
| 1020 | | 290 | 29,0 | 2350 | 670 | 581 | 57,9 |
| 1050 | | 300 | 30,3 | 2380 | 680 | 588 | 58,7 |
| 1090 | | 310 | 31,5 | 2410 | 690 | 595 | 58,9 |
| 1120 | | 320 | 32,9 | 2450 | 700 | 602 | 59,3 |
| 1150 | | 330 | 33,8 | 2480 | 710 | 609 | 59,8 |
| 1190 | | 340 | 34,9 | 2520 | 720 | 616 | 60,2 |
| 1230 | | 350 | 36,0 | 2550 | 730 | 622 | 60,7 |
| 1260 | 360 | 359 | 37,0 | 2590 | 740 | 627 | 61,1 |
| 1300 | 370 | 368 | 38,0 | 2630 | 750 | 633 | 61,5 |
| 1330 | 380 | 373 | 38,9 | 2660 | 760 | 639 | 61,9 |
| 1370 | 390 | 385 | 39,8 | 2700 | 770 | 644 | 62,3 |
| 1400 | 400 | 393 | 40,7 | 2730 | 780 | 650 | 62,7 |
| 1440 | 410 | 400 | 41,5 | 2770 | 790 | 656 | 63,1 |
| 1470 | 420 | 407 | 42,3 | 800 | 800 | 661 | 63,5 |
| 1510 | 430 | 416 | 43,2 | 2840 | 810 | 666 | 63,9 |
| 1540 | 440 | 423 | 44,0 | 2870 | 820 | 670 | 64,3 |
| 1580 | 450 | 429 | 44,8 | 2910 | 830 | 677 | 64,6 |
| 1610 | 460 | 435 | 45,5 | 2940 | 840 | 682 | 65,0 |
| 1650 | 470 | 441 | 46,3 | 2980 | 850 | – | 65,3 |
| 1680 | 480 | 450 | 47,0 | 3010 | 860 | – | 65,7 |
| 1720 | 490 | 457 | 47,7 | 3050 | 870 | – | 66,0 |
| 1750 | 500 | 465 | 48,3 | 3080 | 880 | – | 66,3 |
| 1790 | 510 | 474 | 49,0 | 3120 | 890 | – | 66,6 |
| 1820 | 520 | 482 | 49,6 | 3150 | 900 | – | 66,9 |
| 1860 | 530 | 489 | 50,3 | 3190 | 910 | – | 67,2 |
| 1890 | 540 | 496 | 50,9 | 3220 | 920 | – | 67,5 |
| 1930 | 550 | 503 | 51,5 | 3260 | 930 | – | 67,7 |
| 1960 | 560 | 511 | 52,1 | 3290 | 940 | – | 68,0 |

Приклад. Призначити режими різання при чистовому точінні заготовки діаметром $D_3 = 69$ мм до діаметра $D = 65$ мм на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Довжина оброблюваної поверхні $L = 100$ мм. Оброблюваний матеріал сталь 45 твердістю НВ190. Умови оброблення – добрі.

Необхідна шорсткість поверхні $R_a = 3,2$ мкм.

Необхідний період стійкості $T_M = 20$ хв.

Послідовність дій:

1. Установлюємо глибину різання. Припуск на оброблення видаляємо за один прохід. Глибину різання визначаємо за формулою:

$$t \frac{D_3 - D}{2} = 2 \text{ мм.}$$

2. Призначаємо подачу. Згідно з табл. 1.8 знаходимо $S = 0,42$ мм/об. За паспортними даними верстата ухвалюємо $S_{\text{вер}} = 0,4$ мм/об.

3. Вибираємо марку твердого сплаву. Приклад вибирання марки твердого сплаву для токарного оброблення наведено в розд. 1.5.

4. Визначаємо дійсну швидкість різання при таких вихідних даних:

- оброблюваний матеріал сталь 45 твердістю НВ 190;
- інструментальний матеріал СТ15М;
- величина подачі $S = 0,4$ мм/об, глибина різання $t = 2$ мм;
- необхідний період стійкості $T_M = 20$ хв.

Послідовність дій:

• З табл. 1.24 для сталі 45 (група різання Р10) при оброблянні твёрдосплавною пластиною СТ15М для подачі $S = 0,4$ мм/об знаходимо $V_{\text{ш.о}} = 320$ м /хв;

• Нормативне значення швидкості різання наведено для твердості НВ150. Реальний матеріал на 40 одиниць твердіше, отже, з табл. 1.22 для групи оброблюваності Р10 поправковий коефіцієнт $K_{\text{НВ}} = 0,9$;

• Для забезпечення періоду стійкості 20 хв поправковий коефіцієнт $K_T = 0,95$;

- Поправковий коефіцієнт K_ϕ для головного кута в плані 90° дорівнює 1,0;

- Дійсну швидкість різання $V_{ш}$ визначають за формулою:

$$V_{ш} = 320 \times 0,9 \times 0,95 \times 1,0 = 273,6.$$

5. Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V_{ш}}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 273,6}{3,14 \cdot 69} = 1262,6 \text{ об/хв.}$$

Коректуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата:

$$n_{\text{вер}} = 1250 \text{ об/хв.}$$

6. Потрібну потужність різання, кВт, визначають як

$$N_p = \frac{V_t S K_{C0,4}}{60 \cdot 1000} K_{p\phi} K_{pS},$$

де $K_{C0,4}$ – питома сила різання, $H/\text{мм}^2$, залежить від виду й стійкості оброблюваного матеріалу й дорівнює нормальній силі різання при зрізанні стружки перетином 1 мм^2 з подачею $0,4 \text{ мм/об}$.

Значення $K_{C0,4}$ наведено в каталогах виробників. Як приклад наведено значення питомої сили різання з ISO для групи різання P10 (табл. 1.24). $K_{C0,4} = 2100 \text{ Н/мм}^2$.

$K_{p\phi}$ – поправковий коефіцієнт на величину головного кута в плані ϕ .
Значення $K_{p\phi}$ залежно від ϕ :

| | | | | | |
|-------------|----|------|------|------|-------|
| $K_{p\phi}$ | 1 | 1,01 | 1,04 | 1,11 | 1,22, |
| ϕ | 90 | 75 | 60 | 45 | 30; |

K_{pS} – поправковий коефіцієнт на величину подачі S .

Значення K_{pS} залежно від S :

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|
| K_{pS} | 1,49 | 1,33 | 1,22 | 1,15 | 1,09 | 1 | 0,89 | 0,82 | 0,77 | 0,73 | 0,70, |
| S | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4. |

Таким чином, потрібна потужність різання визначається як

$$N_p = \frac{V_{ш} t S K_{C 0,4}}{60 \cdot 1000} K_{p\phi} K_{pS} = \frac{273,6 \cdot 2 \cdot 0,4 \cdot 2100}{60 \cdot 1000} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 7,7 \text{ кВт.}$$

Таблиця 1.24 – Початкові значення сили й швидкостей різання при точінні

| ISO | Матеріал | СМС | Сталі та сплави по ДСТУ | Твердість (НВ) | Питома сила різання, Н/мм ² | Марки твердих сплавів | | | | |
|------------------|----------|-----|-------------------------|----------------|--|----------------------------------|------|-----|-----|-----|
| | | | | | | СТ15М | | | | |
| Гр. | П/г | | | | | Подача S , мм/об | | | | |
| | | | | | | 0,1 | 0,4 | 0,8 | | |
| | | | | | | Швидкість різання $V_{ш}$, м/хв | | | | |
| Нелеговані сталі | | | | | | | | | | |
| Р | Сталі | P10 | C = 0.25...0.5 5% | 01.2 | Ст4, Ст5, Ст6 - групи Б, 30, 35, 30Г, 35Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 47ГТ, 50, А30, А35, А40, А35Е, А45Е, АС40, АС35Г2, АС40Г2 | 150 | 2100 | 450 | 320 | 225 |
| | | | C=0.55...0.8 % | 01.3 | 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А | 170 | 2200 | 420 | 290 | 200 |

Розрахована потрібна потужність N_p різання не повинна перевищувати потужності на шпинделі верстата $N_{шп}$:

$$N \leq N_{шп.}$$

Потужність на шпинделі верстата:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{вер}};$$

$$\eta = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт},$$

де $N_{\text{вер}}$ – потужність електродвигуна верстата, $N_{\text{вер}} = 10 \text{ кВт}$; η – ККД верстата, $\eta = 0,8$.

У випадку, якщо потужність електродвигуна верстата є недостатньою, слід зменшити один з елементів режиму різання. Можливі такі варіанти:

1. Зменшити глибину різання за рахунок введення допоміжного проходу.
2. Зменшити величину подачі.
3. Зменшити швидкість різання.

У кожному разі неминуче збільшення витрат часу на обробляння. Слід вибрати варіант, при якому це збільшення буде найменшим.

7. Величину машинного часу на обробляння розраховують за формулою

$$T_{\text{м}} = \frac{L_{\text{р.х}} i}{n_{\text{вер}} S_{\text{вер}}} = \frac{102 \cdot 1}{1250 \cdot 0,4} = 0,2 \text{ хв},$$

де $L_{\text{р.х}}$ – довжина робочого ходу, мм, (рис. 1.20); i – кількість проходів.

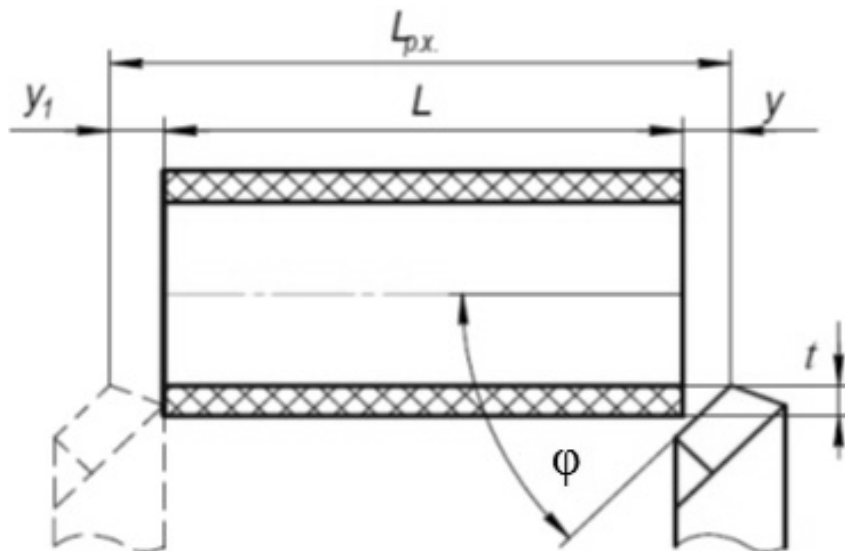


Рисунок 1.20 – Визначення довжини робочого ходу $L_{\text{р.х}}$

Довжина робочого ходу визначається формулами: для поздовжнього обточування «на прохід» $L_{p.x} = L + y + y_1$; «в упор» $L_{p.x} = L + y$; для поперечного обточування й відрізання $L_{p.x} = D/2 + y + y_1$, де L – довжина обробленої поверхні, $L = 100$ мм; y – довжина врізання, $y = t / \operatorname{tg}\varphi + (1\dots2)$ мм; y_1 – довжина перебігу, для поздовжнього обточування, $y_1 = 1\dots5$ мм, для поперечного обточування й відрізання $y_1 = 1\dots2$ мм.

РОЗДІЛ 2 РОЗТОЧУВАННЯ

Операція розточування виконується для збільшення розмірів поперечно просвердлених, литих, а також штампованих отворів з метою забезпечення точності й якості оброблюваної поверхні. При розточуванні забезпечують точність оброблення, квалітет $IT5 \dots IT6$ і шорсткість $R_a 0,8 \dots 1,6$. Діапазон оброблюваних діаметрів отворів становить від 3 до 1000 мм і більше.

В операції розточування використовуються більшість з тих рухів різання, що і під час зовнішнього обточування. Однак стабільність процесу різання при розточуванні більшою мірою залежить від вильоту інструмента і його діаметра (співвідношення L/D).

У металооброблянні широко використовуються такі типи розточувальних інструментів:

- стрижневі різці;
- двосторонні пластинчасті різці-блоки;
- розточувальні головки для оброблення неглибоких і глибоких отворів.

Вибірання різального інструменту для інструментального оснащення операції розточування здійснюють відповідно до такого покрокового підходу:

1. Вид розточування та тип розточувального інструменту.
2. Форма, розмір і геометрія різальної пластини.
3. Матеріал різальної пластини та режими різання.

2.1. Вибірання типу розточувального інструмента

Розточувальні операції як чорнові, так і чистові виконуються однолезовим інструментом. Багатолезовий інструмент використовують, як правило, при чорнових операціях, де потрібне зняття більших припусків, а також при східчастому оброблянні.

До інструментів для чистового розточування відносяться однолезові різці, розточувальні головки з різцевими вставками як регульованими, так і нерегульованими для невеликих діаметрів.

Для чорнового розточування також застосовуються однолезові різці, оснащені однією різальною пластиною, і розточувальні інструменти із двома

й більше різальними пластинами для попереднього й остаточного розточування отворів діаметром більше 25 мм.

Розточувальні різці

Широке поширення одержали стрижневі різці, які різняться:

- за конструкцією головки: різці для наскрізних і глухих отворів;
- способу кріплення: стрижневі із кріпленням у різцетримачі або в борштанзі;
- способу кріплення різальних пластин: складові й збірні;
- матеріалу різальної крайки: з швидкорізальної сталі, твердого сплаву або НТМ;
- за конструкцією профілю державки: круглого або квадратного перерізу.

Система позначення розточувальних різців за ISO представлена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Система позначення розточувальних різців

Залежно від виду розточування (табл. 2.1) вибираємо тип розточувального різця. Для одержання кращої стабільності й меншої вібрації в процесі розточування слід:

- вибрати найбільший можливий діаметр оправки, але при цьому забезпечити достатні канали для відведення стружки;
- при співвідношенні $L/D < 4$ слід вибирати сталеві оправки, при $L/D > 4$ – настроювані твердосплавні оправки;
- використовувати пристосування, що забезпечує достатню силу за-тискання;
- вибрати найбільшу величину головного кута в плані та малу величину радіуса закруглення різального леза;
- забезпечити добре дроблення та відведення стружки із зони різання й використовувати MOP;
- застосовувати сучасне з'єднання Coromant Capto (рис. 2.2), що забезпечує надійне кріплення розточувального інструменту.



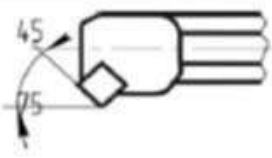



Рисунок 2.2 – З'єднання розточувального інструменту Coromant Capto

Таблиця 2.1 – Призначення розточувальних різців

| Вид розточування | Тип різця (див. табл. 2.2. №п/п) | | | | | |
|---|------------------------------------|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Головний кут в плані ϕ (град) | | | | | |
| | 45 | 75 | 90 | 95 | 90 | 93 |
|  | • | • | • | • | • | • |
|  | | | | • | | • |
|  | β° | | | | | |
| | 75 | | • | • | • | • |
| | 60 | | • | • | • | • |
| | 45 | | • | • | • | • |
| | 30 | • | • | • | • | • |
| 25 | • | • | • | • | • | |
|  | β_{max} | 37 | 17 | 22 | | 27 |
| | | | | | 27 | 24 |

Типи та розміри серійно виготовлених розточувальних різців представлено в табл. 2.2 і 2.3.

Таблиця 2.2 – Типи серійно виготовлених розточувальних різців

| № п/п | Тип різця | Форма пластини | φ° ескіз | d - діаметр державки, мм | | | | | | |
|-------|-----------|----------------|--|---------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | | | | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 |
| | | | | Спосіб кріплення пластини | | | | | | |
| 1 | S | S |  | S | S | S | M | M | P | |
| 2 | K | | | S | S | S | P | P | P | |
| 3 | F | T |  | S | S | S | C | C | P | C |
| 4 | L | C |  | S | S | S | P | P | P | |
| 5 | F | D |  | | | | | P | P | |
| 6 | U | | | | S | S | M | M | | |

Таблиця 2.3 – Розміри розточувальних різців

| D_{\min} розточки d_{\min} – державка | | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 |
|--|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 |
| l ₁ - довжина різця, мм | 80 | ■ | | | | | | |
| | 100 | | ■ | | | | | |
| | 125 | ■ | | ■ | | | | |
| | 150 | | ■ | | ■ | | | |
| | 170 | | | ■ | | ■ | | |
| | 180 | | | | ■ | | ■ | |
| | 200 | | | | | ■ | | ■ |
| | 250 | | | | | | ■ | |
| | 300 | | | | | | | ■ |
| | 350 | | | | | | | |
| Варіант кріплення пластини (див. табл. 1.1.) | 1 | • | • | • | • | | | |
| | 2 | | | • | • | • | • | |
| | 3 | | | • | • | • | | • |
| | 5 | | | | | • | • | • |

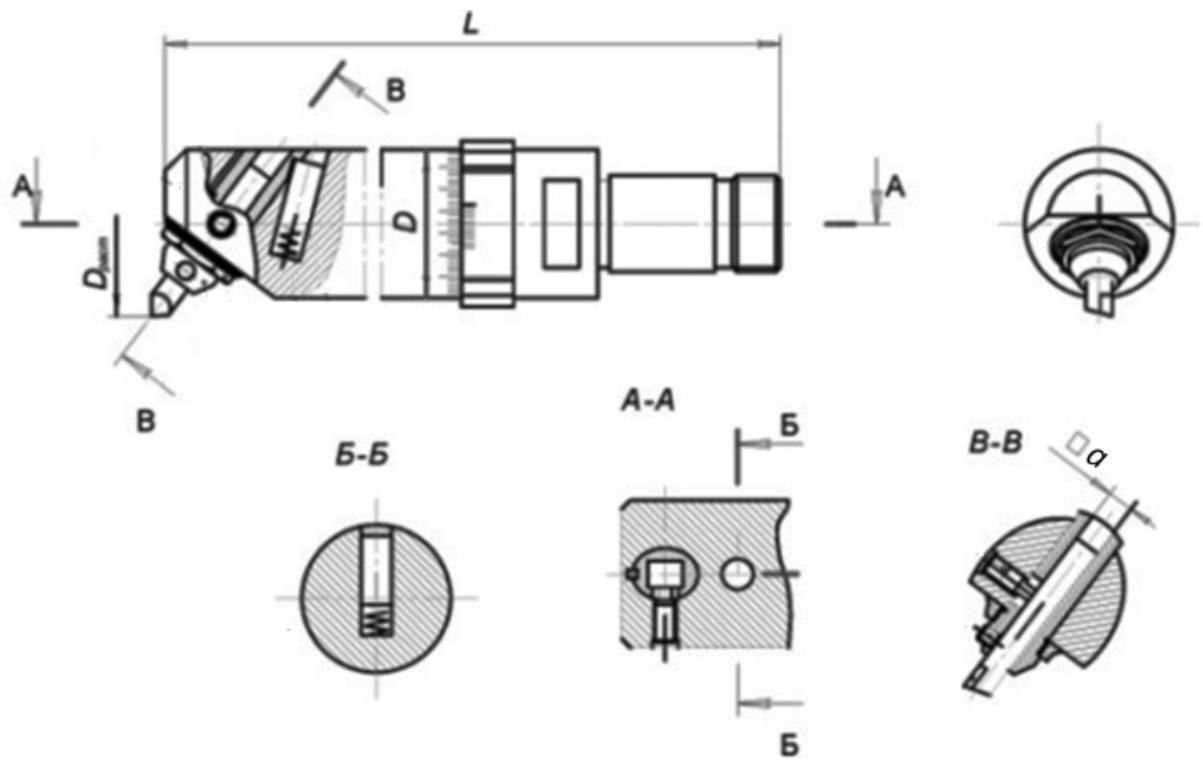


Рисунок 2.3 – Розточувальна вставка з мікроскопічним регулюванням вильоту різця

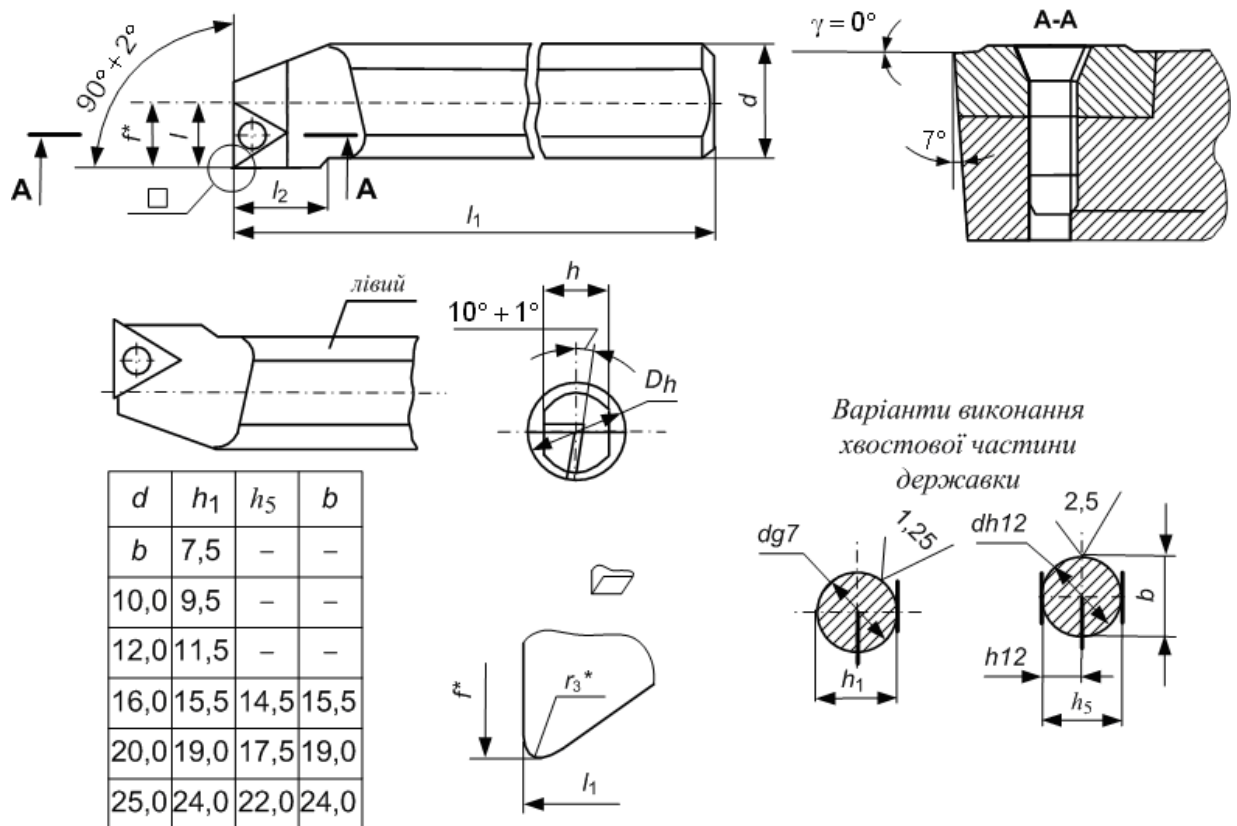


Рисунок 2.4 – Різець розточувальний із тригранною пластиною:

Для розточення отворів великого діаметру використовуються розточувальні державкові різці (ДСТУ 9795-84), які закріплюються в борштанги. Вони, як правило, збірні, оснащені пластинами із твердого сплаву і мають хвостовик прямокутного або круглого перерізу. Різець встановлюють в борштанзі під кутом 45° , 60° або 90° . Головка різця відповідно має кути в плані 45° або 90° .

Для розточування точних отворів діаметром більше 20 мм широко використовуються розточувальні вставки з мікрометричним регулюванням вильоту різця (див. рис. 2.3). На рис. 2.4 наведено креслення розточувального різця із тригранною пластиною з кутом $\phi = 90^\circ$ і різні варіанти виконання хвостової частини державки.

Різні варіанти виконання хвостової частини державок розточувальних різців наведено також на рис. 2.1.

Розточувальні головки

Для чистового розточування діаметрів отворів 18...1000 мм найбільш продуктивним інструментом є розточувальні головки, які широко застосовуються на розточувальних верстатах, верстатах з ЧПК та в автоматизованому виробництві. На рис. 2.5 наведено конструкцію чистової розточувальної головки та вставки до неї.

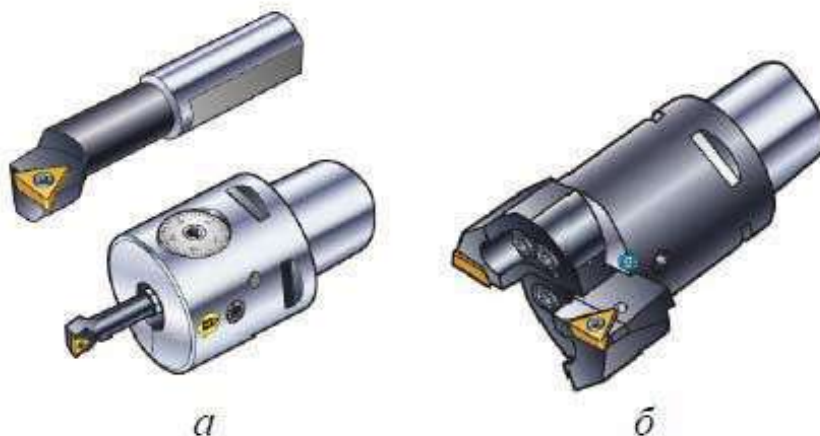


Рисунок 2.5 – Чистова розточувальна головка з різцем (а) і чорнова головка із двома різальними крайками (б)

Головки можуть бути оснащені різцевими вставками як регульованими, так і нерегульованими для невеликих діаметрів отворів.

У порівнянні з багатолезовим інструментом різцеві вставки мають такі переваги:

- при поломці різальної пластини ушкоджується стандартна вставка, а не дорогий спеціальний корпус;
- за рахунок настроювання вставки забезпечується більш точне розташування різальної крайки;
- різцеві вставки більш легко й швидко перенастроюються на необхідний розмір у порівнянні з багатолезовим інструментом.

Схема кодування різцевих вставок за ISO аналогічна позначенню токарних різців. Конструкція та розміри різцевих вставок, що серійно виготовляються, наведено в табл. 2.4–2.5 і на рис. 2.6.

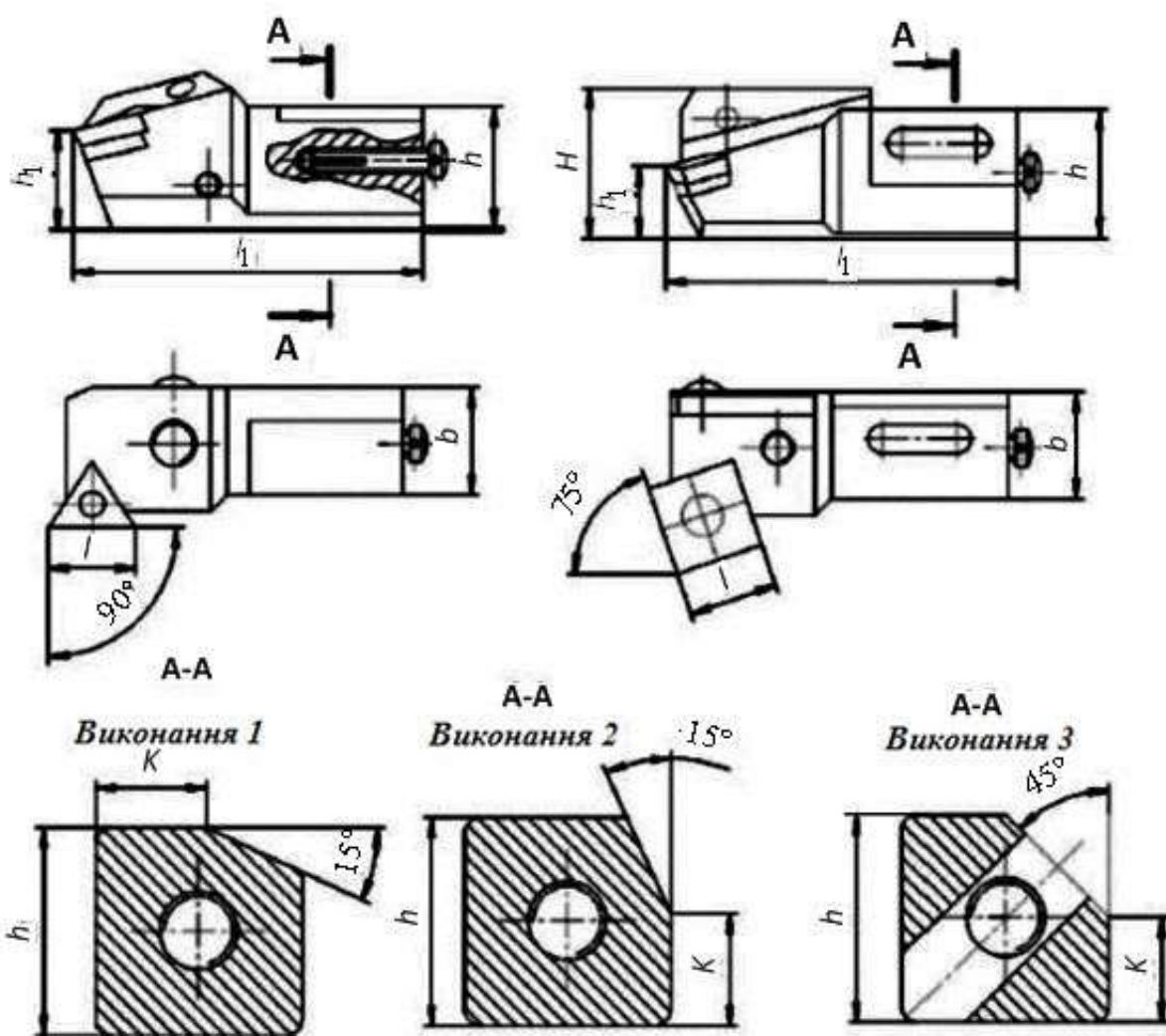
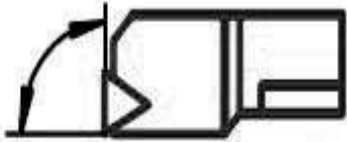
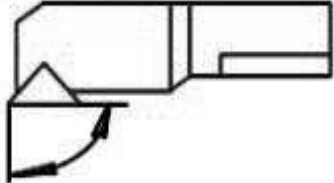
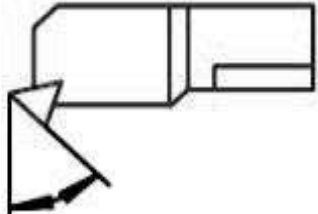
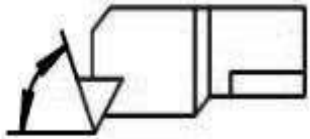
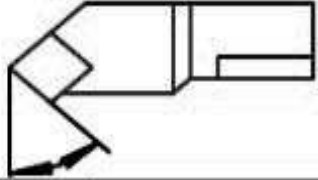

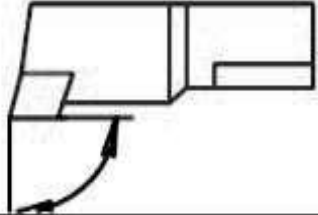
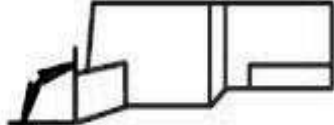


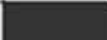

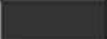




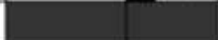




Рисунок 2.6 – Конструкція різцевих вставок

Таблиця 2.4 – Типи різцевих вставок, що серійно виготовляються

| Тип вставки | Форма пластини | φ° | Ескіз |
|-------------|----------------|-----------------|--|
| 1 | T | 90 |  |
| 2 | T | 90 |  |
| 3 | T | 60 |  |
| 4 | T | 60 |  |
| 5 | S | 45 |  |
| 6 | | 75 | |
| 7 | S | 75 |  |
| 8 | C | 91 |  |
| 9 | C | 91 |  |

Таблиця 2.5 – Розміри різцевих вставок

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|---|--|---|--|---|--------------------|---|---|-------|
| Довжина різцевої вставки l_1 , мм | 36 |  | 5(1) | * | | | | | | |
| | 39 | |  | 5(1) | | | | | | |
| | 42 |  | | | | | | | | |
| | 45 | | |  | 5(1) | | | | | |
| | 47 | |  | | | | | | | |
| | 50 | | | |  | 5(1) | | | | |
| | 52,3 | | | |  | 3,4 | | | | |
| | 55 | |  | | | | | | | |
| | 57,3 | | | | |  | 3,4 | | | |
| | 60 | | | |  | | | | | |
| | 87 | | | | | | | |  | 3,4 |
| | 90 | | | | | | |  | | |
| Варіант кріплення пластини | 1 | • | • | • | | • | | | | |
| | 3 | • | • | • | | • | | • | | |
| | 5 | | | | • | | • | | • | |
| Довжина різальної крайки, l , мм | Тип різцевих вставок | 1 | 11 | 11 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 22 | 22 |
| | | 2 | 11 | 11 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 22 | 22 |
| | | 3 | 11 | 11 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 22 | 22 |
| | | 4 | 11 | 11 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 22 | 22 |
| | | 5 | 9,52 | 9,52 | 12,7 | 12,7 | 12,7(4) 15,9(3) | 12,7 | 19,05 | 19,05 |
| | | 6 | | | | 12,7 | | 12,7 | | 19,05 |
| | | 7 | 9,52 | 9,52 | 12,7 | 12,7 | 12,7(1) 15,9(3) | 12,7 | 19,05 | 19,05 |
| | | 8 | 9,7(1) | 9,7(1) | 9,7(1) | 12,9 | 9,7(1) | 12,9 | | 19,3 |
| | | 9 | | | | | | | | |
| Переріз державки, мм | b | 11 | | | 20 | | 20 | | 25 | |
| | h | 12 | 16 | | 20 | | 25 | | 32 | |
| | h_1 | 10 | 12 | | 16 | | 20 | | 25 | |
| | H | | | | | 26 | | 32 | 40 | |

Примітка *): перша цифра вказує тип різцевої вставки; у дужках – варіант кріплення пластинок (див. табл. 1.1)

Розточувальні блоки

Збірні двосторонні пластинчасті розточувальні блоки застосовуються для попереднього й остаточного розточування отворів діаметром більшим за 40 мм і вони складаються з корпусу з однією або декількома парами, регульованими на необхідний розмір різців. У порівнянні з однолезовим інструментом вони більш продуктивні та забезпечують високу точність

і низьку шорсткість оброблених отворів. Креслення збірних дворізцевих пластинчастих розточувальних блоків представлено на рис. 2.7.

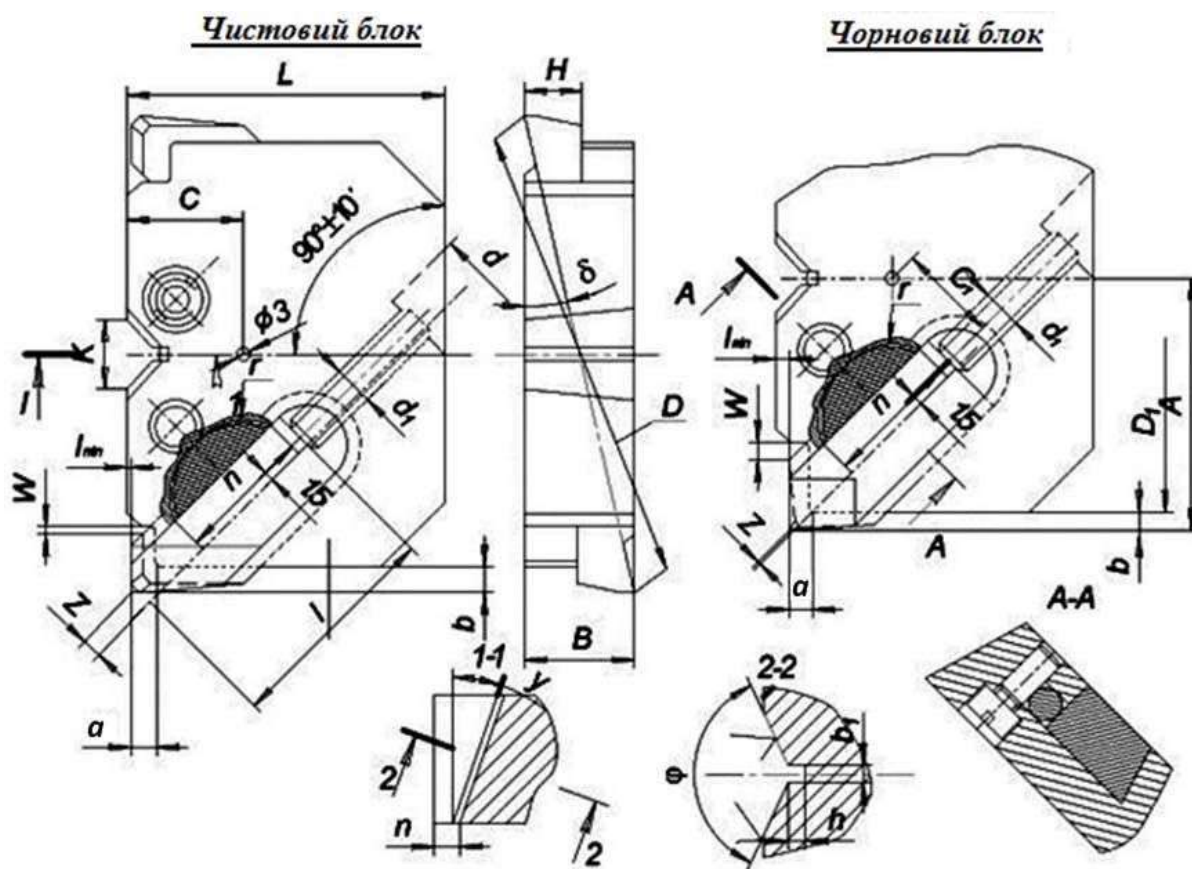


Рисунок 2.7 – Збірні дворізцеві пластинчасті розточувальні блоки

2.2. Вибір форм, розміру та геометрії різальної пластини

Основна вимога, яка пред'являється до системи кріплення різальних пластин у державці при розточуванні – забезпечити достатню жорсткість, надійність і точність закріплення. Як правило, при розточуванні використовується система кріплення Р пластин PCLNR/L, PTFNR/L без задніх кутів, система S пластин SCLCR/L, STFCR/L, SDUCR/L із задніми кутами й система із пластин CSKPR/L, CTFPR/L без отвору. Використовуються державки з головним кутом у плані $F = 90^\circ$, $L = 95^\circ$, $S = 45^\circ$, $W = 60^\circ$, $K = 75^\circ$, що забезпечують одержання всіх видів отворів, що розточуються (див. табл. 2.1) у діапазоні діаметрів 25...1000 мм.

Обмежувальними факторами при вибранні розмірів пластини при розточуванні є:

- глибина різання;
- форма пластини і її головний кут у плані;
- конструкція пластини – одно або двостороння.

Вибирають розмір пластини як при точінні (див. розд. 1, підрозд. 1.3).

На появу вібрації при розточуванні дуже впливають геометрія пластини та величина радіусу при вершині. Необхідно вибирати пластину з додатнім переднім кутом і невеликим радіусом при вершині. Радіус при вершині пластини при чистовому розточуванні не рекомендується брати більш 0,4 мм. Геометрії пластин для розточування представлено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Геометрії розточувальних пластин

| Вид обробки | Тип пластини без задніх кутів | Основні геометрії | Тип пластини з задніми кутами | Основні геометрії |
|---------------------|--|---|--|--|
| Чистова | CNMG SNMG TNMG | PF, MF, KF PF, MF PF, MF, KF | CCMT SCMT TCMT TCMX CPMT TPMT | PF, MF, KF, WF PF, MF, KF PF, MF, KF WF PF, MF, KF PF, MF, KF |
| Напівчистова | CNMG SNMG TNMG | PM, MM, KM PM, MM, KM PM, MM, KM | CCMT SCMT TCMT CPMT TPMT | PM, MM, KM, WM PM, MM, KM PM, MM, KM PM, MM, KM |
| Чорнова | CNMM CNMG CNMA SNMG SNMM SNMA TNMG TNMM | PR, MR MR, KR PR, MR PR, MR KR PR, MR PR, MR | CCMT SCMT TCMT | PR, MR, KR PR, MR, KR PR, MR, KR |

2.3. Матеріал різальної пластини та режими різання

Вибір інструментального матеріалу різальної пластини здійснюється залежно від оброблюваного матеріалу й умов оброблення (див. розд. 1,

підрозд. 1.5). Режими різання при розточуванні (рис. 2.8) призначаються за рекомендаціями (див. розд. 1, підрозд. 1.6), однак слід урахувати труднощі видалення стружки з оброблюваного отвору.

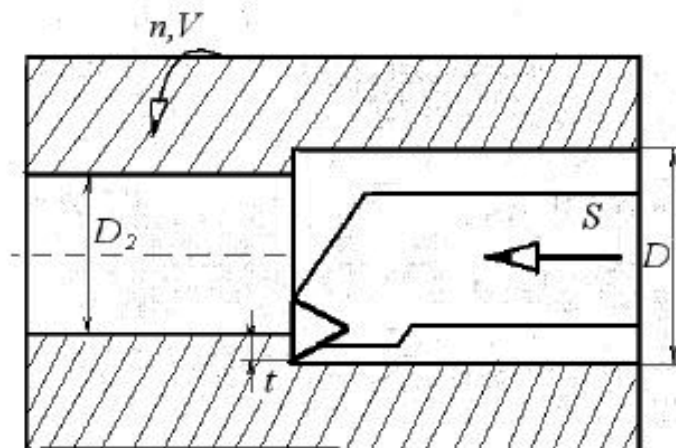


Рисунок 2.8 – Елементи режиму різання при розточуванні

Глибина різання при розточуванні

$$t = \frac{D - D_2}{2},$$

де D_2 і D – відповідно діаметри заготовки й обробленої деталі, мм. Максимальна глибина різання не повинна перевищувати половину довжини різальної крайки. При чистовому оброблянні глибину різання обмежують геометрією пластини, тому не слід призначати її величину, виходячи з розмірів пластини. Більші величини глибини різання при розточуванні можуть привести до заклинювання стружки між стінками оброблюваної заготовки і пластиною, що приведе до її поломки. При чистовому оброблянні, щоб зменшити вібрації, рекомендується знижувати швидкість різання до 50% від рекомендованих каталогами провідних фірм значень.

РОЗДІЛ 3

ВІДРІЗАННЯ. ОБРОБЛЯННЯ КАНАВОК

Операція відрізання проводиться шляхом врізання вздовж радіусу деталі на глибину половини діаметра. При оброблянні канавок подача інструменту проводиться також у радіальному напрямку, тільки з тією різницею, що інструмент при кінцевому положенні не досягає осі деталі. У цей час сучасні відрізні й канавкові різці, оснащені ЗБП, забезпечують добру продуктивність, як і прохідні токарні різці.

Однак якщо при відрізанні (рис. 3.1) задіяні обидві допоміжні крайки різальної пластини, то зі збільшенням діаметру заготовки зростає довжина державки різця, отже, пред'являються більш високі вимоги до стійкості технологічної системи, подачі МОР у зону різання та відведення стружки. Обробляння канавки нагадує операцію відрізання із присутністю тих же труднощів залежно від глибини й ширини оброблюваної канавки (рис. 3.2).

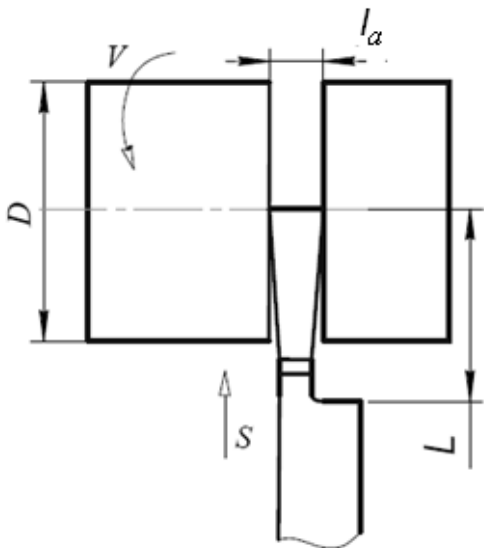


Рисунок 3.1 – Відрізання

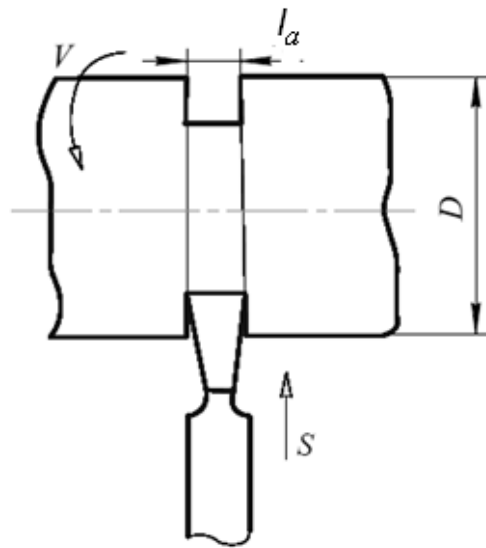
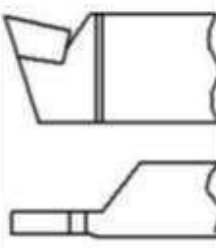
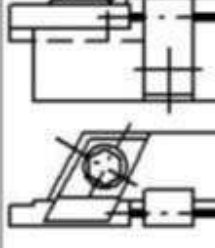
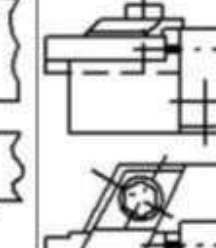
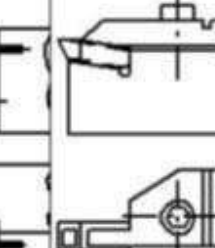


Рисунок 3.2 – Обробляння канавки

3.1. Вибирання інструменту

Розміри конструктивних параметрів відрізних і канавкових різців представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розміри конструктивних параметрів відрізних і канавкових різців

| Ширина різця, мм для відрізних різців | | | Ширина канавки, мм для канавочних різців | |
|---|---|---|--|---|
| з напайною пластиною (ТУ2-035-1113-87) | збірних з непереточуваною пластиною (ТУ2-035-1024-86) | збірних з непереточуваною двосторонньою пластиною | збірних з переточуваною пластиною (ЕУ2-035-955-84) | збірних з непереточуваною двосторонньою пластиною |
|  |  |  |  |  |
| 2 – 12 | 3 – 9 | 3 – 8 | 2 – 4,8 | 3 – 9 |

При вибиранні інструменту для відрізання й обробляння канавок повинні бути враховані такі фактори:

1. Система кріплення різальних пластин.

Сучасний інструмент для відрізання складається з державки та різальної пластини. Використовуються дві системи кріплення різальних пластин (рис. 3.3). Перша – різцевий блок і корпус-лезо *1* із пластиною, закріпленою за рахунок пружних властивостей корпусу у базовому блоці, використовують для відрізання заготовок великого діаметру та глибоких канавок. Різцевий блок дозволяє досить жорстко й надійно закріплювати корпус-лезо та забезпечувати мінімальний виліт. Друга система кріплення дозволяє надійно закріплювати різальну пластину за допомогою гвинта й використовується для обробляння заготовок при малих глибинах різання. При виконанні операцій відрізання чи обробляння канавок державки різців із пружинистим затискачем леза підходять для будь-яких видів лез. Для державки різця із кріпленням пластини гвинтом різальне лезо необхідно виконувати з посадковими місцями для пластини із двох сторін, що забезпечує більшу стійкість різця.

2. Виліт різця в залежності від глибини різання й ширини канавки.

Виліт інструмента *L* (див. рис. 3.1) не повинен перевищувати восьми розмірів ширини пластини *a* (рис. 3.4), звичайно $L \leq 8a$. Посадкова ширина

різальної пластини b (див. рис. 3.4), як правило, буває меншою за ширину пластини. Ширину пластини при оброблянні канавок визначають згідно з формою канавки.

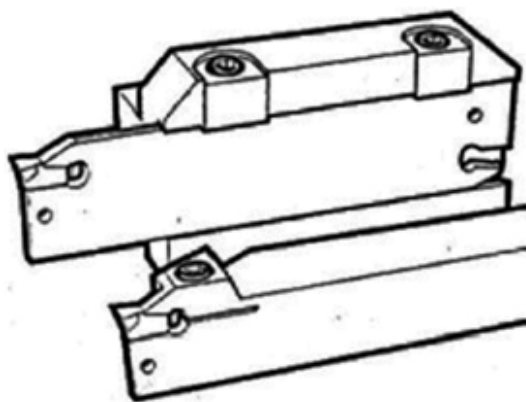


Рисунок 3.3 – Системи кріплення пластин:

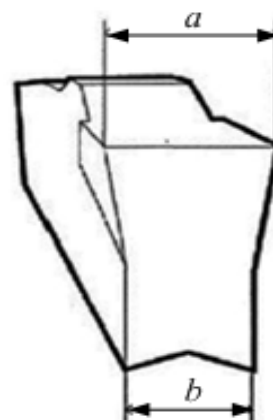


Рисунок 3.4 – Вибірання ширини пластини

3. Головний кут у плані ϕ .

Різальні пластини залежно від головного кута в плані різняться за своїми властивостями. При використанні нейтральної N пластини з кутом у плані, що дорівнює 90° , значно поліпшується стабільність різання, підвищуються точність обробленої поверхні та точність розташування різця щодо заготовки. Крім нейтральних пластин використовуються пластини правого R або лівого L виконання, що дозволяє зменшити бобишку наприкінці відрізання (рис. 3.5).

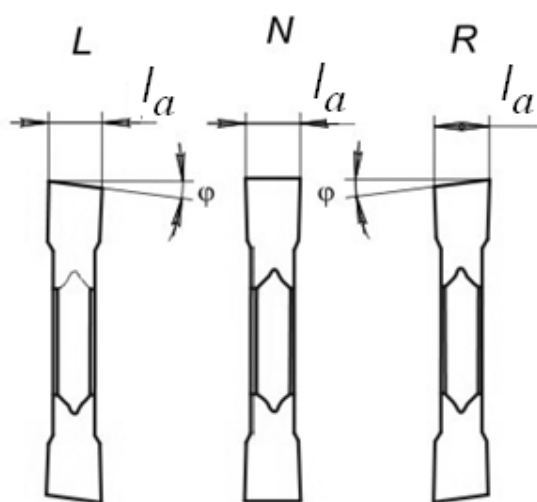


Рисунок 3.5 – Виконання пластин за головним кутом в плані

4. Державка різця та різальне лезо повинні бути встановлені строго перпендикулярно осі оброблюваної заготовки й точно відносно висоти центрів. Відхилення положення різальної крайки від лінії центрів верстата не повинно перевищувати – 0,1 мм.

5. Операція оброблення канавок, особливо глибоких, подібна відрізанню, тому використовують той же інструмент. Однак необхідно враховувати, що залежно від типу канавок (глибокі, неглибокі, широкі, зовнішні й ін.) їхнє оброблення може здійснюватися за одне або кілька осьових врізань, точінням у розгін із врізанням пластинами невеликої ширини, багато-прохідним врізанням.

6. Якщо канавковий інструмент виконує токарне або профільне оброблення, то необхідно забезпечити жорсткість кріплення пластин, застосувати спеціальну геометрію, що дозволить виконувати ці операції на високих режимах різання.

3.2. Вибір геометрії пластин і матеріалу інструменту

Геометрію різальних пластин при відрізанні й обробленні канавок можна вибрати за каталогами провідних світових виробників відрізних і канавкових різців. Як приклад наведемо рекомендації з геометрії пластин для відрізання ВАТ (Sandvik MKTC).

Геометрія 4E (рис. 3.6 а) рекомендується для основних операцій при відрізанні сталей, чавунів і переривчастім різанні.

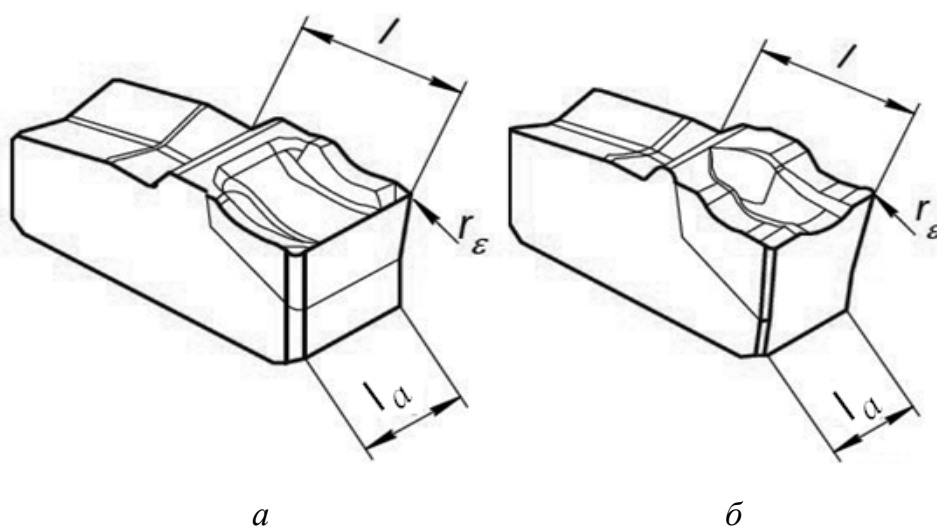


Рисунок 3.6 – Геометрія пластин: а – 4E; б – 5E

Ця пластина має властивість зберігати обрані значення кутів протягом тривалого часу, що сприяє високій продуктивності. Розміри пластин: $l_a = 3 \dots 8$ мм; $r_\varepsilon = 0,3 \dots 0,6$ мм.

Геометрія 5E (рис. 3.6 б) – більш досконала, застосовується при різних передніх кутах у межах від 0° до 20° , з більш гострими різальними крайками, що сприяє зниженню сил різання, зменшенню вібрації та доброму контролю над стружкою. Геометрія 5E застосовується при відрізання тонкостінних труб і деталей невеликого діаметра. Розміри пластин: $l_a = 2 \dots 6$ мм; $r_\varepsilon = 0,2$ мм.

При оброблянні канавок застосовуються геометрії 4G, 5G і 6G (рис. 3.7). Ширина різальної пластини впливає на точність оброблюваних канавок. Тому, наприклад, геометрія 4G допускає граничні відхилення ширини пластини – 0,02 мм, забезпечує малі сили різання й надійне стружкороздріблення при оброблянні різних матеріалів. Ширина пластин становить 2,0...10 мм.

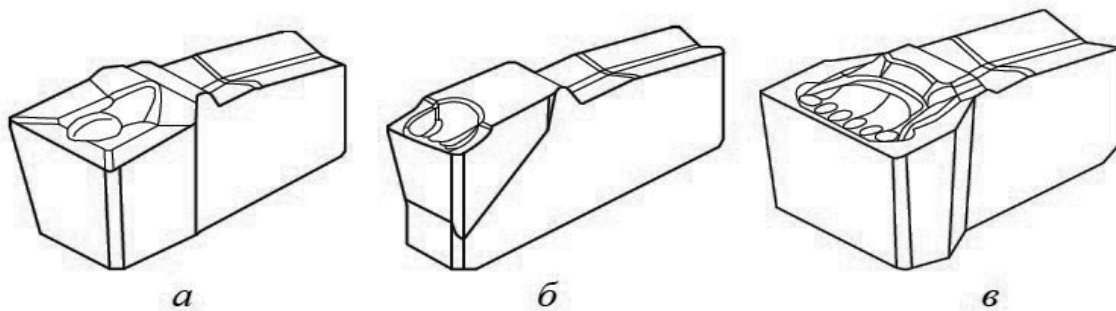


Рисунок 3.7 – Геометрія пластин: а – 4G; б – 5G; в – 6G

Система позначення пластини для відрізання й обробляннн канавок за ISO виглядає так:

| | | | |
|----|---|---|----|
| 12 | E | R | 4, |
| 1 | 2 | 3 | 4, |

де 1 – довжина різальної крайки; 2 – зовнішнє обробляннн; 3 – праве виконання; 4 – ширина канавки. Відповідно до позначення державка різця для відрізання й обробляннн канавок за ISO має бути такою:

| | | | | | | |
|---|---|---|----|----|---|-----|
| C | E | R | 25 | 25 | M | 12, |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7, |

де 1 – система кріплення пластини; 2 – зовнішнє оброблення; 3 – праве виконання; 4 та 5 – відповідно висота та ширина хвостовика; 6 – довжина різця; 7 – довжина різальної крайки.

Рекомендації з вибирання інструментального матеріалу та марок твердого сплаву багатьма провідними світовими виробниками надано для токарного оброблення (див. табл. 1.14 і 1.15). Дані, наведені в цих таблицях, можуть бути використані як для відрізання, так і оброблення канавок. Однак деякі вітчизняні та закордонні виробники для відрізання й оброблення канавок рекомендують конкретні марки твердих сплавів. У табл. 3.2 наведено зіставлення марок твердого сплаву зі зносостійкими покриттями, які рекомендовано для відрізання й оброблення канавок, відповідно в табл. 3.3 – представлено марки твердих сплавів без покриття.

Таблиця 3.2 – Марки твердих сплавів з покриттям для відрізання й оброблення канавок

| Групи різальні та високостаєми | Sandvik MKTC Росія | Sandvik Coromant Швеція | Seco tools Швеція | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | WIDIA Німеччина | Walter Німеччина | Kennametal (США) |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------|---|---|---|--|--|---|
| P | P01 | CT15M | GC3115 GC3020 GC1115 | TGP25 | | | WSM13S WTA33 | |
| | P10 | CT15M CT25M | GC3115 GC3020 GC1125 GC4225 GC1115 | TGP25 TGP35 TGP45 | NC3010 | TT9100 | TN6016 TN6010 TN7110 TN7525 | WPP23 WSM13S WSM23S WTA33 KCU10 KC5010 KC5510 KC9110 KC9320 |
| | P20 | CT15M CT25M CT35M | GC3115 GC3020 GC1125 GC4225 GC2135 GC1145 GC235 GC1115 | TGP25 TGP35 TGP45 CP500 | NC3010 NC3220 NC3030T | TT5100 TT9100 TT7220 TT9030 TT9080 | TN6016 TN6026 TN6031 TN6010 TN6025 TN7110 TN7525 TN7535 | WPP23 WSM13S WSM23S WSM33S WSM33 WTA33 KCU10 KC5010 KC5510 KC9110 KC9125 KCU25 |
| | P30 | CT15M CT25M CT35M | GC3115 GC3020 GC1125 GC4225 GC2135 GC1145 GC235 GC1115 | TGP25 TGP35 TGP45 CP500 CP600 | NC5330 NC3030 NC5330 NC3600 NC3030T | TT5100 TT9100 TT7220 TT9030 TT9080 TT8020 | TN6016 TN6026 TN6031 TN6025 TN6030 TN7525 TN7535 | WPP23 WSM23S WSM33S WSM33 WTA33 KC5525 KC9110 |
| | P40 | CT25M CT35M | GC1125 GC4225 GC2135 GC1145 GC235 | TGP35 TGP45 CP500 CP600 | NC5330 NC5330 | TT5100 TT7220 TT9030 TT9080 TT8020 | TN6031 TN6030 TN7535 | WSM33S WSM43S WSM33 WSP43 WAK30 |
| | P50 | CT35M CU45 | GC1125 GC2135 GC1145 GC235 | CP600 | | TT7220 TT8020 | WSM43S WSP43 WAK30 | |

Продовження табл. 3.2.

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC Росія | Sandvik Coromant Швеція | Seco tools Швеція | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | WIDIA Німеччина | Walter Німеччина | Kennametal (США) |
|--|--------------------------|-------------------------------|---|--|--------------------------------------|--|--|--|
| M | M01 | | | CP200 | PC8110 | | WSM13S | |
| | M10 | CT25M | GC1105 GC1005 GC111 | TGP25 CP200 CP500 | PC8110 | | TN6016 TN6010 WSM13S WSM23S | KCU10 KC5010 KC551 |
| | M20 | CT25M CT35M | GC1105 GC2135 GC1025 GC1005 GC235 GC1115 | TGP25 TGP35 TGP45 CP200 CP500 CP600 | NC5330 NC9030 | TT5100 TT9030 TT9080 TT7220 | TN6016 TN6026 TN6031 TN6010 TN6025 TN8025 WSM13S WSM23S WSM33S WSM33 | KCU25 KCU10 KC5010 KC5510 KC5525 KC5025 |
| | M30 | CT25M CT35M | GC2135 GC1025 GC235 GC1115 | TGP25 TGP35 TGP45 CP500 CP600 | NC5330, PC5300, PC9030 | TT5100 TT9030 TT9080 TT7220 TT8020 | TN6016 TN6026 TN6031 TN6025 TN8025 WSM23S WSM33S WSM33 | KC5525 |
| | M40 | | GC2135 GC1025 GC1145 GC235 | TGP35 TGP45 CP500 CP600 | | TT5100 TT9030 TT9080 TT7220 TT8020 | TN6031 TN8025 WSM33S WSM43S WSM33 WSP43 | |
| K | K01 | | GC3115 GC3020 | | PC6205 | TT6080 TT6300 | WTA33 | |
| | K10 | CT25M | GC3115 GC4225 GC1125 GC1025 GC3020 | TGP45 CP200 | NC6205 NC6210 NC315K | TT6080 TT6300 | TN6016 TN6010 TN7110 TN7525 WAK20 WTA33 | KCU10 KC5010 KC5510 |
| | K20 | CT25M | GC3115 GC4225 GC1125 GC1025 GC3020 | TGP25 TGP45 CP200 CP500 | NC5330 NC5300 NC315K NC215K | TT6080 TT6300 | TN6016 TN6031 TN6010 TN6025 TN7110 TN7525 TN7535 WPP23 WAK20 WAK30 WTA33 | KCU10 KC5010 KC5510 KCU25 KC5525 KC5025 KC9110 |
| | K30 | CT25M | GC3115 GC4225 GC1125 GC1025 GC3020 | TGP25 TGP35 TGP45 CP500 | NC315K NC5330 | TT6080 | TN6016 TN6031 TN6025 TN7525 TN7535 WPP23 WAK20 WAK30 | KC5525 KC9125 |
| | K40 | CM30M | GC4225 GC1125 GC1025 | TGP35 TGP45 CP500 | | | TN6031 TN7535 WPP23 WAK30 | KC7135 |
| K50 | | | | | | | | KC5410 |
| N | N01 | | GC1005 | | | | | |

Закінчення табл. 3.2

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC Росія | Sandvik Coromant Швеція | Seco tools Швеція | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | WIDIA Німеччина | Walter Німеччина | Kennametal (США) |
|--|--------------------------|---|--|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| N | N10 | GC1005 GC1025 GC1125 | | | | TN6016 TN6010 | | KCU10 KC5010 KC5510 KC5410 KC5410 |
| | N20 | GC1005 GC1025 GC1125 | | | | TN6016 TN6031 TN6025 | | KCU10 KC5010 KC5510 KC5025 KC5525 KC5410 |
| | N30 | GC1125 | | | | TN6016 TN6031 TN6025 | | KC5525 |
| S | S10 | S05F | CP500 CP600 | PC8110 | | TN6016 TN6010 | WSM13S WSM23S | KCU10 KC5010 KC5510 |
| | S20 | S05F GC1005 GC1105 GC1025 GC4125 GC2135 GC1125 GC235 | TGP25 CP500 CP600 | NC5330 PC8110 NC5300 | TT9030 TT9080 | TN6016 TN6026 TN6031 TN6025 | WSM13S WSM23S WSM33S WSM33 | KCU10 KC5010 KC5510 KC5525 KC5025 |
| | S30 | GC1005 GC1125 GC4125 GC2135 GC235 GC2145 | TGP35 CP500 CP600 | NC5330 | TT8020 TT9030 TT9080 | TN6016 TN6026 TN6031 TN6025 | WSM23S WSM33S WSM33 | KC5525 |
| | S40 | GC1025 GC1125 GC4125 GC2135 GC2145 | | | TT6080 TT9030 TT9080 | TN6031 | WSM33S WSM43S WSM33 WSP43 | |
| H | H01 | | | | TT6080 | | WAK20 | |
| | H10 | CT15M | GC1020 GC1220 GC4024 | TGP25 | | TT6080 | WAK20 | KCU10 KC5010 KC5510 |
| | H20 | CT15M | GC1020 GC1220 GC1044 GC4024 GC4044 | TGP25 | | TT6080 | TN6026 TN6031 | WAK20 |
| | H30 | CT15M | GC1044 GC4044 | TGP35 | | TT6080 | TN6026 TN6031 | |

Таблиця 3.3 – Марки твердих сплавів без покриття для відрізання та для обробляння канавок

| Групи різальні та використанні | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeeguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------|
| P | P01 | | | | | | | |
| | P10 | PT10 | H13A | HX | | | | |
| | P20 | PT20 | | | | | | |
| | P30 | PT30 | | | | | | |
| | P40 | PT40 | | | | | | |
| | P50 | | | | | | | |
| M | M01 | | | | | | | |
| | M10 | | H13A | 890 | | | K68 K13 | |
| | M20 | TK20 | H13A | 883 HX 890 | | | K68 K13 | |
| | M30 | PT30 | H13A | 883 | | | | |
| | M40 | PT40 | | | | | | |
| K | K01 | | | H01 | K10 | | | |
| | K10 | TK10 | H13A | HX 890 | H01 | K10 | K68 K13 | |
| | K20 | TK20 | H13A | 883 HX 890 | H01 | K10 | K68 K13 | |
| | K30 | TK30 | H13A | 883 HX | | | | |
| | K40 | | | | | | | |
| | K50 | | | | | | | |
| N | N01 | | H10F | | K10 | WK1 | | |
| | N10 | TK20 | H13A H10F | 883 | H01 | K10 | WK1 | K68 K13 |
| | N20 | TK20 | H13A H10F | 883 | H01 | K10 | WK1 | K68 K13 |
| | N30 | | H13A | 883 | | | | |
| S | S10 | | H13A H10F | 883 890 | | K10 | WK1 | K68 K13 |
| | S20 | TK20 TK25 | H13A H10F | 883 890 | | K10 | WK1 | K68 K13 |
| | S30 | | H13A | 883 890 | | | | |
| | S40 | | | | | | | |
| H | H01 | | | | | | | |
| | H10 | TK10 | | 883 | | | | |
| | H20 | TK20 | | 883 890 | | | | |
| | H30 | | | 890 | | | | |

3.3. Призначення режимів різання при відрізанні та при оброблянні канавок

Глибина радіального врізання інструмента – відстань від зовнішнього діаметру до центру або дна канавки (глибина різання) – при відрізанні та при оброблянні канавок приймається такою, що дорівнює ширині пластини l_a , і тоді $t = l_a$. Величина радіальної подачі S у напрямку до осі заготовки призначається залежно від ширини різу (глибини різання) і механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Рекомендовані величини подач наведено в табл. 3.4. При відрізанні суцільних заготовок рекомендується знижувати подачу на 75% в момент, коли різальна крайка наближається до осі заготовки, що дозволяє зменшити розмір залишкової бобишки й підвищити стійкість інструмента.

Рекомендації щодо вибирання швидкостей різання для відрізного й канавкового інструменту наведено в каталогах виробників. Частота обертання шпинделя, потрібна потужність, затрачувана на різання, і величина машинного часу на оброблення визначають за методикою, що викладена в розд. 2, підрозд. 1.6.

Таблиця 3.4 – Величина подачі при відрізанні та при оброблянні канавок

| Ширина пластини l_a , мм | Оброблювані матеріали | | | |
|----------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Сталь σ_B , МПа | | Чавун HB | |
| | ≤ 800 | > 800 | ≤ 180 | > 180 |
| ≤ 3 | 0,07...0,09 | 0,06...0,07 | 0,12...0,15 | 0,10...0,12 |
| Св. 3 до 4 | 0,09...0,11 | 0,07...0,09 | 0,15...0,18 | 0,12...0,15 |
| Св. 4 до 5 | 0,11...0,13 | 0,09...0,11 | 0,18...0,22 | 0,15...0,18 |
| Св. 5 до 7 | 0,13...0,15 | 0,11...0,13 | 0,22...0,25 | 0,18...0,20 |
| Св. 7 до 8 | 0,15...0,18 | 0,13...0,15 | 0,25...0,30 | 0,20...0,25 |
| Св. 8 до 10 | 0,18...0,20 | 0,15...0,17 | 0,30...0,35 | 0,25...0,28 |
| Св. 10 до 12 | 0,20...0,22 | 0,17...0,19 | 0,35...0,40 | 0,28...0,30 |

Примітка. При більш широкій пластині l_a слід приймати більше значення величини подачі.

РОЗДІЛ 4 НАРІЗАННЯ РІЗИ

Інструменти для утворення нарізи можна розподілити на такі групи:

- 1) лезові інструменти, що утворюють нарізи шляхом зняття припуску різальними крайками;
- 2) безстружкові інструменти, що формують нарізи методом холодного пластичного деформування;
- 3) абразивні інструменти, що працюють методом вишліфовування профілю нарізи.

На практиці широке застосування знайшли інструменти перших двох груп: різці, гребінки, мітчики, фрези, різьбонарізні плашки та головки, плашки, ролики та головки різенакатні.

Нарізування різі на токарно-гвинторізних верстатах і токарних верстатах з ЧПУ різцями, оснащеними змінними одновершинними або багатoverшинними твердосплавними пластинами, є найпоширенішою операцією токарного оброблення.

Нарізання різей різцями, оснащеними змінними багатогранними пластинами зі зносостійкими покриттями, дозволяє стабільно одержувати точні нарізи на всіх видах матеріалів, незалежно від кваліфікації робітника. При цьому багаторазово підвищується стійкість інструменту.

Вибірання різального інструменту для інструментального оснащення операції нарізання різей різцями, оснащеними змінними багатогранними пластинами, здійснюють відповідно до такого покрокового підходу:

1. Вибірання системи кріплення різальної пластини та типу тримача.
2. Вибірання способу врізання.
3. Вибірання типу, розміру, геометрії пластини й інструментального матеріалу.
4. Призначення кількості проходів, глибини врізання за прохід і швидкості різання при різенарізанні.

4.1. Вибірання системи кріплення різальної пластини та типу тримача

Різенарізний інструмент зі змінними пластинами (рис. 4.1) є універсальним і продуктивним – однієї пластиною можна нарізати зовнішні та внутрішні різі як праві, так і ліві (рис. 4.2 і 4.3).

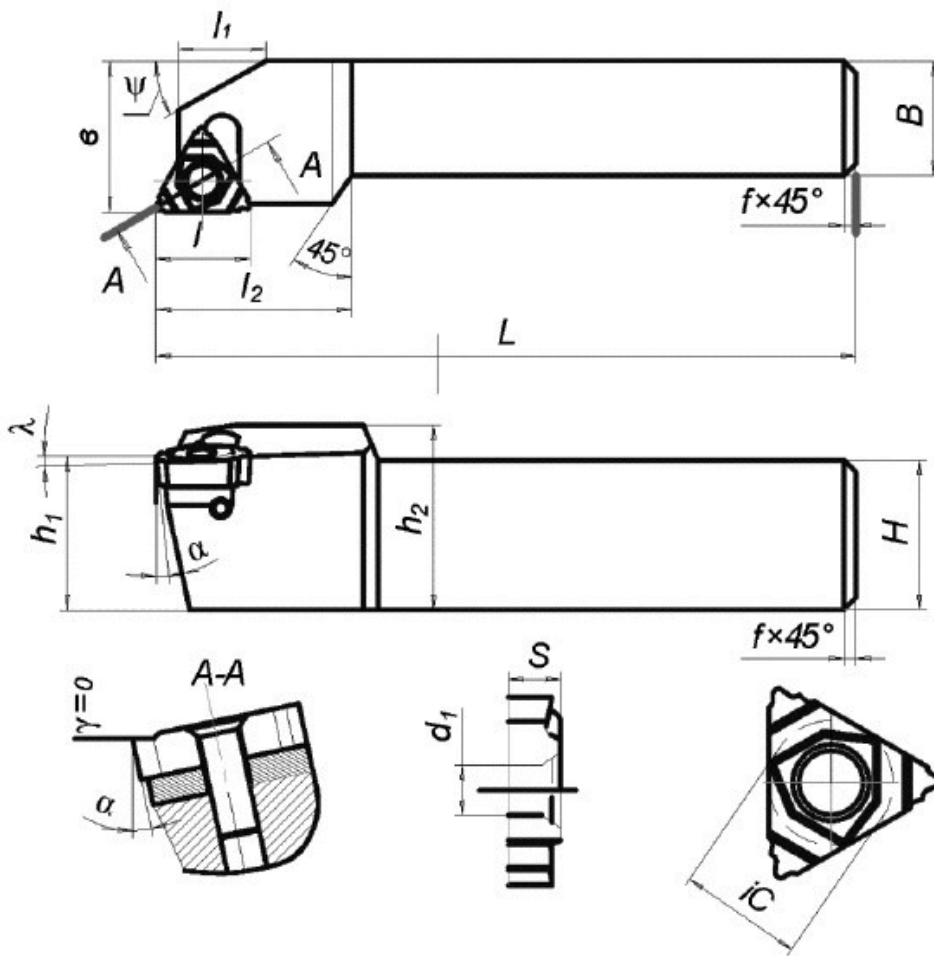


Рисунок 4.1 – Різбовий різець, оснащений змінною тригранною пластиною

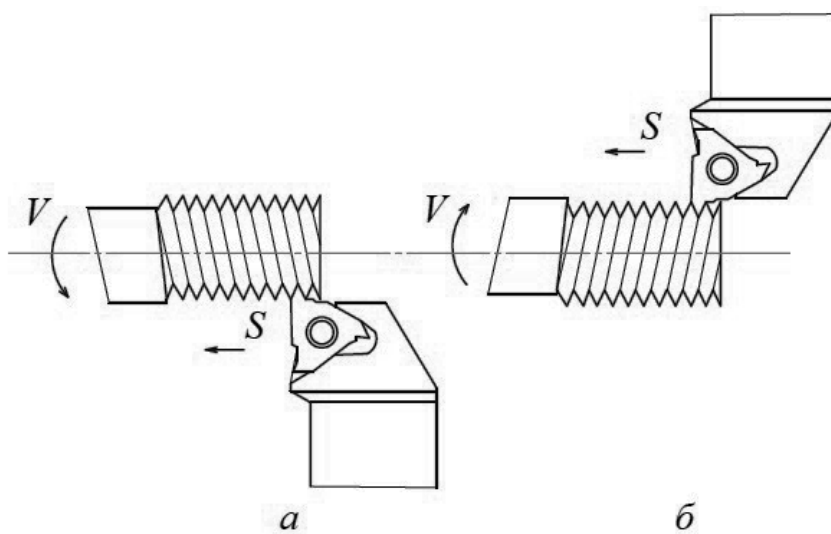


Рисунок 4.2 – Нарізання правої (а) і лівої (б) зовнішньої нарізи

На вибирання системи кріплення різевих твердосплавних пластин впливають такі параметри процесу різенарізання:

- зовнішнє або внутрішнє різьблення; права або ліва різь;
- тип нарізи (метрична, трубна, трапецеїдальна й ін.);
- властивості оброблюваного матеріалу;
- твердість технологічної системи (верстат–пристосування–інструмент–заготовка).

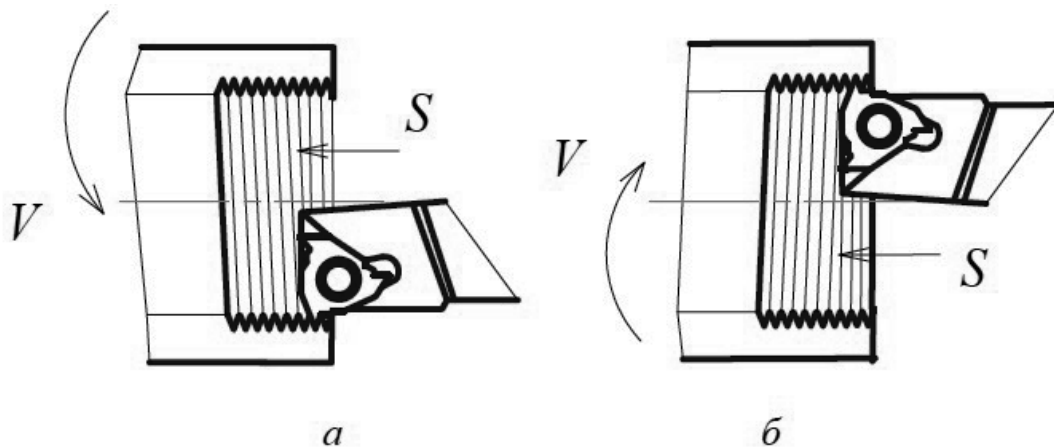


Рисунок 4.3 – Нарізання правої (а) і лівої (б) внутрішньої нарізи

Провідні світові виробники різенарізного інструменту використовують різні системи кріплення різевих твердосплавних пластин. Кріплення швидкозмінним гвинтом через отвір S забезпечує надійне кріплення та застосовується для більшості пластин розміром 16 і 22 мм. Кріплення клином (прихоплювання зверху) пластини C використовують для нарізання зовнішніх нарізей у стиснутих умовах для пластин розміром 16 і 27 мм. Для нарізування зовнішньої та внутрішньої нарізей пластини розміром 27 мм, а також для нарізування внутрішньої різі пластини розміром 11 мм можуть кріпитися гвинтом через отвір.

При нарізанні зовнішньої нарізи утримувачі для кріплення пластин розміром 16, 22, 27 мм вибираються прямокутної форми $h \times b$ (мм): 12 × 12; 16 × 16; 20 × 20; 25 × 25; 32 × 32; 40 × 40 мм. Для внутрішньої нарізи із пластинами розміром 11, 16, 22 мм – утримувачі круглі діаметром 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 мм. Розміри для різцевих вставок, швидкозмінних різальних голівок можна підібрати із каталогів виробників.

4.2. Вибирання способу врізання

Розрізняють такі варіанти розподілення припуску та врізання на глибину при нарізанні різі: радіальне врізання; двостороннє бічне й одностороннє бічне (рис. 4.4).

Радіальне врізання – найбільш простий і розповсюджений спосіб нарізання різей – забезпечує високу точність профілю та рівномірне зношування пластини. Цей спосіб кращий для нарізання різей із дрібними кроками.

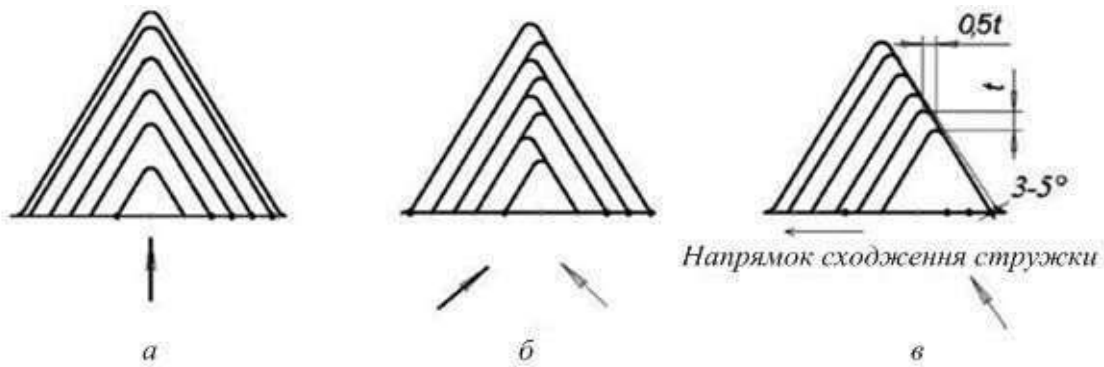


Рисунок 4.4 – Способи врізання пластин:
a – радіальне; *б* – двостороннє бічне; *в* – одностороннє бічне

Двостороннє бічне врізання застосовується для нарізання різей із великим кроком. Напрямок врізання змінюється для кожного наступного проходу, і останні проходи можуть бути зроблені з радіальним врізанням. Одностороннє бічне врізання використовується при нарізанні великих різей із довгим проходом. Пластина врізається в заготовку під кутом, меншим за кут профілю різі (див. рис. 4.4).

Цей спосіб дає можливість контролювати схід стружки, а відхилення напрямку врізання в $3^\circ \dots 5^\circ$ сприятливо діє на стійкість пластини, що сприяє підвищенню точності профілю різьблення.

4.3. Вибирання типу, розміру, геометрії пластини й інструментального матеріалу

Різець із пластинами *V*-образного профілю є найпростішим інструментом для нарізання різей на верстаті, яке, як правило, виконується у дві операції: обробляння до необхідного діаметру та нарізання профілю різі.

Однозубі пластини з повним профілем різі (рис. 4.5 а) використовуються для високопродуктивного нарізання різей. Вони дозволяють нарізати різі повного профілю певного кроку з оптимальним радіусом западини. Це дозволяє повністю сформувати профіль, включаючи й поверхні вершин, забезпечити потрібну висоту нарізі, радіуси при вершині та западині профілю. У дрібносерійному виробництві з великою номенклатурою нарізуваних кроків різей найкраще використовувати однозубі пластини з неповним профілем нарізей (рис. 4.5 б). Пластини такого виду не обробляють вершину профілю різі, і тому необхідно точно обробляти діаметри заготовок під нарізувану нарізь. Продуктивність і точність оброблення різей нижче, ніж при нарізанні різей пластинами з повним профілем. У масовому виробництві при нарізанні спеціальних різей найкраще використовувати багатозубці (багатозубцеві) пластини (рис. 4.5 в).

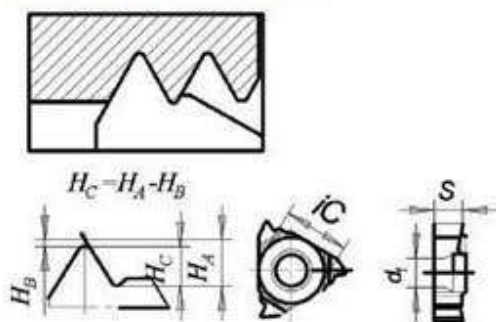
Вони мають два або більше зубців, що дозволяє зменшити кількість проходів, збільшити стійкість інструменту та продуктивність оброблення. Однак різці з повним профілем і багатозубцеві можуть нарізати різі тільки з однаковим кроком, у той час як V-образний профіль дозволяє нарізати різі з різними кроками. Також при нарізанні різей багатозубцевими пластинами виникають більші зусилля різання, і тому необхідно забезпечити високу жорсткість технологічної системи.

Розмір і геометрію різьбових пластин можна вибрати з рекомендацій виробників, приміром, розміри багатозубцевих пластин X і Z (див. рис. 4.5) для нарізання зовнішніх різей: $l_p = 16, 22, 27$ мм, $X = 1,62$ мм, $Z = 2,5$ мм, для нарізання внутрішніх різей: $l_p = 11, 16, 22, 27$ мм, $X = 1,59$ мм, $Z = 2,4$ мм (для кроку різі 1,0 мм).

Для нарізання різей способом радіального, бічного (одностороннє та двостороннє) врізання рекомендуються різьбові пластини стандартної геометрії та геометрії F. Пластини геометрії С – тільки для одностороннього й двостороннього бічного врізання (рис. 4.6). Геометрія С забезпечує надійне стружкодробіння та застосовується для нарізання різей при оброблянні вуглецевих і низьколегованих сталей.

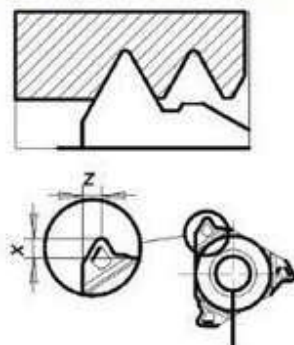
Для забезпечення достатньої величини задніх кутів при оброблянні кут нахилу різальної пластини λ повинен відповідати куту підйому гвинтової лінії τ (рис. 4.7) і ухвалюється таким, що дорівнює: $-2^\circ, -1^\circ, 0^\circ, +1^\circ, +2^\circ, +3^\circ, +4^\circ$. Це досягається шляхом використання в різьбових різцях змінних опорних пластин (див. рис. 4.1).

Пластини з повним профілем



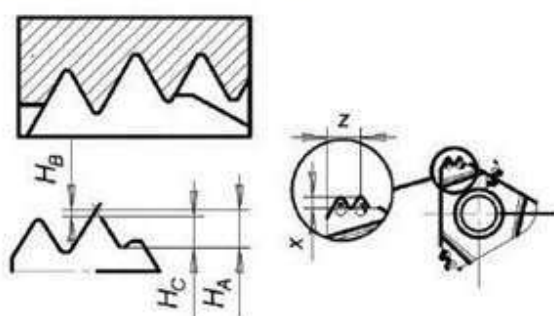
a

Пластини з неповним профілем



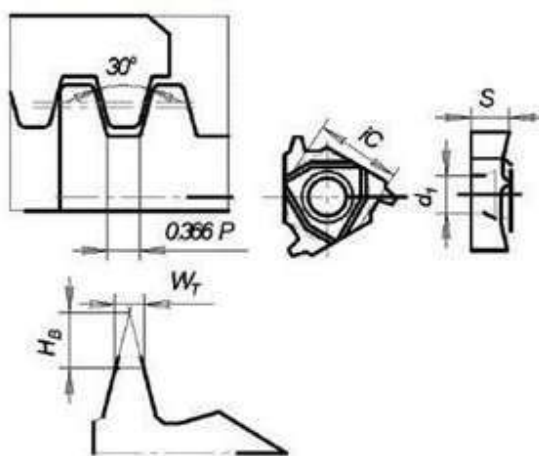
б

Багатозубцева пластина



в

Трапецеїдальна 30°



г

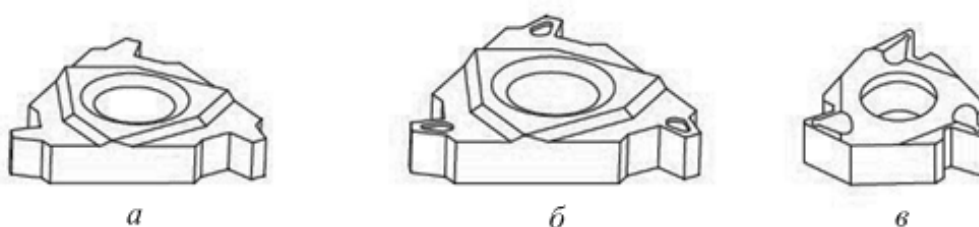


Рисунок 4.6 – Геометрія різбових пластин:
a – геометрія F; *б* – стандартна геометрія; *в* – геометрія С

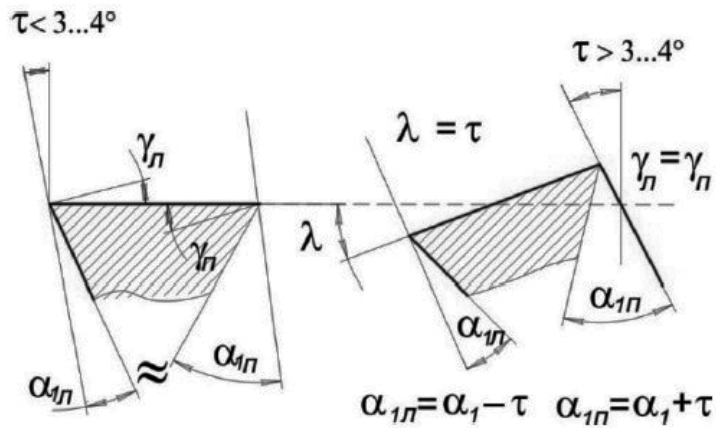


Рисунок 4.7 – Кути підйому різи та нахилу різальної пластини

Кут нахилу різальної крайки можна визначити як

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{P}{\pi D},$$

де P – крок нарізи; D – діаметр нарізи.

Систему позначення різбових пластин і державок за ISO наведено на рис. 4.8 і 4.9.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|--|---------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---|
| 16 | E | R | - | 150 | MMO | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | | 4 | 5 | 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>1. Довжина різальної крайки</p> | <p>2. Вид оброблення</p> <p><i>E</i> = для зовнішніх різей</p> <p><i>N</i> = для внутрішніх різей</p> | | <p>3. Виконання пластин</p> <p><i>R</i> = праве виконання</p> <p><i>L</i> = ліве виконання</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>4. Крок різи</p> <p>Для метричних різей тотожний: крок*100</p> <p>Для дюймових різей: число ниток/дюйм*10</p> | <p>5. Профіль нарізи</p> <table border="0"> <tr> <td><i>VMO</i> = неповний 60°</td> <td><i>NJO</i> = UNJ60°</td> </tr> <tr> <td><i>VVO</i> = неповний 55°</td> <td><i>MJO</i> = MJ60°</td> </tr> <tr> <td><i>MMO</i> = метричний 60°</td> <td><i>NFO</i> = NPTF60°</td> </tr> <tr> <td><i>UNO</i> = UN60°</td> <td><i>BUO</i> = Buttress</td> </tr> <tr> <td><i>WHO</i> = Whitworth 55°</td> <td><i>BDO</i> = API Rd 60°</td> </tr> <tr> <td><i>RD</i> = кругла DIN</td> <td><i>V38</i> = V-0,038R</td> </tr> <tr> <td><i>RO</i> = трапецеїдальний 30°</td> <td><i>V40</i> = V-0,040</td> </tr> <tr> <td><i>ACO</i> = ACME 29°</td> <td><i>V50</i> = V-0,050</td> </tr> </table> | | | <i>VMO</i> = неповний 60° | <i>NJO</i> = UNJ60° | <i>VVO</i> = неповний 55° | <i>MJO</i> = MJ60° | <i>MMO</i> = метричний 60° | <i>NFO</i> = NPTF60° | <i>UNO</i> = UN60° | <i>BUO</i> = Buttress | <i>WHO</i> = Whitworth 55° | <i>BDO</i> = API Rd 60° | <i>RD</i> = кругла DIN | <i>V38</i> = V-0,038R | <i>RO</i> = трапецеїдальний 30° | <i>V40</i> = V-0,040 | <i>ACO</i> = ACME 29° | <i>V50</i> = V-0,050 | <p>6. Число зубців на різальній крайці</p> <p>Від одного до трьох</p> <p>1 = 1 зубець</p> <p>2 = 2 зубці</p> <p>3 = 3 зубці</p> |
| <i>VMO</i> = неповний 60° | <i>NJO</i> = UNJ60° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>VVO</i> = неповний 55° | <i>MJO</i> = MJ60° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>MMO</i> = метричний 60° | <i>NFO</i> = NPTF60° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>UNO</i> = UN60° | <i>BUO</i> = Buttress | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>WHO</i> = Whitworth 55° | <i>BDO</i> = API Rd 60° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>RD</i> = кругла DIN | <i>V38</i> = V-0,038R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>RO</i> = трапецеїдальний 30° | <i>V40</i> = V-0,040 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>ACO</i> = ACME 29° | <i>V50</i> = V-0,050 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рисунок 4.8 – Система позначення різбових пластин згідно з ISO

1. Система кріплення пластини (див. рис. 1.1.)
2. Вид оброблення (див. рис. 4.2)
3. Виконання пластини (див. рис. 4.2.)
4. Висота тримача
5. Ширина тримача

6. Довжина різця



- D=60 E=70
- F=80 S=250
- H=100 T=300
- K=125 U=350
- M=150 V=400
- P=170 W=450
- Q=180 Y=500
- R=200 X-спец.

7. Довжина різальної крайки

Рисунок 4.9 – Система позначення різбових різців згідно з ISO

Рекомендації з вибирання інструментального матеріалу та марок твердого сплаву багатьма провідними світовими виробниками надано для токарного оброблення (див. табл. 1.14 і 1.15). Дані, наведені в цих таблицях, можуть бути використані й для нарізання різей. Однак деякі вітчизняні та закордонні виготовлювачі для нарізання різі рекомендують конкретні марки твердих сплавів. У табл. 4.1 представлено зіставлення марок твердого сплаву зі зносостійкими покриттями, які рекомендовано для нарізання різей, відповідно в табл. 4.2 представлено марки твердих сплавів без покриття.

Таблиця 4.1 – Марки твердих сплавів з покриттям для нарізання різей

| Група різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Widia (Німеччина) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|--|------------------------------------|
| P | P01 | CT15M GC4125 GC1125 | TP1030 | PC5300 | TT7010 | TN1000 | | |
| | P10 | CT15M CT25M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 CP300 TP1030 | PC5300 | TT7010 | TN6010 TN1000 TN2000 | WXP20 KC5010 KC5025 |
| | P20 | CT15M CT25M CT35M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 CP300 CP500 TP1030 | PC5300 PC3030T | TT7010 TT9030 | TN6010 TN6025 TN1000 TN2000 TN4000 | WXP20 WMP32 KC5010 KC5025 |
| | P30 | CT15M CT25M CT35M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP300 CP200 CP500 TP1030 | PC5300 PC3030T | TT7010 TT8010 TT9030 | TN6025 TN2000 TN4000 | WXP20 WMP32 KU25T |
| | P40 | CT25M CT35M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP500 | PC3030T | TT8010 TT9030 | TN4000 | WXP20 WMP32 KU25T |
| | P50 | | | | PC3030T | TT8010 | | |

Закінчення табл. 4.1

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC Росія | Sandvik Coromant Швеція | Seco tools Швеція | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | WIDIA Німеччина | Walter Німеччина | Kennametal (США) | |
|--|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|
| M | M01 | | GC4125 | CP200 TP1030 | PC5300 | | | | |
| | M10 | CT25M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 CP500 TP1030 | PC5300 | | TN6010 TN4000 | WXM20 | |
| | M20 | CT25M CT35M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 CP300 CP500 TP1030 | PC5300 PC3030T | TT9030 TT8010 | TN6010 TN6025 TN4000 | WMP32 WXM20 | KC5010 KC5025 |
| | M30 | CT25M CT35M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP300 CP500 | PC3030T | TT8010 TT9030 | TN6025 | WMP32 WXM20 | KU25T |
| | M40 | | | CP500 | PC3030T | TT8010 TT9030 | | WMP32 | |
| K | K01 | | GC1020 GC4125 GC1125 | TP1030 | PC5300 | TT7010 | | | |
| | K10 | CT25M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 TP1030 | PC5300 | TT7010 | TN6010 TN1000 HK1500 | | |
| | K20 | CT25M | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 CP500 TP1030 | PC5300 PC3030T | TT7010 TT9030 | TN6010 TN6025 TN1000 HK1500 | WMP32 | KC5010 KC5025 |
| | K30 | CT25M | | CP500 | PC3030T | TT9030 | TN6025 HK1500 | WMP32 | KU25T |
| | K40 | | | CP500 | PC3030T | | | WMP32 | |
| | K50 | | | | | | | | |
| N | N01 | | GC1020 | | | | | | |
| | N10 | | GC1020 | | | TT9030 | TN6010 | | |
| | N20 | | GC1020 | | | TT9030 | TN6010 TN6025 | WXM20 | KC5010 KC5025 |
| | N30 | | GC1020 | | | | TN6025 | WXM20 | KU25T KC5410 |
| S | S10 | | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 CP500 | | TT8010 | TN6010 | | |
| | S20 | | GC1020 GC4125 GC1125 | CP200 CP500 | | TT9030 TT9030 | TN6010 TN6025 | | KC5010 KC5025 |
| | S30 | | GC1020 GC4125 GC1125 | CP500 | | TT8010 TT9030 | TN6025 | | KU25T |
| | S40 | | | | | | | | |
| H | H01 | | GC1020 | | | | | | |
| | H10 | CT15M | GC1020 GC4125 GC1125 | | | TT7010 TT9030 | | | KC5010 KC5025 |
| | H20 | CT15M | GC1020 GC4125 GC1125 | | | TT7010 TT9030 | | | KU25T |
| | H30 | CT15M | GC4125 GC1125 | TP1030 | | | | | |

Таблиця 4.2 – Марки твердих сплавів без покриття для нарізування різей

| Групи різання та використання | | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | TeaguTec (Корея) | Widia (Німеччина) | Kennametal (США) |
|-------------------------------|-----|----------------------|---------------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------------|
| P | P01 | | | | | | |
| | P10 | | | | | | |
| | P20 | PM30 | | | P30 | | |
| | P30 | PM30 | | | P30 | | |
| | P40 | PM30 | | | | | |
| | P50 | | | | | | |
| M | M01 | | | | | | |
| | M10 | | | | | | K68 |
| | M20 | TK25 TK20 | H13A | H15 | | | K68 |
| | M30 | TK25 | H13A | | | | K68 |
| | M40 | | | | | | |
| K | K01 | | | | UF10 | | |
| | K10 | TK25 | H13A | H15 | UF10 | THM | K68 |
| | K20 | TK25 TK20 | H13A | H15 | UF10 | THM | K68 |
| | K30 | TK25 | H13A | H15 | | | K68 |
| | K40 | | | | | | K68 |
| | K50 | | | | | | |
| N | N01 | | | H15 | | | |
| | N10 | TK25 | | H15 | UF10 | THM | K68 |
| | N20 | TK25 | H13A | | UF10 | THM | K68 |
| | N30 | TK25 | H13A | | | | K68 |
| S | S10 | | H13A | | UF10 | THM | K68 |
| | S20 | TK25 | H13A H10F | | UF10 | THM | K68 |
| | S30 | TK25 | H10F | | | | K68 |
| | S40 | | | | | | |
| H | H01 | | | | | | |
| | H10 | | | | | THM | |
| | H20 | | | | | THM | KU25T |
| | H30 | | | | | | |

4.4. Призначення кількості проходів, глибини врізання за прохід і швидкості різання при різанарізанні

Для визначення кількості проходів і глибини врізання необхідно задати загальну висоту профілю нарізі й глибину врізання для першого або останнього проходу (рис. 4.10). Необхідну кількість проходів, глибину врізання та розміри пластини можна визначити із табл. 4.3.

Рекомендації із призначення глибини врізання:

- початкове значення глибини врізання за прохід $\Delta a_p = 0,12 \dots 0,18$ мм, для останнього проходу глибина врізання не повинна бути меншою за 0,05 мм;

- поступове зменшення глибини врізання забезпечує постійний обсяг стружки, що знімається за кожний прохід;
- останній прохід без врізання не допускається.



Рисунок 4.10 – Досягнення глибини нарізі за кілька проходів різця

Остаточну глибину врізання та кількість проходів можна перевірити експериментально або за формулою

$$\Delta a_p = \frac{a_p}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\varphi},$$

де n – кількість проходів; Δa_p – глибина врізання за прохід; a_p – загальна глибина врізання; φ – параметр, $\varphi = 0,3$ для першого проходу; $\varphi = 1,0$ для другого проходу; $\varphi = n - 1$ для третього та наступних проходів.

Приклад. Вихідні дані: зовнішня нарізь, крок 1,0 мм, $a_p = 0,67$ мм, $n = 5$.

Для першого проходу глибина врізання визначиться як

$$\Delta a_p = \frac{a_p}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\varphi} = \frac{0,67}{\sqrt{4}} \sqrt{3} = 0,18 \text{ мм.}$$

Аналогічно для другого проходу $a_p = 0,34$ мм, для третього – 0,47 мм, для четвертого – 0,58 мм і для п'ятого – 0,67 мм. Таким чином, глибина врізання:

- за перший прохід дорівнює 0,18 мм;
- за другий прохід – $0,34 - 0,18 = 0,16$ мм;
- за третій прохід – $0,47 - 0,34 = 0,13$ мм;
- за четвертий прохід – $0,58 - 0,47 = 0,11$ мм;
- за п'ятий прохід – $0,67 - 0,58 = 0,09$ мм.

Таблиця 4.3 – Кількість проходів, глибина врізання та розміри пластини

| Метрична наріз 60° | Крок нарізі P , мм | Глибина врізання a_p , мм | Кількість проходів n | Розміри пластини, мм | |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|------|
| | | | | X | Z |
| Зовнішня | 0,50 | 0,34 | 4 | 1,32 | 0,5 |
| | 0,75 | 0,50 | 4 | 1,32 | 0,5 |
| | 0,80 | 0,54 | 4 | 1,32 | 0,6 |
| | 1,00 | 0,67 | 5 | 1,32 | 0,8 |
| | 1,25 | 0,80 | 6 | 1,32 | 0,8 |
| | 1,50 | 0,94 | 6 | 1,32 | 1,0 |
| | 1,75 | 1,14 | 8 | 1,32 | 1,2 |
| | 2,00 | 1,28 | 8 | 1,32 | 1,4 |
| | 2,50 | 1,58 | 10 | 1,32 | 1,4 |
| | 3,00 | 1,89 | 12 | 1,32 | 1,8 |
| | 3,50 | 2,20 | 12 | 1,67 | 2,5 |
| | 4,00 | 2,50 | 14 | 1,67 | 2,5 |
| | 4,50 | 2,80 | 14 | 1,67 | 2,5 |
| | 5,00 | 3,12 | 14 | 1,38 | 2,5 |
| | 5,50 | 3,41 | 16 | 1,08 | 2,5 |
| | 6,00 | 3,72 | 16 | 0,88 | 2,8 |
| Внутрішня | 0,50 | 0,34 | 4 | 0,72 | 0,5 |
| | 0,75 | 0,48 | 4 | 0,72 | 0,6 |
| | 1,00 | 0,63 | 5 | 0,72 | 0,8 |
| | 1,25 | 0,77 | 6 | 0,72 | 0,8 |
| | 1,50 | 0,90 | 6 | 0,72 | 1,1 |
| | 1,75 | 1,07 | 8 | 0,72 | 1,05 |
| | 2,00 | 1,20 | 8 | 0,72 | 0,92 |
| | 2,50 | 1,49 | 10 | 1,30 | 1,4 |
| | 3,00 | 1,77 | 12 | 1,30 | 1,8 |
| | 3,50 | 2,04 | 12 | 1,64 | 2,5 |
| | 4,00 | 2,32 | 14 | 1,64 | 2,5 |
| | 4,50 | 2,62 | 14 | 1,64 | 2,5 |
| | 5,00 | 2,89 | 14 | 1,35 | 2,5 |
| | 5,50 | 3,20 | 16 | 1,06 | 2,5 |
| | 6,00 | 3,46 | 16 | 0,87 | 2,4 |

Вихідні дані при вибиранні швидкості різання при різанарізанні:

- марка оброблюваного матеріалу та його твердість;
- марка інструментального матеріалу;
- необхідний період стійкості $T_{\text{хв}}$, хв.

Дійсна швидкість різання $V_{\text{ш}}$ визначається за формулою

$$V_{\text{ш}} = V_{\text{ш.о}} K_{\text{нв}} K_{\text{т}}$$

де $V_{\text{ш.о}}$ – початкова швидкість різання, яка визначається залежно від оброблюваного матеріалу з певною твердістю й обраної марки інструментального матеріалу за каталогами; $K_{\text{нв}}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує різницю у твердості оброблюваного матеріалу та матеріалу, використовуваного при розроблюванні нормативів різання (див. табл. 1.13); $K_{\text{т}}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує різницю між обраним і початковим періодом стійкості інструменту (початковий період стійкості становить 15 хв).

Значення $K_{\text{т}}$ залежно від обраної стійкості інструменту T_i :

| | | | | | | | |
|----------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| T_i | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 45 | 60 |
| $K_{\text{т}}$ | 1,10 | 1,0 | 0,95 | 0,90 | 0,87 | 0,80 | 0,75 |

РОЗДІЛ 5 ОБРОБЛЯННЯ ОТВОРІВ

Для формоутворення отворів існують різні процеси механічного оброблення, які виконуються як лезовими, так і абразивними інструментами. Із процесів оброблення лезовими інструментами найпоширенішими є:

- свердління;
- зенкерування;
- розвірчування.

5.1. Свердління

Свердління є одним з найпоширеніших способів одержання отворів і може бути порівняне з токарним точінням і фрезеруванням, але при свердлінні виникають складності з відведенням і дробінням стружки. Ці складнощі зростають зі збільшенням глибини отвору. Різальним інструментом служить свердло, за допомогою якого утворюється отвір в суцільному матеріалі або збільшується діаметр раніше утвореного отвору (розсвердлювання). Рух різання при свердлінні – обертальний, рух подачі – поступальний. Зараз свердління здійснюють на токарних верстатах з ЧПК або оброблювальних центрах при обертанні заготовки й нерухливому інструменті, який одержує рух подачі, що сприяє підвищенню продуктивності оброблення.

Слід зазначити, що цей процес забезпечує невисоку якість оброблених отворів:

- точність не вище 11... 12-го квалітетів;
- шорсткість обробленої поверхні $R_a = 6,3 \dots 10$ мкм.

Крім того, свердління неминуче супроводжується непрямолінійністю осі отвору (так званим «зміщенням»). Вибірання різального інструменту для інструментального оснащення операції свердління здійснюється покроково:

1. Вибірання типу свердла.
2. Вибірання геометрії й інструментального матеріалу свердла.
3. Призначення режимів різання при свердлінні.

5.1.1. Вибірання типу свердла

Вихідні дані при вибиранні типу свердла: діаметр отвору, глибина свердління, точність і якість поверхні отвору, оброблюваний матеріал, надійність оброблення та продуктивність процесу свердління.

Спіральне свердло із гвинтовими канавками є найпоширенішим інструментом для свердління неглибоких отворів. Однак між серійними свердлами з швидкорізальної сталі (HSS), високошвидкісними свердлами з різальною частиною із твердого сплаву та свердлами із сучасною геометрією існує велика відмінність.

При вибиранні свердла необхідно віддати перевагу сучасним твердосплавним типам свердл, що характеризуються високою стійкістю та продуктивністю в порівнянні зі свердлами з швидкорізальних сталей. У табл. 5.1 наведено рекомендації з вибирання інструментів для різних розмірів отворів і вимоги до якості обробленої поверхні. В основному суцільні твердосплавні свердла або свердла з напаяними твердосплавними пластинами застосовуються при оброблянні отворів невеликого діаметру, для яких неможливе застосування свердл зі змінними пластинами. Свердління свердлами з механічним кріпленням твердосплавних багатогранних пластин – найбільш продуктивний і економічний спосіб одержання отворів діаметром від 12 до 85 мм. Такі свердла досить ефективно обробляють матеріали з підвищеною твердістю та важкооброблювані сталі й сплави. Вони не вимагають застосування кондукторних втулок, і кращий тип устаткування – фрезерні, розточувальні верстати з ЧПК й оброблювальні центри.

Таблиця 5.1 – Области застосування різних свердл

| Вид свердла | Діаметр отвору D , мм | l/D (l – глибина свердління) | Шорсткість $R_{a\text{св}}$ мкм | Необхідна точність JT |
|--|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Суцільні твердосплавні свердла | 2,0...20 | 3...7 | 1,6...3,2 | 8...10 |
| З напаяними твердосплавними пластинами | 10...30 | 2...7 | 1,6...3,2 | 8...10 |
| Зі змінними пластинами | 12...85 | 2...5 | 1,6...6,3 | $\pm 0,2$ |
| Трепануючі | 60...110 | 2...3 | 1,6...6,3 | $\pm 0,2$ |
| Гарматні свердла | 0,98...35 | 100 | 0,1...3,2 | 8...9 |
| Ежекторні | 19...65 | 50 | 1,6...2,0 | 9...10 |

В основному в більшості конструкцій збірних свердл використовуються пластини типу W (ламаний трикутник) з кутом при вершині 80° або 84° .

Як приклад на рис. 5.1 представлено креслення свердла з багатограними пластинами, виробленого фірмою «Sandvik Coromant».

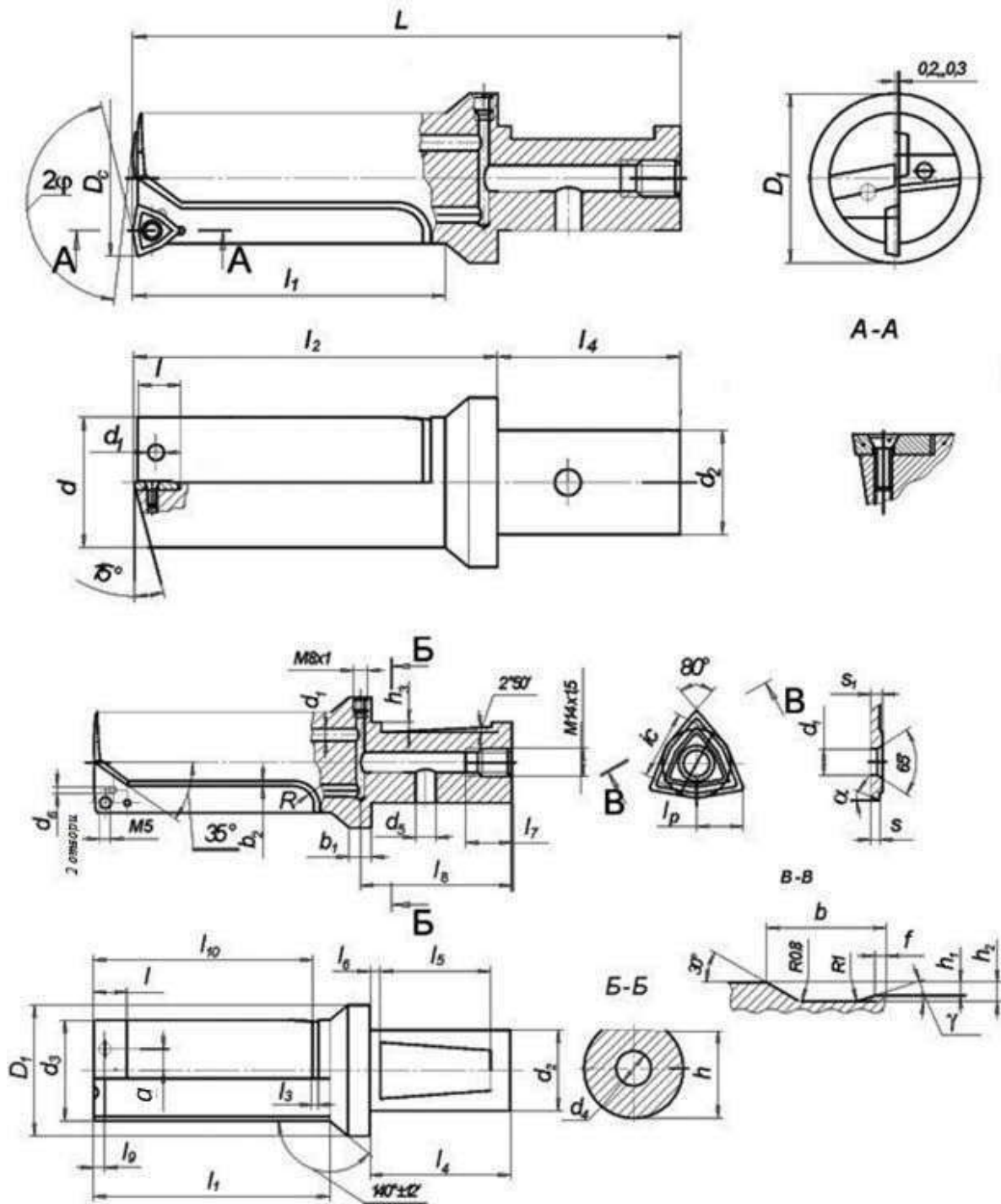


Рисунок 5.1 – Свердло з багатограними пластинами

5.1.2. Вибірання геометрії й інструментального матеріалу свердла

Недоліки геометрії звичайних свердлів (негативні впливи високих швидкостей подач, неефективність різання при наявності поперечної крайки, зміна переднього та заднього кутів свердла в процесі свердління та ряд інших недоліків) було переборено шляхом використання свердлів зі змінними пластинами. Оскільки пластини вибирають окремо відповідно до діаметра свердла, то їхня геометрія й інструментальний матеріал повинні бути обрані залежно від оброблюваного матеріалу. Сучасна геометрія пластин і параметри руху інструменту та заготовки при свердлінні свердлами з механічним кріпленням пластин дозволяють усунути ці недоліки.

Як приклад можна розглянути геометрію периферійних і центральних пластин, запропоновану для свердлів Coro Drill 880, Coromant U і T-MAX U (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Геометрія пластин для свердління

| Геометрія пластин | Характеристика пластини | Область використання |
|-----------------------------------|---|---|
| Для свердлів CoroDrill 880 | | |
| <i>GR</i> | Чорнова з підсиленою різальною крайкою | Для обробл. сталей та чавуну з великими подачами |
| <i>GM</i> | Напівчистова з підсиленою різальною крайкою | Для обробл. сталі, чавуну, кольорових та нержавіючих сплавів з середніми подачами |
| <i>LM</i> | Напівчистова з гострою різальною крайкою | Для обробл. низьковуглецевих та нержавіючих сталей з середніми подачами |
| Для свердлів Coromant U і T-MAX U | | |
| <i>C -53</i> | Центральна та периферійна, чотиригранна | Для обробл. сталі, чавуну, кольорових, нержавіючих та жароміцних сплавів |
| <i>-58</i> | Центральна та периферійна, чотиригранна | Для обробл. низьковуглецевих та нержавіючих сталей |
| <i>-51; -56</i> | Центральна та периферійна, тригранна | Обробл. сталі, нержавіючої сталі та чавуну |

У табл. 5.3 наведено зіставлення марок твердого сплаву зі зносостійкими покриттями, що випускаються вітчизняними та закордонними виготовлювачами для свердління, відповідно в табл. 5.4 представлено марки твердих сплавів без покриття.

Таблиця 5.3 – Марки твердих сплавів з покриттям для свердління

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) | Kyocera (Японія) | |
|-------------------------------------|----------------------------|---|---|---|-------------------------------------|--|--|--|---|
| P | P01 | | GC1210 | T1000D | | WPP01 WPP10 WAK20 | | PR915 | |
| | P10 | CM30M CT35M CT25M | GC1020 GC1210 GC1220 GC4014 | DP3000 T250D RX2000 DP2000 T3000D T2000D T1000D | PC230 | TT9300 | WAP20 WKP25S WPP01 WPP10 WPP20 WXM15 WSM10 WSM20 WAK20 | KCPK10 KCPK15 KC6005 KC6105 KC6305 KC7215 KC7315 KC6215 | PR730 PR830 PR915 PR930 PR1025 PR1225 PR1230 |
| | P20 | CM30M M30P CT35M | GC1020 GC1210 GC1220 GC1120 GC3040 GC4014 GC4024 | DP3000 T250D RX2000 DP2000 T3000D T2000D | NCM325 PC230 PC3600 | TT5100 TT9300 TT9030 TT9080 | WAP20 WKP25S WKP35S WMP35 WPP10 WPP20 WPP30 WXM15 WTP35 WSM10 WSM20 WSM30 WAK20 | KCPK15 KC6105 KC6305 KC7215 KC7315 KC6215 KC7325 KC7425 KCP15 KCU25 | PR660 PR730 PR830 PR915 PR930 PR1025 PR1225 PR1230 |
| | P30 | CM30M M30P CT35M CT25M CU45 | GC1020 GC1220 GC1044 GC1120 GC235 GC3040 GC4024 GC4034 | DP3000 T250D T3000D | NCM325 PC230 PC3600 PC5330 | TT5100 TT7800 TT9300 TT8020 TT9030 TT9080 | WAP20 WKP25S WKP35S WMP35 WSP45 WTP35 WXP45 WXK25 WPP20 WPP30 WTP35 WSM20 WSM30 WAK30 | KC7325 KC7425 KCP15 KCU25 KCU40 KC7135 KC7140 KC720 KC7235 KC7935 | PR660 PR730 PR830 PR1025 PR1225 PR1230 |
| | P40 | CM30M M30P CT35M CU45 | GC1044 GC1120 GC235 GC4034 GC4044 | DP3000 T3000D | PC3600 PC5330 | TT5100 TT7800 TT8020 TT9030 TT9080 | WKP25S WKP35S WMP35 WSP45 WTP35 WXP45 WXK25 WXP40 WPP30 WTP35 WSM30 WAK30 | KCU40 KC7135 KC7140 KC720 KC7235 | PR660 PR1230 |

Продовження табл. 5.3

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) | Кюосера (Японія) | |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--|---|
| P | P50 | CT35M CU45 | GC1044 GC4044 | | | TT7800 TT8020 | WKP35S WMP35 WSP45 WTP35 WXP45 WXK25 WXP40 WAK30 | | |
| | | | | T1000D | | | WSM10 WXN10 | | PR915 |
| M | M01 | | | DP3000 T250D RX2000 T3000D T2000D T1000D | | | KCU25 KCM15 KC6005 KC6105 KC6305 | PR730 PR830 PR915 PR930 PR1025 PR1225 | |
| | M10 | CM30M M30P | GC1220 | DP3000 T250D RX2000 T3000D T2000D | NCM325 PC5300 NC5330 PC9530 | TT5100 TT9030 TT9080 | WMP35 WXP40 WXM15 WTP35 WSM10 WSM20 WXN10 | KCU40 KCU25 KC7235 KCM15 KC7225 KC7320 | PR660 PR730 PR830 PR915 PR930 PR1025 PR1225 |
| | M20 | CM30M M30P CT35M | GC1220 GC3040 GC4024 GC4034 | DP3000 T250D RX2000 T3000D T2000D | NCM325 PC5300 NC5330 PC9530 | TT5100 TT9030 TT9080 | WMP35 WXP40 WXM15 WTP35 WSM10 WSM20 WXN10 | KCU40 KCU25 KC7235 KCM15 KC7225 KC7320 | PR660 PR730 PR830 PR915 PR930 PR1025 PR1225 |
| | M30 | CM30M M30P CT35M CU45 | GC1220 GC1044 GC1144 GC1120 GC235 GC3040 GC4024 GC4034 GC4044 | DP3000 T250D RX2000 T3000D | NCM325 PC5300 NC5330 PC9530 | TT5100 TT8020 TT9030 TT9080 | WMP35 WSP45 WTP35 WXP40 WTP35 WSM10 WSM20 WSM30 | KCU40 KC7135 KC7225 KC7320 KC7325 KC720 | PR660 PR730 PR830 PR1025 PR1225 |
| | M40 | M30P CT35M CU45 | GC1044 GC1144 GC1120 GC235 GC3040 GC4044 | T3000D | PC5300 NC5330 PC9530 | TT5100 TT8020 TT9030 TT9080 | WMP35 WSP45 WTP35 WXP40 WTP35 WSM30 | KC7135 | PR660 PR1225 |
| K | K01 | | GC1210 | | PC6510 | TT6080 | WAK15 WPP01 WAK10 WAK15 | | PR905 PR1210 |
| | K10 | K20M | GC1020 GC1210 GC1220 GC4014 | DP3000 RX2000 DP2000 | PC6510 PC5300 | TT6080 | WAK15 WKP25S WPP01 WPP10 WXM15 WAK10 WAK15 WAK20 | KCU25 KC6005 KC7225 KCK10 KC7210 KC7215 KC7410 KT6215 | PR905 PR1210 |

Продовження табл. 5.3

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) | Kyocera (Японія) | |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|----------------------------|---------------------|-----------------------|--|--|-----------------|
| К | K20 | CM30M K20M | GC1020 GC1220 GC1044 GC1120 GC3040 GC4014 GC4024 GC4034 | DP3000 RX2000 DP2000 | PC6510 PC5300 | TT6080 | WAK15 WKP25S WKP35S WXK25 WPP01 WPP10 WPP20 WXM15 WAK10 WAK15 WAK20 WAK30 | KCU25 KCU40 KC7935 KC7225 KC7325 KCK10 KCPK15 KCP15 KC7410 KC7425 KT6215 | PR905 PR1210 |
| | K30 | CM30M K20M | GC1220 GC1044 GC1120 GC3040 GC4024 GC4034 GC4044 | DP3000 RX2000 | | TT6080 | WAK15 WKP25S WKP35S WXP45 WXK25 WPP10 WPP20 WAK15 WAK20 WAK30 | KCU40 KC7935 KC7425 KC7140 KC7325 KCP15 | |
| | K40 | CM30M | GC4044 | | | | WKP25S WKP35S WXP45 WXK25 WPP20 WAK30 | KC7135 | |
| | K50 | | | | | | WKP35S WXP45 WXK25 | | |
| N | N01 | | | T1000D | | WXN10 | | | |
| | N10 | | GC1020 GC1220 | RX2000 T1000D | | WXN10 | KC5410 KC7325 KDF400 | | |
| | N20 | | GC1020 N20D GC1044 GC1120 GC4044 GC1220 | RX2000 | | WNN25 WXN10 | KC7225 KC7325 KC5410 | | |
| | N30 | | N20D GC1044 GC1120 GC4044 | | | WNN25 | | | |
| S | S10 | | GC1020 | T1000D | PC5300 | WSM10 WSM20 | KCM15 KC6005 KC7320 | | |

Закінчення табл. 5.3

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvik Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) | Кюосера (Японія) |
|-------------------------------|----------------------------|--|---------------------------|-------------------|----------------------------|---|--|---------------------|
| S | S20 | GC1020 GC1220 GC1044 | RX2000 T1000D | PC5300 NC5330 | TT9030 TT9080 | WMP35 WXP40 WTP35 WSM10 WSM20 WSM30 | KCM15 KC7225 KC7320 KC7325 KC720 | |
| | S30 | GC1220 GC1044 GC1144 GC1120 GC4044 GC2040 | RX2000 | PC5300 NC5330 | TT8020 TT9030 TT9080 | WMP35 WSP45 WTP35 WXP40 WSM10 WSM20 WSM30 | | |
| | S40 | | | | TT6080 TT9030 TT9080 | WMP35 WSP45 WTP35 WXP40 WTP35 WSM30 | | |
| H | H01 | | | | TT6080 | | | PR1230 |
| | H10 | GC1020 GC1220 GC3040 GC4024 | DP3000 RX2000 | | TT6080 | | KC7325 | PR1230 |
| | H20 | GC1020 GC1220 GC1044 GC1120 GC3040 GC4024 GC4044 | DP3000 T250D RX2000 | | TT6080 | WNN25 WAK10 | KC7325 | PR1230 |
| | H30 | GC1044 GC1120 GC4044 | | | | WNN25 WAK10 | | |

Таблиця 5.4 – Марки твердих сплавів без покриття для свердління

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) | Кюосера (Японія) |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| P | P01 | | | | | | | |
| | P10 | PM30 | | H15 | | | | |
| | P20 | PM30 PT40 | | H15 | | | KT325 | |
| | P30 | PM30 PT40 | | | | | KT325 | |
| | P40 | PT40 | | | | | | |
| | P50 | | | | | | | |
| M | M01 | | | | | | | |
| | M10 | PM30 | H13A | H15 | | | | |

Закінчення табл. 5.4

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeagueTec (Корея) | Walter (Німеччина) | Kennametal (США) | Кюосера (Японія) | |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|--------------|
| M | M20 | PM30 PT40 | H13A | H15 | | | | | |
| | M30 | PM30 PT40 | H13A | | | | | | |
| | M40 | PT40 | | | | | | | |
| K | K01 | TK10 | | | H01 | K10 | | KW10 GW15 | |
| | K10 | TK10 TK20 | H13A | H15 | H01 | K10 | KF1 K10 K605 | KW10 GW15 | |
| | K20 | TK10 TK20 | H10F H13A | H15 | H01 | K10 | | KW10 GW15 | |
| | K30 | TK20 | H10F H13A | | | | | | |
| | K40 | | | | | | | | |
| | K50 | | | | | | | | |
| N | N01 | | | | H01 | K10 | WK10 WK1 | KW10 | |
| | N10 | TK20 TK25 | H13A | H15 | H01 | K10 | WK10 WK1 | KF1 KN15 KN25 K10 | KW10 GW15 |
| | N20 | TK20 TK25 | H13A | H15 | H01 | K10 UF10 | WK10 WK1 | KN15 KN25 K715 | KW10 GW15 |
| | N30 | TK20 TK25 | H13A | | | UF10 | | KN25 | |
| S | S10 | | H13A | H15 | | K10 | | K10 | KW10 |
| | S20 | TK20 | H10F H13A | H15 | | K10 | | KN15 K715 | KW10 GW15 |
| | S30 | TK20 TK25 | H10F | | | | | | KW10 GW15 |
| | S40 | TK20 TK25 | H10F | | | | | | |
| H | H01 | TK10 | | | | | | | |
| | H10 | TK10 | | H15 | | | | | |
| | H20 | TK10 | | H15 | | | | | |
| | H30 | | | | | | | | |

5.1.3. Призначення режимів різання при свердлінні

Глибина різання, мм, при свердлінні в суцільному матеріалі визначається за формулою

$$t = \frac{D}{2},$$

де D – діаметр свердла.

Подача призначається в мм на один оберт свердла S_0 , мм/об.

Хвилинна подача $S_{хв} = S_0 n$, мм/хв. Цією величиною зручно користуватися при розрахунку машинного часу на оброблення.

Швидкість різання $V_{ш}$ є для свердління окружною швидкістю. Рекомендований діапазон початкових швидкостей різання $V_{ш.о}$ і подачі S_0 для свердління матеріалів груп різання Р, М, К, N, S, H наведено у каталогах виробників, а також там наведено діапазони подач для свердлів різних діаметрів. Рекомендовано також матеріали для центральних і периферійних пластин, діапазон швидкостей різання та значення поправкового коефіцієнту $K_{нв}$ для оброблюваних матеріалів з різною твердістю HB.

Наведено значення поправкових коефіцієнтів, що враховують різницю між обраним і початковим періодами стійкості інструмента ($T_M = 15$ хв). Рекомендовано значення питомої сили різання $K_{C0,4}$ (Н/мм²), отримане емпіричним шляхом для всіх груп різання оброблюваних матеріалів. Значення $K_{C0,4}$ також наведено в каталогах.

Як приклад у табл. 5.5 наведено значення питомої сили різання, початкової швидкості та величини подачі за ISO для групи різання P10.

Частота обертання шпинделя, об/хв, визначається як

$$n = \frac{1000V_{ш}}{\pi D},$$

де $V_{ш}$ – дійсна швидкість різання, $V_{ш} = V_{ш.о} K_{нв}$.

Потрібну потужність різання, кВт, визначають за формулою

$$N_p = \frac{DSk_{C0,4}V_{ш}}{240 \cdot 10^3}.$$

Розрахована потрібна потужність різання N_p не повинна перевищувати потужності на шпинделі $N_{шп}$ верстата: $N_p \leq N_{шп}$.

Більші подачі слід вибирати при добрих умовах оброблення.

Потужність на шпинделі верстата

$$N_{шп} = N_{вер} \eta,$$

де $N_{вер}$ – потужність електродвигуна верстата; η – ККД верстата.

Величина машинного часу на оброблення розраховується за формулою

$$T_M = \frac{L_{p,x}}{n_{\text{вер}} S_{\text{вер}}},$$

де $L_{p,x}$ – довжина робочого ходу інструменту, $L_{p,x} = L_p + L_{\text{п}} + L_{\text{дод}}$;

L_p – глибина оброблюваного отвору; $L_{\text{п}}$ – величина підведення, врізання та перебігу інструменту при свердлінні свердлами, оснащеними ЗБП, $L_{\text{п}} = 0$;

$L_{\text{дод}}$ – додаткова довжина ходу інструменту, викликана в ряді випадків особливостями налагодження верстату та конфігурацією деталі.

Таблиця 5.5 – Початкові значення сили та швидкостей різання при свердлінні

| ISO | Сталі та сплави згідно з ДСТУ | HB | Питома сила різання, Н/мм ² | Діапазон діаметрів свердління | | | | Умови обробки | |
|-----|---|-----|--|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | | | | 16... ...21 | 26... ...33 | 31... ...43 | 42... ...58 | Важкі | Нормальні |
| П/г | Діапазон подач | | | | | | | $V_{\text{ш.о}}$ | $V_{\text{ш.о}}$ |
| P10 | Нелеговані сталі зі змістом C = 0,25 ... 0,55% | | | | | | | | |
| | Ст4, Ст5, Ст6, 30, 35, 30Г, 35Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 50, А30, А40, А35Е, А45Е, АС40, АС35Г2, АС40Г2 | 150 | 2100 | 0,06... ...0,14 | 0,08... ...0,18 | 0,10... ...0,20 | 0,12... ...0,24 | 80... ...150 | 130... ...210 |
| | Нелеговані сталі зі змістом C = 0,55 ... 0,8% | | | | | | | | |
| | 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А | 170 | 2250 | 0,06... ...0,14 | 0,08... ...0,18 | 0,10... ...0,20 | 0,12... ...0,24 | 70... ...140 | 120... ...200 |

Примітка. При тяжких умовах різання як для центральної пластини, так і для периферійної рекомендується твердий сплав CU45, для нормальних умов різання центральну пластину виготовляють із твердого сплаву CU45, а периферійну – зі сплаву CM25.

У найпростіших випадках $L_{\text{дод}} = 0$; $n_{\text{вер}}$, $S_{\text{вер}}$ – остаточно призначені величини частоти обертання шпинделя верстату та величини подачі.

Приклад. Визначити режими різання при свердлінні, якщо діаметр оброблюваного отвору $D = 20$ мм (у суцільному матеріалі), глибина свердління $L = 50$ мм, оброблюваний матеріал сталь 45 твердістю HB190. Необхідна стійкість 20 хв.

Послідовність визначення:

1. Для свердління отвору в сталі 45 (див. табл. 5.3, група різання P10) за каталогом ВАТ (Sandvik MKTC) застосовують марку твердого сплаву CU45. Для тяжких умов різання як центральну пластину, так і периферійну виготовляють із твердого сплаву CU45 (див. табл. 5.5).

2. Глибина різання при свердлінні отвору в суцільному матеріалі $t = D/2 = 10$ мм.

3. Для сталі 45 (група різання P10) при свердлінні отвору діаметром 20 мм знаходимо значення величини подачі 0,06...0,14 мм/об (див. табл. 5.5). Ухвалюємо подачу за паспортними даними верстату 2Н125: $S_{\text{вер}} = 0,1$ мм/об.

4. З табл. 5.5 відповідно (група різання P10) при прийнятій подачі $S = 0,1$ мм/об знаходимо $V_{\text{ш.о}} = 80...150$ м/хв. Ухвалюємо середнє значення $V_{\text{ш.о}} = 115$ м/хв.

5. Нормативне значення швидкості різання наведено для твердості HB150. Реальний матеріал на 40 одиниць твердіше, отже, для групи оброблюваності P10 поправковий коефіцієнт $K_{\text{НВ}} = 0,9$ (див. табл. 1.13).

6. Для забезпечення періоду стійкості 20 хв поправковий коефіцієнт $K_{\text{T}} = 0,95$.

7. Поправковий коефіцієнт K_{ϕ} для головного кута в плані 90° дорівнює 1,0. Ухвалюємо кут у плані свердла 75° , тоді $K_{\phi} = 1,1$.

8. Дійсна швидкість різання визначається як

$$V_{\text{ш}} = 115 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 108,16 \text{ м/хв.}$$

9. Частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V_{\text{ш}}}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 108,16}{3,14 \cdot 20} = 1722,2 \text{ об/хв.}$$

Ухвалюємо найближче найменше значення за паспортним даними верстату 2Н125: $n_{\text{вер}} = 1400$ об/хв. Уточнена швидкість різання складе 87,92 м/хв.

10. Потрібна потужність різання при свердлінні визначається як

$$N_p = \frac{DSk_{C0,4}V_{\text{ш}}}{240 \cdot 10^3} = \frac{20 \cdot 0,1 \cdot 2100 \cdot 87,92}{240 \cdot 10^3} = 1,54 \text{ кВт},$$

де $K_{\text{ш } 0,4}$ – питома сила різання, $K_{\text{ш } 0,4} = 2100$ Н/мм² (див. табл. 5.5).

Розрахована потрібна потужність різання не повинна перевищувати потужності на шпинделі верстату $N_{\text{шп}}$,

$$N_p \leq N_{\text{шп}}.$$

Потужність на шпинделі верстату

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{вер}} \cdot \eta = 2,8 \cdot 0,8 = 2,24 \text{ кВт},$$

де $N_{\text{вер}}$ – потужність електродвигуна верстату, $N_{\text{вер}} = 2,8$ кВт; η – ККД верстату, $\eta = 0,8$.

11. Величина машинного часу на оброблення розраховується за формулою

$$T_M = \frac{L_{\text{р.х}}}{n_{\text{вер}} S_{\text{вер}}} = \frac{50}{1300 \cdot 0,1} = 0,35 \text{ хв.}$$

Ухвалюємо $T_M = 0,4$ хв.

5.2. Зенкерування

У технологічних процесах зенкерування, як правило, виконує проміжну операцію між свердлінням і розгортанням. У якості різального інструменту використовують зенкер. Зенкери застосовують для оброблення попередньо просвердлених, литих або штампованих отворів і забезпечують точність 8...10-го квалітету й шорсткість $R_a = 6,3...3,2$ мкм, а також для оброблення поглиблень або площин (під головки гвинтів та ін.) і називають в цих випадках зенківками або цеківками.

Вибирання зенкера для інструментального оснащення операції зенкерування здійснюється покроково:

1. Вибирання типу зенкера.
2. Вибирання геометрії й інструментального матеріалу зенкера.
3. Призначення режимів різання при зенкеруванні.

5.2.1. Вибирання типу зенкера

Зенкери класифікують за такими ознаками:

1. За конструкцією та способом кріплення:

- цільні з конічним хвостовиком (ДСТУ 12489-92) виготовляються з діаметрами $D = 7,8 \dots 50$ мм, довжиною робочої частини $l_1 = 75 \dots 220$ мм і загальною довжиною $L = 156 \dots 369$ мм; або із циліндричним хвостовиком з $D = 3 \dots 19,7$ мм, довжиною робочої частини $33 \dots 140$ мм і загальною довжиною $L = 61 \dots 206$ мм. Застосовуються для оброблення заготовок із чавуну та сталі;
- збірні з напайними твердосплавними пластинами з конічним хвостовиком (ДСТУ 3231-87) виготовляються з діаметрами $D = 11,75 \dots 50$ мм, довжиною робочої частини $l_1 = 94 \dots 210$ мм і загальною довжиною $L = 175 \dots 355$ мм;
- насадні, оснащені твердосплавними пластинами (ДСТУ 3231-87), виготовляються з $D = 31,6 \dots 80$ мм і загальною довжиною $L = 45 \dots 65$ мм;
- цільні твердосплавні із циліндричним хвостовиком (ДСТУ 21543-84) виготовляються з діаметрами $D = 3 \dots 10$ мм, довжиною робочої частини $l_1 = 12 \dots 20$ мм і загальною довжиною $L = 61 \dots 133$ мм. Зенкери з конічним хвостовиком з діаметрами $D = 7,8 \dots 12$ мм, довжиною робочої частини $l_1 = 18 \dots 22$ мм і загальною довжиною $L = 156 \dots 182$ мм. Застосовуються для оброблення заготовок із нержавіючих і жароміцних сталей і сплавів;
- збірні, оснащені твердосплавними пластинами (ДСТУ 21541-84), з конічним хвостовиком, з діаметрами $D = 30 \dots 50$ мм і загальною довжиною $L = 262 \dots 308$ мм. Зенкери насадні з діаметрами $D = 50 \dots 80$ мм і загальною довжиною $L = 58 \dots 69$ мм.

2. За видом оброблення:

- циліндричні;
- зенківки для зняття фасок і оброблення конусів;
- зенківки для оброблення циліндричних або конічних поглиблень під головки болтів, гвинтів; підрізування торців, бобишок і припливів корпусних деталей.

Сьогодні для оброблення заготовок з нержавіючих і жароміцних сталей і сплавів широко використовуються зенкери цільні твердосплавні (рис. 5.2) із механічним кріпленням змінних багатограних пластин (ЗБП), виготовлених із твердого сплаву (рис. 5.3), що дозволяють знімати більші припуски.

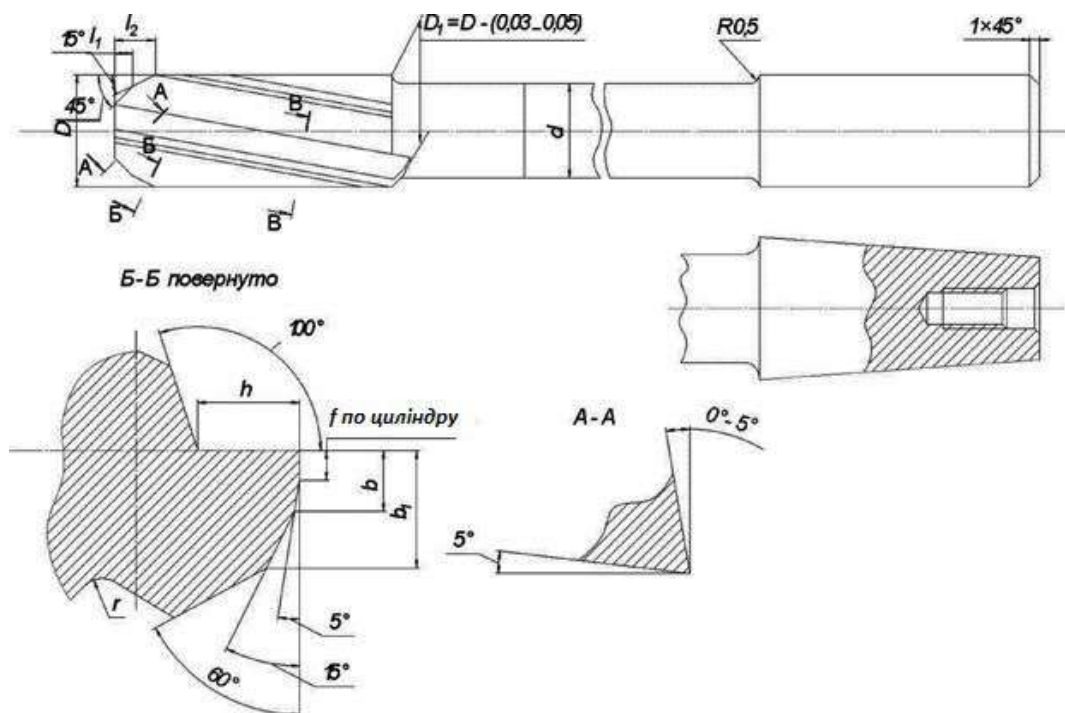


Рисунок 5.2 – Зенкер цільний твердосплавний

5.2.2. Вибірання геометрії й інструментального матеріалу зенкера

Геометрія різальної частини зенкера може бути визначена тими ж параметрами (кутами γ , λ , ϕ , α і ін.), що й токарного різця з головною різальною крайкою AB (рис. 5.4). Але тут ті ж кути виконують ще й інші функції. Наприклад, передній кут у поперечному перерізі $\gamma_{\text{поп}}$ приблизно дорівнює куту ω нахилу спірального зуба таї впливає на виходження стружки. При $\omega > 0$ (праві гвинтові зуби зенкера, див. рис. 5.4) стружка в процесі різання виходить до хвостовика. Для наскрізних отворів з високими вимогами до шорсткості оброблюваної поверхні, при оброблення високотвердих сталей, для конічних або для комбінованих інструментів (зенкер-мітчик і ін.) зуби можуть виконуватися лівими з кутом нахилу $\omega < 0$. При цьому стружка ви-

ходить із отвору поперед зенкера, не погіршуючи шорсткості обробленої поверхні, а осьова сила різання спрямована до хвостовика.

Вибірання інструментального матеріалу різальної пластини здійснюється залежно від оброблюваного матеріалу й умов обробляння (див. під-розд. 5.1.2).

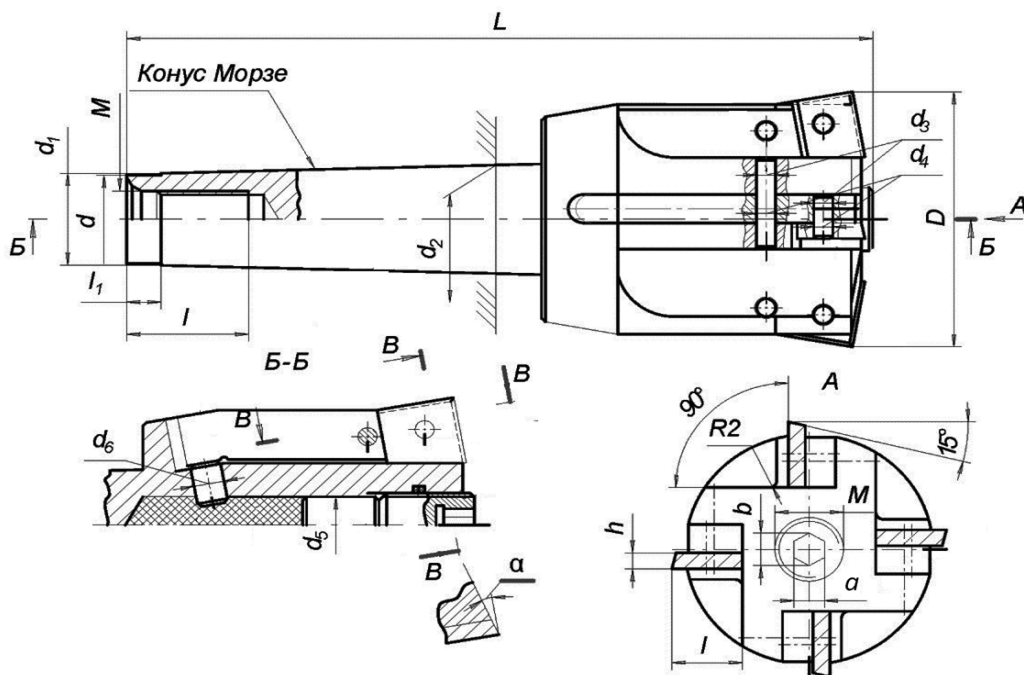


Рисунок 5.3 – Зенкер хвостовий, оснащений твердосплавними пластинами

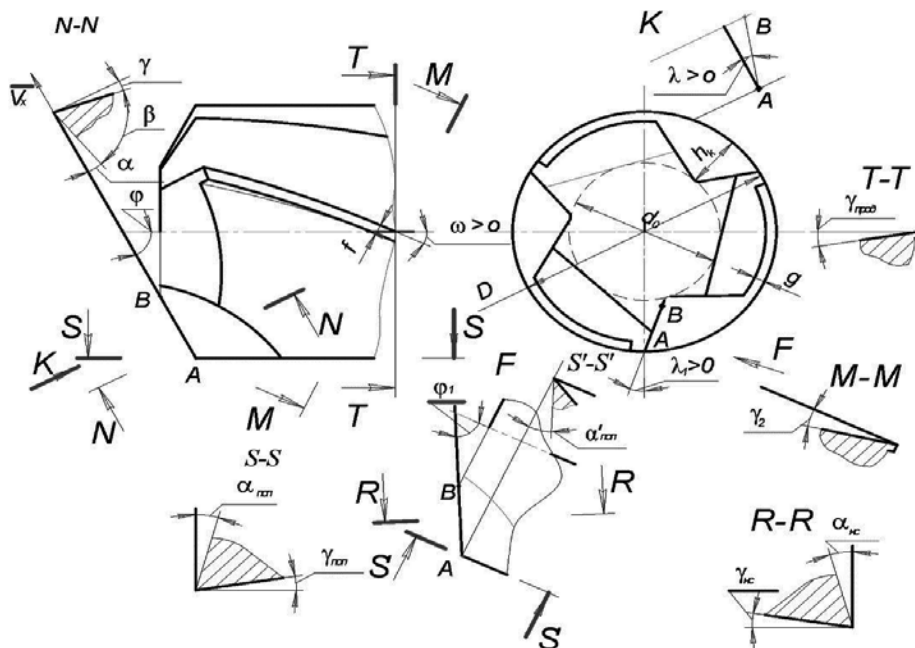


Рисунок 5.4 – Геометричні параметри зенкера

5.2.3. Призначення режимів різання при зенкеруванні

Глибина різання при зенкеруванні визначається як половина припуску вздовж діаметру оброблення отвору. В табл. 5.6. наведено граничні припуски при зенкеруванні залежно від оброблюваного матеріалу та діаметра зенкера D .

Таблиця 5.6 – Значення граничних припусків при зенкеруванні

| Діаметр зенкера D , мм | Припуск $2t$ | |
|--------------------------|----------------|------------------------|
| | Група різання | |
| | P10, P20, K, N | P30, P40, P50, M, S, H |
| До 18 | 2,5...3,5 | 1,0...1,5 |
| 18...30 | 4,0...4,5 | 1,5...2,0 |
| 30...50 | 5,5...8,0 | 2,0...3,5 |
| 50...80 | 7,0...10 | 3,5...5,0 |
| 80...100 | 8,0...12 | – |

Величина подачі при зенкеруванні призначається залежно від міцностних характеристик оброблюваних матеріалів і з урахуванням вимог до параметрів шорсткості та точності оброблюваних отворів.

При зенкеруванні рекомендуються три групи подач (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Групи подач при зенкеруванні

| Тип зенкера | Умови оброблення | Група подачі |
|--|---|--------------|
| Циліндричний зенкер зі швидкорізальної сталі | Чорнове зенкерування з точністю 13-го квалітету з подальшим обробленням розвертками | I |
| | Зенкерування з отриманням R_a 6,3...3,2 мкм під розвірчування | II |
| | Зенкерування з точністю 10...12-го квалітетів та R_a 3,2...2,5 | III |
| Циліндричний зенкер із твердого сплаву | Чорнове зенкерування | II |
| | Зенкерування під нарізання різі та розвірчування | III |

Рекомендована подача S_o , мм, на оберт при зенкеруванні визначається за формулою

$$S_o = S_{o, \text{таб}} K_{Sd} K_{SM}$$

де $S_{o, \text{таб}}$ – табличне значення подачі (табл. 5.8); K_{Sd} , K_{SM} – поправкові коефіцієнти відповідно до умов оброблення та згідно з групою різання оброблюваного матеріалу (табл. 5.9).

Таблиця 5.8 – Подачі $S_{0,таб}$ при зенкеруванні

| Діаметр зенкера $D, \text{мм}$ | Група подач | | |
|-----------------------------------|-------------|------|------|
| | I | II | III |
| 15 | 1,50 | 1,25 | 0,7 |
| 18 | 1,57 | 1,32 | 0,8 |
| 20 | 1,65 | 1,40 | 0,9 |
| 25 | 1,72 | 1,50 | 1,0 |
| 30 | 1,80 | 1,60 | 1,1 |
| 35 | 2,20 | 1,70 | 1,15 |
| 40 | 2,40 | 1,80 | 1,25 |
| 45 | 2,50 | 1,85 | 1,30 |
| 50 | 2,70 | 1,95 | 1,35 |

Швидкість різання, потрібну потужність і машинний час при зенкеруванні зенкерами, оснащеними твердосплавними пластинами, можна визначити за методикою, викладеною в підрозд. 5.1.3 для процесу свердління, а також за рекомендаціями виробників.

Таблиця 5.9 – Поправкові коефіцієнти на подачу при зенкеруванні

| Отвір | Глухий | | | Наскрізний | | | |
|---------------------------------------|--------|------------|------|------------------|------|------|------|
| K_{Sd} | 0,5 | | | 1,0 | | | |
| Групи різання оброблюваного матеріалу | N | N01 N10 | K | P10, P20, P30 | S, H | S | |
| K_{SM} при групі подач | I | 1,0 | 0,83 | 0,57 | 0,40 | 0,36 | 0,27 |
| | II | 1,0 | 0,75 | 0,49 | 0,43 | 0,32 | 0,23 |
| | III | 1,0 | 0,87 | 0,52 | 0,45 | 0,36 | 0,23 |

5.3. Розвірчування

Процес розвірчування здійснюють різальним інструментом, який має назву розвертка. Розвертки – це осьові багатолезові інструменти, які використовуються для чистового або напівчистового оброблення отворів 6...8-го квалітетів точності та шорсткістю R_a 1,6...1,25 мкм.

Розвірчуванням не виправляють непрямолінійність осі попереднього отвору, а копіюють її. Тому прямолінійність осі отвору повинна бути забезпечена на попередніх технологічних операціях.

Вибирання розвертки для інструментального оснащення операції розвірчування здійснюється покроково:

1. Вибрання типу розвертки.
2. Вибрання геометрії й інструментального матеріалу розвертки.
3. Призначення режимів різання при розвірчуванні.

5.3.1. Вибрання типу розвертки

За конструктивно-цільовими ознаками розвертки поділяються на такі типи:

- машинні та ручні;
- цільні та збірні; циліндричні та конічні;
- сталеві та твердосплавні;
- для оброблення конструкційних сталей, легких сплавів, важкооброблюваних матеріалів.

Натепер для оброблення заготовок з нержавіючих і жароміцних сталей і сплавів широко використовуються твердосплавні розвертки, які забезпечують високі режими різання, що й дозволяє знімати більші припуски в порівнянні зі швидкорізальними розвертками.

Розвертки цільні твердосплавні із циліндричним хвостовиком із прямими й гвинтовими канавками (ДСТУ 16086-70) виготовляються з діаметрами $D = 3 \dots 10$ мм, довжиною робочої частини $L_3 = 12 \dots 20$ мм і загальною довжиною $L_1 = 60 \dots 100$ мм (рис. 5.5).

Розвертки з конічним хвостовиком із прямими й гвинтовими канавками (ДСТУ 16087-70) виготовляються з діаметрами $D = 6,5 \dots 12$ мм, довжиною робочої частини $L_3 = 18 \dots 22$ мм і загальною довжиною $L_1 = 120 \dots 150$ мм (рис. 5.6).

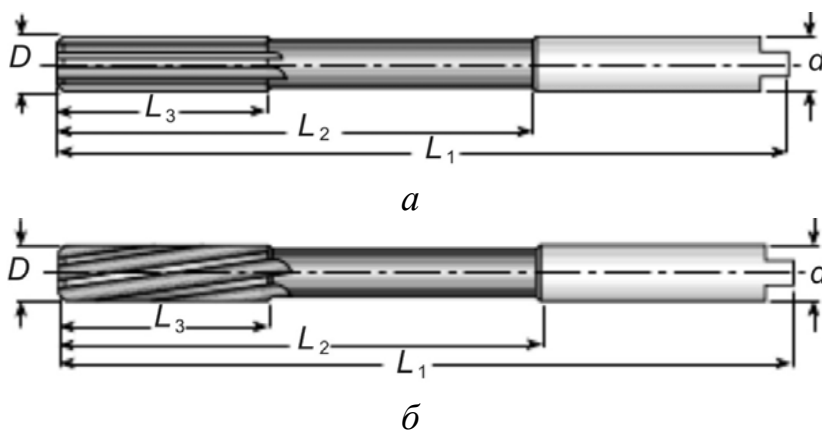


Рисунок 5.5 – Розвертка цільна твердосплавна з циліндричним хвостовиком із прямими канавками (а) і гвинтовими (б)

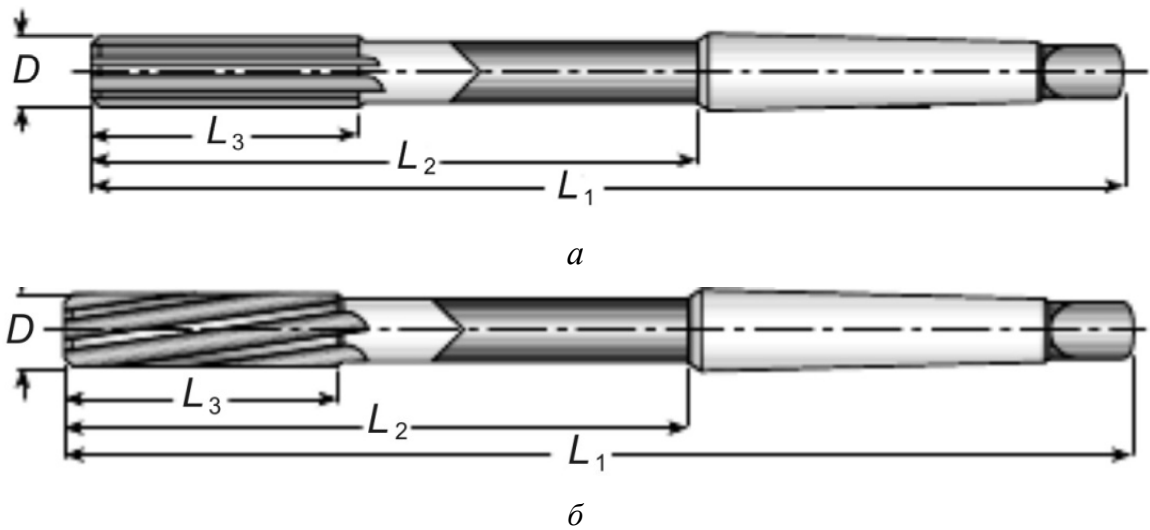


Рисунок 5.6 – Розвертка цільна твердосплавна з конічним хвостовиком із прямими канавками (а) та винтовими (б)

Розвертки насадні з напайними твердосплавними пластинами (ДСТУ 28321-89) виготовляються з діаметрами $D = 25 \dots 80$ мм, $d = 13 \dots 32$ мм, довжиною робочої частини $l_4 = 22 \dots 32$ мм і загальною довжиною $l_1 = 45 \dots 80$ мм (рис. 5.7 а). Розвертки збірної конструкції (ДСТУ 11176-84) виготовляються з діаметрами $D = 52 \dots 300$ мм, $d = 22 \dots 80$ мм, довжиною робочої частини $l_4 = 25 \dots 58$ мм і загальною довжиною $l_1 = 55 \dots 100$ мм (рис. 5.7 б).

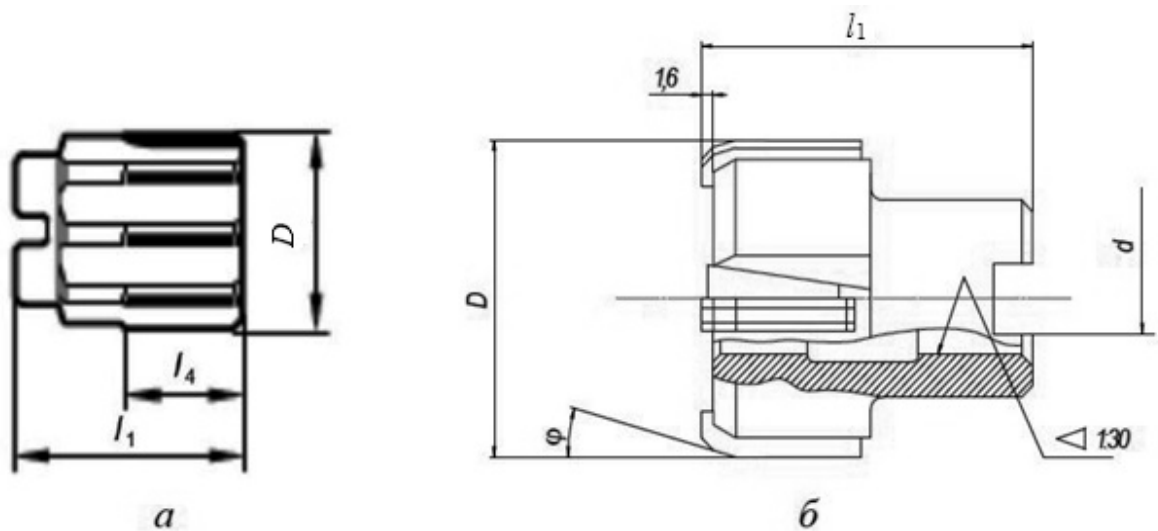


Рисунок 5.7 – Розвертка, оснащена твердим сплавом – насадна (а) і збірна (б)

5.3.2. Вибірання геометрії й інструментального матеріалу розвертки

Відмітною ознакою як ручних, так і машинних розверток є геометрія різальної частини. В основному використовуються розвертки із прямими зубами, спіральні розвертки з лівими гвинтовими канавками та розвертки із крутою спіраллю (45°) і лівими гвинтовими канавками. Розвертки із прямими зубами використовуються для оброблення глухих отворів, коли стружка повинна відводитися канавками. У всіх інших випадках оброблення, особливо переривчастих пазів отворів, використовується розвірчування з лівим напрямком гвинтових канавок, які дозволяють відводити стружку вперед. Ними можна обробляти тільки наскрізні отвори або глухі, які мають достатньо місця для стружки. Вибірання інструментального матеріалу різальної частини розверток здійснюється залежно від оброблюваного матеріалу й умов оброблення (див. розд. 1, підрозд. 1.5).

5.3.3. Призначення режимів різання при розвірчуванні

Параметрами режиму різання при розвірчуванні є: припуск на оброблення, подача та швидкість різання. Припуск під розвірчування ухвалюється у середньому 0,15...0,25 мм на бік для чорнових розверток і 0,05...0,12 мм – для чистових.

При розвірчуванні рекомендуються три групи подач (табл. 5.10).

Таблиця 5.10 – Групи оброблення при розвірчуванні

| Тип розвертки | Умови оброблення | Групи оброблення |
|-----------------------|---|------------------|
| Циліндричні розвертки | Чорнове розвірчування з точністю 9-го квалітету з подальшим обробленням | I |
| | Розвірчування з точністю вище 9-го квалітету з шорсткістю R_a 1,25...0,63 мкм | II |
| | Чистове розвірчування з точністю 7-го квалітету та R_a 0,63...0,32 мкм | III |

Рекомендована подача S_o , мм, на оберт при розвірчуванні визначається за формулою

$$S_o = S_{o \text{ таб}} K_{Sd} K_{SM}$$

де $S_{o \text{ таб}}$ – табличне значення подачі (табл. 5.11); K_{Sd} , K_{SM} – поправкові коефіцієнти відповідно на умови оброблення та групи різання оброблюваного матеріалу (табл. 5.12).

Таблиця 5.11 – Подачі $S_{o \text{ таб}}$ при розвірчуванні

| Діаметр розвертки D , мм | Група подач | | |
|-------------------------------|-------------|-----|-----|
| | I | II | III |
| 10 | 0,8 | 0,7 | 0,5 |
| 15 | 0,9 | 0,8 | 0,6 |
| 20 | 1,0 | 0,8 | 0,7 |
| 25 | 1,1 | 0,9 | 0,8 |
| 30 | 1,2 | 1,0 | 0,8 |
| 35 | 1,3 | 1,1 | 0,9 |
| 40 | 1,4 | 1,2 | 1,0 |
| 45 | 1,5 | 1,3 | 1,0 |
| 50 | 2,0 | 1,5 | 1,1 |
| 60 | 2,4 | 1,8 | 1,2 |
| 100 | 3,0 | 2,3 | 1,0 |

Таблиця 5.12 – Поправкові коефіцієнти на подачу при розвірчуванні

| Отвір | Глухий | | Наскрізний | | | | |
|--------------------------|--------|------------|------------|------------------|------|------|------|
| | 0,5 | | 1,0 | | | | |
| K_{Sd} | N | N01 N10 | K | P10, P20, P30 | S, H | S | |
| K_{SM} при групі подач | I | 2,64 | 1,6 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 |
| | II | 1,7 | 1,62 | 2,0 | 2,0 | 0,85 | 0,37 |
| | III | 0,57 | 0,42 | 2,0 | 1,0 | 0,65 | 0,33 |

Швидкість різання, потрібну потужність і машинний час при розвірчуванні розвертками, оснащеними твердим сплавом, можна визначити за методикою, викладеною в підрозд. 5.1.3 для процесу свердління, а також за рекомендаціями виробників.

РОЗДІЛ 6

ФРЕЗЕРУВАННЯ

Фрези – це багатозубцеві різальні інструменти, які застосовуються для попереднього й, часто, остаточного оброблення площин, фасонних, гвинтових поверхонь, розрізання матеріалів. Точність оброблення від 12 до 8-го (7-го) квалітетів, шорсткість $R_a = 0,8...1,6$ мкм. За один прохід при фрезеруванні знімають припуск до 5...8 мм, іноді до 12...20 мм. У цей час для одержання високої продуктивності процесу фрезерування та стійкості фрез розроблено конструкції фрез, оснащених ЗБП, які практично витиснули раніше широко застосовувані фрези з напайними твердосплавними пластинами.

Вибирання різального інструменту для фрезерного оброблення здійснюється покроково:

1. Вид і схема фрезерування.
 2. Вибирання типу та конструктивних параметрів фрези.
 3. Вибирання конструктивних і геометричних параметрів пластини та інструментального матеріалу.
 4. Призначення режимів різання при фрезеруванні.
- Розглянемо кожний крок докладніше.

6.1. Вид і схема фрезерування

Фрезеруванню піддають різні форми оброблюваної поверхні (рис. 6.1): 1 – плоскі; 2 – плоскі з уступом; 3 – уступи; 4 – відкриті пази; 5 – торці; 6 – закриті горизонтальні пази; 7 – фасонні поверхні; 8 – вузькі закриті пази; 9 – профільні канавки. Вибирання способу оброблення на багатоосьовому устаткуванні дозволив до традиційних операцій з використанням фрез додати такі, як виготовлення отворів, оброблення фасонних врізань, поверхонь обертання, різфрезерування і т.п.

Тому, з погляду форми оброблюваної поверхні й способу переміщення інструменту, розрізняють основні види фрезерних операцій:

- торцеве фрезерування (рис. 6.2 а);
- фрезерування уступів (рис. 6.2 б);

- фрезерування вузьких пазів (рис. 6.2 *в*);
- фрезерування фасонних і прямокутних кишень методом гвинтової або кругової інтерполяції із врізанням (рис. 6.2 *з*);
- фрезерування поверхонь обертання (рис. 6.2 *д*);
- різьфрезерування (рис. 6.2 *е*) і т.п.

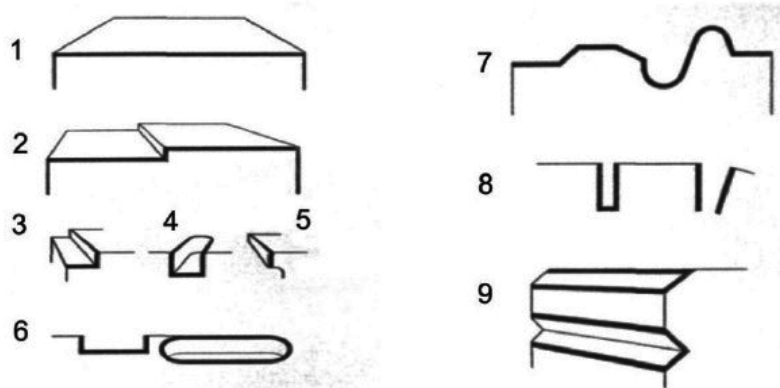


Рисунок 6.1 – Види поверхонь для фрезерування

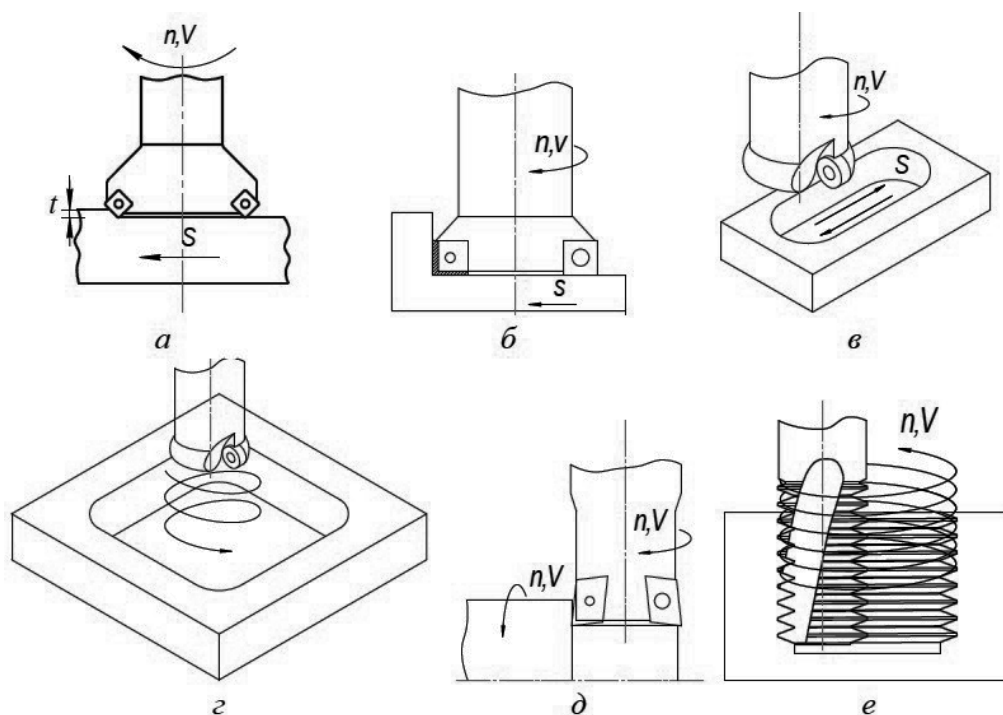


Рисунок 6.2 – Види фрезерних операцій:

a – торцеве фрезерування; *б* – фрезерування уступів; *в* – фрезерування вузьких пазів; *г* – фрезерування кишень; *д* – фрезерування поверхонь обертання; *е* – різьфрезерування

Існують дві різні схеми фрезерування, обумовлені напрямком руху заготовки щодо інструменту. Їхня відмінність полягає в умовах входу та виходу зубів фрези з різання.

Зустрічне фрезерування (рис. 6.3 *a*) є найпоширенішим.

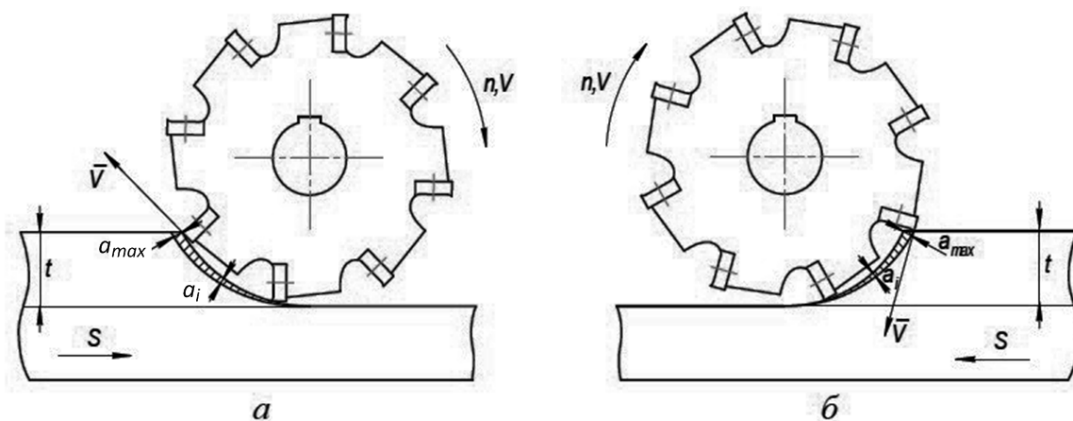


Рисунок 6.3 – Зустрічне (*a*) і попутне (*б*) фрезерування

При зустрічному фрезеруванні напрямок подачі заготовки й напрямок обертання фрези є протилежними. Товщина зрізу починається з нуля й зростає до максимуму при виході зуба наприкінці різання. Зуб фрези починає роботу з нульової товщини зрізу, що викликає ковзання зуба оброблюваною поверхнею, виникають більші сили тертя, різко зростає температура в зоні різання. Навантаження на зуб, що збільшується від сили різання, діючи на заготовку, немов «відриває» її від столу верстата, що, як наслідок, викликає вібрації технологічної системи та погіршує шорсткість обробленої поверхні. Крім того, кожний наступний зуб обробляє наклепану поверхню, утворену попереднім зубом, тому що існує початкове ковзання зуба при нульовій товщині зрізу. Інакше кажучи, ковзання зуба оброблюваною поверхнею буде відбуватися доти, поки товщина зрізу не стане більшою за радіус закруглення різального леза.

При **попутному фрезеруванні** (рис. 6.3 *б*) напрямок подачі заготовки збігається з напрямком обертання фрези. Різання починається з максимальної товщини зрізу, яка зменшується до нульового значення при виході зуба із зони фрезерування. Це допомагає уникнути ковзання зуба оброблюваною поверхнею, відповідно, полегшує процес різання, виділяється менша кількість теплоти й спостерігається мінімальна тенденція наклепування. При попутному фрезеруванні сили різання притискають заготовку до столу, а

стіл – до напрямних станини, що вимагає застосування безззорного приводу в механізмі подачі стола.

Важливим фактором при вибиранні схеми фрезерування є термін роботи фрези до моменту стружкоутворення. Цей термін є більшим при зустрічному фрезеруванні, ніж при попутному.

Існують такі рекомендації з вибирання схеми фрезерування:

- зустрічне фрезерування вигідно тоді, коли є великий робочий припуск, наприклад литі заготовки, а також – нерівна тверда ливарна кірка;
- зустрічне фрезерування може бути вигідним під час виконання деяких завершальних операцій;
- фрези, оснащені ЗБП, краще працюють, обробляючи жароміцні сплави при попутному фрезеруванні, ніж при зустрічному;
- попутне фрезерування має більшу перевагу там, де це дозволяє жорсткість технологічного устаткування.

6.2. Вибирання типу та конструктивних параметрів фрези

До основних факторів, що впливають на вибирання типу фрези, відносяться:

- параметри оброблюваної заготовки – матеріал (група різання за ISO), його твердість, якість, стабільність і усталеність закріплення, ширина та глибина обробляння;
- параметри фрезерної операції – точність і якість оброблюваної поверхні, припуск, вхід і вихід інструмента, кількість проходів, тип операції (чистова, чорнова);
- устаткування – тип верстату, його потужність, можливості обробляння, жорсткість та усталеність системи.

Фрезерування плоских поверхонь і прямокутних уступів більших розмірів (див. рис. 6.1, вид 1, 2) ефективно виконувати сучасною торцевою фрезою (рис. 6.4). При торцевому фрезеруванні в різанні бере участь безліч периферійних і торцевих різальних крайок зубців фрези. У цей час торцеве фрезерування є в багато разів більш ефективним, ніж інші його види.

Для обробляння прямокутних уступів, відкритих і шпонкових пазів (див. рис. 6.1, вид 3, 4, 5, 6) потрібні кінцеві (рис. 6.5) і шпонкові фрези з головним кутом у плані 90° .

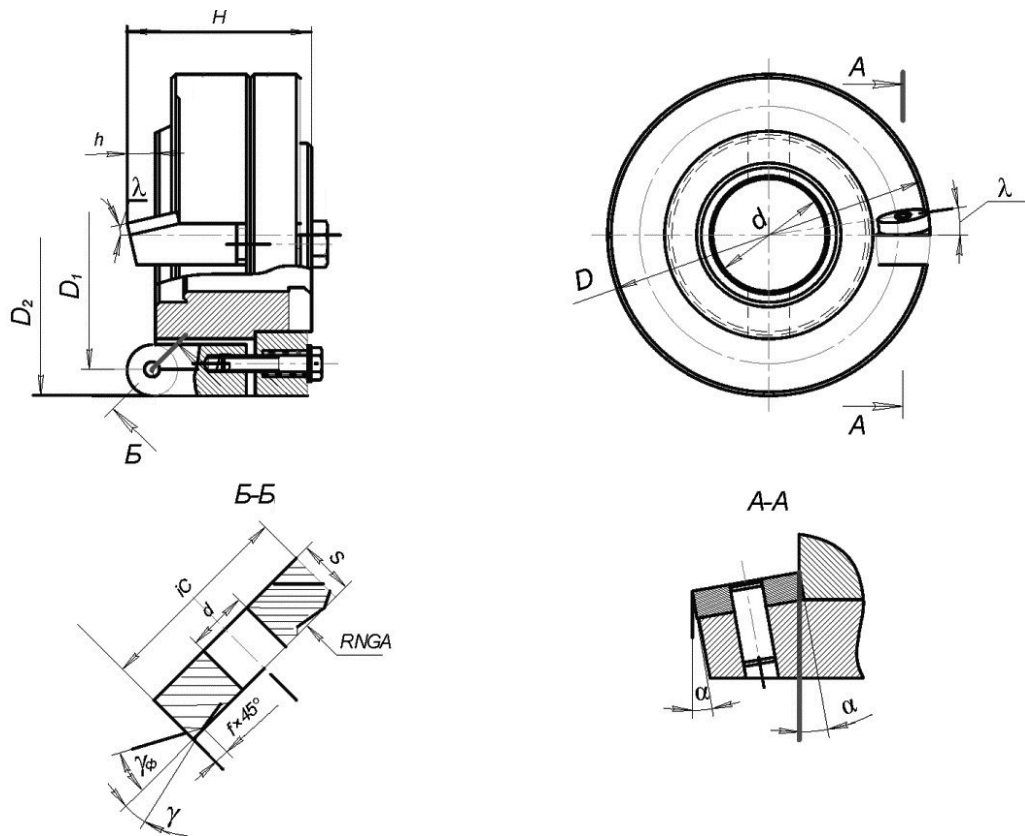


Рисунок 6.4 – Фреза торцева, оснащена твердосплавними ЗБП

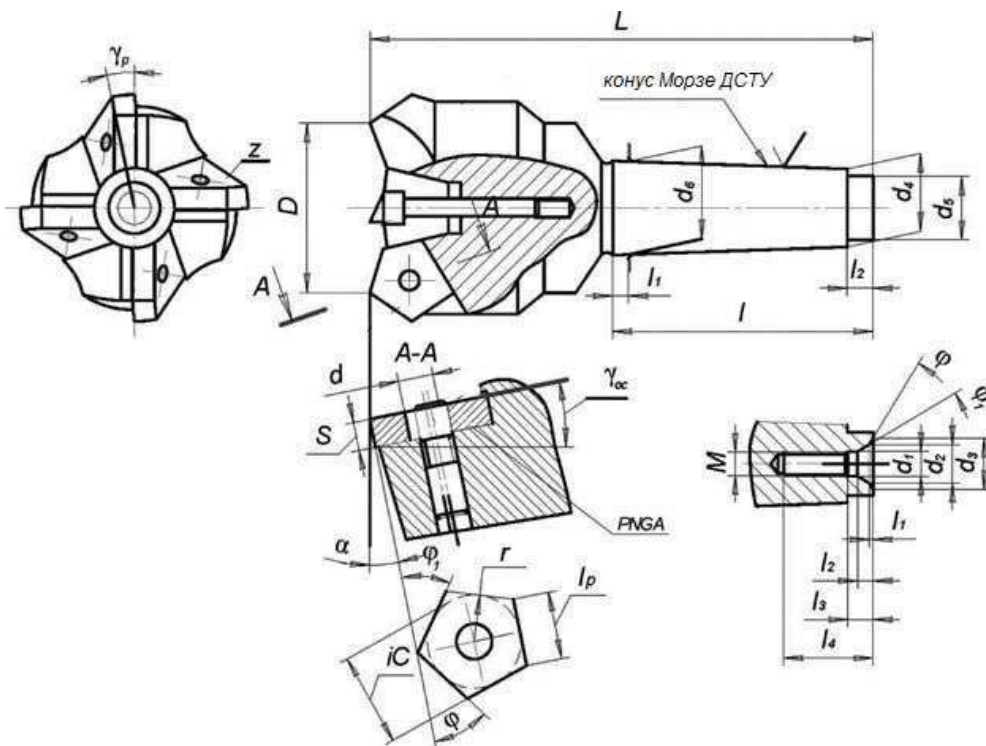


Рисунок 6.5 – Фреза кінцева, оснащена п'ятигранними твердосплавними пластинами

Універсальність кінцевих фрез визначається за їхнім діаметром і максимальною глибиною різання, з якою вони можуть працювати, а також відповідно до типу операції. Різновидом кінцевих фрез є шпонкові фрези та фрези для оброблення Т-подібних пазів.

Шпонкові фрези можуть виконувати фрезерування із врзанням в осьовому напрямку й мають кут контакту 180° , що відповідає дузі дотику фрези із заготовкою. Вони мають більшу стійкість і надзвичайно ефективні при використанні на верстатах з ЧПУ.

Фасонні поверхні обробляються на копіювальних верстатах і верстатах з ЧПУ. Оброблення фасонних профілів і контурів фрезеруванням на ефективних режимах різання вимагає профілювання та виготовлення спеціального інструменту. Для ефективного й універсального оброблення увігнутих і опуклих поверхонь та інших фасонних форм кінцева робоча частина фрези повинна бути круглою. Для профільного фрезерування (див. рис. 6.1, вид 7) можна використовувати сучасні суцільнотвердосплавні фасонні кінцеві фрези або оснащені змінними твердосплавними сферичними пластинами.

Розміри кінцевих фрез (див. рис. 6.5) діаметром до 25 мм (тип 1) і понад 35 мм (тип 2) з механічним кріпленням твердосплавних пластин наведено в табл. 6.1.

Як приклад на рис. 6.6 і в табл. 6.2 та 6.3 наведено конструкції й розміри суцільнотвердосплавних кінцевих фрез Coromill Plura із плоским і сферичним кінцем.

Фрезерування вузьких, довгих і глибоких канавок (див. рис. 6.1, вид 8) відноситься до оброблення, де об'єднано бічне й торцеве фрезерування. У цьому випадку використовуються ефективні сучасні прорізні тристоронні фрези, оснащені змінними різальними пластинами.

Фрези дискові, тристоронні, із вставними ножами, твердосплавні (ДСТУ 5348-80) виготовляються за такими параметрами: $D = 100 \dots 315$ мм; $d = 27 \dots 60$ мм; $B = 14 \dots 40$ мм; $z = 8 \dots 20$. Фрези дискові, оснащені твердосплавними пластинами, застосовували звичайно в напайному варіанті. Однак внаслідок складності заточування та через відпаювання різальних пластин усе більше поширення одержують фрези з механічним кріпленням ЗБП (рис. 6.7, табл. 6.4).

До основних обмежувальних факторів, які впливають на вибирання конструктивних параметрів фрези, відносяться:

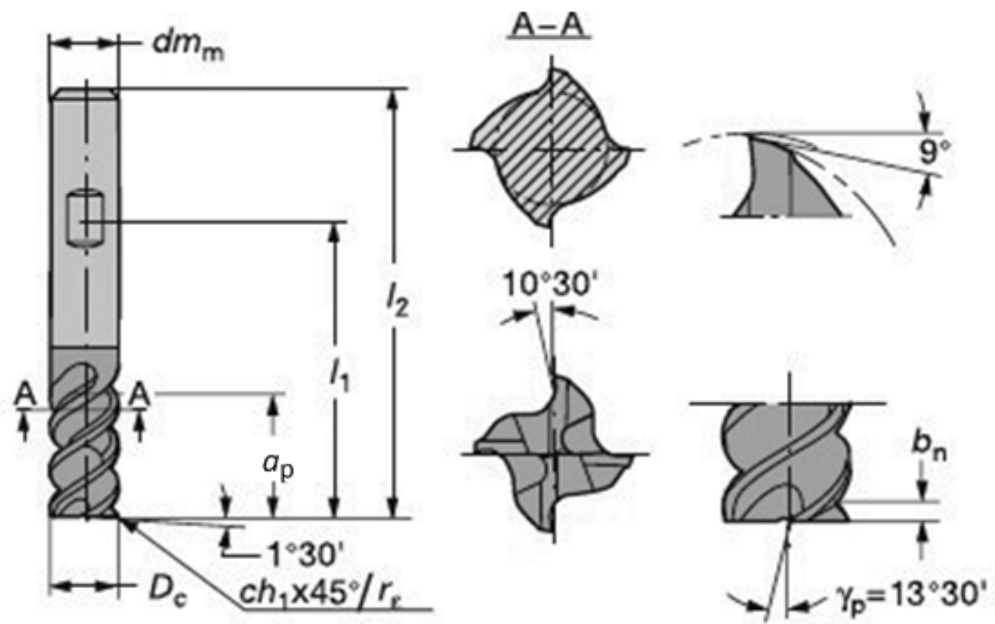
- вид оброблення (чистове, чорнове), вимоги відповідно до точності та шорсткості оброблюваної поверхні деталі;
- відповідність матеріалу оброблюваної заготовки певній групі різання з ISO;
- можливості устаткування: тип верстату, його потужність, можливості оброблювання, твердість і стійкість системи.

Таблиця 6.1 – Розміри кінцевих фрез із твердосплавними пластинами, мм

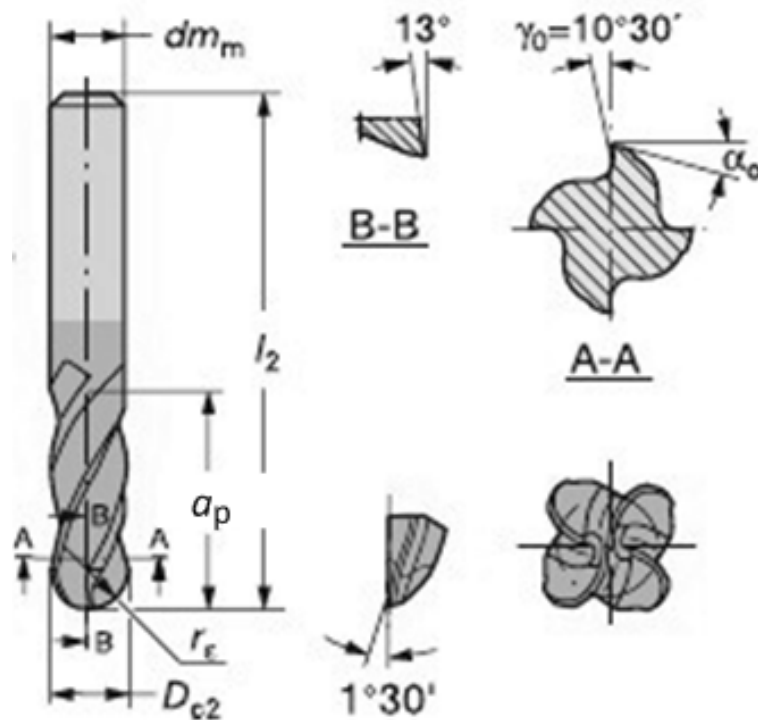
| Тип | Виконання | D | L | l | l_1 | Кількість зубців, z | Хвостовик | |
|-----|-----------|-----|-----|-----|-------|-----------------------|-------------|-----|
| | | | | | | | Конус Морзе | d |
| 1 | 1 | 12 | 94 | 25 | 8,5 | 1 | 2 | — |
| | 2 | | 75 | | | | — | 12 |
| 1 | 1 | 16 | 94 | 30 | 11 | 2 | 2 | — |
| | 2 | | 75 | | | | — | 16 |
| 1 | 1 | 20 | 116 | 38 | 16 | 3 | 3 | — |
| | 2 | | 82 | | | | — | 20 |
| 2 | 1 | 25 | 116 | 48 | 25 | 4 | 3 | — |
| | 2 | | 82 | | | | — | 20 |
| 1 | 1 | 32 | 124 | 57 | 32 | 2 | 3 | — |
| | 2 | | 96 | | | | — | 25 |
| 2 | 1 | 40 | 124 | 68 | 40 | 3 | 3 | — |
| | 2 | | 96 | | | | — | 25 |
| 1 | 1 | 50 | 124 | 79 | 50 | 2 | 3 | — |
| | 2 | | 100 | | | | — | 32 |
| 2 | 1 | 60 | 124 | 90 | 60 | 3 | 3 | — |
| | 2 | | 100 | | | | — | 32 |
| 1 | 1 | 80 | 157 | 118 | 80 | 3 | 4 | — |
| | 2 | | 110 | | | | — | 32 |
| 2 | 1 | 100 | 157 | 139 | 100 | 4 | 4 | — |
| | 2 | | 110 | | | | — | 32 |
| 1 | 1 | 125 | 157 | 160 | 125 | 4 | 4 | — |
| | 2 | | 110 | | | | — | 32 |
| 2 | 2 | 150 | 157 | 180 | 150 | 4 | 4 | — |

Таблиця 6.2 – Конструктивні розміри кінцевих фрез із плоским кінцем

| Діаметр D_c , мм | Кількість зубців | Розміри, мм | | | | | |
|--------------------|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | | d_m | l_1 | l_2 | b_n | a_p | $f \times 45^\circ$ |
| 4 | 3 | 6 | 39 | 57 | 0,25 | 11 | 0,1 |
| 5 | 3 | 6 | 39 | 57 | 0,25 | 13 | 0,1 |
| 6 | 4 | 6 | 39 | 65 | 0,25 | 13 | 0,1 |
| 8 | 4 | 8 | 45 | 80 | 0,25 | 19 | 0,1 |
| 10 | 4 | 10 | 52 | 100 | 0,25 | 22 | 0,1 |
| 12 | 4 | 12 | 61 | 100 | 0,25 | 26 | 0,1 |
| 14 | 4 | 14 | 61 | 104 | 0,35 | 26 | 0,15 |
| 16 | 4 | 16 | 68 | 115 | 0,35 | 32 | 0,15 |
| 20 | 4 | 20 | 79 | 123 | 0,35 | 38 | 0,15 |



a



б

Рисунок 6.6 – Цільнотвердосплавні кінцеві фрези:
 а – із плоским кінцем; б – зі сферичним кінцем

Вибір діаметра фрези, як правило, здійснюється, виходячи із ширини фрезерування оброблюваної заготовки. Діаметр фрези повинен до-

130

рівнювати ширині заготовки або бути трохи меншим, що обумовлює тонку стружку при врізанні та виході фрези.

Таблиця 6.3 – Конструктивні розміри фрез зі сферичним кінцем

| Діаметр D_c , мм | Кількість зубців | Розміри, мм | | | | |
|-----------------------|---------------------|-------------|-------|-------|----------------|-------|
| | | d_m | r_s | l_2 | α° | a_p |
| 1 | 2 | 6 | 0,5 | 57 | 20 | 3 |
| 1,5 | 2 | 6 | 0,75 | 57 | 20 | 4 |
| 2 | 2 | 6 | 1 | 57 | 20 | 6 |
| 2,5 | 2 | 6 | 1,25 | 57 | 20 | 6 |
| 3 | 2 | 6 | 1,5 | 57 | 14 | 7 |
| 4 | 2 | 6 | 2 | 57 | 14 | 8 |
| 5 | 2 | 6 | 2,5 | 57 | 14 | 10 |
| 6 | 4 | 6 | 3 | 57 | 14 | 14 |
| 8 | 4 | 8 | 4 | 63 | 12 | 16 |
| 10 | 4 | 10 | 5 | 72 | 12 | 19 |
| 12 | 4 | 12 | 6 | 83 | 12 | 22 |

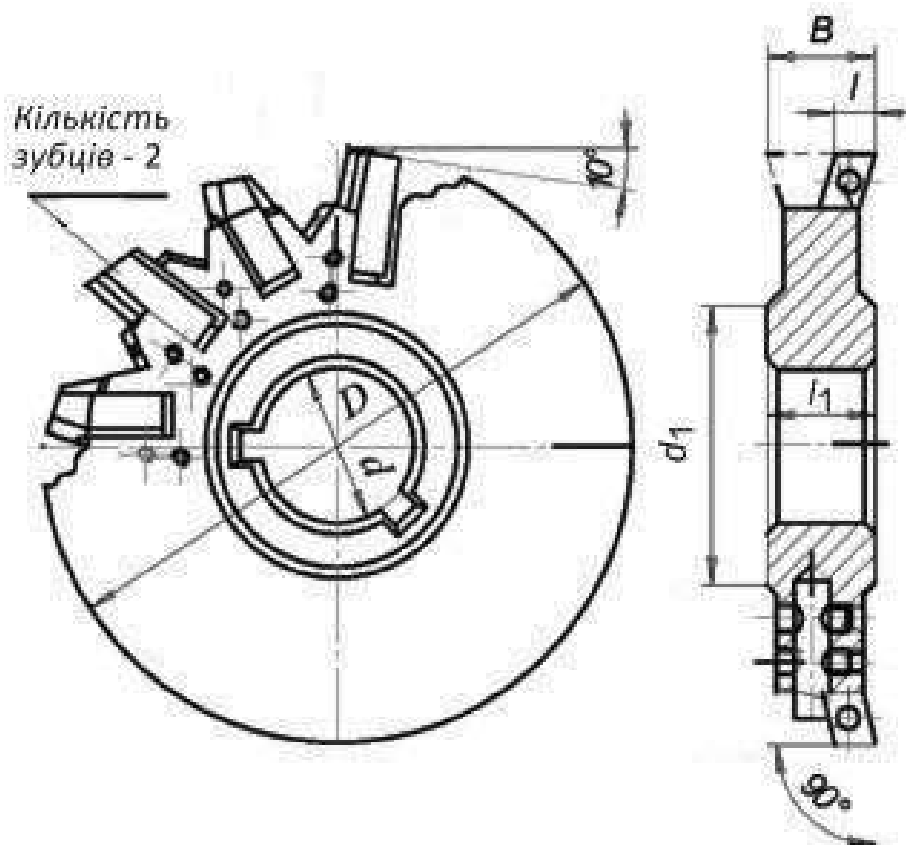


Рисунок 6.7 – Фреза дискова, оснащена ЗБП

Дуже широкі поверхні обробляються за кілька робочих ходів інструменту, при цьому ширина різання за кожний прохід повинна дорівнювати $3/4$ діаметра фрези. Не рекомендується використовувати фрези діаметром D , що дорівнює ширині фрезерування B , тому що це приводить до подовження дуги контакту зуба фрези із заготовкою. Фрези великого діаметра недоцільно використовувати на верстатах з обмеженою потужністю. Це приводить до невиправданого зниження подачі на зуб і, отже, до прискореного зношування різальних пластин. Діаметр кінцевих фрез призначається конструктивно, виходячи з форми та розмірів оброблюваної деталі, а також виду операції. Наприклад, для чистового оброблення пазу діаметр фрези повинен відповідати ширині пазу; зазвичай він є меншим ширини оброблюваного паза на 0,1 мм. При чорновому обробленні він відповідно є меншим на 0,6 мм.

Для торцевого фрезерування діаметр фрези повинен бути в 1,2...1,5 рази більше ширини фрезерування (рис. 6.8).

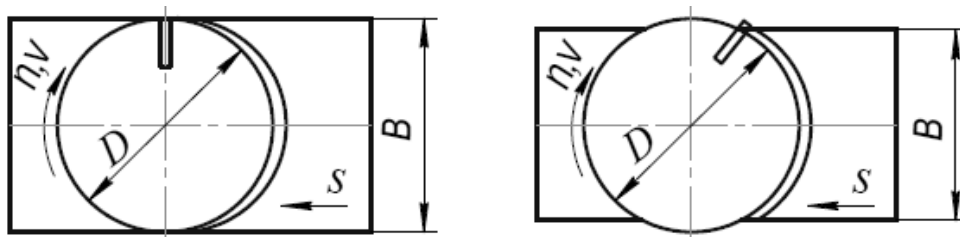


Рисунок 6.8 – Вибір діаметра фрези при торцевому фрезеруванні

Фреза, будучи багаторізцевим інструментом, має змінну кількість зубів z . На вибір кількості зубів фрези впливають матеріал і розмір оброблюваної деталі, вид операції, стійкість фрези, затрачувана потужність, величина подачі на зуб і кількість одночасно працюючих зубів. Крок фрез може бути великим, дрібним і нормальним.

Фрези з великим кроком мають меншу кількість зубів і забезпечують більшу товщину стружки, що знімається. Ці фрези часто використовуються для чорнового оброблення матеріалів при недостатній потужності верстата й жорсткості технологічної системи. Фрези із дрібним кроком мають найбільшу кількість зубів і забезпечують найменшу товщину стружки, що знімається. Їх застосовують для високопродуктивного фрезерування ступінчастих поверхонь, чавунних і сталевих деталей з малими глибинами різання й жароміцних сплавів.

Таблиця 6.4 – Розміри дискових фрез, оснащених ЗБП

| D | B | d | d_1 , не менше | Кількість зубців $2 \times z$ | Довжина різальної крайки l | l_1 |
|-----|-----|------------|------------------|----------------------------------|------------------------------|-------|
| 80 | 10 | 27 | 41 | 2×3 | 6,3 | 10 |
| 100 | | 32 | 47 | | | 12 |
| | 14 | 27 | 41 | | 7,9 | 14 |
| | 18 | | | | 9,5 | 18 |
| 125 | 12 | 40 | 55 | 2×4 | 6,3 | 12 |
| | 16 | | | | 32 | 47 |
| 160 | 14 | 40 | 55 | 2×5 | 7,9 | 14 |
| | 16 | | | 2×6 | 9,5 | 16 |
| | 18 | | | 2×4 | 12,7 | 18 |
| | 20 | | | | | 20 |
| | 22 | | | | | 22 |
| | 28 | | | | | 2×3 |
| 200 | 16 | 50 | 69 | 2×7 | 9,5 | 16 |
| | 20 | | | 2×6 | 12,7 | 20 |
| | 25 | | | 2×5 | 15,9 | 25 |
| | 32 | | | 2×4 | 19,0 | 32 |
| | 14 | | | 2×9 | 7,9 | 14 |
| | 16 | | | | | 16 |
| | 18 | | | | | 18 |
| 250 | 18 | 60 (50) | 82 | 2×8 | 9,5 | 18 |
| | 20 | | | | | 20 |
| | 22 | | | | | 22 |
| | 25 | | | | | 25 |
| | 28 | | | | | 28 |
| 315 | 20 | 80 | 100 | 2×10 | 12,7 | 20 |
| | 25 | | | 2×8 | 15,9 | 25 |
| | 32 | | | 2×7 | 19,0 | 32 |

6.3. Вибірання конструктивних, геометричних параметрів пластини й інструментального матеріалу

При вибиранні різальних пластин необхідно визначити такі параметри:

- типорозмір пластини;
- форму різальної крайки;
- геометрію пластини;
- марку твердого сплаву.

Торцеві фрези, як правило, мають обмежену кількість різальних пластин однієї й тієї ж форми та розмірів. Найбільше застосування має квадратна пластина з додатними кутами, якій необхідно надавати перевагу навіть у межах оброблення прямокутних уступів. Круглі пластини, що мають стійкі грані й змінні кути в плані, використовуються в основному для фрезерування в тяжких умовах важкооброблюваних матеріалів.

Розмір пластини для торцевої фрези вибирається залежно від глибини різання, максимальне значення якої не повинне бути більше $2/3$ довжини різальної крайки (рис. 6.9). Однак максимальна глибина різання для кожного типу пластин торцевих фрез залежить від головного кута в плані φ , форми пластини, геометрії та конструкції.

Має значення й товщина пластини. Більш товста пластина необхідна для важких умов різання. Найменший можливий її розмір і товщину встановлюють, виходячи з умови забезпечення високої стійкості при навантаженні пластини під дією стружки. Форма різальної крайки пластини може бути: гострокрайкова F (приклад позначення: SEKN 12 04 F), округлена ER (приклад позначення: SEKN 12 04 E), з негативною фаскою T (приклад позначення: SEKN 12 04 T), округлена ER з негативною фаскою T (приклад позначення: SEKN 12 04 S) (рис. 6.10).

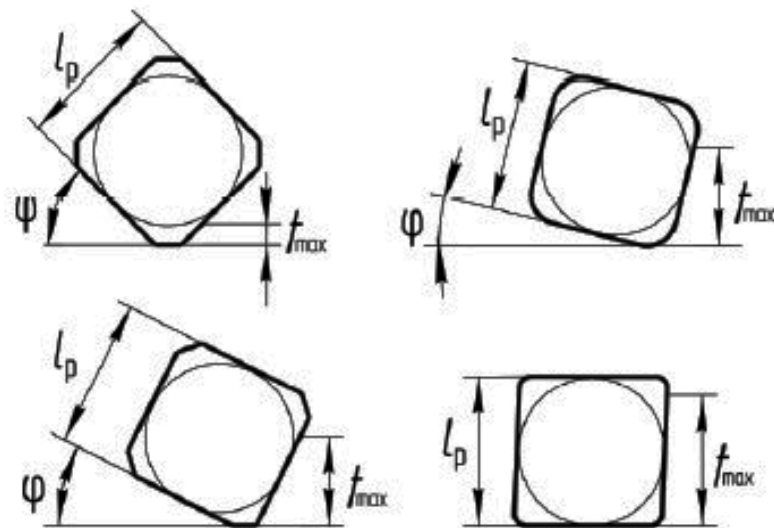


Рисунок 6.9 – Співвідношення розмірів пластин і глибини різання

Кут у плані фрези впливає на ефективність різання. В основному фрези випускаються з головним кутом у плані 45° , 60° , 90° і 10° . Круглі

пластини використовуються для оснащення торцевих і кінцевих фрез. Фрези з кутом в 45° використовуються для операцій загального призначення, вони універсальні, мають меншу схильність до вібрацій при великому вильоті інструменту. Мала товщина шару, що зрізується, дозволяє збільшувати хвилину подачу, тобто підвищувати продуктивність процесу фрезерування. Основна область застосування фрез із кутом у плані 90° – це оброблення прямокутних уступів. Фрези із круглими різальними пластинами призначено для чорнового оброблення з великою подачею на зуб. Сучасні круглі різальні пластини забезпечують надійне фрезерування, що особливо зручно при обробленні в'язких матеріалів. Фрези із круглими пластинами мають більш міцні різальні крайки зі змінюваним головним кутом у плані. Кут у плані змінюється залежно від відношення глибини різання t до діаметра d різальної пластини від 0° до 45° . У цьому випадку глибина різання складе половину величини діаметра пластини й має максимальне значення (рис. 6.11).

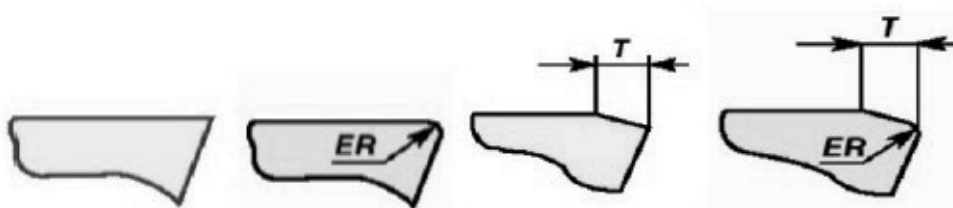


Рисунок 6.10 – Форми різальної крайки пластин

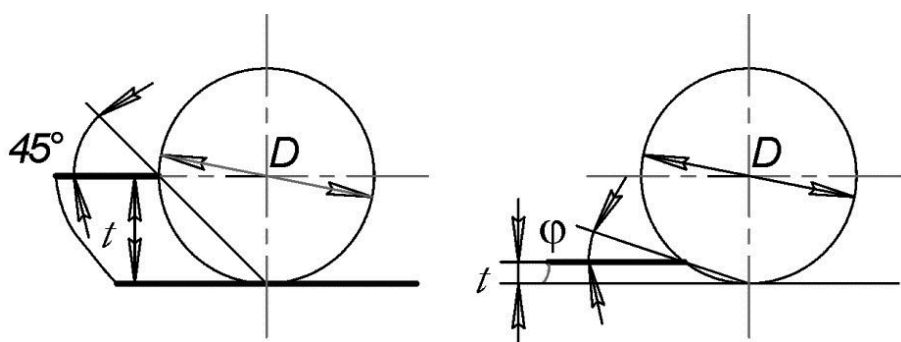


Рисунок 6.11 – Головний кут у плані у фрез, оснащених круглими пластинами

Сучасні фрези для одержання найкращої якості обробленої поверхні оснащуються зачисними пластинами.

Такі пластини з більшим радіусом закруглення мають радіальний виліт на 1...2 мм менше й виступають в осьовому напрямку щодо різальних пластин фрези на 0,05 мм. Це дозволяє набагато збільшити величину подачі, що особливо важливо для фрез більших діаметрів. При оброблянні такими пластинами одержують поверхню з більш низькою шорсткістю, навіть при несприятливих умовах обробляння.

У цей час при фрезеруванні використовуються три основні геометрії пластин: додатна (рис. 6.12 а) з кутами $\alpha = 0^\circ$ і $\gamma = 0^\circ$, від'ємна (рис. 6.12 б) з кутами $\alpha \neq 0^\circ$ і $\gamma = 0^\circ$ і додатно-від'ємна (рис. 6.12 в) з кутами α і $\gamma \neq 0^\circ$.

Фрези з від'ємною геометрією найбільш вигідні для обробляння чавунів і загартованих сталей, коли від'ємний передній кут є навіть бажаним. Пластини з додатною геометрією одержали більш широке поширення при торцевому фрезеруванні будь-яких матеріалів в оброблювальних центрах і на фрезерних верстатах з недостатньою потужністю.

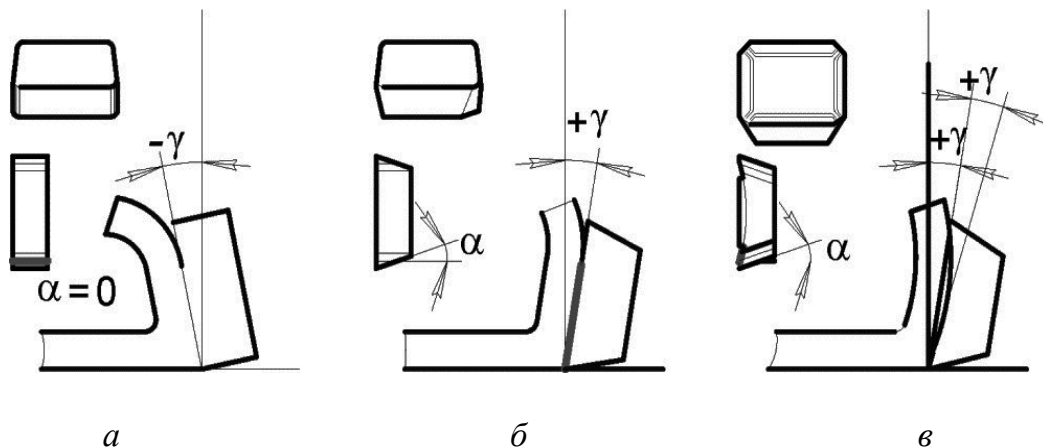


Рисунок 6.2 – Різні типи геометрії пластин фрез

Використання пластин з додатно-від'ємною геометрією дозволяє створити ефективний інструмент, зменшити сили різання й споживану потужність. Такі торцеві фрези можуть обробляти різні матеріали, забезпечують гарне стружковідведення і якість оброблюваної поверхні. У табл. 6.5 зроблено зіставлення марок твердого сплаву зі зносостійкими покриттями, що випускаються вітчизняними й закордонними виготовлювачами для фрезерних робіт, відповідно в табл.6.6 представлено марки твердих сплавів без покриття.

Таблиця 6.5 – Марки твердих сплавів з покриттям для фрезерних робіт

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) | Кюцера (Японія) | |
|-------------------------------|----------------------|---|--|--|--|--|--|--------------------------------------|--|
| P | P01 | CT25M | GC1010 | | | TT7080 | | | |
| | P10 | CT25M CM30M CM35 | GC4230 GC4220 GC1030 GC1025 GC1010 GC3040 | MP1500 | NC5330 NCM325 PC3600 | TT7080 TT6800 | WKP25S WKP25 WHH15 WXM15 | TN2505 TN2510 | PR730 PR830 PR1225 PR1230 PR1525 |
| | P20 | CT25M CM30M CM35 CT35M CU45 | GC4230 GC4220 GC1030 GC1025 GC1010 GC3040 | MP1500 MP2500 T250M MP3000 F25M | NC5330 NCM325 PC3600 PC5300 | TT7080 TT6800 TT9030 TT9080 | WKP25S WKP35S WKP25 WKP35 WHH15 WXM15 | TN2505 TN6425 | PR630 PR660 PR730 PR830 PR1225 PR1230 PR1525 |
| | P30 | CT25M CM30M CM35 CT35M CU45 | GC4230 GC4220 GC4240 GC1030 GC1025 GC2030 GC2040 GC3040 | MP1500 MP2500 T350M T250M MP3000 F25M F30M F40M | NC5330 NCM325 PC3600 PC5300 NCM335 PC3545 | TT7080 TT6800 TT9030 TT9080 TT8020 TT8080 | WKP25S WKP35S WKP25 WKP35 WSP45S WSP45 WSP46 | TN6430 TN6505 TN6525 TN7525 | PR630 PR660 PR730 PR830 PR1225 PR1230 PR1525 |
| | P40 | CM30M CT35M M30P CU45 | GC4230 GC4240 GC1030 GC2030 GC2040 GC3040 | MM4500 T350M MP3000 F40M F60M | PC5300 NCM335 PC3545 | TT7080 TT9030 TT9080 TT8020 TT8080 | WKP25S WKP35S WKP25 WKP35 WSP45S WSP45 WSP46 | TN6540 TN7535 | PR660 |
| | P50 | CT35M CU45 | GC4240 GC2040 | MM4500 F40M | NCM335 PC3545 | TT7080 TT8020 TT8080 | WKP35S WKP35 WSP45S WSP45 WSP46 | | |
| M | M01 | | GC1010 | | | | | | |
| | M10 | CM30M M30P | GC1030 GC1010 GC2030 GC1025 S30T | | NC5330 NCM325 PC5300 NCM335 | TT9030 TT9080 | WXM15 | | PR730 PR830 PR1225 PR1025 PR1225 PR1230 PR1525 |
| | M20 | CM30M M30P CU45 | GC1030 GC1010 GC2030 GC1025 S30T | MP2500 T350M T250M MP3000 F25M F30M | NC5330 NCM325 PC5300 NCM335 PC9530 | TT9030 TT9080 TT7800 TT8020 TT8020 | WSP35S WSM35 WSM36 WXM15 | TN6425 TN6525 TN7525 | PR630 PR660 PR730 PR830 PR1025 PR1225 PR1525 |

Продовження табл. 6.5

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) | Кусога (Японія) | |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| | M30 | CM30M M30P CU45 | GC1030 GC1040 GC2030 GC2040 GC4230 S30T S40T | MP2500 T350M T250M MP3000 F30M F40M | NCM325 PC3545 PC5300 NCM335 PC9530 | TT9030 TT9080 TT7800 TT8020 TT8020 | WKP35S WSP45S WSP45 WSM35 WSP46 WSM36 | TN7535 TN6540 | PR630 PR660 PR730 PR830 PR1025 PR1225 PR1525 |
| | M40 | M30P CU45 | GC1040 GC2040 GC4230 GC4240 S30T S40T | MM4500 T350M F40M | PC3545 | TT9030 TT9080 TT7800 TT8020 TT8020 | WKP35S WSP45S WSP45 WSM35 WSP46 WSM36 | | PR660 PR1225 PR1525 |
| | K01 | K10M | GC1010 | | PC8110 | TT6080 TT7080 | WAK15 | | PR905 PR1210 PR1510 |
| | K10 | K10M CK15M CK20M | GC1010 GC3220 GC1020 K20W K15W K20D | MK1500 MK2000 | PC8110 PC6510 NC5330 | TT6080 TT7080 TT6800 | WKP25S WKP25 WAK15 WKK25 WHH15 WXM15 | TN2505 TN2510 TN5505 TN6405 | PR905 PR1210 PR1510 |
| | K20 | K10M CK15M K20M CM30M | GC3040 GC3220 GC1020 K20W K15W K20D GC4220 GC4230 | MK1500 MP1500 MK3000 MK2000 | PC5300 PC6510 NC5330 | TT6080 TT7080 TT6800 | WKP25S WKP35S WKP25 WKP35 WAK15 WKK25 WHH15 WXM15 | TN5515 TN2525 TN2510 TN5520 TN6520 TN6525 | PR905 PR1210 PR1510 |
| | K30 | K20M CM30M | GC3040 GC3220 GC1020 K20W K15W GC4220 GC4230 | MK1500 MP1500 MK3000 MK2000 | PC6510 NC5330 | TT6080 TT7080 TT6800 | WKP25S WKP35S WKP25 WKP35 WAK15 WKK25 | TN6430 TN6540 TN7535 | PR1510 |
| | K40 | CM30M | GC3040 GC4230 GC4240 | MK3000 | | | WKP25S WKP35S WKP25 WKP35 WKK25 | | |
| | K50 | | | | | | WKP35S WKP35 | | |

Продовження табл. 6.5

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | TeaguTec (Корея) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) | Kyocera (Японія) |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|---|---------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|
| N | N01 | | F15M F17M | | | | | |
| | N10 | | GC1025 GC1030 | F15M F17M | DN2000 PD2000 | | WXH15 TN6501 TN6502 | |
| | N20 | | GC1025 GC1030 | | DN2000 PD2000 | | WXH15 | |
| | N30 | | GC1025 GC1030 | | | | | |
| S | S10 | | GC1010 | MP2500 | PC5300 PC3545 | | TN6405 | PR905 PR1210 PR1510 |
| | S20 | | GC1010 GC1030 GC1025 GC2030 S30T | MP2500 MS2500 T350M T25M F40M | PC5300 PC3545 | TT9030 TT9080 | WSP35S WSM35 WSM36 | TN6425 PR905 PR1210 PR1510 |
| | S30 | | GC2030 GC2040 GC1040 S40T S30T | MS2500 T350M T250M F40M | PC3545 | TT9030 TT9080 TT8080 TT8020 | WSP45S WSP35S WSP45 WSM35 WSP46 WSM36 | TN6540 PR1510 |
| | S40 | | GC2030 GC2040 GC1040 S40T S30T | | | | WSP45S WSP35S WSP45 WSM35 WSP46 WSM36 | |
| H | H01 | K10M | GC1010 | MH1000 | PC210F | TT6080 | | TN2505 |
| | H10 | K10M CK15M | GC1010 GC1030 GC4220 GC1025 | MH1000 F15M | PC210F | TT6080 | WHH15 | TN2510 |
| | H20 | K10M CK15M | GC1010 GC1025 GC1030 GC4220 GC3040 | MP1500 F15M | | TT6080 | WHH15 | TN2525 |
| | H30 | | GC4220 GC3040 | MP3000 F30M | | | | |

Продовження табл. 6.5

| Групи різання та використання | КЗТС (Росія) | Sumitomo (Японія) | Dijet (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Ken- ametal (США) | Pramet (Чехія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Tungaloy (Японія) | |
|-------------------------------------|------------------|--|--|--|--|--|--|---|--|
| P | P01 | HP10AM | AC100 | JC8003 | IC903 | KC505M | M9315 8215 | | |
| | P10 | TP20AM HP10AM | ACP100 ACP200 ACZ310 ACZ325 ACZ330 | JC8003 JC730U JC8015 JC5015 JC5030 JC5118 | IC4100 IC5100 IC520M | KCPM15 KC510M KC515M KC715M | M9315 M9325 M5315 8215 7205 7215 7010 T8315 | FH7020 FH7030 MP6120 VP15TF | |
| | | | | | IC900 IC903 IC808 IC908 IC810 IC910 IC950 | | | | |
| | P20 | TP20AM TP20AM HP10AM HP30AM | ACP100 ACP200 ACP300 ACZ310 ACZ325 ACZ330 | JC730U JC8015 JC5015 JC5030 JC5040 JC5118 | IC4100 IC5100 IC520M | KCPM15 KC610M KC620M | M9315 M9325 M5315 8215 7205 7215 7010 7040 T8315 | FH7020 FH7030 MP6120 MP6130 VP15TF UP20M VP20RT | T3130 T313W AH725 AH120 AH3035 AH9030 AH330 GH330 |
| | | | | | IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC903 IC808 IC908 IC810 IC910 IC950 | KC643M KC633M KC625M KC635M KC522M KC525M KC527M KC715M KC720M KTPK20 | | | |
| P30 | TP20AM HP30AM | ACP200 ACP300 ACZ310 ACZ325 ACZ330 | JC730U JC8015 JC5015 JC5030 JC5040 JC5118 JC8050 | IC4050 IC4100 IC5100 IC520M | KC643M KC633M KC625M KC635M | M9315 M9325 M9340 M8325 M8345 8230 8240 7230 7025 7040 5040 T8330 | FH7030 MP6120 MP6130 VP15TF UP20M VP20RT VP30RT | T3130 AH725 AH120 AH130 AH140 AH3035 AH3135 AH9030 GH130 AH330 GH330 AH730 | |
| | | | | IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC808 IC908 IC810 IC830 IC928 IC910 IC950 | KC525M KC530M KC537M KC610M KC620M KC720M KC725M KC730M KC735M KC927M | | | | |
| P40 | TP20AM HP30AM | ACP300 ACZ330 | JC5040 JC5118 JC8050 | IC4050 IC520M | KCPK30 KC725M KC735M KC537M KCMP30 | M9340 M8325 M8345 8230 8240 7230 7025 7040 5040 T8330 | VP30RT | T3130 AH725 AH120 AH130 AH140 AH3035 AH3135 AH9030 GH130 AH330 GH330 AH730 | |
| | | | | IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC830 IC928 IC950 | | | | | |
| P50 | | | | IC4050 IC300 IC328 IC330 IC830 IC928 | | M9340 8240 5040 | | AH140 | |

Продовження табл. 6.5

| Групи різання та використання | КЗТС (Росія) | Sumitomo (Японія) | Dijet (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Ken- nametal (США) | Pramet (Чехія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Tungaloy (Японія) | |
|-------------------------------------|-----------------|--|--|--|---|--|--|---|---|
| М | M01 | | | | | M8310 8215 | | | |
| | M10 | AP10AM BP20AM TP20AM | ACK100 ACK200 ACK300 ACP200 ACP300 | JC730U | IC520M IC903 | KC515M | M9325 M8310 8215 7205 7215 7010 T8315 | VP15TF FH7030 | |
| | M20 | AP10AM BP20AM BP35AM TP20AM TP20AM AP30AM | ACK200 ACK300 ACP200 ACP300 | JC730U JC8015 JC5015 JC5118 | IC4050 IC520M IC250 IC300 IC900 IC903 IC808 IC908 IC830 IC928 | KCPM15 KCPM20 KC610M KC643M KC633M KC625M KC635M KC522M KC525M KC720M KTPK20 | M9325 M8325 8215 8230 7205 7215 7010 7040 T8315 | FH7030 MP7130 MP7030 VP15TF VP20M VP20RT | T3130 AH725 AH120 GH110 AH330 GH330 |
| М | M30 | BP35AM TP20AM AP30AM | ACP100 ACP200 ACP300 | JC730U JC8050 JC8015 JC5015 JC5118 | IC4050 IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC808 IC908 IC830 IC928 | KCPM15 KC643M KC633M KC625M KC635M KC522M KC525M KC530M KC725M KC730M KC735M KC927M | M9340 M8325 M8345 8230 8240 7230 7025 7040 5040 T8330 | FH7030 MP7130 MP7030 MP7140 VP15TF VP20M VP20RT VP30RT | T3130 AH725 AH120 AH130 AH140 AH3135 AH4035 AH6030 GH110 GH130 AH330 GH330 GH340 AH730 |
| | M40 | | ACP300 | JC8050 JC5015 JC5118 | IC250 IC300 IC328 IC330 IC830 IC928 | KC725M | M9340 M8345 8230 8240 7230 7040 5040 T8330 | VP30RT MP7140 | T3130 AH725 AH120 AH130 AH140 AH3135 AH4035 AH6030 GH130 GH340 AH730 |
| К | K01 | AP10AM | ACK100 ACK200 | JC8003 JC600 JC605X JC605W | IC4100 IC5100 DT7150 IC900 IC810 IC910 | | M5315 M8310 8215 | MC5020 MP8010 | |
| | K10 | AP10AM BP20AM BP25AM | ACK100 ACK200 ACK300 ACZ310 EHS20Z | JC8003 JC600 JC605X JC605W JC610 JC8015 | IC4100 IC5100 IC520M DT7150 IC900 IC810 IC910 IC830 IC928 IC95 | KC514M KC515M KCK15 KC907M KC914M KC917M | M5315 M9315 M8310 8215 7205 7215 7010 T831 | MC5020 MP8010 VP10MF VP05HT VP10H VP15TF | T1115 GH110 AH110 AH330 |

Продовження табл. 6.5

| Групи різання та використання | K3TC (Росія) | Sumitomo (Японія) | Dijet (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Ken- nametal (США) | Pramet (Чехія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Tungaloy (Японія) | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|--|---|---|---|
| K20 | AP10AM BP20AM BP35AM BP25AM | ACK200 ACK300 ACZ310 EHS20Z | JC600 JC605X JC605W JC610 JC8015 JC5015 JC5080 | IC4050 IC4100 IC5100 IC520M DT7150 IC900 IC810 IC808 IC908 IC910 IC830 IC928 IC950 | KCPM15 KC514M KTPK20 KC610M KC620M KCPM20 KC643M KC625M KC635M KC520M KC524M KC527M KC917M KC924M KC927M | M5315 M9315 8215 8230 7205 7215 7010 7040 T8315 | MC5020 MP8010 VP20RT VP15TF | T1115 GH110 AH110 AH725 AH120 GH130 AH330 | |
| | K30 | BP35AM | ACP200 ACP300 | JC610 JC8015 JC5015 JC508 | IC4050 IC520M DT7150 IC900 IC810 IC808 IC908 IC910 IC830 IC928 IC950 | KCPM15 KC537M KC610M KC620M KCPM20 KC643M KC625M KC635M KC522M KC524M KC527M KC927M | M5315 M9315 M8325 8230 8240 7230 7010 7025 7040 5040 T8315 T8330 | MC5020 VP15TF VP20RT | T1115 GH110 AH110 AH725 AH120 GH130 AH330 |
| | K40 | BP35AM | | | IC4050 IC808 IC908 IC830 IC928 IC950 | KC537M KCPK30 | M8325 8230 8240 7230 7025 7040 5040 T8330 | | GH130 |
| | K50 | | | | | | | | |
| N | N01 | AP10AM | | | | | | DS1100 | |
| | N10 | AP10AM BP20AM AP30AM | DL1000 | | IC808 IC908 | KCN05 KC410M KC510M KC5410 | 8215 7205 7215 7010 T831 | | DS1100 DS1200 |
| | N20 | AP10AM BP20AM AP30AM | DL1000 | | IC808 IC908 | KCN05 KC422M KC620M | 8215 8230 7215 7230 7010 7040 T8315 T8330 | LC15TF | DS1100 DS1200 |
| | N30 | BP20AM AP30AM | | | IC808 IC908 | KC422M KC620M | 8215 8230 7215 7230 7010 7040 T8315 T8330 | LC15TF | DS1200 |

Закінчення табл. 6.5

| Групи різання та використання | КЗТС (Росія) | Sumitomo (Японія) | Dijet (Японія) | Iscar (Ізраїль) | Ken- nametal (США) | Pramet (Чехія) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Tungaloy (Японія) |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|---|--|--|--------------------------------------|
| S | S10 | AP10AM BP20AM AP30AM | АСК300 АСР300 | JC5003 JC5118 JC8015 JC5015 | IC300 IC900 IC903 IC830 IC928 | KC510M | M9325 M8310 7215 7010 T8315 | VP15TF MP9120 MP9030 MP9130 |
| | S20 | AP10AM BP20AM BP35AM AP30AM | АСК300 АСР300 | JC5118 JC8015 JC5015 JC8050 | IC300 IC328 IC330 IC900 IC903 IC830 IC928 | KC610M KC625M KC635M KC633M KC643M KC522M KC525M | M9325 8230 7215 7230 7010 7040 T8315 T8330 | VP15TF MP9120 MP9030 MP9130 |
| | S30 | BP35AM | | JC5118 JC8050 | IC300 IC328 IC330 IC900 IC830 IC928 | KC522M KC525M 8240 KC625M KC635M KC633M KC643M KC725M KCPM30 | M8345 8230 8240 7230 7040 T8315 T8330 | MP9030 MP9130 |
| | S40 | | | | IC830 IC928 | KC725M KCPM30 | M8345 | |
| H | H01 | | | JC8003 JC8008 | IC903 | | | MP8010 |
| | H10 | AP10AM | | JC5118 JC8003 JC8008 JC8015 | IC900 IC903 | KC639M KC505M KC510M | M9315 M8310 8215 7205 7215 7010 T8315 | MP8010 VP15TF |
| | H20 | AP10AM | | JC5118 JC8015 | IC900 IC808 IC908 | KC637M KC635M | M9315 M8310 8215 8230 7215 7230 7040 7010 T8315 T8330 | VP15TF |
| | H30 | | | | IC900 IC808 IC908 | KC637M | 8230 7230 7040 T8330 | |

Таблиця 6.6 – Марки твердих сплавів без покриття для фрезерних робіт

| Групи різання та використання | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | K3TC (Росія) | TeaguTec (Корея) | Pramet (Чехія) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|------------------|---|------------------|----------------|--------------------|------------------------------|
| P | P01 | | | | H10 | | | | |
| | P10 | PM30 | | | ST20 T25 H10 | | H10 S26 | | TTM TTR |
| | P20 | PM30 SM30 | | | ST20 ST30A T25 H10 H30 | P30 | H10 S26 | | |
| | P30 | PM30 SM30 PT40 | SM30 | | ST20 ST30A ST40 ST30N T25 T40 H30 | P30 | S45 | | |
| | P40 | SM30 PT40 | SM30 | | ST30A ST40 ST30N T40 H30 | P30 | S45 | | |
| | P50 | PT40 | | | | T40 | S45 | | |
| M | M01 | | | | | | | | |
| | M10 | PM30 | | | B20 T25 | | HF7 H10 | | TTM TTR |
| | M20 | PM30 | SM30 | | U10 U20 T25 T40 A30 | | HF7 H10 | | |
| | M30 | PM30 PT40 | SM30 | | U10 U20 U40 A30 B35 | | S45 | | |
| | M40 | PT40 | | | U20 U40 T40 B35 | | S45 | | |
| K | K01 | TK10 | | | H01 | K10 | | | |
| | K10 | TK10 MK8 TK210 | H13A | | H01 H05 H10 G10 B20 A30 B25 | K10 | HF7 H10 | | THM TTM THR |
| | K20 | TK10 MK8 TK210 | H13A | HX | G10 B20 B35 A30 B25 | K10 | HF7 H10 | | THM THM-F |
| | K30 | TK20 | H13A | | B20 B35 A30 | | H10 | | |
| | K40 | | | | B35 | | | | |
| | K50 | | | | | | | | |
| N | N01 | | H10 | | A10 | K10 | | WK10 | |
| | N10 | TK20 TK25 | H10 H13A H10F | H15 | H01 A10 | K10 | HF7 H10 | WK10 | THM THM-F THM-U THR |
| | N20 | TK20 TK25 | H10 H13A H10F | HX H15 H25 | H01 A10 B35 A30 | K10 | HF7 H10 | WK10 | THM THM-F THR-S |

Продовження табл. 6.6

| Групи різання та використання | | Sandvik MKTC (Росія) | Sandvic Coromant (Швеція) | Seco tools (Швеція) | Korloy (Корея) | K3TC (Росія) | Teagutec (Корея) | Pramet (Чехія) | Walter (Німеччина) | WIDIA (Німеччина) |
|-------------------------------|------|----------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| S | N30 | TK25 | H13A H10F | H25 | | B35 A30 | | HF7 H10 | | |
| | S10 | | H10A | | | B20 B35 A30 | | HF7 H10 | | |
| | S20 | TK20 TK25 | H10F H13A | HX H25 | | B20 B35 A30 | | HF7 H10 | | THM THM-F THR |
| | S30 | TK20 TK25 | H10F H13A | | | B20 B35 A30 | | | | |
| | S40 | TK20 TK25 | | | | | | | | |
| H | H01 | TK10 | H1P | | | | | | | |
| | H10 | TK10 | H1P | | | A10 | | HF7 | | THM-F |
| | H20 | TK20 | H1P | | | A10 | | HF7 | | |
| | H30 | | | | | | | | | |
| Групи різання та використання | | Iscar (Ізраїль) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Кюосера (Японія) | Tungaloy (Японія) | Sumitomo (Японія) | Dijet (Японія) | Kennametal (США) | | |
| P | P01 | | | | | | | | | |
| | P10 | | | | | | | | | |
| | P20 | IC50M | UTi20T | PW30 | UX30 | A30N S30E | DX25 DX30 | | | K125M |
| | P30 | IC50M IC28 | UTi20T | PW30 | UX30 | A30N S30E | | | | K125M |
| | P40 | IC28 | | PW30 | | | | | | |
| P50 | IC28 | | | | | | | | | |
| M | M01 | | | | | | | | | |
| | M10 | IC08 IC2 | | | | | G10E | | | KYSM10 |
| | M20 | IC08 IC20 | UTi20T | | UX30 | A30N | | | | |
| | M30 | IC08 IC20 IC28 | UTi20T | | UX30 | A30N | | | | |
| | M40 | IC28 | | | | | | | | |
| K | K01 | | HTi05T | KW10 | TH10 | H1 | | | | K115M |
| | K10 | IC20 | HTi10 | KW10 GW25 | TH10 | G10E EH20 EHS20 | KT9 | | | K115M K313 K110M |

| Групи різання та використання | Iscar (Ізраїль) | Mitsubishi Carbide (Японія) | Кюосера (Японія) | Tungaloy (Японія) | Sumitomo (Японія) | Dijet (Японія) | Kennametal (США) |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| K | K20 | IC20 | HTi10 UTi20T | KW10 GW25 | TH10 UX30 | G10E EH20 EHS20 | KMF |
| | K30 | | UTi20T | | UX30 | | KMF |
| | K40 | | | | | | |
| | K50 | | | | | | |
| N | N01 | IC20 | HTi10 | KW10 GW25 | KS05F | | |
| | N10 | IC08 IC20 IC28 | HTi10 | KW10 GW25 | KS05F KS15F TH10 | | K115M K313 K110M |
| | N20 | IC08 IC20 IC28 | HTi10 TF15 | KW10 GW25 | KS15F TH10 | H1 | KMF K600 K115M |
| | N30 | IC08 IC20 IC28 | TF15 | | | | KMF K600 |
| S | S10 | IC08 IC20 | | KW10 GW25 | KS20 | | K313 K110M KYHS10 |
| | S20 | IC08 IC20 IC28 | | KW10 GW25 | KS20 | | KMF KYSM10 KYHS10 K115M |
| | S30 | IC08 IC28 | | | | | KMF K115M KYSP30 |
| | S40 | | | | | | |
| H | H01 | IC20 | | | | | |
| | H10 | IC20 | | | KS20 | | |
| | H20 | IC20 | | | KS20 | | |
| | H30 | | | | | | KYHS10 |

6.4. Призначення режимів різання при фрезеруванні

Елементи режиму різання при торцево-циліндричному фрезеруванні представлено на рис. 6.13.

Величина подачі S_z , мм/зуб, при чорновому оброблянні обмежується потужністю верстата, жорсткістю устаткування та міцністю пластини залежно від максимальної товщини стружки a_{\max} (рис. 6.14). Граничні значення a_{\max} залежать від товщини пластини:

| | | | | |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| Товщина пластини, мм, | < 3,18 | 3,18...3,97 | 4,76...5,56 | 6,35 i > |
| a_{\max} , мм, | 0,1...0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4...0,7. |

При вибиранні подачі для чистового обробляння необхідно врахувати вимоги до оброблюваної поверхні за точністю, шорсткістю. Якість оброблюваної поверхні, насамперед, залежить від величини радіуса пластини при вершині. При торцевому фрезеруванні пластинами з радіусом при вершині, що дорівнює 0,4...2,4 мм, забезпечити шорсткість менш R_a 1,25 дуже складно, тому слід застосовувати зачисні пластини. Подача на оберт не повинна перевищувати ширину зачисної фаски, що дозволить забезпечити шорсткість поверхні $R_a = 0,53...1,25$. Величина подачі в цьому випадку складе 0,2...0,3 мм.

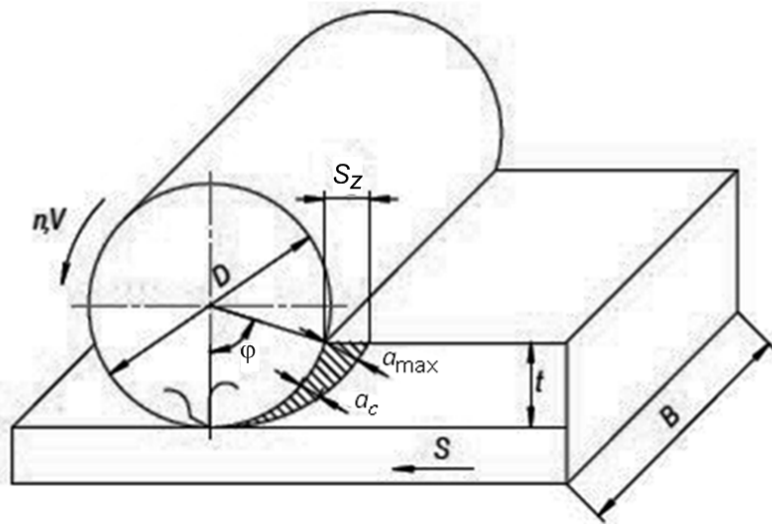


Рисунок 6.13 – Елементи режиму різання при фрезеруванні

На відміну від токарного обробляння, де товщина стружки є постійною та залежить тільки від подачі та головного кута в плані, при фрезеруванні товщина стружки змінюється протягом одного оберту фрези. Середня товщина стружки (торцево-циліндричне фрезерування при $t / D < 0,2$) визначається як

$$a_c = S_z \sqrt{t/D}$$

При співвідношенні $t/D > 0,2$ середню товщину стружки визначають за формулою

$$a_c = \frac{180 \sin \varphi t S_z}{\pi D \arcsin(\varphi/D)}.$$

Величина максимальної товщини стружки a_{\max} залежить від розташування центру фрези щодо заготовки (див. рис. 6.14). Якщо центр фрези перебуває усередині заготовки (див. рис. 6.14 *a*), то

$$S_z = a_{\max} / \sin \varphi.$$

При розташуванні центру фрези поза заготовкою (див. рис. 6.14 *б*)

$$S_z = (1/K_S)(a_{\max} / \sin \varphi).$$

де K_S – коефіцієнт, що залежить від співвідношення t/D :

| | | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| t/D | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45; |
| $1/K_S$ | 3,57 | 2,29 | 1,67 | 1,40 | 1,25 | 1,15 | 1,09 | 1,05 | 1,02 | 1,01. |

У загальному випадку величину подачі на зуб можна вибрати за методикою, викладеної в каталогах.

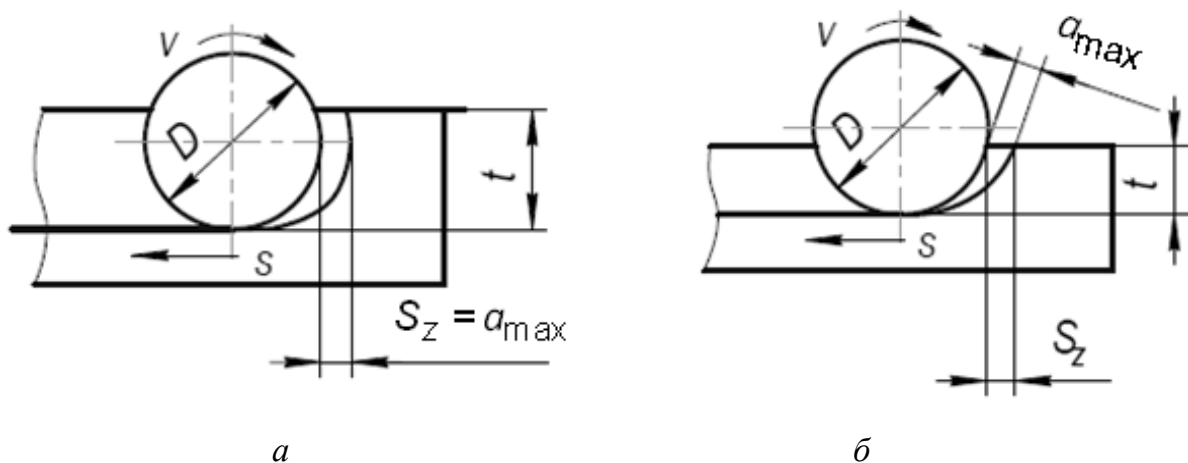


Рисунок 6.14 – Максимальна товщина стружки залежно від розташування фрези:
a – центр фрези усередині заготовки; *б* – центр фрези поза заготовкою

Як приклад, у табл. 6.7 надано рекомендації з вибирання подач для найпоширеніших фрез та пластин.

Таблиця 6.7 – Величина подачі при фрезеруванні

| Тип фрези | Тип пластини | Характеристика пластини | Подача на зуб S_z , мм/зуб | Товщина стружки a_c , мм |
|-----------|--------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Торцеві | SEAN | Високоточна | 0,17 | 0,12 |
| | SEKN | Гострокромочна | 0,17 | 0,12 |
| | SEKN | Кромки з закругленням | 0,17 | 0,12 |
| | SEKN | Кромки з фасками | 0,24 | 0,17 |
| | SEKN | Кромки з фасками та закруглен. | 0,24 | 0,17 |
| | SNKN | Стандартна | 0,26 | 0,25 |
| | SNGN | Радіус при вершині | 0,20 | 0,19 |
| | SPKN | Стандартна | 0,18 | 0,17 |
| | SPKR | Криволінійна різальна кромка | 0,26 | 0,25 |
| | SPGN | Радіус при вершині | 0,15 | 0,15 |
| | TPKN | Стандартна | 0,17 | 0,17 |
| | TPKR | Криволінійна різальна кромка | 0,25 | 0,25 |
| | TPGN | Радіус при вершині | 0,12 | 0,12 |
| | TNAF | Точна з лункою | 0,17 | 0,12 |
| | TNKF | Стандартна з лункою | 0,17 | 0,12 |
| | TNAN | Точна плоска | 0,20 | 0,14 |
| | TNKN | Стандартна плоска | 0,20 | 0,14 |
| | SBAN | Чистова | 0,17 | 0,17 |
| Кінцеві | ZDGW | | 0,12 | 0,12 |
| | ZDCW | | 0,12 | 0,12 |
| | ZPCW | | 0,15 | 0,15 |

Вихідними даними для призначення швидкості різання при фрезеруванні є:

- величина головного кута в плані φ ;
- марка оброблюваного матеріалу та його твердість;
- марка інструментального матеріалу;
- подача на оберт $S_0 = S_z z$, мм/об;
- необхідний період стійкості $T_{ХВ}$, хв.

Дійсна швидкість різання

$$V_{ш} = V_{ш,0} K_{нв} K_T.$$

де $V_{ш,0}$ – початкова швидкість різання, визначається залежно від оброблюваного матеріалу, подачі на зуб або максимальної товщини стружки за каталогами.

Як приклад у табл. 6.8 наведено значення початкової швидкості різання, питомої сили різання й величини подачі за ISO для групи різання P10.

Таблиця 6.8 – Початкові значення сили й швидкостей різання при фрезеруванні

| ISO | | Матеріал | СМС | Сталі та сплави по ДСТУ | Тверд- доть, НВ | Питома сила різання, Н/мм ² | Марка твердих сплавів СМ30М | | |
|-----|------|------------------|------|--|-----------------------|---|--|-----|-----|
| Гр. | Пгр. | | | | | | Подача S_z , мм/зуб | | |
| | | | | | 0,1 | 0,2 | 0,3 | | |
| | | | | | | | Швидкість різання V_{III} , м/хв | | |
| P | P 10 | Нелеговані сталі | | | | | | | |
| | | C=0.25-0.55% | 01.2 | Ст4, Ст5, Ст6 - група Б, 30, 35, 30Г, 35Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 47ГГ, 50, А30, А35, А40, А35Е, А45Е, АС40, АС35Г2, АС40Г2 | 150 | 1600 | 310 | 250 | 210 |
| | | C=0.55-0.8% | 01.3 | 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А | 170 | 1700 | 290 | 245 | 190 |

$K_{НВ}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує різницю у твердості оброблюваного матеріалу та матеріалу, використовуваного при розробці нормативів різання (див. табл. 1.13);

K_T – поправковий коефіцієнт на справжній час контакту зубів фрези із заготовкою. Дійсний час T_d контакту зубів фрези із заготовкою визначають як

$$T_d = T L_k / (\pi D),$$

де L_k – реальна дуга контакту фрези із заготовкою; D – діаметр фрези; T – період стійкості, хв. Відношення $L_k / (\pi D)$ з достатньою для розрахунку точністю можна визначити графічно. Якщо ширина фрезерування дорівнює діаметру фрези, то навіть у цьому випадку дійсний час контакту зубців фрези з заготовкою T_d складе тільки половину періоду стійкості T , отже, зношування пластин визначається тільки значенням T_d , яке завжди менше необхідного періоду стійкості.

Коефіцієнт K_T вибирають, виходячи з отриманого T_d :

| | | | | | | | |
|-------|------|-----|------|------|------|------|-------|
| T_d | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 45 | 60; |
| K_T | 1,10 | 1,0 | 0,95 | 0,90 | 0,87 | 0,80 | 0,75. |

Відповідність між величинами твердості, яка була обмірена різними методами, може бути визначена з табл. 1.14.

Питома сила різання, $H/\text{мм}^2$, при фрезеруванні

$$K_{c\phi} = K_c a_c^{-m_c},$$

де K_c – питома сила різання (див. табл. 6.8); m_c – степеневий показник залежності питомої сили різання від товщини стружки (табл. 6.9); a_c – середня товщина стружки, мм;.

Потрібну потужність різання визначають за формулою:

$$P_c = \frac{BtS_{xв}K_{c\phi}}{60 \cdot 10^6 \eta},$$

де B – ширина фрезерування, мм; t – глибина фрезерування, мм; $S_{xв}$ – хвилинна подача, що дорівнює $S_z \cdot n \cdot z$, мм/хв; η – ККД верстата (для більшості верстатів $\eta = 0,8$).

Вибір потужності електродвигуна верстата

Розрахована потрібна потужність різання (табл. 6.9) не повинна перевищувати потужності на шпинделі верстату $N_{шп}$,

$$N_p \leq N_{шп}.$$

Потужність на шпинделі верстату

$$N_{шп} = N_{вер} \eta,$$

де $N_{вер}$ – потужність електродвигуна верстату; η – ККД верстату. У випадку, якщо потужність електродвигуна верстату недостатня, слід зменшити один з елементів режиму різання.

Можливі такі варіанти:

1. Зменшити глибину різання за рахунок введення додаткового проходу.
2. Зменшити величину подачі.
3. Зменшити швидкість різання.

У кожному разі неминуче збільшення витрат часу на обробляння. Слід вибрати варіант, при якому це збільшення буде найменшим.

Таблиця 6.9 – Степеневий показник залежності питомої сили різання

| m_c | Значення параметру $a_c^{-m_c}$ | | | | | | | | | | |
|-------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | Середня товщина стружки a_c , мм | | | | | | | | | | |
| | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 |
| 0,21 | 2,27 | 1,88 | 1,62 | 1,49 | 1,40 | 1,34 | 1,29 | 1,25 | 1,21 | 1,187 | 1,16 |
| 0,23 | 2,46 | 1,99 | 1,70 | 1,55 | 1,45 | 1,38 | 1,32 | 1,27 | 1,23 | 1,20 | 1,17 |
| 0,25 | 2,66 | 2,11 | 1,78 | 1,61 | 1,50 | 1,41 | 1,35 | 1,30 | 1,26 | 1,22 | 1,19 |
| 0,28 | 2,99 | 2,31 | 1,91 | 1,70 | 1,57 | 1,47 | 1,40 | 1,34 | 1,29 | 1,25 | 1,21 |

Величина машинного часу на обробляння розраховується за формулою

$$T_{\text{хв}} = \frac{L}{S_{\text{хв}}},$$

де L – довжина обробляння, мм; $S_{\text{хв}}$ – хвилинна подача, мм/хв.

Приклад. Вибрати фрезу, різальні пластини та призначити режими різання при фрезеруванні площини шириною 50 мм і довжиною 200 мм на заготовці зі сталі 45 твердістю НВ190; припуск під обробляння – 5 мм. Необхідна стійкість $T_i = 30$ хв. Необхідна шорсткість обробленої поверхні $R_a = 1,25$. Умови обробляння – нормальні.

Послідовність дій:

1. За рекомендаціями виробників вибираємо торцеву фрезу Modulmill 145, яка забезпечує високу продуктивність, добрі технологічні можливості. Фреза є простою за конструкцією, має самоустановлювальні різальні пластини з кутом $\varphi = 45^\circ$ і кількістю зубів $z = 6$. Діаметр фрези повинен бути в 1,2...1,5 рази більшим за ширину обробляння. Ухвалюємо $D = 60$ мм.

2. Вибираємо різальну пластину розміром 12 мм класу точності К та форму різальної крайки пластини з від'ємною фаскою Т (приклад позначення: SEKN 12 04 Т). Пластина має додатню геометрію.

3. З табл. 6.5 для сталі 45 (група різання Р10) вибираємо різальну пластину із твердого сплаву СМ30М.

4. За рекомендаціями табл. 6.7 для пластин SEKN 12 04 Т вибираємо подачу $S_z = 0,24$ мм/зуб.

5. Справжня швидкість різання $V_{ш} = V_{ш.о} K_{НВ} K_T$.

Початкова швидкість різання $V_{ш.о}$ визначається з табл. 6.8 для подачі на зуб 0,24 (значення між 0,2 і 0,3 мм/зуб). Для сплаву СМ30М вона знаходиться між значеннями швидкостей 250 і 210 м/хв.

Застосувавши інтерполяцію, знаходимо $V_{ш.о} = 234$ мм/хв. Це значення швидкості відповідає нормативному значенню матеріалу НВ150. У нашій прикладі матеріал має твердість НВ 190. Отже, перевищення твердості над нормативним значенням складе: $190 - 150 = 40$ одиниць і поправковий коефіцієнт $K_{НВ} = 0,9$ (див. табл. 1.13). Нормативне значення стійкості прийнято 15 хв. Потрібно забезпечити стійкість 20 хв. Дійсний час контакту зубів фрези із заготовкою визначається за формулою

$$T_d = T L_k / (\pi D),$$

де L_k – реальна дуга контакту фрези із заготовкою – при $D = 60$ мм і ширині фрезерування 50 мм складе близько $1/3$ кола фрези. Отже,

$$L_k / (\pi D) = 1/3$$

і

$$T_d = 30 \cdot 1/3 = 10 \text{ хв.}$$

При дійсному часі, що дорівнює 10 хв, $K_T = 1,1$. Справжня швидкість різання $V_{ш} = 234 \cdot 0,9 \cdot 1,1 = 231,7$ м/хв.

6. Частота обертання шпинделя визначається за формулою

$$n = 1000 V_{ш} / (\pi D) = 1000 \cdot 231,7 / (3,14 \cdot 60) = 1229,83 \text{ об/хв.}$$

Ухвалюємо $n_{\text{ш}} = 1000$ об/хв.

7. Хвилинна подача столу

$$S_{\text{хв}} = S_z z n = 0,24 \cdot 6 \cdot 1000 = 1440 \text{ мм/хв.}$$

Ухвалюємо $S_{\text{хв}} = 1250$ мм/хв.

8. Потрібна потужність різання визначається за формулою

$$P_c = \frac{Bt S_{\text{хв}} K_c}{60 \cdot 10^6 \eta} a_c^{-m_c} = \frac{50 \cdot 5 \cdot 1440 \cdot 1600}{60 \cdot 10^6 \cdot 0,8} 0,17^{-0,21} = 17,4 \text{ кВт,}$$

де K_c – питома сила різання, $K_c = 1600$ Н/мм² (див. табл. 6.8).

Розрахована потрібна потужність різання N_p не повинна перевищувати потужності на шпинделі верстату $N_{\text{шп}}$: $N_p \leq N_{\text{шп}}$. Потужність на шпинделі верстату $N_{\text{шп}} = N_{\text{вер}} \eta$.

9. Величина машинного часу на обробляння розраховується за формулою

$$T_{\text{хв}} = \frac{L}{S_{\text{хв}}} = 221/1440 = 0,15 \text{ хв,}$$

де L – довжина обробляння – $L = 200$ мм; на врізання ухвалюємо $0,3D$; на перебіг – 3 мм. Тоді: $L = 200 + 18 + 3 = 221$ мм.

РОЗДІЛ 7 ПРОТЯГУВАННЯ

Протягування – процес оброблення багатолезовим інструментом при поступальному головному русі різання та відсутності руху подачі. Протягування здійснюються протяжками. Протяжки – це багатозубцеві високопродуктивні інструменти стрижневого типу, які застосовуються для оброблення внутрішніх отворів різних форм, а також зовнішніх поверхонь із відкритим незамкнутим контуром. Досяжна точність оброблення протягуваннями – 6...7-й квалітет, шорсткість $R_a = 0,32...0,63$ мкм.

Внутрішнє протягування найбільш широко застосовується для оброблення різних отворів: циліндричних, круглих з пазами або площинами, квадратних, прямокутних, багатогранних, шліцьових з різним профілем, а також прямих і гвинтових канавок, шпонкових пазів і інших внутрішніх профільних отворів у деталях машин.

Зовнішнє протягування найчастіше використовується при протягуванні площин, фасонних поверхонь замість процесу фрезерування, стругання та шліфування.

Різновидом протягування є прошивання отворів, пазів і інших поверхонь, якщо інструмент проштовхується й працює на стиск, на відміну від протягування, яке характеризується деформацією розтягування.

Класифікація протяжок

1. Залежно від прийнятої схеми різання протяжки розподіляються на протяжки, що працюють за одинарною та за груповою схемою різання (рис. 7.1 а).

2. За методом формування обробленої поверхні протяжки розподіляються на профільні та генераторні (рис. 7.1 б).

3. За профілем оброблюваної поверхні протяжки можуть бути: круглі, шліцьові, грановані, шпонкові, зовнішні.

4. За конструкцією розрізняють цільні з швидкорізальної сталі (рис. 7.2) і збірні твердосплавні (див. рис. 7.11).

5. За розташуванням зубів щодо осі протягування їх розподіляють на протяжки із прямими, похилими, гвинтовими зубами. Вибірання різального інструменту для протягування здійснюється покроково:

1. Вибірання схеми різання та методу утворення профілю при протягуванні.
 2. Вибірання типу, конструктивних і геометричних параметрів протяжки.
 3. Вибірання матеріалу різальної частини та режимів різання.
- Розглянемо кожний крок докладніше.

7.1. Вибірання схеми різання та методу утворення профілю при протягуванні

Зрізання припуску протяжками, що працюють за одинарною схемою різання, проводиться кожним зубом протяжки за рахунок перевищення висоти кожного наступного зуба (величина подачі S) стосовно попереднього. При груповій схемі різання всі зуби протяжки розподілено на групи по два або більше зубів, що мають однакові розміри в межах групи, і подача дається на групу зубів (див. рис. 7.1 *a*).

Протяжки, що працюють за груповою схемою різання, мають більшу стійкість, мають меншу довжину та забезпечують значне зниження сили різання в порівнянні із протяжками одинарного різання.

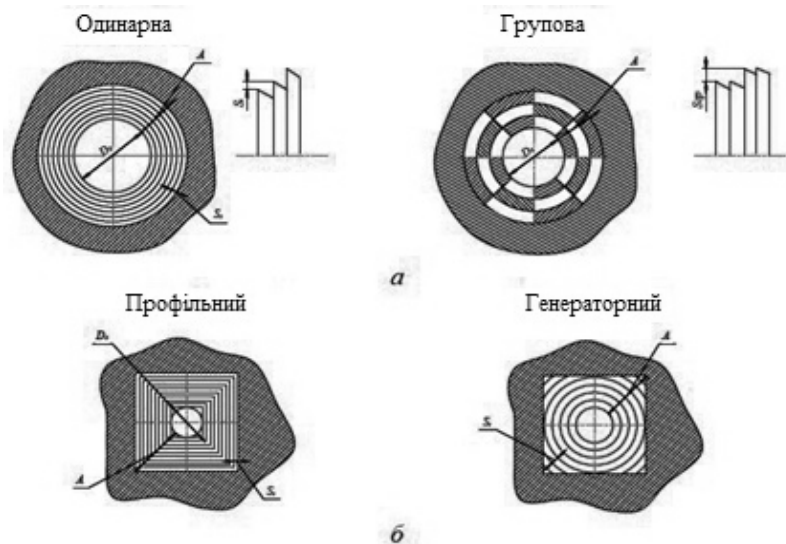


Рисунок 7.1 – Схеми різання (*a*) та методи утворення профілю (*б*) при протягуванні

Профіль оброблюваних деталей можна утворювати профільним (подібність), генераторним (послідовний) і комбінованим методами.

При оброблянні за профільним методом всі зуби протяжки мають профіль, подібний до профілю остаточно обробленої поверхні. При генераторному методі профіль зубів не відповідає профілю остаточно обробленої деталі, і розміри протягнутої поверхні формуються під впливом допоміжних різальних кромок усіх зубів (рис. 7.1, б). Комбінований метод при протягуванні використовується порівняно рідко.

Обидва методи (профільний і генераторний) застосовуються при одинарній схемі різання, і їм властиві всі недоліки цієї схеми. Однак генераторний метод утворення профілю при протягуванні особливо складних фасонних поверхонь дозволяє спростити технологію протягування та знизити трудомісткість виготовлення зубів протяжки.

Вибирання методу утворення профілю при протягуванні залежить від форми та розмірів оброблюваних деталей. Для протягування фасонних поверхонь, гранованих отворів рекомендують застосовувати генераторний метод; при протягуванні циліндричних отворів його, як правило, не використовують.

7.2. Вибирання типу, конструктивних і геометричних параметрів протяжок

7.2.1. Круглі протяжки

Основні конструктивні параметри протяжок з швидкорізальної сталі одинарної схеми різання для оброблення круглого отвору із двома площинами представлено на рис. 7.2.

Протяжки круглі змінного різання виготовляються діаметрами $d = 10 \dots 13$ мм, $L = 360 \dots 420$ мм (ДСТУ 20364-88) і $d = 14 \dots 90$ мм, $L = 60 \dots 1380$ мм (ДСТУ 20365-88).

Основні типи й розміри хвостовиків круглих протяжок за ДСТУ 4044-70 наведено на рис. 7.3 і в табл. 7.1. Хвостовики можуть виконуватися разом із протяжками (цільні протяжки), приварюватися до неї (зварені протяжки) або механічно прикріплюватися.

Форми й розміри стандартизованих профілів зубів і стружкових канавок круглих протяжок за ДСТУ 20365-74 наведено на рис. 7.4 і в табл. 7.2. Дані, наведені в табл. 7.2, вимагають уточнення в кожному конкретному випадку оброблення.

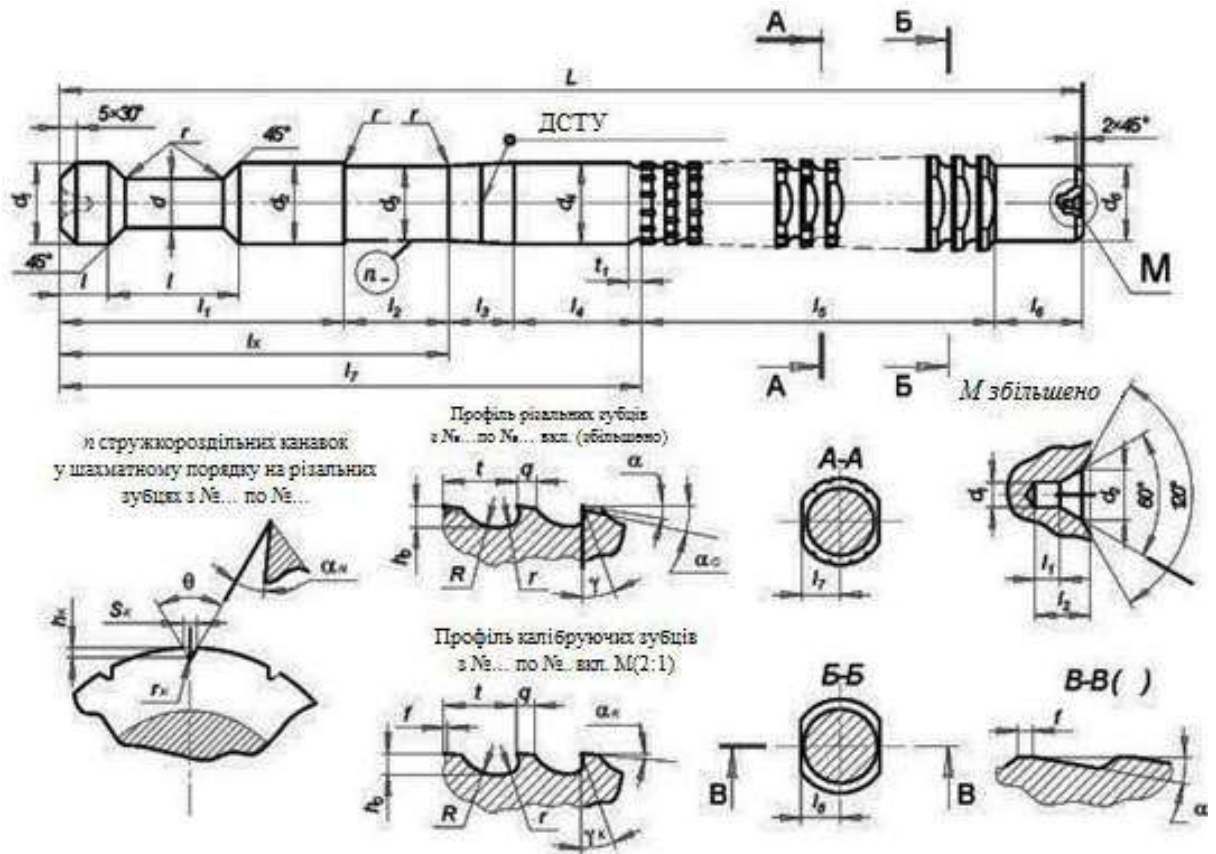


Рисунок 7.2 – Протяжка для оброблення отвору із двома площинами

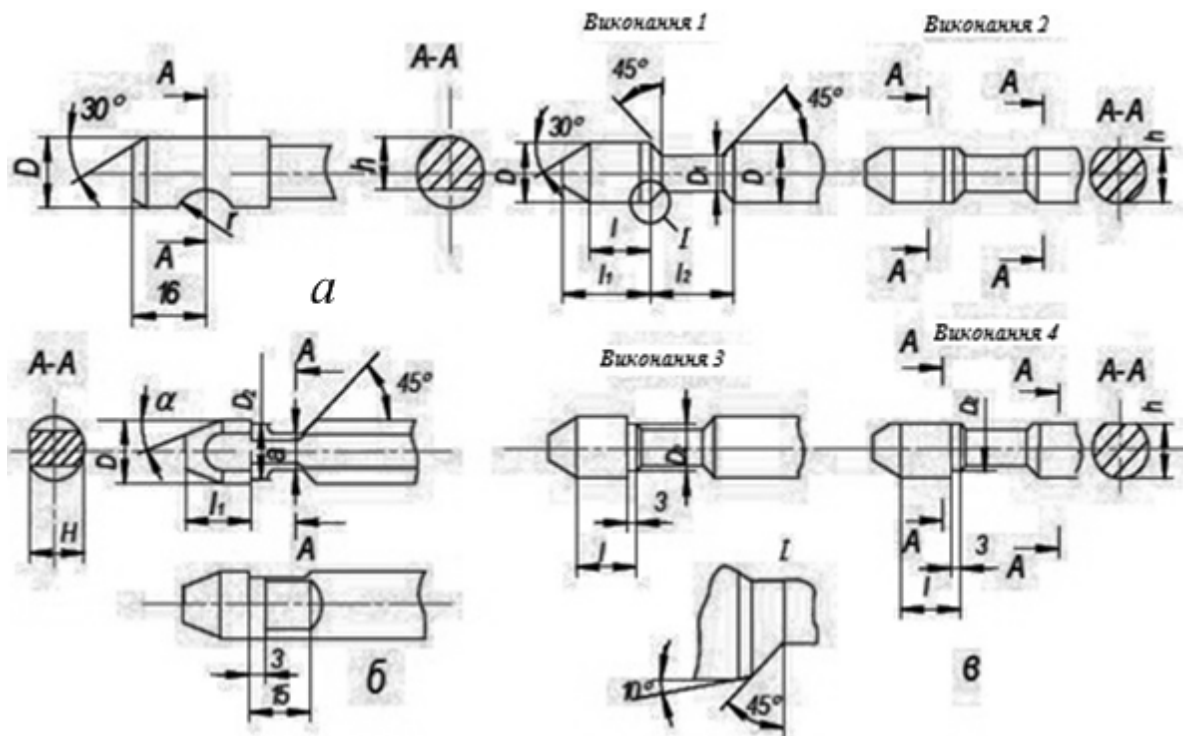


Рисунок 7.3 – Хвостовики для круглих протяжок

Таблиця 7.1 – Розміри хвостовиків для круглих протяжок, мм

| Тип 1 (рис. 7.3, а) | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D | 5 | 5.5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| h | 3,4 | 3,8 | 4,0 | 4,7 | 5,4 | 6,0 | 6,8 | 7,5 |
| r | 3 | | | 4 | | | 5 | 6 |
| $f, \text{мм}^2$ | 14,3 | 17,6 | 20,1 | 27,6 | 36,3 | 45,3 | 57,2 | 69,4 |

| Тип 2 (рис. 7.3, б) | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D | 4 | 5 | 5.5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| D_2 | 3,8 | 4,8 | 5,3 | 5,8 | 6,8 | 7,8 | 9,8 | 11,7 | 13,7 | 15,7 | 17,7 |
| a | 2 | 3 | 3,3 | 4 | 4,2 | 5 | 6 | 8 | 8 | 10 | 12 |
| d | 3,7 | 4,6 | 5,1 | 5,6 | 6,5 | 7,5 | 9,5 | 11,5 | 13,5 | 15,5 | 17,5 |
| L_1 | 16 | | | | | | 20 | | | | |
| $f, \text{мм}^2$ | 6,6 | 13,2 | 15,8 | 20,9 | 23,8 | 35,4 | 61,5 | 85,2 | 96,1 | 145 | 193 |

| Тип 3 (рис. 7.3, в) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|
| D | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 25 | 28 | 32 | 36 | 40 | 45 | 50 | 56 | 63 | 70 | 80 | 90 |
| D_1 | 8 | 9,5 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 22 | 25 | 28 | 32 | 34 | 38 | 42 | 48 | 53 | 60 | 70 |
| l | 12 | | | 16 | | | | 20 | | | | | 25 | | 32 | | | |
| l_1 | 17 | | | 21 | | | | 32 | | | | | 40 | | 50 | | | |
| l_2 | 20 | | | 25 | | | | 32 | | | | | 40 | | 50 | | | |
| h | 10,5 | 12,5 | 14,0 | 16,0 | 17,0 | 19,0 | 21,5 | 24,0 | 27,5 | 31,0 | 34,5 | 39,0 | | | | | | |
| $f, \text{мм}^2$ | 50,3 | 70,9 | 95,0 | 32,7 | 76,7 | 227,0 | 283,5 | 380,1 | 490,9 | 615,7 | 804,2 | 907,9 | | | | | | |

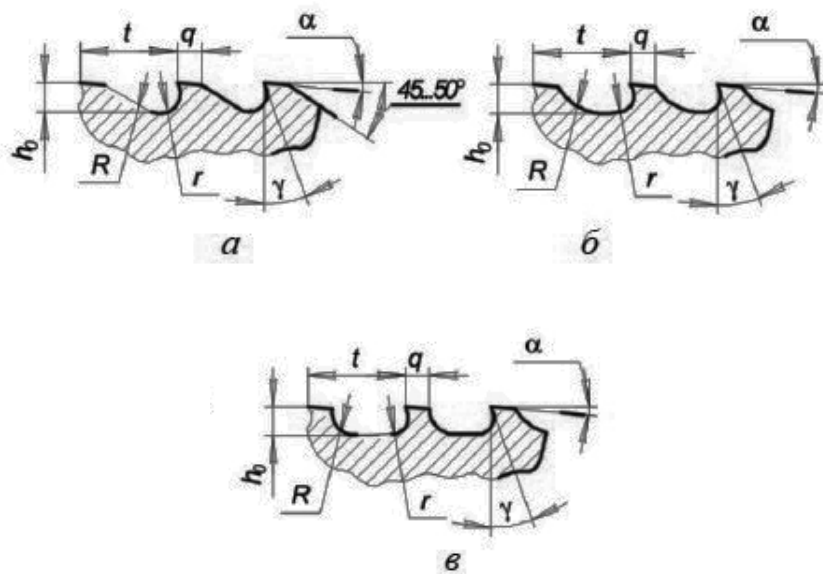


Рисунок 7.4 – Форми стружкових канавок протяжок:
 а – із прямолінійною спинкою; б – із криволінійною спинкою;
 в – з канавкою подовженої форми

Таблиця 7.2 – Розміри стружкових канавок

| t , мм | Розміри канавок з криволінійною спинкою, мм | | | |
|----------|---|-----|-----|------|
| | h_0 | R | g | R |
| 4,0 | 1,6 | 0,8 | 1,5 | 2,5 |
| 4,5 | 1,6 | 0,8 | 2,0 | 2,5 |
| 5,0 | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 3,0 |
| 5,5 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 3,5 |
| t , мм | Розміри канавок з криволінійною спинкою, мм | | | |
| | h_0 | R | g | R |
| 6,0 | 2,5 | 1,3 | 2,0 | 4,0 |
| 6,5 | 2,5 | 1,3 | 2,5 | 4,0 |
| 7,0 | 3,0 | 1,5 | 2,5 | 4,5 |
| 7,5 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 4,5 |
| 8,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 5,0 |
| 8,5 | 3,0 | 1,5 | 3,5 | 5,0 |
| 9,0 | 3,5 | 1,8 | 3,5 | 5,5 |
| 9,5 | 3,5 | 1,8 | 3,5 | 6,0 |
| 10,0 | 4,0 | 2,0 | 3,0 | 7,0 |
| 11,0 | 4,0 | 2,0 | 4,0 | 7,0 |
| 12,0 | 5,0 | 2,5 | 4,0 | 8,0 |
| 13,0 | 5,0 | 2,5 | 5,0 | 8,0 |
| 14,0 | 6,0 | 3,0 | 4,5 | 10,0 |
| 15,0 | 6,0 | 3,0 | 5,5 | 10,0 |
| 16,0 | 7,0 | 3,5 | 5,0 | 11,0 |
| 17,0 | 7,0 | 3,5 | 6,0 | 11,0 |
| 18,0 | 8,0 | 4,0 | 6,0 | 12,0 |

Примітка. У таблиці наведено розміри стружкових канавок з криволінійними спинками. Розміри канавок інших профілів можна визначити за формулами:

$$h_0 = (0,3...0,6)t; q = (0,2...0,35)t; R = (0,65...0,8)t; r = (0,5...0,65)h_0.$$

7.2.2. Шліцьові протяжки

Протягування шліцьових отворів із прямобічним, трапецеїдальним, евольвентним і трикутним профілями широко використовуються в машинобудуванні, тому що через складну форму таких отворів оброблення їх протягуванням є кращим за інші способи (довбання, стругання і т.п.).

Більш ефективним є комбіноване протягування, при якому усі елементи шліцьового отвору протягуються однією протяжкою (рис. 7.5).

Комбіновані протяжки (ДСТУ 24818-81) з прямобічним профілем і з центруванням за зовнішнім діаметром мають розміри: $z \times d_1 \times D$ ($6 \times 21 \times 25...6 \times 28 \times 34$); $L = 700...1125$ мм. Комбіновані протяжки (ДСТУ 24819-81) із прямобічним профілем і з центруванням за зовнішнім діаметром мають розміри: $z \times d_1 \times D$ ($6 \times 13 \times 16...6 \times 28 \times 34$); $L = 375...1100$ мм.

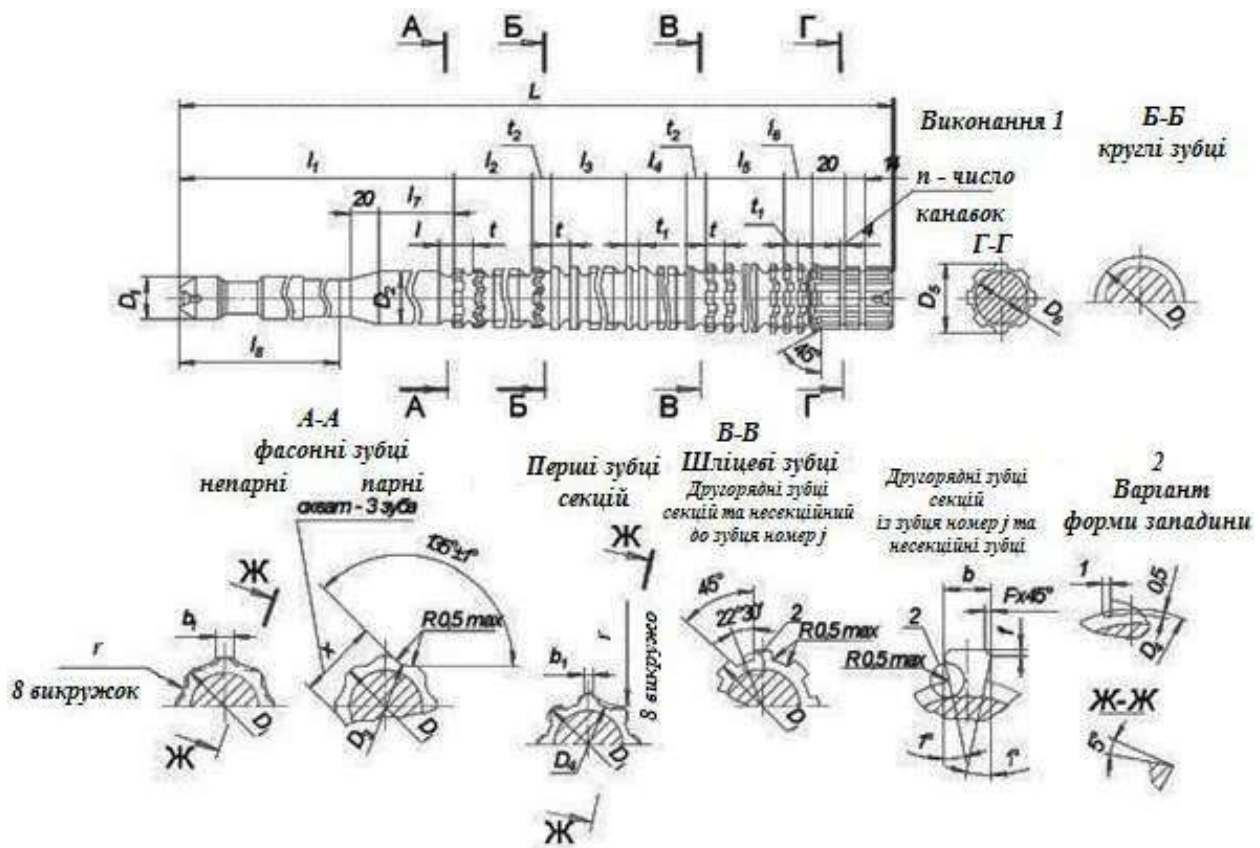


Рисунок 7.5 – Протяжка для 8-шліцевого отвору

Комбіновані протяжки 8-шліцеві (ДСТУ 24820-81) із прямобічним профілем та центруванням за зовнішнім діаметром мають розміри: $z \times d_1 \times D$ ($8 \times 32 \times 36 \dots 8 \times 62 \times 68$); довжину $L = 925 \dots 1625$ мм.

Комбіновані протяжки 6-шліцеві (ДСТУ 25969-83) із прямобічним профілем та центруванням за внутрішнім діаметром мають розміри: $z \times d_1 \times D$ ($6 \times 21 \times 25 \dots 6 \times 28 \times 34$); довжину $L = 850 \dots 1125$ мм.

Комбіновані протяжки (ДСТУ 25157-82 і ДСТУ 25158-82) з евольвентним профілем з центруванням за зовнішнім діаметром мають розміри: $D \times m$ (12×1 ; 14×1 ; $15 \times 1 \dots 90 \times 2,5$); довжину $L = 475 \dots 1500$ мм.

7.2.3. Шпонкові протяжки

Протяжки шпонкові за ДСТУ 18217-90 застосовуються для оброблення шпонкових пазів шириною $b = 6 \dots 50$ мм, висотою $H = 16 \dots 60$ мм, довжиною $l = 565 \dots 1550$ мм з хвостовиками типу 1 (з тонким тілом) (рис. 7.6 а, табл. 7.3).

Протяжки за ДСТУ 18218-90 виготовляються з хвостовиками типу 2 (зі стовщеним тілом) для оброблення пазів: $b = 3 \dots 10$ мм; $H = 6 \dots 22$ мм; $l = 475 \dots 1150$ мм (рис. 7.6 б).

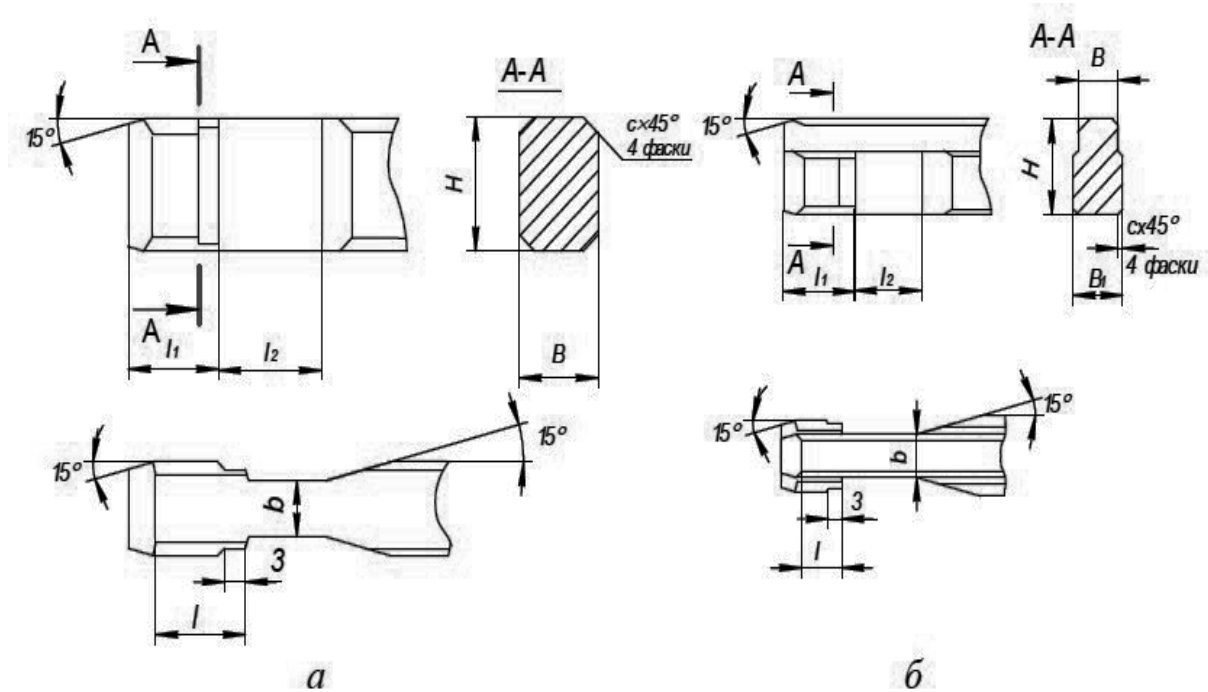


Рисунок 7.6 – Хвостовики плоскі: а – тип 1; б – тип 2

Таблиця 7.3 – Розміри плоских хвостовиків, мм

| Тип 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| B | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 25 | 28 | 32 | 36 | 40 | 45 | 50 |
| b | 2,4 | 3,2 | 4 | 4,5 | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 13 | 15 | 16,5 | 18 | 19 | 21 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 |
| H | 7 | 11 | 15 | 16 | 18 | 22 | 28 | 30 | 36 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | | | | | | |
| l | 14 | | | 17 | | | 20 | | | 28 | | | | | | | | | | |
| l₁ | 20 | | | 25 | | | 30 | | | 40 | | | | | | | | | | |
| l₂ | 16 | | | 18 | | | 22 | | | 28 | | | 36 | | | | | | | |

| Тип 2 | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|--------|---|---|----|----|----|----|----|
| B | 2 | 2,5(3) | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
| B₁ | 3 | 4 | | 6 | 8 | 10 | | 12 | 15 |
| b | 1,5 | 2,5 | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
| H | 4 | 5 | 6 | 7 | 11 | 15 | 16 | 18 | 22 |
| l | 14 | | | | | | | | |
| l₁ | 20 | | | | | | | | |
| l₂ | 16 | | | | | | | | |

Розміри шпонкової протяжки за ДСТУ 18217-90 наведено на рис. 7.7 і в табл. 7.4.

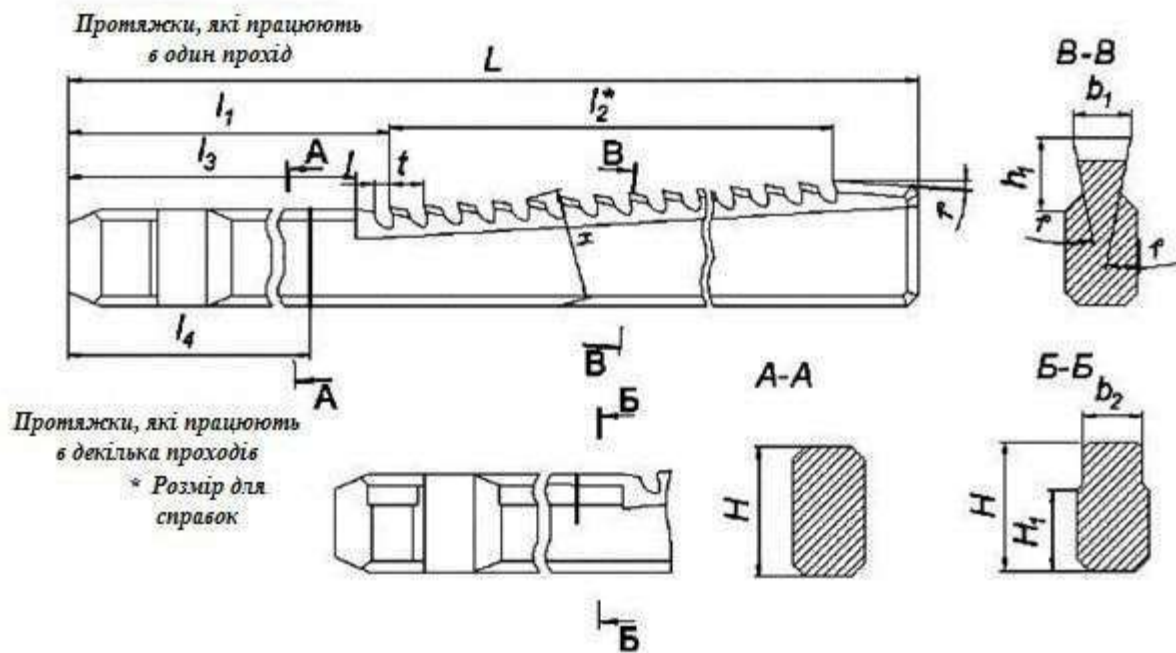


Рисунок 7.7 – Протяжка шпонкова

Таблиця 7.4 – Розміри шпонкової протяжки, мм

| Ширина шпонкового пазу b | b_1 | b_2 | H | H_1 | h_1 | L | l | l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | t | Число зубців |
|----------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|--------------|
| 6 | 6,015 | 5,97 | 15 | 11 | 5 | 565 | 4,8 | 260 | 294 | 252 | 185 | 7 | 24...54 |
| 50 | 50,17 | 50,1 | 60 | 48 | 24 | 154 | 23 | 587 | 113 | 560 | 260 | 32 | |

7.2.4. Грановані протяжки

Грановані протяжки (квадратні, прямокутні, шестигранні й ін.), як правило, працюють за генераторним методом утворювання профілю фасонного отвору. Характерною рисою цих протяжок є змінна довжина периметра різальних лез b_i (рис. 7.8 а), що дозволяє збільшувати подачу на зуб у міру зростання діаметрів різальних зубців. З цією метою всі зуби протяжки розбивають на кілька груп – ступенів, з постійною подачею на зуб у межах кожного ступеню. Звичайно грановані протяжки через більші довжини виготовляють комплектами із двох, трьох і більше штук.

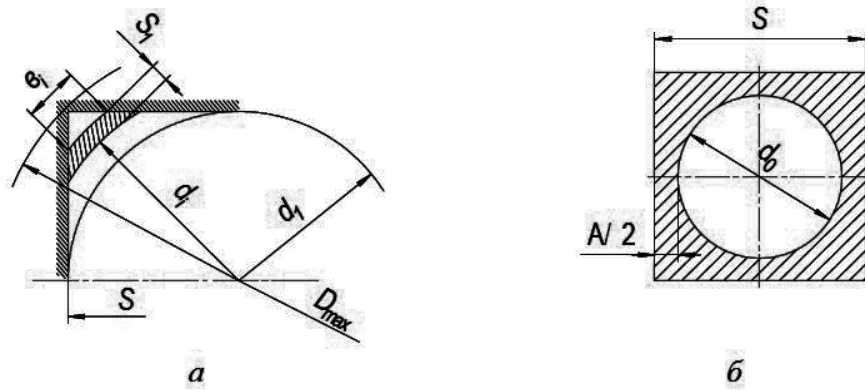


Рисунок 7.8 – Параметри профілю зубців гранованих протяжок

Форма та розміри передньої напрямної та перших зубів протяжки повинні відповідати формі та розмірам отвору (рис. 7.8 б), отриманого на попередньому етапі оброблення. Циліндрична секція протяжки не містить перехідні, запасні та калібрувальні зубці. При цьому перехідні зубці в кожному ступені протяжки призначати необов'язково.

На рис. 7.9 представлено конструктивні особливості квадратної протяжки.

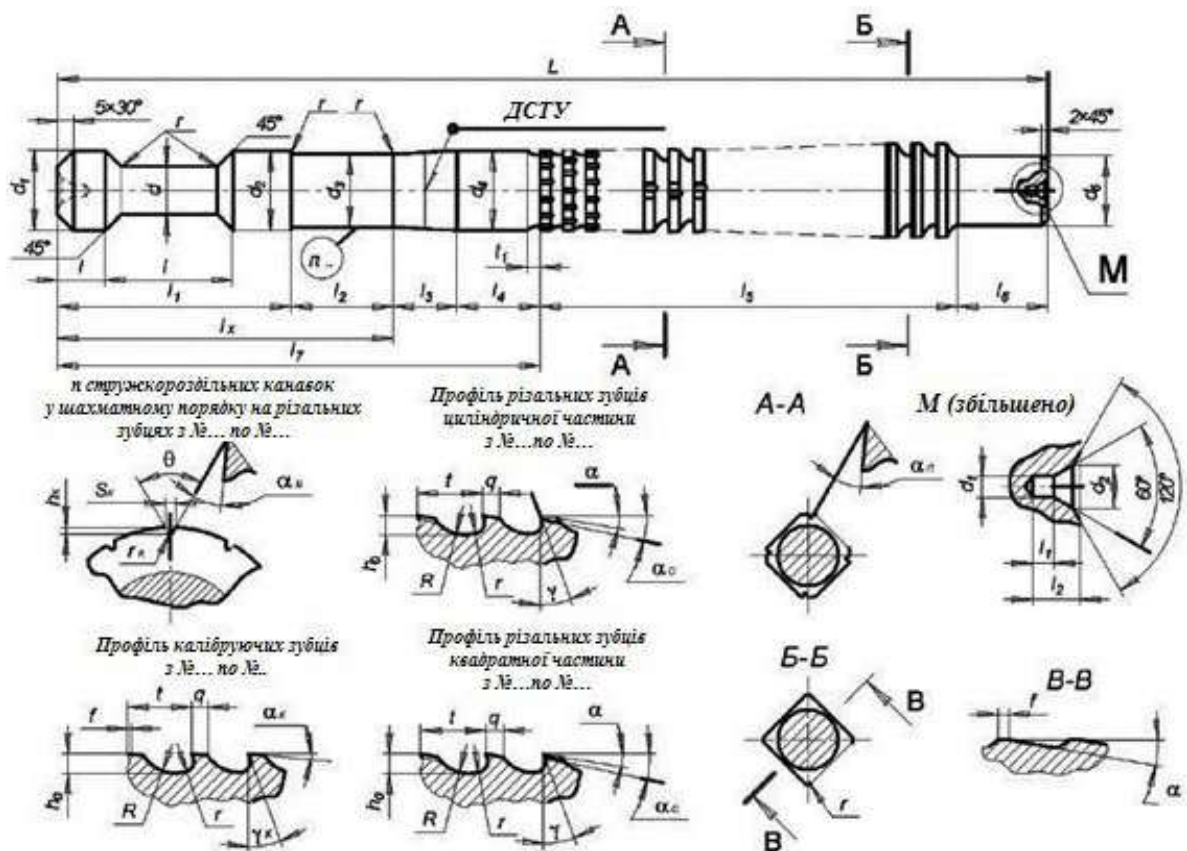


Рисунок 7.9 – Протяжка квадратна

7.2.5. Зовнішні протяжки

Зовнішні протяжки обробляють різні поверхні з незамкнутим, відкритим контуром: площини (рис. 7.10), уступи, пази, складні фасонні поверхні. На відміну від внутрішніх, зовнішні протяжки, як правило, не мають хвостовиків і напрямних, а мають тільки різальні та калібрувальні зубці. Зовнішні протяжки мають набагато більші, близькі до оптимальних, задні кути ($\alpha = 7^\circ \dots 8^\circ$), тому при переточування протяжки розмір зуба за висотою можна регулювати за допомогою клинів, прокладок та ін.

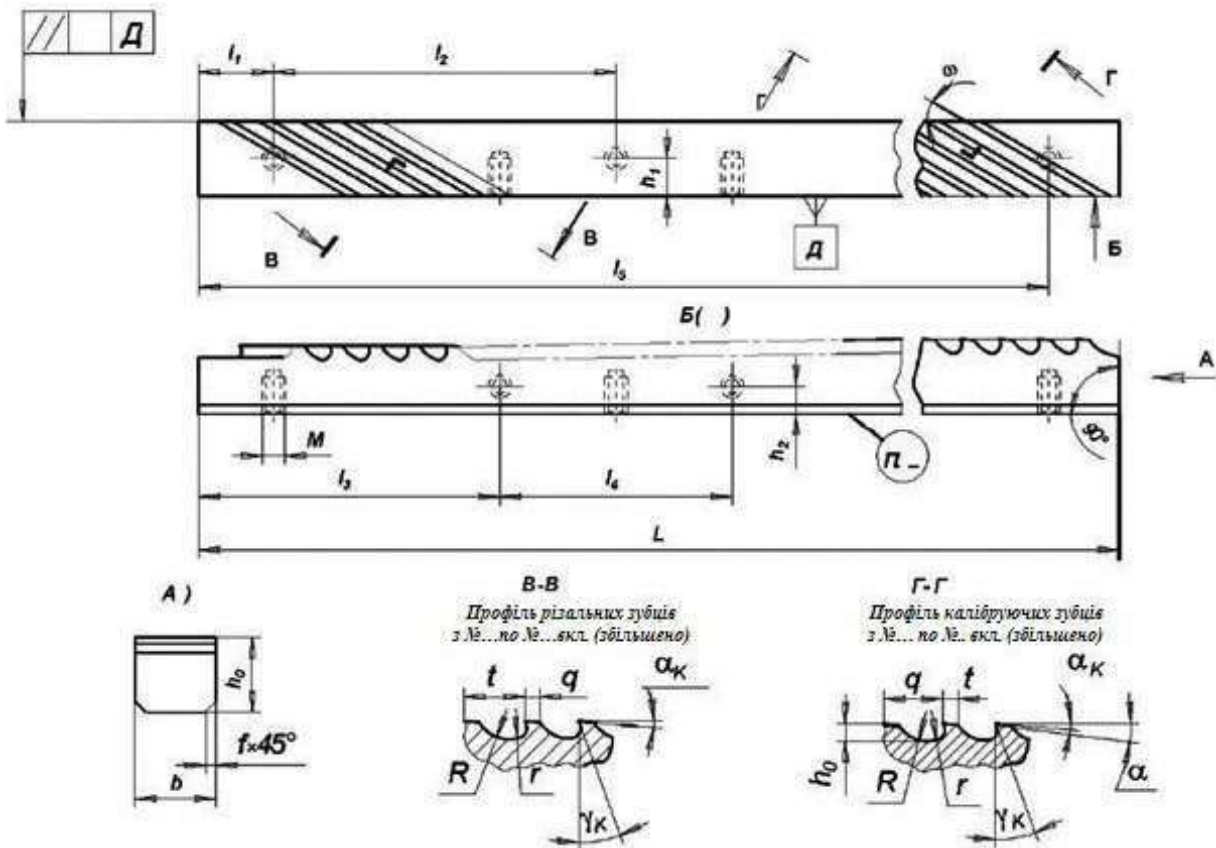


Рисунок 7.10 – Зовнішня протяжка

7.2.6. Твердосплавні протяжки

Основним способом підвищення стійкості та ефективності процесу протягування є застосування твердосплавних протяжок і збільшення швидкості протягування. Традиційне протягування проводиться на низьких швидкостях різання з використанням протяжок із різних марок швидкорізальних сталей. Низька стійкість і мала продуктивність протяжок зі швид-

корізальних сталей є основними причинами, що стримують зростання виробництва якісних деталей машинобудування, особливо виготовлених з важкооброблюваних матеріалів.

У конструкціях внутрішніх протяжок широке застосування знайшло використання твердого сплаву для вигладжування (пластичного деформування) мікронерівностей обробленої поверхні. У цих випадках застосовуються комбіновані різально-вигладжувальні протяжки, у яких після калібрувальних зубців встановлюються вигладжувальні зубці із твердого сплаву в вигляді кілець або блоків. На рис. 7.11 показана збірна протяжка, яка складається із твердосплавних різальних зубців (кілець) з передніми та задніми кутами, а також вигладжувальними зубами сферичної форми із циліндричними поясками f посередині. Діаметр останнього зуба, що вигладжує, ухвалюють таким, що дорівнює максимально можливому розміру обробленого отвору.

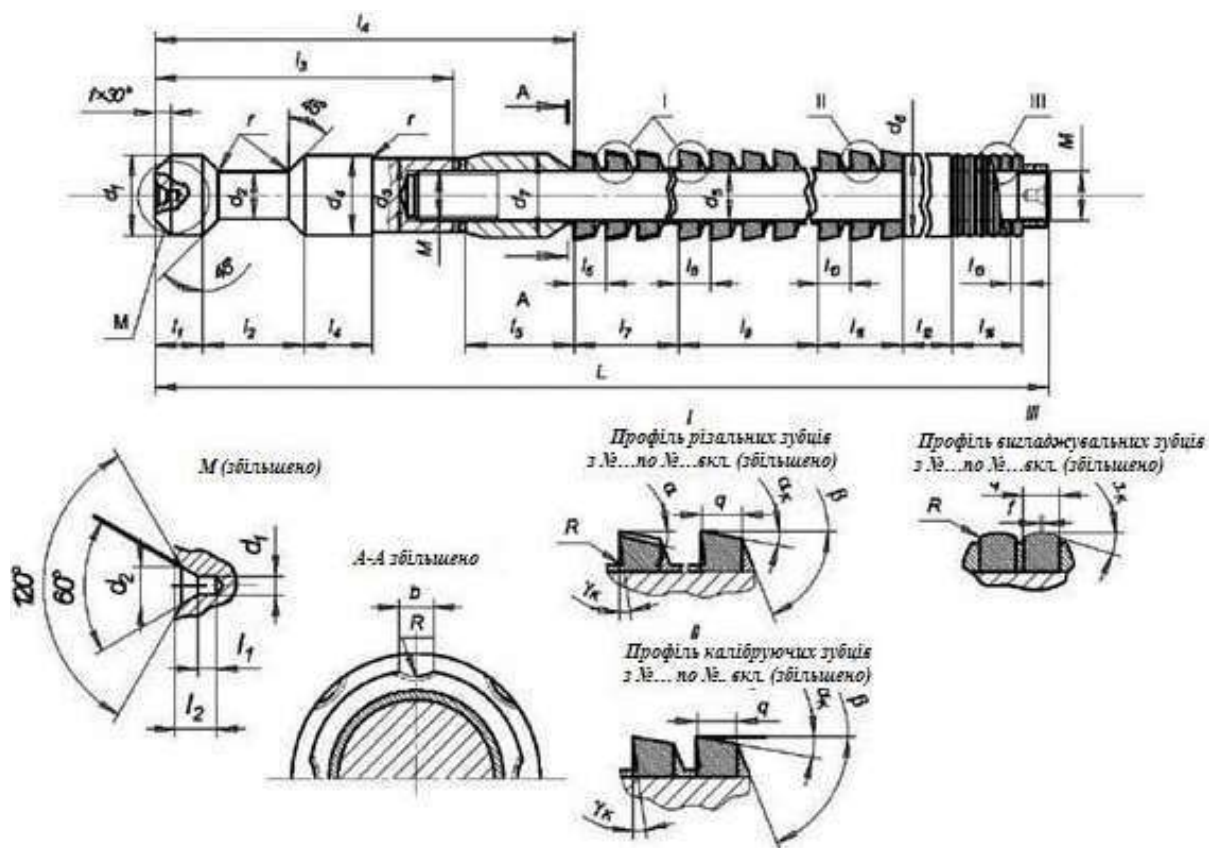


Рисунок 7.11 – Протяжка збірна твердосплавна

За останні роки розроблено конструкції твердосплавних багатосекційних протяжок із різним кріпленням різальних зубців. У збірних зовніш-

ніх протяжках застосовується нероз'ємне (за допомогою пайки) з'єднання різальних зубців з корпусом протяжки (рис. 7.12 *a*), механічне кріплення (рознімне) твердосплавних пластин клином, штифтом (рис. 7.12 *б*), механічне кріплення ножів із твердосплавними пластинами (рис. 7.12 *в*) і з пакетним кріпленням зубців пластин (рис. 7.12 *г*). Геометричні параметри зубців внутрішніх і зовнішніх протяжок зі швидкорізальної сталі представлено в табл. 7.5, твердосплавних протяжок, що працюють на швидкостях різання понад 30 м/хв, у табл. 7.6.

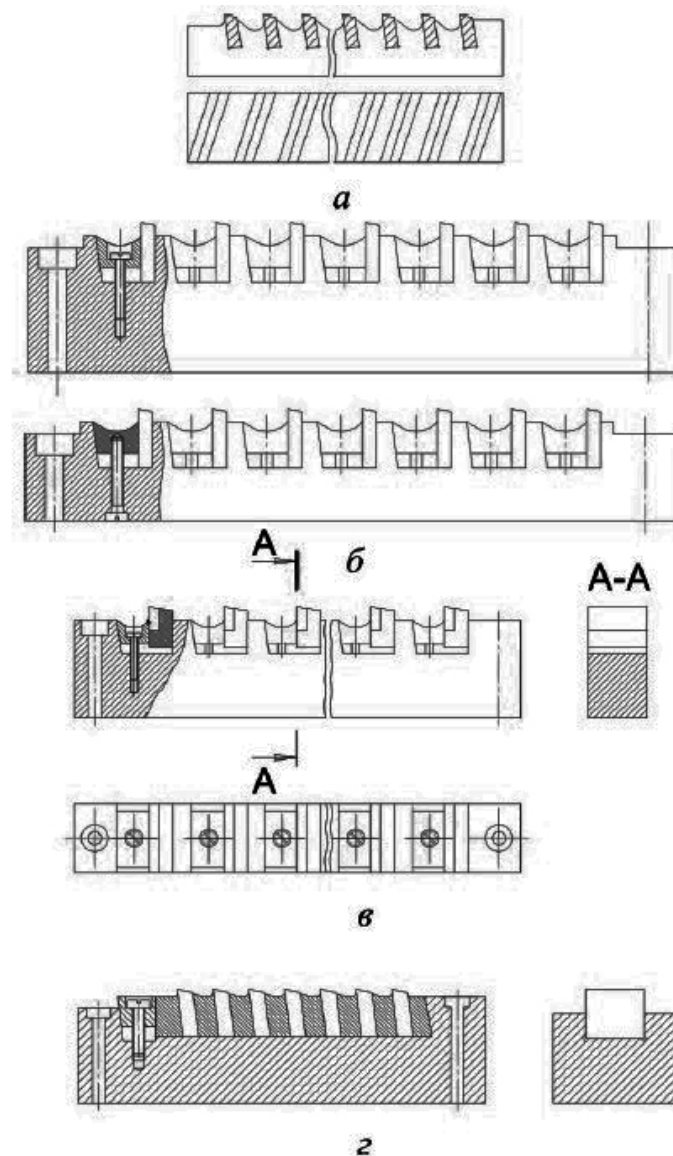


Рисунок 7.12 – Нероз'ємне з'єднання зубців протяжки з корпусом (*a*);
рознімне з механічним кріпленням пластин твердого сплаву (*б*)
рознімне з механічним кріпленням ножів із твердосплавними пластинами (*в*);
з пакетним кріпленням зубців-пластин (*г*)

Таблиця 7.5 – Геометричні параметри протяжок з швидкорізальної сталі

| Оброблюваний матеріал. Групи різання | Передні кути γ° | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| | Вид зубців | |
| | Чорнові та перехідні | Чистові та калібрувальні |
| Сталь вуглецева (підгрупа різання P01 зі змістом С < 0,3%), низьколегована, а також хромонікеле-молібденова (підгрупа різання P20 зі змістом менше ніж 5% легувальних елементів) | 20 | 20 |
| Сталь вуглецева (підгрупа різання P10 зі змістом С > 0,3%), та легована (підгрупа різання P20 зі змістом більше ніж 5% легувальних елементів) | 10 | 15 |
| Інструментальні, швидкорізальні сталі (підгрупа різання P30) | 10 | 12 |
| Алюмінієві сплави | 20...25 | 25 |
| Ковкий, сірий чавун (підгрупа різання K01, K10) | 10 | 5 |
| Чавун високоміцний (підгрупа різання K10) | 5 | 0...5 |
| Латунь, бронза | 5 | 0...5 |

Примітка. Задній кут для чорнових і перехідних зубців $\alpha = 3^\circ$, чистових – $\alpha = 2^\circ$, калібрувальних – $\alpha = 1^\circ$.

7.3. Вибір матеріалу різальної частини й режимів різання

Цільні протяжки виготовляються із швидкорізальної сталі за ДСТУ 19265-83 або з інших марок швидкорізальної сталі, що забезпечує стійкість протяжок не нижчу за виготовлені із швидкорізальної сталі за ДСТУ 19265-83. Хвостовики зварених протяжок або механічно прикріплюваних до протяжок та оправки збірних протяжок повинні бути виготовлені зі сталі марки 40Х за ДСТУ 4543-71; гайки за ДСТУ 11871 для збірних протяжок – зі сталі марки 35 за ДСТУ 1050-71. Допускається застосування інших марок сталі такої ж або більшої міцності.

Корпус збірних твердосплавних протяжок, як правило, виконується зі сталі 40Х, 50Х ДСТУ 4543-71, різальна пластина – із твердого сплаву (див. табл. 7.6) залежно від умов протягування, фізико-механічних власти-

востей оброблюваного матеріалу заготовки. Призначення режимів різання при протягуванні полягає у вибиранні подачі, ширини зрізу та швидкості різання. Ці параметри повинні бути погоджені з конструкцією протяжки, тому що подачу на зуб протяжки S_z і ширину зрізу задають її конструкцією, і в процесі експлуатації протяжки вона не змінюється.

Таблиця 7.6 – Геометричні параметри твердосплавних протяжок, що працюють на швидкостях різання понад 30 м/хв

| Оброблюваний матеріал. Групи різання | Інструментальний матеріал протяжки | Кути протяжки | | |
|--|---------------------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| | | γ° | γ_ϕ° | α° |
| Сталь вуглецева (підгрупа різання P01 зі змістом C < 0,3%), низьколегована | P01, P10 | 10 | 5 | 6 |
| Сталь вуглецева (підгрупа різання P10 зі змістом C > 0,3%) | P10, P20 | 8 | 3 | 6 |
| Сталь легована (підгрупа різання P20 зі змістом більше ніж 5% легувальних елементів) | P10, P20 | 6 | 2 | 4 |
| Інструментальні, швидкорізальні сталі (підгрупа різання P30) | P30 | 6 | 2 | 4 |
| Нержавіючі сталі (підгрупа різання M10...M30) | M10, M20 | 8 | -5 | 4 |
| Жароміцні та титанові сплави (підгрупа різання S10...S30) | S10, S 20, S30 | 5-8 | -5 | 4 |
| Ковкий, сірий чавун (підгрупа різання K01 ... K10) | K01, K10 | 5-8 | 0 | 4-6 |
| Латунь, бронза (підгрупа різання N30) | N30 | 5-8 | 0 | 6 |

Примітка. Додаткові заточені фаски по передній поверхні $f_\phi = 0,5$ мм виконувати під кутом γ_ϕ° (див. таблицю), а по задній $-f_\phi = 0,1 \dots 0,5$ мм під кутом $\phi = 0 \dots 3^\circ$.

При конструюванні одинарних протяжок величина подачі на зуб S_z або товщина шару металу, що зрізується зубом протяжки, як правило, повинна бути більше радіуса округлення різальної крайки. Отже, товщина шару, що зрізується, $a \geq 0,02$ мм. Тому попереднє значення подачі на зуб для різних типів протяжок вибирається з табл. 7.7.

При конструюванні протяжок змінного різання величина подачі на зуб для чорнових зубів вибирається із умови однакової стійкості чорнового та чистового оброблення, а також згідно з вимогами до якості обробленої поверхні (табл. 7.8).

Таблиця 7.7 – Подача на зуб S_z для різних типів протяжок

| Тип і профіль протяжки | S_z , мм/зуб | | |
|--------------------------------|----------------|-------------|-------------|
| | Групи різання | | |
| | P01...P50 | K01...K30 | N20... N30 |
| Круглі | 0,02...0,04 | 0,03...0,08 | 0,05...0,12 |
| Шліцеві з прямобічними шліцами | 0,05...0,08 | 0,06...0,10 | 0,04...0,10 |
| Шпонкові | 0,08...0,15 | 0,08...0,20 | 0,05...0,08 |
| Прямокутні та плоскі | 0,04...0,12 | 0,06...0,20 | 0,05...0,08 |
| Квадратні, шестигранні | 0,02...0,15 | 0,05...0,15 | 0,03...0,15 |
| Зовнішні | 0,04...0,12 | 0,06...0,20 | 0,06...0,20 |

Таблиця 7.8 – Подача на зуб чорнових зубців

| Швидкість різання, V_c , м/хв | Групи оброблюваності | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|--------------------------|------|------|
| | Сталі | | | | | | | | Чавуни, кольорові сплави | | |
| | P01... P10 | | P10...P20 | | P20...P30 | | P30...M15 | | K10, K20 | N20, | |
| | Групи якості | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| До 3 | 0,18 | 0,23 | 0,14 | 0,18 | 0,12 | 0,15 | 0,16 | 0,20 | 0,14 | 0,18 | 0,20 |
| 3... 6 | 0,14 | 0,19 | 0,12 | 0,15 | 0,10 | 0,12 | 0,13 | 0,17 | 0,11 | 0,15 | 0,17 |
| 6...10 | 0,12 | 0,15 | 0,10 | 0,12 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,14 | 0,09 | 0,12 | 0,14 |
| 10...15 | 0,10 | 0,12 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,10 | 0,12 |

Примітка. До першої групи якості обробленої поверхні пред'являються вимоги: $R_a \leq 1,25$ мкм, квалітет точності 6...7, до другої групи – $R_a \leq 2,5$ мкм, квалітет 7...8.

Остаточна величина подачі приймається після перевірки протяжки на міцність. Таким чином, подача на зуб протяжки вибирається залежно від конструкції протяжки і вона не може змінюватися в процесі експлуатації.

Швидкості різання при протягуванні протяжками із швидкорізальної сталі наведено в табл. 7.9. Діапазон рекомендованих швидкостей різання при протягуванні різних оброблюваних матеріалів досить широкий і може становити від 3...8 (для протяжок із швидкорізальних сталей) до 30...50 м/хв і вище (для твердосплавних протяжок).

Сила різання P , Н, при протягуванні:

$$P = q_0 \Sigma B_i,$$

де q_0 – осьова сила різання, Н, відносно 1 мм довжини різальної крайки (табл. 7.10); ΣB_i – найбільша сумарна довжина різальних кромки усіх одночасно працюючих зубців.

Таблиця 7.9 – Швидкість різання при протягуванні

| Група якості | Швидкість різання, м/хв | | | | | |
|--------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|----------|
| | Групи оброблюваності | | | | | |
| | Сталь | | | | Чавуни, кольорові сплави | |
| | P01... P10 | P10...P20 | P20...P30 | P30...M15 | K10, K20 | N20, N30 |
| 1 | 6...8 | 5...6 | 5 | 4 | 5...6 | 3...5 |
| 2 | 7...9 | 6...8 | 7 | 5 | 7...8 | 5...7 |

Примітка: 1. Рекомендовані швидкості різання можуть бути підвищені за умови забезпечення вимог якості. 2. Для шліцьових протяжок і протяжок складного профілю швидкості слід помножити на 0,8.

Для циліндричних отворів

$$\Sigma B_i = \pi d_o z_{\max} / z_c,$$

де z_c – кількість зубців у секції (для циліндричних протяжок із одинарною схемою різання $z_c = 1$); $z_{\max} = 4...5$ – кількість одночасно працюючих зубців.

Для шліцьових отворів і шпонкових пазів

$$\Sigma B_i = b \cdot n z_{\max} / z_c,$$

де b – ширина паза або шліца, мм; n – кількість шліців або шпонок.

Для зовнішніх поверхонь

$$\Sigma B_i = \pi d_o \delta z_{\max} / 360 z_c,$$

де δ – кут контакту поверхні простягання, з різальними крайками зубців протяжки.

Максимально припустима сила різання визначається, виходячи:

- із сили, що допускається небезпечним перерізом хвостовика,

$$P_{\text{ХВ}} = [\sigma] F_{\text{ХВ}},$$

де $[\sigma]$ – напруга, що допускається при розтяганні; $F_{\text{ХВ}}$ – площа небезпечного перерізу хвостовика;

- сили різання, що допускається небезпечним перерізом різальної частини протяжки (перед першим зубом),

$$P_{\text{нп}} = F_{\text{нп}} [\sigma],$$

де $F_{\text{нп}}$ – площа небезпечного перерізу протяжки перед першим зубом,

$$F_{\text{нп}} = \pi(d_0 - 2h)^{2/4};$$

• сили, що допускається тяговим зусиллям верстата $F_{\text{вер}}$. Для цього необхідно вибрати модель протяжного верстата.

Найменше з $F_{\text{хв}}$, $F_{\text{нп}}$ і $F_{\text{вер}}$ ухвалюють як максимально припустиму силу різання $P_{\text{пр}}$. Прийняте значення $P_{\text{пр}}$ треба зіставити з тяговим зусиллям верстата $P_{\text{вер}}$: $P_{\text{пр}} = (0,8...0,9) P_{\text{вер}}$.

Таблиця 7.10 – Осьова сила різання q_0

| Подача S_z , мм/зуб | Передній кут $\gamma,^\circ$ | | | | | Подача S_z , мм/зуб | Передній кут $\gamma,^\circ$ | | | | |
|--------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 0,01 | 78 | 48 | 37 | 30 | 26 | 0,21 | 533 | 462 | 423 | 398 | 381 |
| 0,02 | 100 | 70 | 56 | 48 | 43 | 0,22 | 558 | 483 | 443 | 416 | 398 |
| 0,03 | 124 | 91 | 76 | 67 | 60 | 0,23 | 578 | 504 | 462 | 434 | 416 |
| 0,04 | 148 | 112 | 95 | 84 | 77 | 0,24 | 602 | 525 | 481 | 453 | 433 |
| 0,05 | 171 | 132 | 114 | 103 | 95 | 0,25 | 626 | 541 | 501 | 471 | 451 |
| 0,06 | 195 | 153 | 134 | 121 | 112 | 0,26 | 645 | 562 | 520 | 494 | 468 |
| 0,07 | 218 | 174 | 153 | 139 | 130 | 0,27 | 669 | 583 | 539 | 512 | 491 |
| 0,08 | 241 | 195 | 172 | 157 | 146 | 0,28 | 693 | 604 | 559 | 531 | 508 |
| 0,09 | 264 | 216 | 191 | 176 | 165 | 0,29 | 711 | 624 | 579 | 549 | 526 |
| 0,10 | 289 | 236 | 212 | 194 | 181 | 0,30 | 735 | 645 | 597 | 567 | 544 |
| 0,11 | 311 | 258 | 230 | 212 | 200 | 0,31 | 752 | 666 | 617 | 586 | 561 |
| 0,12 | 334 | 277 | 249 | 232 | 217 | 0,32 | 776 | 687 | 628 | 604 | 579 |
| 0,13 | 358 | 298 | 269 | 250 | 237 | 0,33 | 800 | 708 | 655 | 623 | 596 |
| 0,14 | 380 | 320 | 288 | 268 | 253 | 0,34 | 823 | 722 | 675 | 641 | 614 |
| 0,15 | 403 | 338 | 312 | 286 | 271 | 0,35 | 840 | 743 | 694 | 659 | 631 |
| 0,16 | 425 | 360 | 327 | 304 | 291 | 0,36 | 863 | 763 | 713 | 678 | 649 |
| 0,17 | 446 | 381 | 346 | 325 | 308 | 0,37 | 887 | 784 | 733 | 696 | 667 |
| 0,18 | 468 | 402 | 365 | 343 | 325 | 0,38 | 910 | 805 | 752 | 714 | 684 |
| 0,19 | 492 | 419 | 385 | 362 | 342 | 0,39 | 933 | 825 | 771 | 733 | 702 |
| 0,20 | 513 | 433 | 404 | 380 | 364 | 0,40 | 957 | 846 | 791 | 751 | 719 |

Поправкові коефіцієнти $K_{\text{нв}}$, $K_{\text{р}}$, $K_{\text{мор}}$ залежать від оброблюваного матеріалу, способу розділення стружки та складу МОР (табл. 7.11–7.13).

Таблиця 7.11 – Поправковий коефіцієнт K_{HB}

| Оброблюваний матеріал | Твердість HB | Коефіцієнт K_{HB} |
|--|----------------|---------------------|
| Конструкційні та леговані сталі, які відносяться до групи різання P (підгрупи P01, P10, P20) після загартування та відпуску | < 275 | 1,3 |
| Конструкційні та леговані сталі, які відносяться до групи різання P (підгрупи P01, P10, P20), в відпаленому, нормалізованому та гарячекатаному стані | 130...320 | 1,0 |
| Інструментальні, високолеговані та швидкорі- зальні сталі, сталеве лиття (підгрупи різання P20, P30, P40) | 200...250 | 1,4 |
| Чавуни сірі, ковкі, які відносяться до групи різан- ня K (підгрупи різання K01, K10, K20) | < 200 >200 | 0,5 0,7 |
| Бронза, латуні (група N, підгрупа N30). Алюмінієві сплави (група N, підгрупа N20) | ≤ 110 ≤ 100 | 0,4 0,4 |

Таблиця 7.12 – Поправковий коефіцієнт K_p

| Спосіб розділу стружки | Коефіцієнт K_p |
|---|------------------|
| Радіусними викружками | 1,0 |
| Стандартними стружкороздільними канавками | 1,2 |
| Без розділювання | 1,3 |

Таблиця 7.13 – Поправковий коефіцієнт K_{MOP}

| Найменування MOP | Коефіцієнт K_{MOP} |
|--|----------------------|
| Сульфозфрезол, турбінне масло, касторове масло | 1,0 |
| Індустріальне 20, водяна емульсія (15 ... 30%), керосин | 1,1 |
| Без охолодження | 1,2 |

РОЗДІЛ 8 ЗУБОНАРІЗУВАННЯ

Усі існуючі зуборізальні інструменти розподіляються на інструменти, що працюють методом копіювання або методом обкатного обгинання. Методом копіювання працюють дискові та пальцеві фрези для евольвентних прямозубих і косозубих зубчастих коліс, зубодовбальні головки та протяжки; методом обкатного обгинання – черв'ячні зуборізальні фрези для нарізування прямозубих і косозубих евольвентних зубчастих коліс, черв'ячних коліс, зуборізальні довбачі, шевери, зубостругальні різці.

Вибирання зуборізальних інструментів для нарізування зубчастих коліс здійснюється покроково:

1. Вибирання конструктивних та геометричних параметрів зуборізальних інструментів, що працюють методом копіювання.
 2. Вибирання конструктивних та геометричних параметрів зуборізальних інструментів, що працюють методом обкочування.
 3. Рекомендації з вибирання режимів різання при зубонарізуванні.
- Розглянемо кожний крок докладніше.

8.1. Вибирання конструктивних і геометричних параметрів зуборізальних інструментів, що працюють методом копіювання

Метод копіювання – це метод, при якому профіль різальної частини інструменту такий самий, як і профіль нарізуваної западини зуба колеса. Зуборізальні інструменти, що працюють методом копіювання, забезпечують малу продуктивність і невисоку точність нарізуваних коліс і використовуються в одиничному виробництві для оброблення звичайних зубчастих коліс. До таких інструментів відносять дискові та пальцеві модульні фрези.

Існують стандартні дискові фрези, виготовлені комплектами, що складаються із 8 фрез (для нарізування коліс із модулем до 8 мм включно) і 15 фрез (для коліс із модулем понад 8 мм). Вони призначаються для оброблення коліс із $z_1 = 12$ і більше.

Кожна фреза комплекту призначена для оброблення коліс у певному діапазоні z_1 . Наведемо номери фрез в наборі із 8 штук і кількість зубів оброблюваних нею коліс:

| | | | | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------|
| Номер фрези | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Кількість зубів | 12...13 | 14...16 | 17...20 | 21...25 | 26...34 | 35...54 | 55...134 | >135 |

Конструктивні параметри дискових фрез зі швидкорізальної сталі (рис. 8.1) слід вибирати за рекомендаціями ДСТУ 13838-68 для модулів 0,2...1,0 мм (табл. 8.1), а для модулів 1,125...16 мм – за ДСТУ 19996-68 (табл. 8.2). Основні розміри збірних твердосплавних дискових фрез представлено в табл. 8.3. Як приклад на рис. 8.2 представлено конструкцію збірної твердосплавної дискової зуборізальної фрези.

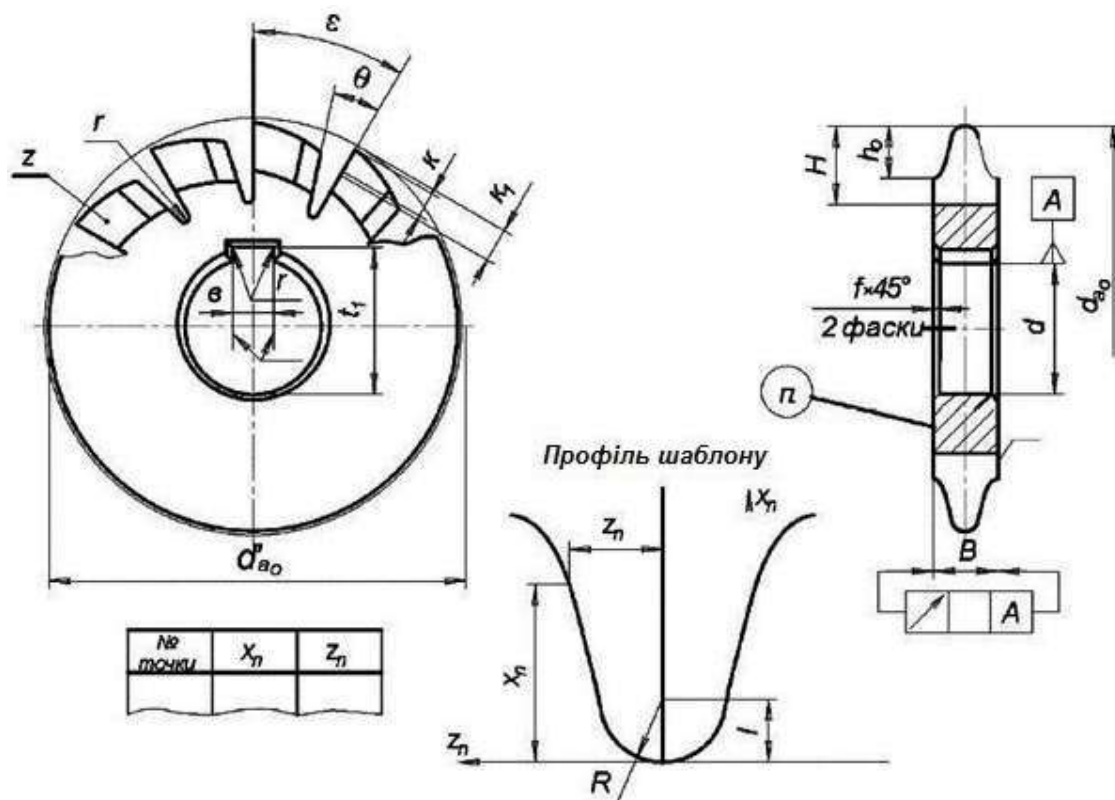


Рисунок 8.1 – Цільна дискова зуборізальна фреза

Пальцеві фрези – це спеціальний інструмент, і серійно вони не виготовляються. Застосовуються при нарізуванні прямозубих і косозубих зубчастих коліс модулем 8...50 мм, а також для нарізування шевронних коліс. На відміну від дискових фрез пальцеві фрези кріпляться консольно за допомогою нарізи, з базуванням по циліндричному паскові d_2 .

Основні розміри пальцевих зуборізальних фрез із швидкорізальної сталі представлено на рис. 8.3 і в табл. 8.4, 8.5.

Таблиця 8.1 – Основні розміри дискових зуборізальних фрез, мм

| Модуль m_0 | d_{ao} | d | B | H | k | r | f | z | Висота профілю h_0 min (відповідно m_0) |
|--|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50 | 16 | 5 | 2 | 2,5 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 12 | 0,60; 0,66; 0,75; 0,84; 0,90; 1,05; 1,2; 1,35; 1,5 |
| 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50 0,55; 0,60; 0,70 | 20 | 8 | 3,2 | 3,2 | 1 | 0,3 | 0,3 | 12 | 0,60; 0,66; 0,75; 0,84; 0,90; 1,05; 1,20; 1,35; 1,50; 1,48; 1,62; 1,90 |
| 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50 0,55; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,0 | 25 | 8 | 3,5 | 4,4 | 1,2 | 0,5 | 0,3 | 12 | 0,60; 0,66; 0,75; 0,84; 0,90; 1,05; 1,20; 1,35; 1,50; 1,48; 1,62; 1,90; 2,16; 2,43; 2,70 |
| 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50 0,55; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,0 | 32 | 13 | 3,2 | 4,7 | 1,5 | 0,5 | 0,3 | 12 | 0,60; 0,66; 0,75; 0,84; 0,90; 1,05; 1,20; 1,35; 1,50; 1,48; 1,62; 1,90; 2,16; 2,43; 2,70 |

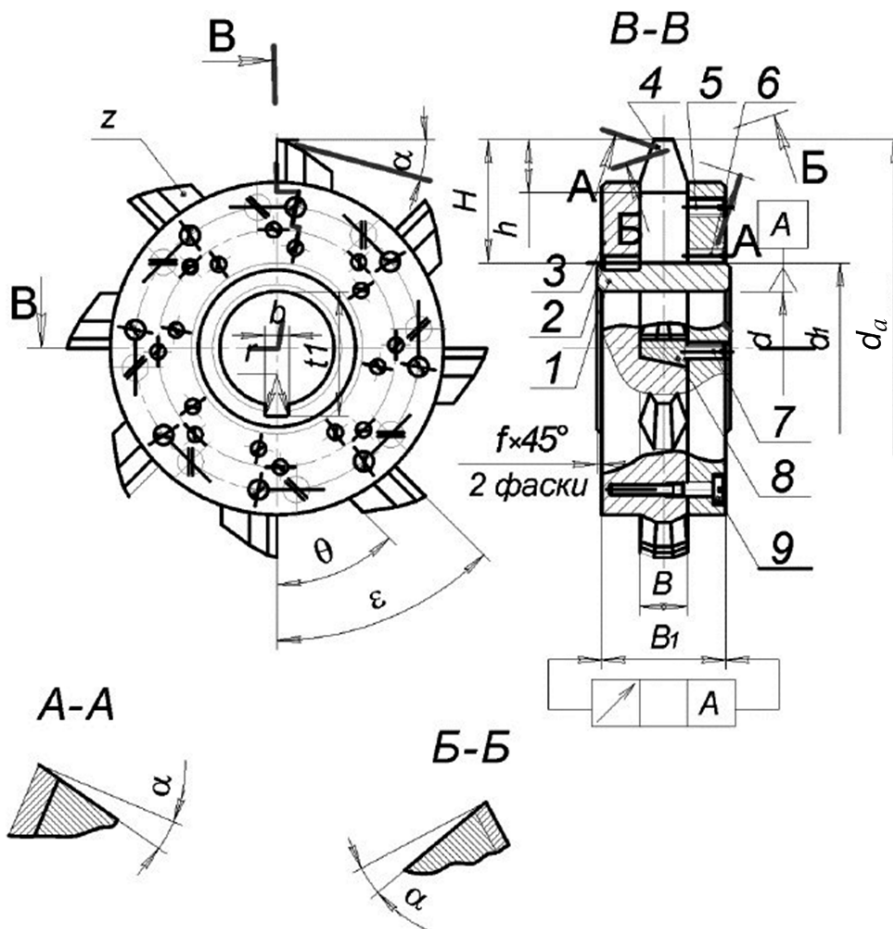


Рисунок 8.2 – Збірна твердосплавна дискова зуборізальна фреза

Таблиця 8.2 – Основні розміри дискових зуборізальних фрез, мм

| Модуль m_0 , мм | d_{ao} | d | z | Ширина B у фрез за номером | | | | | | | | |
|----------------------|----------|-----|-----|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 1,125 | 50 | 19 | 14 | 4,5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1,25 | 50 | 19 | 14 | 4 | 5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1,375 | 50 | 19 | 14 | 5,5 | 5,5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 1,5 | 55 | 22 | 14 | 6 | 6 | 5,5 | 5,5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 1,75 | 55 | 22 | 14 | 7 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6 | 6 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| 2,0 | 63 | 22 | 12 | 8 | 7,5 | 7 | 7 | 7 | 6,5 | 6,5 | 6 | 6 |
| 2,25 | 63 | 22 | 12 | 8,5 | 8 | 8 | 8 | 7,5 | 7,5 | 7 | 7 | 7 |
| 2,5 | 70 | 22 | 12 | 9,5 | 9,5 | 9 | 8,5 | 8,5 | 8 | 8 | 7,5 | 7,5 |
| 2,75 | 70 | 22 | 12 | 10,5 | 10 | 10 | 9,5 | 9 | 9 | 8,5 | 8 | 8 |
| 3,0 | 80 | 27 | 12 | 11,5 | 11 | 10,5 | 10,5 | 10 | 9,5 | 9,5 | 9 | 9 |
| 3,25 | 80 | 27 | 12 | 12 | 12 | 11,5 | 11 | 10,5 | 10,5 | 10 | 9,5 | 9,5 |
| 3,5 | 80 | 27 | 12 | 13 | 13 | 12,5 | 12 | 11,5 | 11 | 11 | 10,5 | 10,5 |
| 3,75 | 80 | 27 | 12 | 14 | 13,5 | 13 | 12,5 | 12 | 12 | 11,5 | 11 | 11 |
| 4,0 | 90 | 27 | 12 | 15 | 14,5 | 14 | 13,5 | 13 | 12,5 | 12 | 11 | 11 |
| 4,25 | 90 | 27 | 12 | 15,5 | 15 | 14,5 | 14 | 13,5 | 13 | 12,5 | 12 | 12 |
| 4,5 | 90 | 27 | 12 | 16,5 | 16 | 16,5 | 15 | 14,5 | 14 | 13,5 | 13 | 13 |
| 5,0 | 100 | 27 | 12 | 18 | 17,5 | 17 | 16,5 | 16 | 15,5 | 15 | 14,5 | 14,5 |
| 5,5 | 100 | 27 | 12 | 20 | 19 | 18,5 | 18 | 17,5 | 17 | 16 | 15,5 | 15,5 |
| 6,0 | 110 | 32 | 10 | 21,5 | 21 | 20 | 19,5 | 19 | 18 | 17,5 | 17 | 17 |
| 6,5 | 110 | 32 | 10 | 23 | 22,5 | 22,5 | 21,5 | 20 | 19,5 | 19 | 18 | 18 |
| 7,0 | 110 | 32 | 10 | 24,5 | 24 | 23 | 22 | 21,5 | 21 | 20 | 19,5 | 19,5 |
| 8,0 | 125 | 32 | 10 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24,5 | 24 | 23 | 22 | 22 |
| 9,0 | 125 | 32 | 10 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 27 | 26 | 24 | 24 |
| 10,0 | 140 | 40 | 10 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 27 |
| 11 | 140 | 40 | 10 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 29 | 29 |
| 12 | 160 | 40 | 10 | 41 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 32 | 32 |
| 14 | 160 | 40 | 10 | 47 | 45 | 43 | 43 | 41 | 40 | 39 | 37 | 37 |
| 16 | 180 | 50 | 10 | 53 | 52 | 50 | 48 | 47 | 45 | 44 | 42 | 42 |

Таблиця 8.3 – Основні розміри збірних дискових зуборізальних фрез, мм

| Модуль m_0 , мм | Діаметр фрези, мм | | Число зубців |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------|
| | Зовнішній | Посадкового отвору | |
| 2 | 140 | 40 | 12 |
| 4 | 160 | 40 | 12 |
| 6 | 180 | 50 | 12 |
| 8 | 200 | 60 | 10 |
| 12 | 240 | 80 | 10 |

Розміри торцевої частини пальцевих зуборізальних фрез (див. рис. 8.3) залежно від модуля вибирають із табл. 8.6.

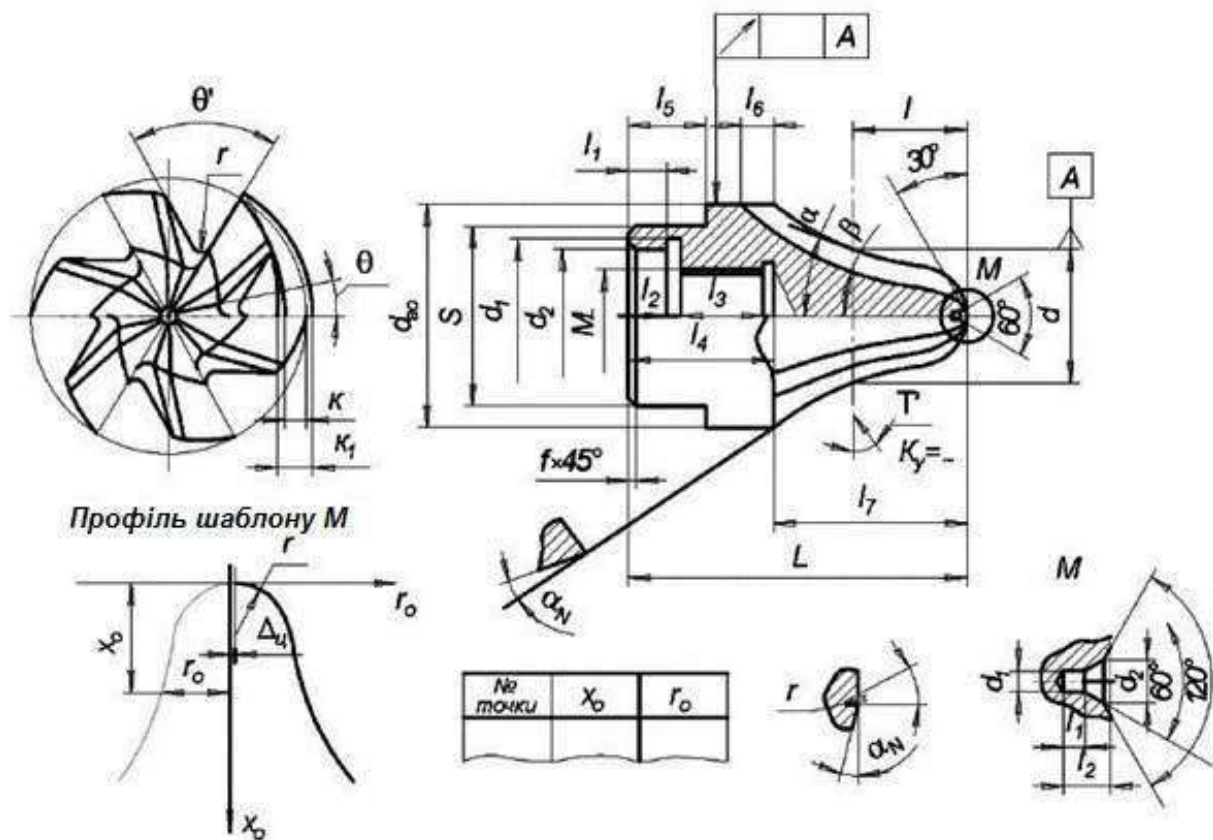


Рисунок 8.3 – Пальцева зуборізальна фреза

Таблиця 8.4 – Основні розміри пальцевих зуборізальних фрез, мм

| Діаметр фрези, мм | Номинальний діаметр нарізі, мм | Параметри нарізі | | | d_2 | l_1 | l_2 | d_1 | l_4 |
|-------------------|--------------------------------|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Крок | d_2 | d_1 | | | | | |
| 40 | 16 | 2 | 15,088 | 14,00 | 20 | 6 | 1 | 21 | 22 |
| 45 – 50 | 20 | 2,5 | 18,791 | 17,44 | 25 | 6 | 1 | 26 | 26 |
| 55 – 60 | 24 | 3 | 22,491 | 20,87 | 30 | 8 | 1,5 | 32 | 32 |
| 65 – 70 | 30 | 3,5 | 28,24 | 26,35 | 40 | 10 | 1,5 | 42 | 40 |
| 75 – 80 | 36 | 4 | 33,937 | 31,78 | 50 | 15 | 2 | 52 | 50 |
| 85 – 100 | 42 | 4,5 | 39,632 | 37,20 | 55 | 15 | 2 | 57 | 58 |
| 105 – 110 | 45 | 4,5 | 42,373 | 40,22 | 60 | 15 | 2 | 62 | 60 |
| 115 – 120 | 48 | 5 | 45,427 | 42,72 | 65 | 18 | 2 | 67 | 64 |
| 125 – 130 | 64 | 6 | 60,813 | 57,56 | 80 | 18 | 2 | 82 | 70 |
| 140 – 170 | 72 | – | – | – | 90 | 18 | 2 | 92 | 78 |
| 180 – 220 | 80 | – | – | – | 100 | 18 | 2 | 102 | 84 |

Таблиця 8.5 – Основні розміри пальцевих зуборізальних фрез, мм

| Діаметр фрези, мм | Розміри під ключ, мм | | l_6 | L |
|-------------------|----------------------|---------|-------|---------|
| | S | l_5 | | |
| 40 | 32 | 15 | 8 | 27 |
| 45 – 50 | 36 – 41 | 16 – 18 | 8 | 28 – 32 |
| 55 – 60 | 46 – 50 | 20 | 8-10 | 36 – 38 |
| 65 – 70 | 55 – 60 | 23 | 10-12 | 41 – 45 |
| 75 – 80 | 65 – 70 | 30 | 12-14 | 50 – 56 |
| 85 – 100 | 75 – 80 | 33 | 14 | 59 – 63 |
| 105 – 110 | 95 | 42 | 16 | 67 – 76 |
| 115 – 120 | 95 | 42 | 18 | 82 |
| 125 – 130 | 110 | 42 | 18 | 82 |
| 140 – 170 | 120 – 130 | 42 | 18 | 86 – 92 |
| 180 – 220 | 130 – 160 | 42 | 20 | 92 – 96 |

Таблиця 8.6 – Основні розміри торцевої частини пальцевих зуборізальних фрез

| m , мм | d , мм | d_1 , мм | l , мм | l_1 , мм | φ |
|----------|----------|------------|----------|------------|-----------|
| 16...28 | 1 | 2,5 | 1,3 | 1,2 | 60° |
| 30...50 | 1,5 | 4,0 | 2,2 | 1,8 | 60° |

8.2. Вибір конструктивних і геометричних параметрів зуборізальних інструментів, що працюють методом обкатування

Черв'ячні фрези (ЧФ) є багатолезовими інструментами рейкового типу, що працюють методом обкату, і застосовуються для чорнового, напівчистового та чистового оброблення прямозубих і косозубих циліндричних зубчастих коліс із евольвентним профілем.

В основу конструкції фрези покладено основний черв'як, зачеплення якого з колесом, що нарізується, являє собою гвинтову передачу. Застосовуються три типи вихідного черв'яка: конволютний, архімеда і евольвентний. Черв'ячні фрези для нарізування евольвентних циліндричних зубчастих коліс, в основу яких покладено евольвентний черв'як, через складність їхнього проектування, виготовлення й контролю застосовуються вкрай рідко. При профілюванні наближеним методом основний – конволютний черв'як з прямолінійним профілем у нормальному до витка або западини перерізі. Вибір конволютного черв'яка спрощує профілювання фрез, зводячи його до завдання прямолінійного профілю бічної поверхні черв'яка в нормальному перерізі й до ототожнення профілю черв'яка та профілю затилованого зубця фрези в цьому перерізі з контуром початкової інструментальної рейки (КІР) (рис. 8.4 б). При цьому кут профілю α_0 зубця ЧФ у нормальному перерізі дорівнює куту α або небагато відрізняється від нього.

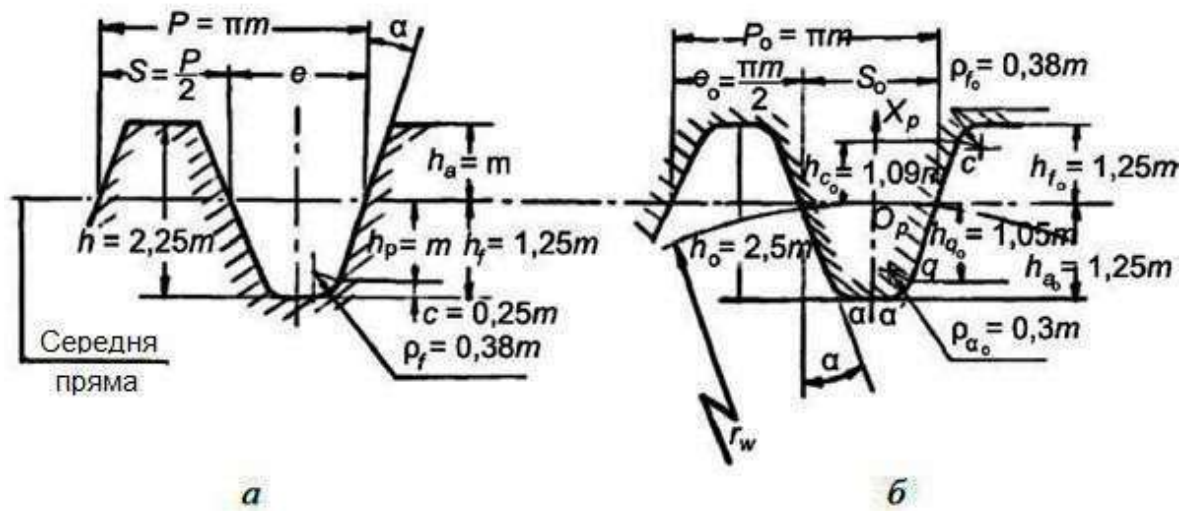


Рисунок 8.4 – Вихідний контур рейки: *a* – для зубчастих коліс; *б* – для інструментів

На рис. 8.5 представлено черв'ячну фрезу для нарізування циліндричних зубчастих коліс, в основу якої покладено конволютний черв'як із прямолінійним профілем у нормальному до витка перерізі.

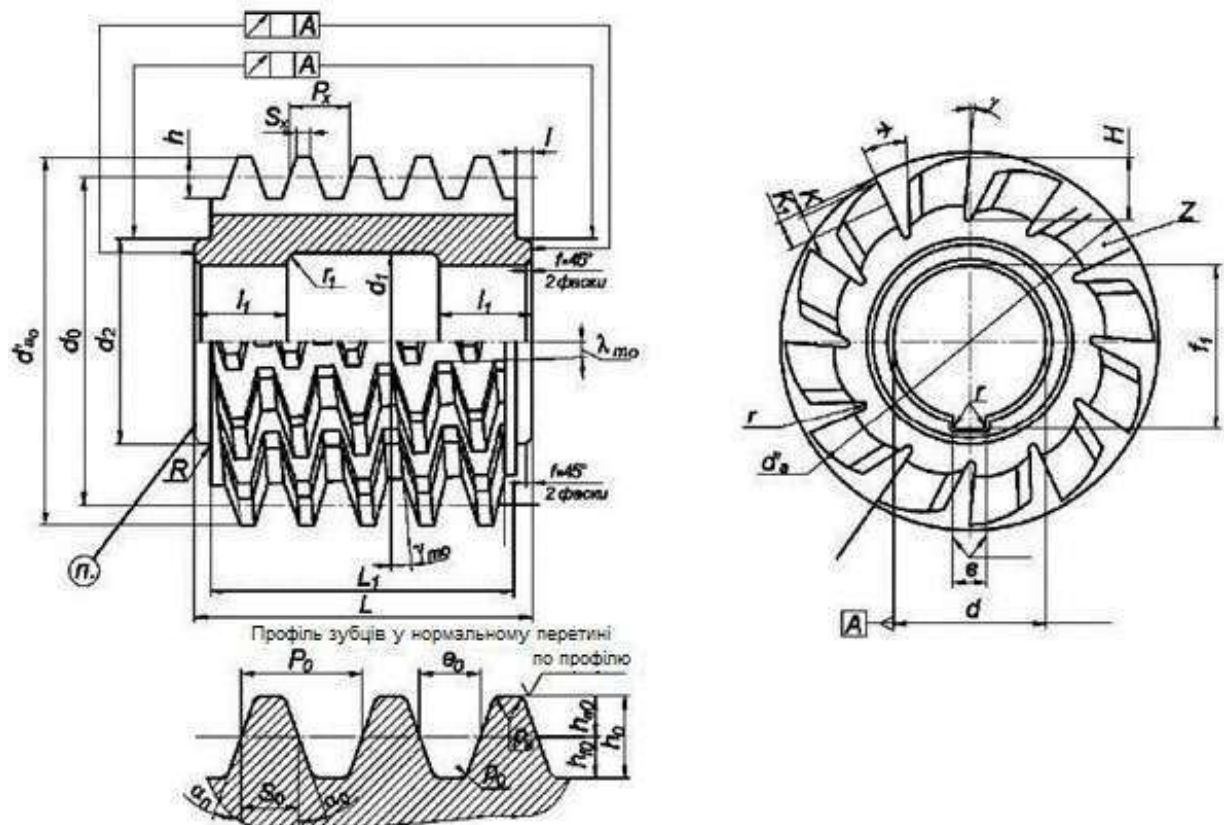


Рисунок 8.5 – Черв'ячна фреза для нарізування циліндричних зубчастих коліс

Вибірання архимедового черв'яка як основного передбачає завдання прямолінійного профілю в осьовому перерізі ЧФ. Цей метод профілювання підвищує точність контролю профілю зуба ЧФ, тому що метод контролю в осьовому перерізі (на приладах МІЗ і ЧІЗ) відповідає проектуваному прямолінійному профілю зубця в цьому перерізі. Але сам метод теж вважається наближеним. Фрези, спроектовані на базі архимедового черв'яка (рис. 8.6), як правило, застосовуються тільки для нарізування черв'ячних коліс.

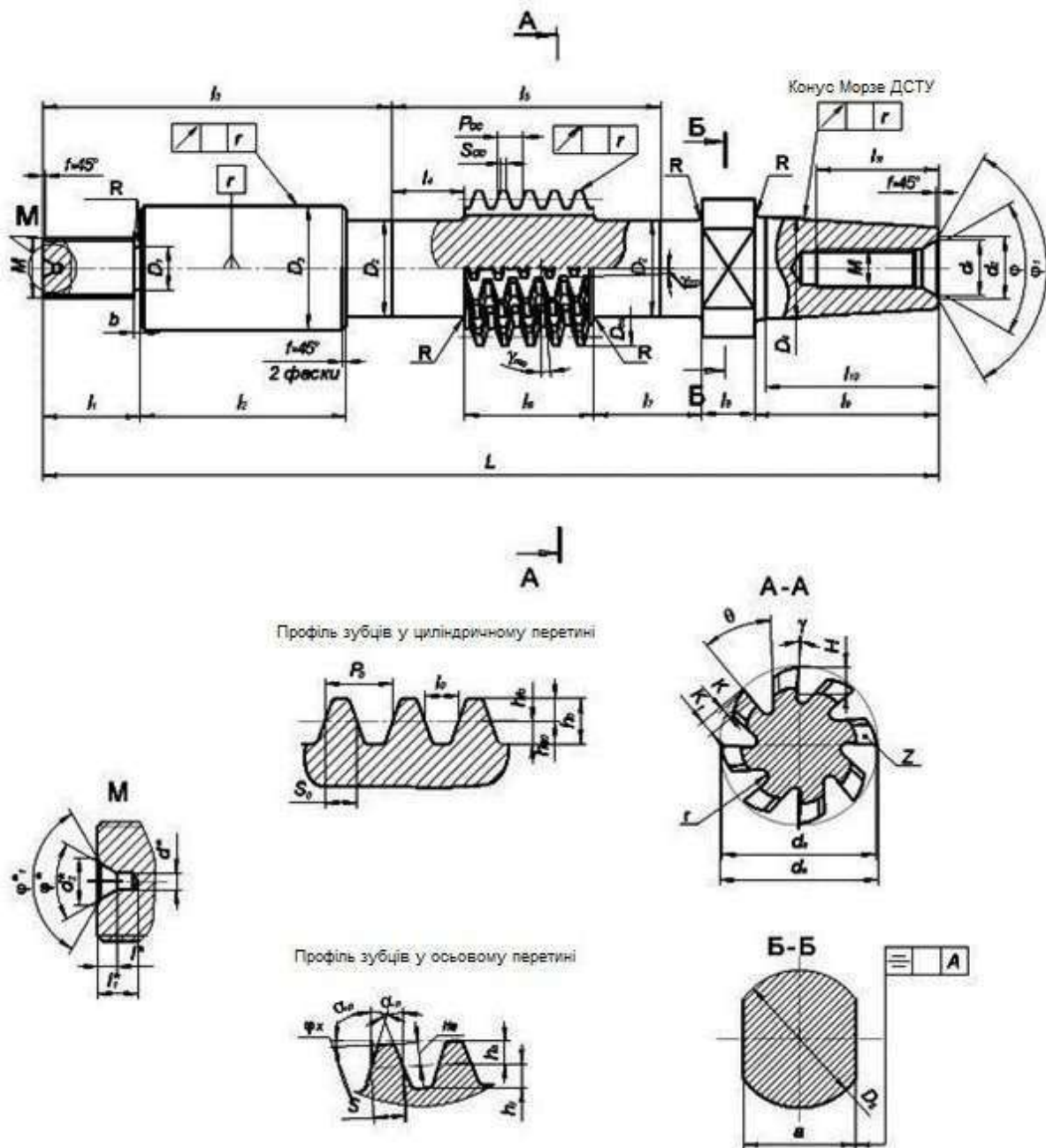
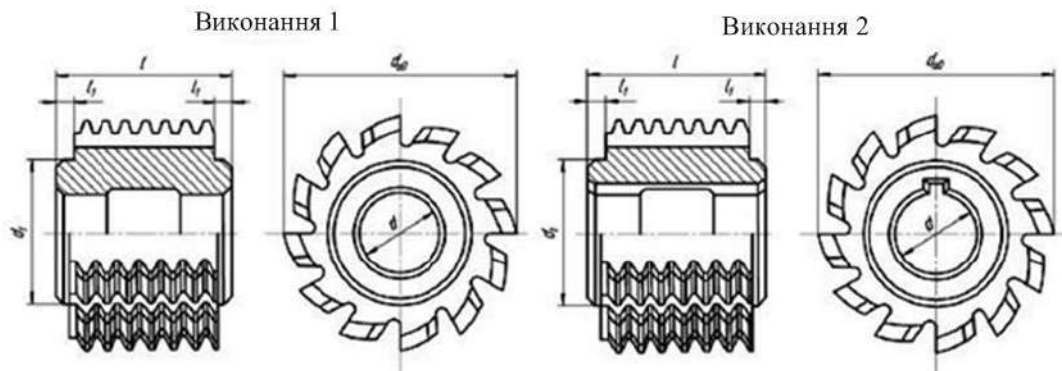


Рисунок 8.6 – Черв'ячна фреза для нарізування черв'ячних коліс

За ДСТУ 1033-80 дрібномодульні черв'ячні фрези для циліндричних зубчастих коліс із евольвентним профілем виготовляються в класах точності ААА, АА, А та В. Розміри цих фрез наведено в табл. 8.7.

Таблиця 8.7 – Основні розміри черв'ячних дрібномодульних фрез, мм



Фрези діаметром $d_{a0} = 25$ мм

| Фрези виконання 1 Позначення | Модуль, мм | | d | l | d_1 | l_1 | Кількість зубців z_0 |
|---------------------------------|------------|-----------|-----|---------|-------|-------|---------------------------|
| | Ряд 1 | Ряд 2 | | | | | |
| 2510-4451...2510-4462 | 0,15-0,5 | 0,18-0,45 | 8 | 12...16 | 16 | 3 | 10 |

Фрези діаметром $d_{a0} = 32$ мм

| Фрези виконання 1 Позначення | Фрези виконання 2 Позначення | Модуль, мм | | d | l | d_1 | l_1 | Кількість зубців z_0 |
|------------------------------------|------------------------------------|------------|------------|-----|-----|-------|-------|---------------------------|
| | | Ряд 1 | Ряд 2 | | | | | |
| 2510-4463... 2510-4501 | 2510-464... 2510-4502 | 0,15...0,8 | 0,18...0,9 | 13 | 16 | 20 | 3 | 10 |

За ДСТУ 9324-80 чистові черв'ячні фрези виготовляються трьох типів з модифікацією профілю зубів і без модифікації:

- тип 1 – цільні прецизійні з модулем $m_0 = 1...10$ мм, класи точності ААА, АА;
- тип 2 – цільні загального призначення залежно від модуля $m_0 = 1...20$ мм, класи точності від АА до D;
- тип 3 – збірні с модулем $m_0 = 8...25$ мм, класи точності А, В, С та D.

Розміри чистових черв'ячних фрез для циліндричних зубчастих коліс (див. рис. 8.5) наведено в табл. 8.8.

Черв'ячні фрези для черв'ячних коліс виготовляються як насадними, так і хвостовими. Вони, як правило, мають невеликі діаметральні розміри, тому в більшості випадків їх виконують хвостовими.

У цьому випадку загальна довжина фрези

$$L = l_x + l_6 + l_3 + l_4 + l_7,$$

де $l_x = l_8 + l_9$ – довжина хвостовика.

Таблиця 8.8 – Основні розміри чистових черв'ячних фрез, мм

| Модуль, мм | Тип фрези 1 | | | | | | | Число канавок |
|--------------|--------------|-----|-------|---------|---------|-------|-------|---------------|
| | d_{∞} | d | d_2 | L | L_1 | d_1 | l_1 | |
| 1,0...1,25 | 71 | 32 | 35 | 71 | 64 | 34 | 18 | 16 |
| 1,5...1,75 | 80 | 32 | 40 | 80 | 73 | 34 | 22 | 16 |
| 2,0...2,25 | 90 | 40 | 45 | 90 | 83 | 43 | 26 | 14 |
| 2,5...2,75 | 100 | 40 | 50 | 100 | 93 | 43 | 26 | 14 |
| 3,0...3,5 | 112 | 40 | 55 | 112 | 105 | 43 | 30 | 14 |
| 4,0...4,5 | 125 | 50 | 55 | 125 | 115 | 53 | 35 | 14 |
| 5,0...5,5 | 140 | 50 | 55 | 140 | 133 | 53 | 35 | 14 |
| 6,0...7,0 | 160 | 60 | 65 | 155 | 145 | 63 | 40 | 12 |
| 8,0...9,0 | 180 | 60 | 70 | 175 | 165 | 63 | 40 | 12 |
| 10 | 180 | 60 | 70 | 180 | 173 | 63 | 45 | 12 |
| | Тип фрези 2 | | | | | | | |
| 1,0 | 40 | 16 | 28 | 32 | 25 | 18 | 8 | 12 |
| 1,125...1,25 | 50 | 22 | 35 | 40 | 30 | 24 | 14 | 12 |
| 1,5...2,0 | 63 | 27 | 35 | 50 | 40 | 29 | 14 | 12 |
| 2,25...2,75 | 71 | 27 | 40 | 63 | 55 | 29 | 16 | 12 |
| 3,0...3,5 | 80 | 32 | 40 | 71 | 61 | 35 | 18 | 10 |
| 4,0...4,5 | 90 | 32 | 45 | 80 | 70 | 35 | 22 | 10 |
| 5,0 | 100 | 32 | 50 | 100 | 90 | 35 | 26 | 10 |
| 5,5...6,0 | 112 | 40 | 55 | 112 | 102 | 43 | 30 | 10 |
| 7,0 | 118 | 40 | 55 | 125 | 111 | 43 | 35 | 9 |
| 8,0 | 125 | 40 | 55 | 132 | 122 | 43 | 35 | 9 |
| 9,0 | 140 | 40 | 55 | 150 | 140 | 43 | 40 | 9 |
| 10,0 | 150 | 50 | 65 | 170 | 160 | 53 | 45 | 9 |
| 11,0 | 160 | 50 | 65 | 180 | 170 | 53 | 45 | 9 |
| 12,0 | 170 | 50 | 65 | 200 | 190 | 53 | 50 | 9 |
| 14,0 | 190 | 50 | 70 | 234 | 224 | 53 | 55 | 9 |
| 16,0 | 212 | 60 | 80 | 250 | 240 | 63 | 60 | 8 |
| 18,0 | 236 | 60 | 90 | 280 | 270 | 63 | 65 | 8 |
| 20 | 250 | 60 | 100 | 300 | 290 | 63 | 75 | 8 |
| | Тип фрези 3 | | | | | | | |
| 8,0...10,0 | 180;200 | 50 | 70 | 165;170 | 155;160 | 53 | 40;45 | 10 |
| 11,0...12,0 | 212;225 | 60 | 80 | 210;240 | 200;230 | 63 | 55;60 | 10 |
| 14,0...16,0 | 250;265 | 70 | 100 | 240;270 | 230;260 | 73 | 60;65 | 10 |
| 18,0...20,0 | 289;300 | 80 | 150 | 290;310 | 280;300 | 83 | 70;75 | 10 |
| 22,0...25,0 | 320;340 | 80 | 150 | 330;360 | 320;350 | 83 | 80;85 | 10 |

Існують три основні типи збірних черв'ячних фрез, оснащених твердосплавними ЗБП, з модулями 1,5...10 мм: гострозаточені, з поворотними різальними пластинами та із затилованим зубом.

При високошвидкісному зубофрезеруванні найпоширенішими є черв'ячні фрези з поворотними різальними пластинами для зубчастих коліс із модулем 1,5...4 мм (рис. 8.7).

Черв'ячні фрези для нарізування шліцьових валів із прямобічним профілем (ДСТУ 8027-87) застосовуються для нарізування шліцьових валів із центруванням з'єднання відносно зовнішнього або внутрішнього діаметра.

Вибирання конструктивних параметрів черв'ячних фрез, призначених для нарізування шліцьових валів з евольвентним профілем, нічим не відрізняється від вибирання розмірів черв'ячних фрез для циліндричних зубчастих коліс із евольвентним профілем. Виготовляються для чистового нарізування шліцьових валів з полями допусків щодо товщини зуба d_9 , h_6 , e_9 , f_9 і внутрішнього діаметра – e_9 (клас точності А), для чистового нарізування шліцьових валів з полями допусків щодо товщини зуба d_{10} і внутрішнього діаметра – e_8 (клас точності В) і чорнового нарізування валів (клас точності С).

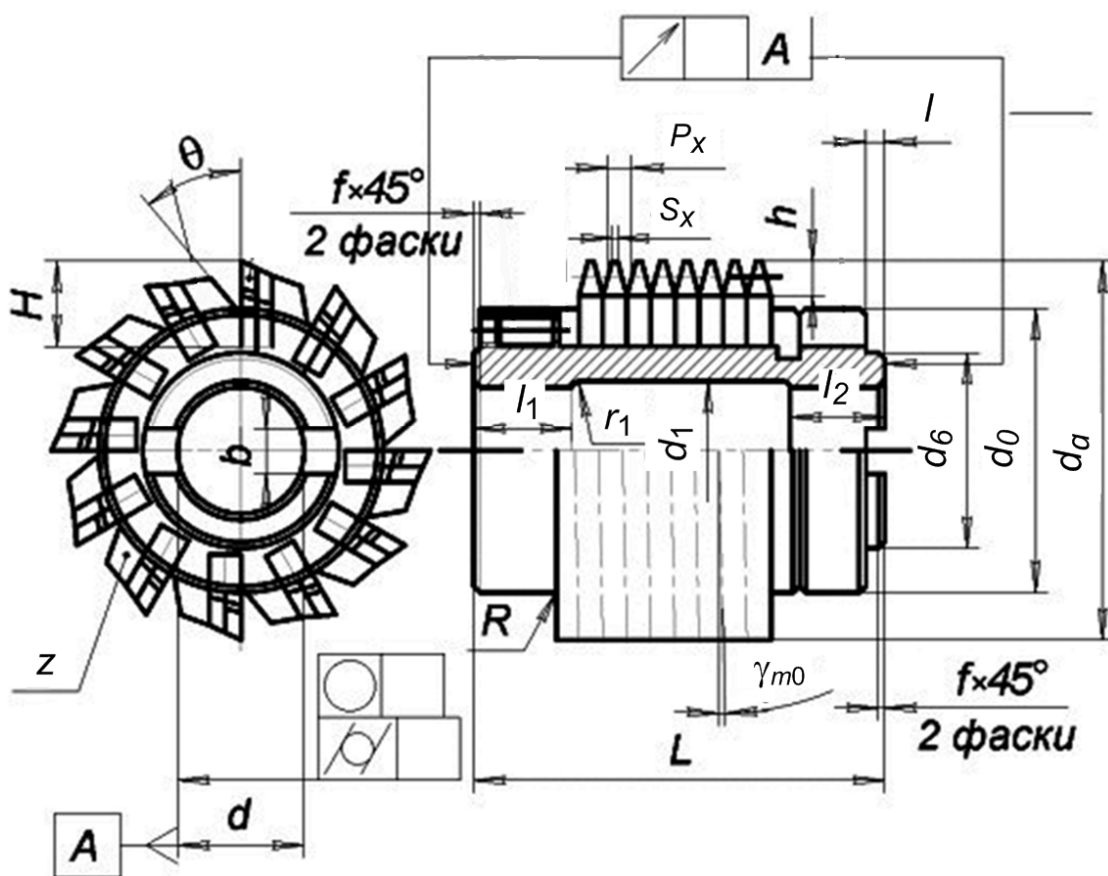


Рисунок .8.7 – Збірна твердосплавна черв'ячна зуборізальна фреза

Основні розміри твердосплавних черв'ячних фрез наведено в табл. 8.9. Основні розміри черв'ячних фрез для нарізування шліцьових валів із прямобічним профілем представлено на рис. 8.8 і в табл. 8.10.

Таблиця 8.9 – Основні розміри твердосплавних черв'ячних фрез, мм

| Тип фрези | Модуль | Діаметр, мм | | Кількість зубів | Довжина фрези, мм |
|--------------------------------|-----------|-------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| | | Зовнішній | Посадкового отвору | | |
| Дрібномодульна: | | | | | |
| цільна, | 0,2...1 | 25...50 | 8...22 | 10...14 | 10...20 |
| цільна класу ААА, | 0,2...1 | 25...32 | 8...10 | 10 | 10...20 |
| складена з рейками | 0,3...1 | 60 | 32 | 12 | 10...40 |
| збірна | 0,3...1,5 | 80 | 32 | 16 | 40...50 |
| Цільна | 1,0...3,0 | 50...85 | 16...32 | 12 | 40...112 |
| Збірна: | | | | | |
| гострозаточена | 2,5...8,0 | 120...200 | 40...60 | 8...12 | 120...180 |
| затілована, | 1,5...10 | 120...180 | 32...50 | 8...16 | 130...180 |
| з поворотними зубцями | 1,5...4 | 120...180 | 40...50 | 12...18 | 120...180 |
| Складена, із затілованим зубом | 1,5...10 | 110...170 | 32...50 | 8...12 | 120...200 |

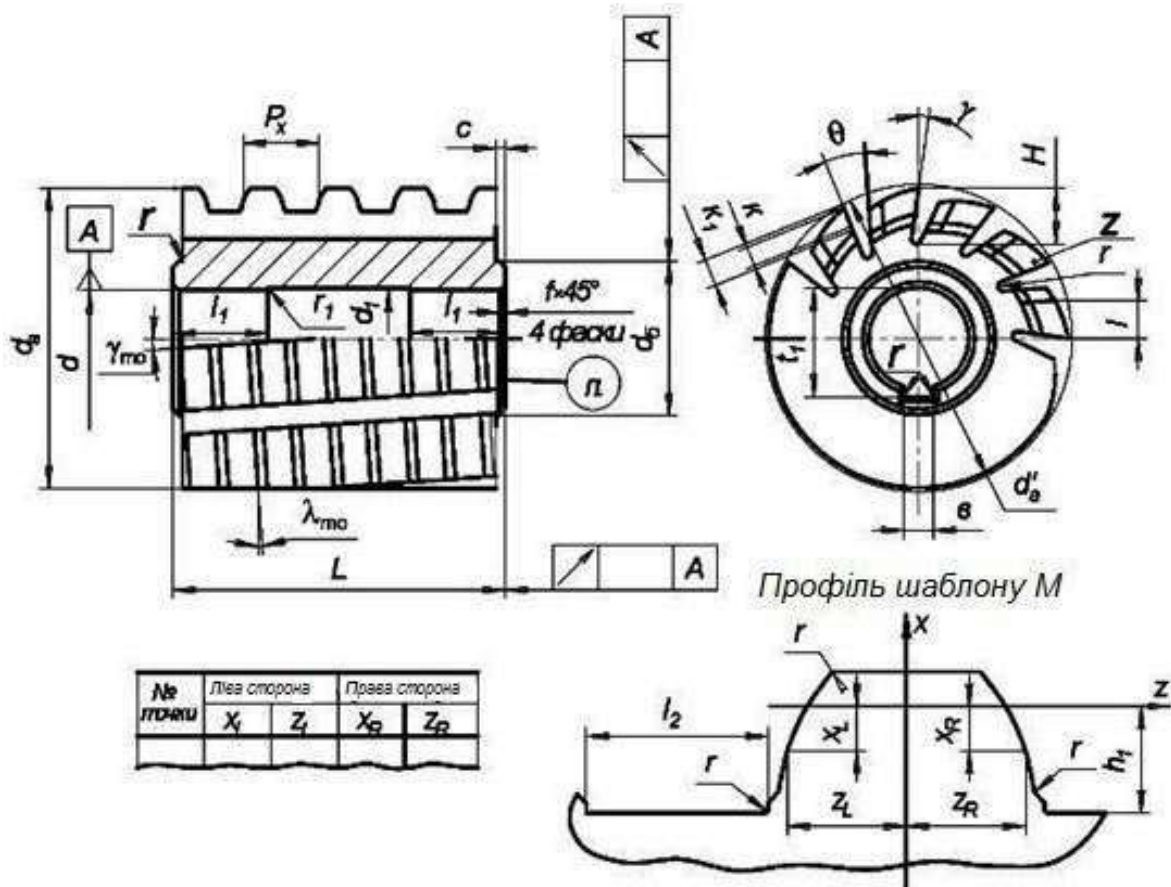


Рисунок 8.8 – Шліцьова фреза

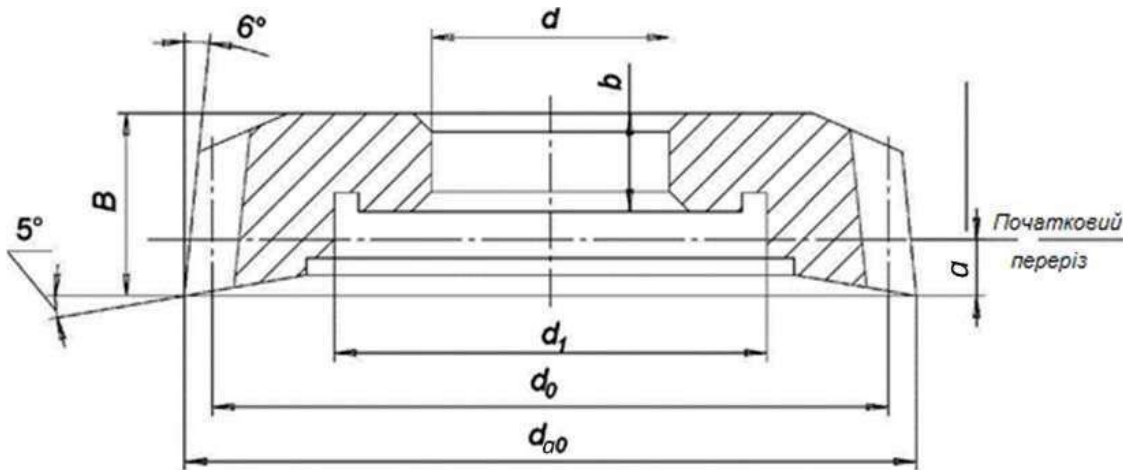
Таблиця 8.10 – Основні розміри черв'ячних фрез для шліцьових валів, мм

| Розміри шліцьового валу $z \times d \times D$, мм | d_a | d | L | z |
|---|-------|-----|-----|-----|
| Легка серія шліцьових валів по ДСТУ 1139-80 | | | | |
| 6 × 26 × 26 | 70 | 27 | 63 | 12 |
| 6 × 26 × 30 | | | | |
| 6 × 28 × 32 | | | | |
| 8 × 32 × 36 | | | | |
| 8 × 36 × 40 | 80 | 32 | 70 | 12 |
| 8 × 42 × 46 | | | | |
| 8 × 46 × 50 | 90 | 32 | 80 | 14 |
| 8 × 52 × 58 | | | | |
| 8 × 56 × 62 | | | | |
| 8 × 62 × 68 | 100 | 40 | 90 | 14 |
| 10 × 72 × 78 | | | | |
| Середня серія шліцьових валів | | | | |
| 6 × 16 × 20 | 63 | 22 | 50 | 10 |
| 6 × 18 × 22 | | | | |
| 6 × 21 × 25 | 70 | 27 | 56 | 10 |
| 6 × 23 × 28 | | | | |
| 6 × 26 × 32 | 80 | 27 | 63 | 10 |
| 6 × 28 × 34 | | | | |
| 8 × 32 × 38 | | | | |
| 8 × 36 × 42 | 90 | 32 | 70 | 12 |
| 8 × 42 × 48 | | | | |
| 8 × 46 × 54 | 100 | 32 | 80 | 12 |
| 8 × 52 × 60 | | | | |
| 8 × 56 × 65 | | | | |
| Важка серія шліцьових валів | | | | |
| 10 × 16 × 20 | 63 | 22 | 59 | 10 |
| 10 × 18 × 23 | | | | |
| 10 × 21 × 26 | 70 | 27 | 56 | 10 |
| 10 × 23 × 29 | | | | |
| 10 × 26 × 32 | 80 | 27 | 63 | 10 |
| 10 × 28 × 35 | | | | |
| 10 × 32 × 40 | | | | |
| 10 × 36 × 45 | 90 | 32 | 70 | 10 |
| 10 × 42 × 52 | | | | |
| 10 × 46 × 56 | 100 | 32 | 80 | 12 |
| 16 × 52 × 60 | | | | |
| 16 × 56 × 65 | | | | |
| 16 × 72 × 82 | 112 | 40 | 90 | 12 |
| 20 × 82 × 92 | | | | |

Зуборізальні довбачі застосовуються для оброблення циліндричних коліс із евольвентним профілем із зовнішніми та внутрішніми зубами. Існують чотири типи довбачів трьох класів точності:

1. Дискові прямозубі класів точності АА, А та В для нарізування коліс із зовнішніми зубами, з номінальними ділільними діаметрами $d_0 = 75, 100, 125, 160$ і 200 мм і модулем $m = 1 \dots 12$ мм. Конструктивні розміри дискових довбачів типу 1 (ДСТУ 9322-79) наведено в табл. 8.11.

Таблиця 8.11 – Основні розміри дискових довбачів, мм



| Модуль, мм | d_0 | z_0 | d | d_{a0} | d_1 | a | b | B |
|------------|-------|----------|-------|----------------|-------|-----------|---------|---------|
| 1,0...12,0 | 80 | 16...76 | 31,75 | 79,38...93,1 | 50 | 2,8...6,3 | 8 | 12...17 |
| 1,0...8,0 | 100 | 14...100 | 44,45 | 194,3...132,64 | 70 | 3,0...8,9 | 8...12 | 17...22 |
| 2,0...10 | 125 | 14...62 | 44,45 | 131,0...165,68 | 80 | 3,8...9,9 | 10...14 | 22...28 |
| 6,0...10 | 160 | 16...27 | 88,9 | 179,04...186,2 | 120 | 5,7...9,7 | 16...20 | 30...32 |
| 8,0...12 | 200 | 17...25 | 101,6 | 222,4...235,68 | 140 | 8,0...11 | 25 | 40 |

2. Чашкові прямозубі класів точності АА, А та В с $d_0 = 50, 75, 100$ і 125 мм і модулем $m = 1 \dots 9$ мм призначено для нарізування коліс із закритими вінцями, коли є перешкода для виходу довбача (або його кріпильної гайки) з різання: обробляння блокових коліс або коліс із фланцями.

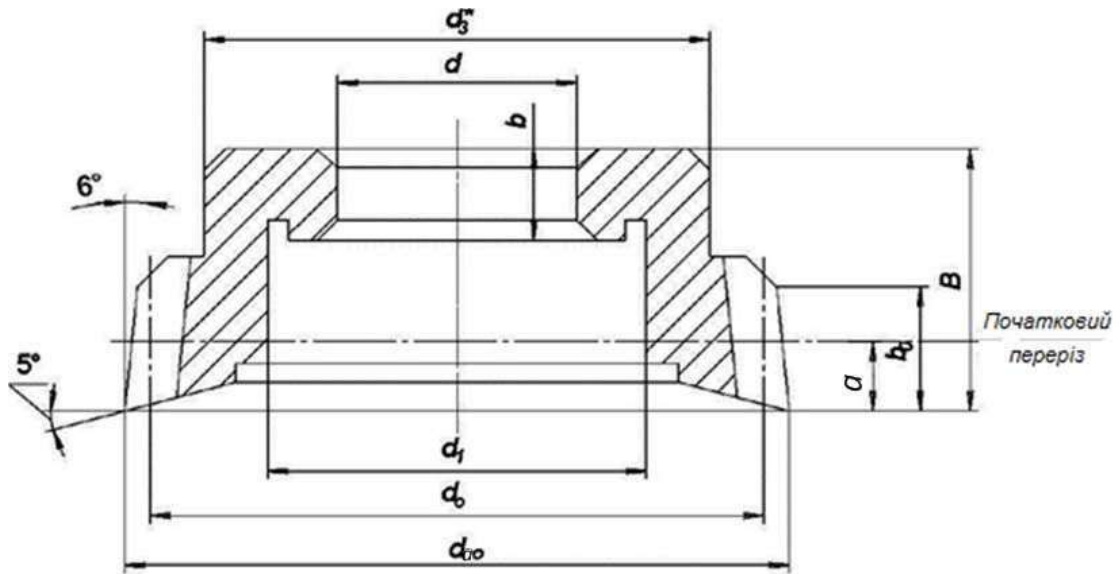
Конструктивні розміри чашкових довбачів типу 3 (ДСТУ 9323-79) наведено в табл. 8.12.

3. Хвостові прямозубі класів точності В с $d_0 = 25$ і 38 мм, модулем $m = 1 \dots 4$ мм і косозубі класів точності В с $d_0 = 38$ мм, кутами нахилу зубів 15° і 23° і $m = 1 \dots 4$ мм, які застосовуються для коліс внутрішнього зачеплення.

Конструктивні розміри хвостових довбачів типу 4 і 5 (ДСТУ 9323-79) наведено в табл. 8.13 і 8.14.

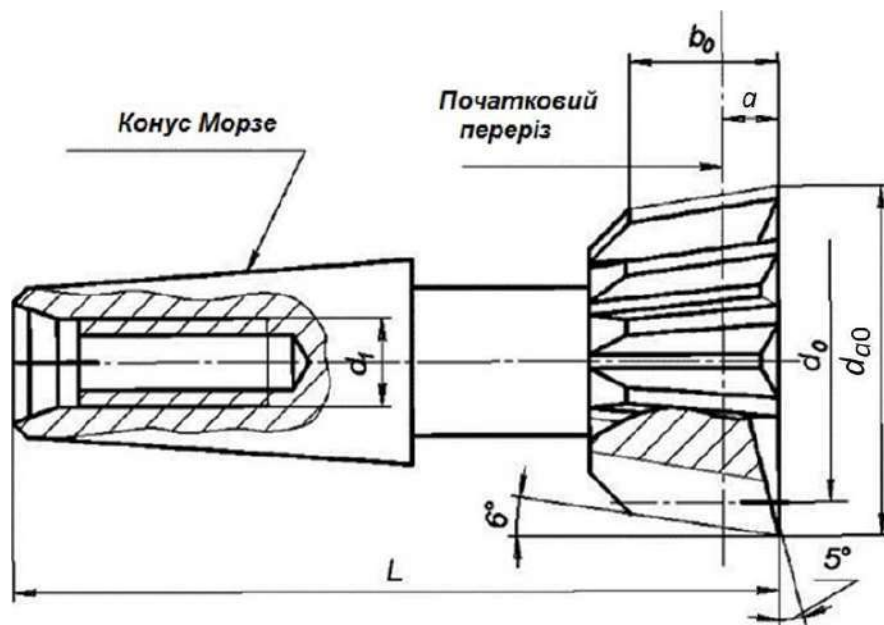
4. Дискові косозубі класів точності А та В з номінальним діаметром до 200 мм із кутами нахилу зубів $\beta = 15^\circ$ і 23° і $m = 1 \dots 7$ мм для нарізування косозубих зубчастих коліс. Конструктивні розміри косозубих довбачів типу 2 (ДСТУ 9323-79) наведено в табл. 8.15.

Таблиця 8.12 – Основні розміри чашкових довбачів, мм



| Модуль, мм | d_0 | z_0 | d | d_{a0} | d_1 | b | b_0 | B |
|------------|-------|----------|-------|---------------|-------|----------|---------|---------|
| 1,0...3,25 | 50 | 14...50 | 20 | 53,08...58,03 | 28 | 10...12 | 12...17 | 25 |
| 1,0...3,5 | 80 | 22...76 | 31,75 | 79,82...87,04 | 50 | 8,0...10 | 12...17 | 28...30 |
| 1,0...6,5 | 100 | 16...100 | 44,45 | 104,3...121,0 | 50 | 10...12 | 17...22 | 20...34 |
| 5,0...9 | 125 | 14...25 | 44,45 | 123,5...128,0 | 70 | 16 | 26 | 38 |

Таблиця 8.13 – Основні розміри хвостових довбачів типу 4, мм

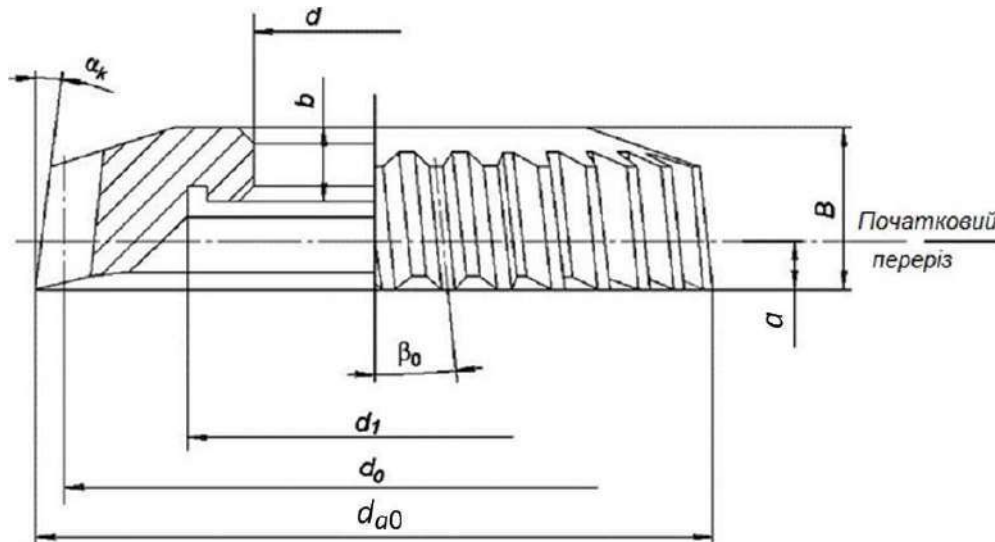


| Модуль, мм | d_0 | z_0 | d_{a0} | d_1 | a | b_0 | L |
|------------|-------|---------|---------------|-------|------------|---------|-----|
| 1,0...3,0 | 25 | 9...26 | 28,41...34,44 | M10 | 0,29...1,4 | 10...15 | 80 |
| 1,0...4,0 | 38 | 10...38 | 41,06...50,0 | M12 | 0...2,66 | 12...17 | 100 |

Таблиця 8.14 – Основні розміри хвостових довбачів типу 5, мм

| Модуль, мм | d_0 | z_0 | Кут нахилу зубця β° | d_{a0} | b_0 | L |
|------------|-------|--------|--------------------------------|---------------|---------|-----|
| 1,0...4,0 | 38 | 9...36 | 14°35'31" ... 15°19'24" | 39,92...48,02 | 12...17 | 100 |
| | | | 22°08'06" ... 23°41'51" | 40,72...50,12 | | |

Таблиця 8.15 – Основні розміри косозубих довбачів, мм



| Модуль, мм | d_0 | z_0 | Кут нахилу зубця β° | d_{a0} | b | B |
|------------|-------|----------|--------------------------------|-----------------|--------|---------|
| 1,0...7,0 | 100 | 14...100 | 14°34'51" ... 15°12'10" | 104,83...120,87 | 8...12 | 17...22 |
| | | 13...94 | 22°20'43" ... 23°38'44" | 104,63...121,72 | | |

Примітка. Допускається виготовляти довбачі з діаметрами посадкових отворів $d=31,743; 44,443; 31,75$ і $44,45$ мм.

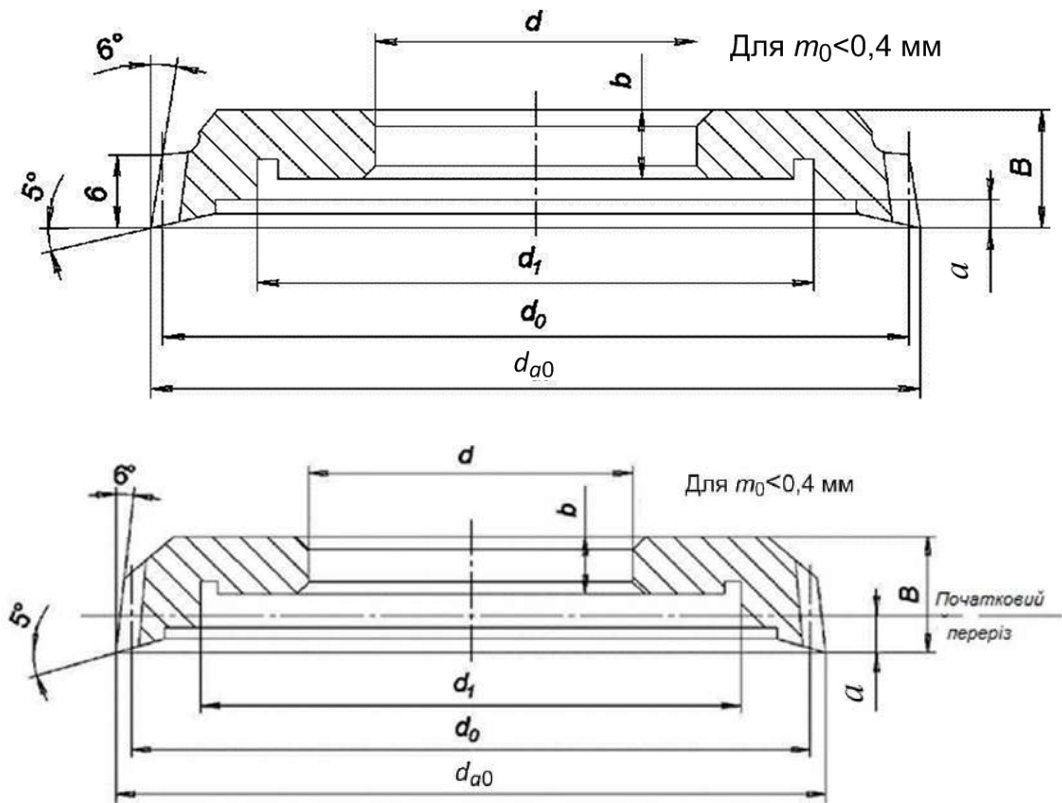
5. Довбачі дрібномодульні ($m = 0,1...0,9$) випускаються трьох класів точності й двох типів: дискові прямозубі з $d_0 = 40$ і 63 мм, класів точності AA, A та B (ДСТУ 10059-80); хвостові прямозубі з $d_0 = 12, 16$ і 25 мм класів точності A та B (ДСТУ 10059-80 E).

Конструктивні розміри дрібномодульних прямозубих дискових довбачів наведено в табл. 8.16, а хвостових – у табл. 8.17.

Довбачі класу точності AA призначено для виготовлення коліс 6-го ступеню точності, класу точності A – 7-го ступеню точності й класу точності B – 8-го ступеню точності.

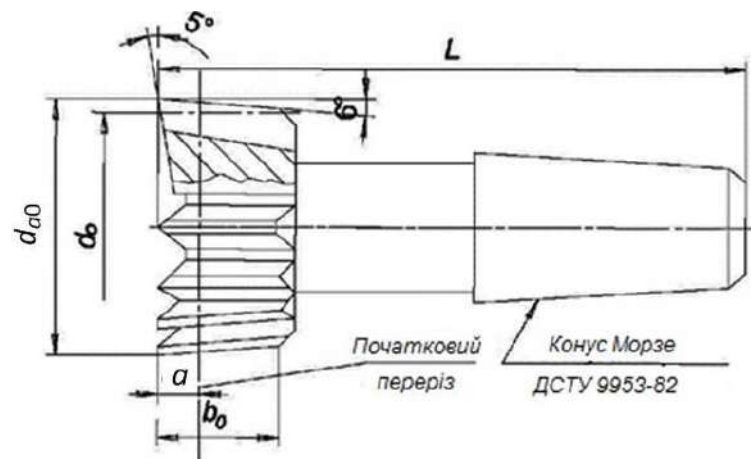
Довбачі, оснащені твердим сплавом, ефективно застосовувати при оброблянні деталей із загартованих сталей і матеріалів з підвищеною твердістю з використанням інструментального матеріалу – твердий сплав груп застосовності P20, P30, P40, M10, M20, H10.

Таблиця 8.16 – Основні розміри дрібномодульних дискових довбачів, мм



| Модуль, мм | d_0 | z_0 | d | d_{a0} | d_1 | b | b_0 | B |
|------------|-------|----------|-------|---------------|-------|----------|-------|---------|
| 0,15...0,9 | 40 | 44...290 | 20 | 40,12...42,64 | 30 | 10...12 | 6...7 | 11...12 |
| 0,20...0,9 | 63 | 72...320 | 31,75 | 64,53...67,77 | 50 | 8,0...10 | 6...7 | 11...12 |

Таблиця 8.17 – Основні розміри дрібномодульних хвостових довбачів, мм



| Модуль, мм | d_0 | z_0 | d_{a0} | a | b_0 | L |
|------------|-------|----------|---------------|-------------|-------|---------|
| 0,1...0,5 | 12 | 24...128 | 12,24...13,75 | 0,29...1,43 | 6...8 | 60 |
| 0,1...0,8 | 16 | 20...160 | 16,2...18,64 | 0,29...2,28 | 6...8 | 60 |
| 0,1...0,9 | 25 | 28...256 | 24,4...26,17 | 0,29...2,57 | 6...8 | 60...80 |

Класифікацію твердосплавних довбачів представлено на рис. 8.9. Як приклад на рис. 8.10 наведено конструкцію збірного дискового твердосплавного довбача.



Рисунок 8.9 – Класифікація твердосплавних довбачів

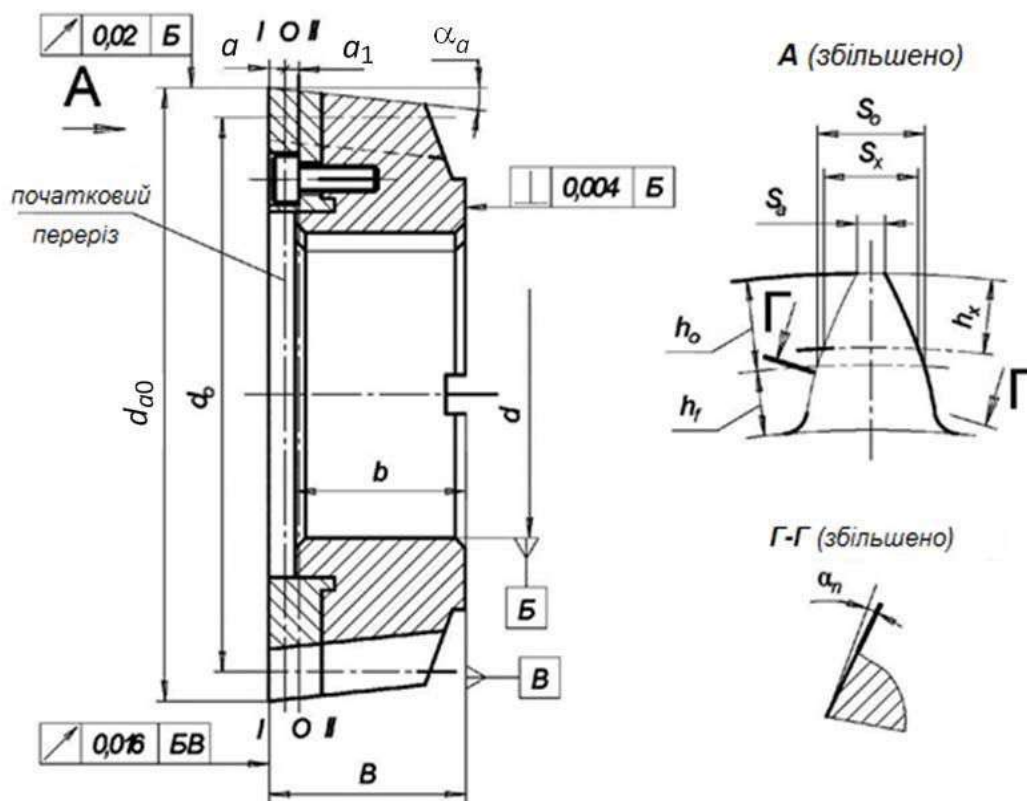
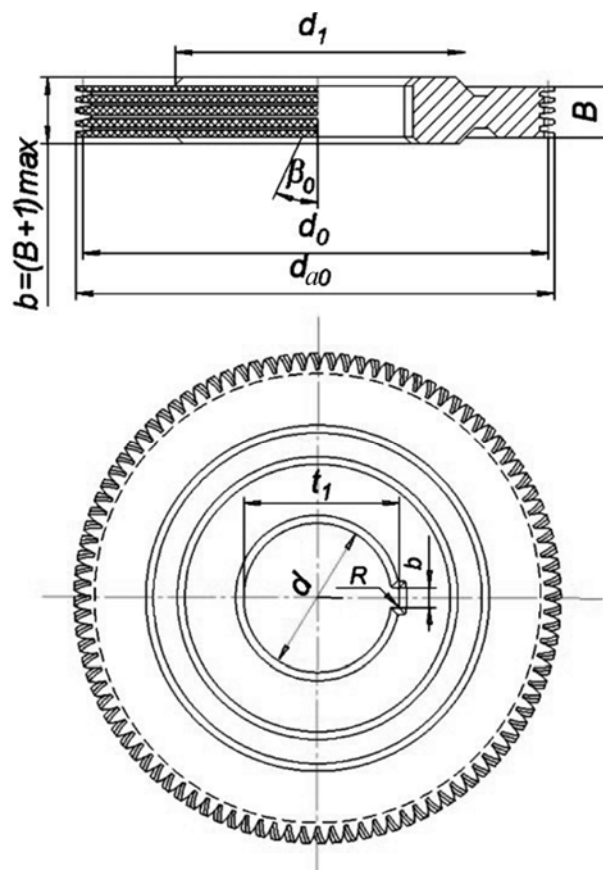


Рисунок 8.10 – Збірний твердосплавний дисковий довбач

Шевери застосовуються для чистового оброблення прямозубих і косозубих зубчастих коліс із твердістю не вище 35 HRC, $m = 0,2 \dots 8,0$ мм. Шевінгування підвищує точність коліс, як правило, приблизно на один ступінь, при цьому виправляються профіль зубів та крок, знижується шорсткість поверхні зубів з $R_a = 3,0 \dots 2,5$ мкм до $R_a = 0,63 \dots 0,32$ мкм. Шевери бувають дискові, черв'ячні й рейкові. Найбільш поширені дискові шевери.

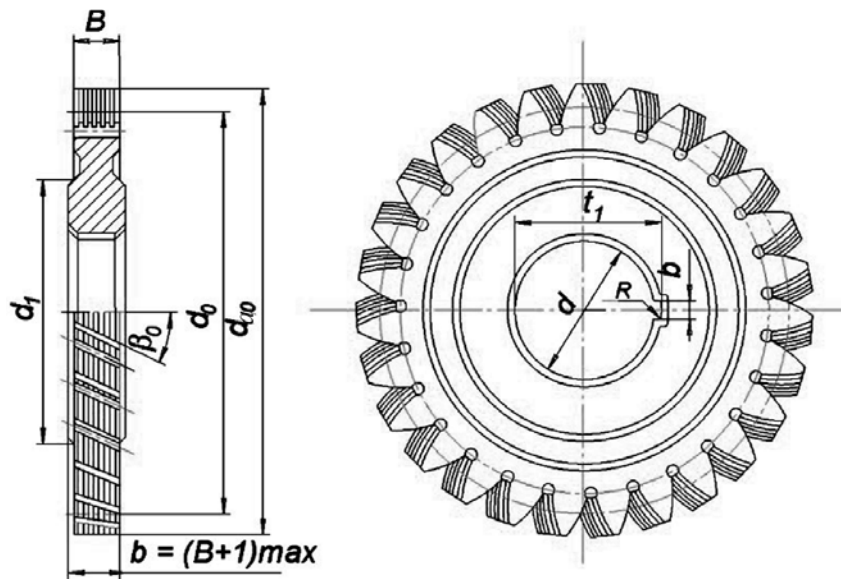
Розрізняють дискові шевери (ДСТУ 8570-80 Е) з номінальними ділильними діаметрами: 85 та 180 мм для модуля $m = 1,0 \dots 1,5$ мм із кутом нахилу лінії зубів $\beta_0 = 10,5^\circ$ і 15° (табл. 8.18); 180 мм для модуля $m = 1,5 \dots 6,0$; 250 мм для модуля $m = 2,0 \dots 8,0$ з кутом $\beta_0 = 5^\circ$ та 15° (табл. 8.19). Для коліс із $m = 0,2 \dots 0,9$ мм дискові шевери (ДСТУ 10222-81 Е) виробляються з номінальним ділильним діаметром 85 мм і кутом $\beta_0 = 10^\circ$ (табл. 8.20).

Таблиця 8.18 – Основні розміри дискових шеверів типу 1, мм



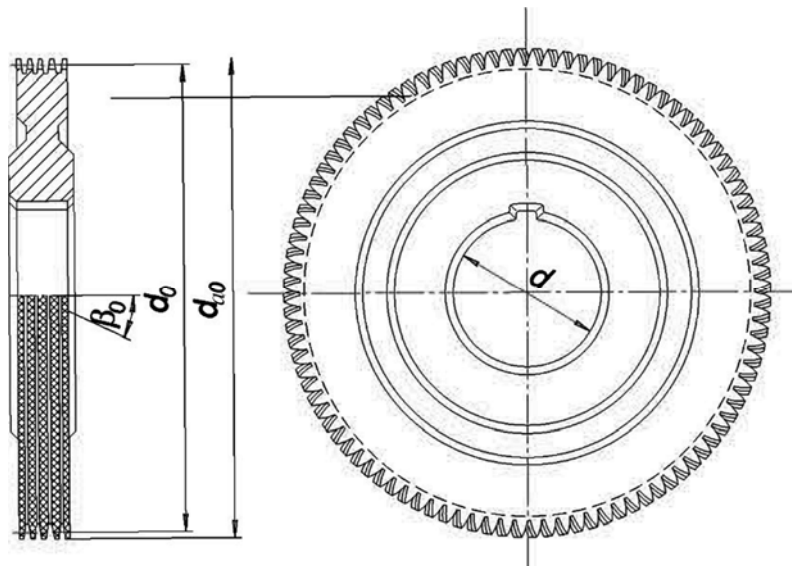
| Модуль, мм | d_0 | z_0 | d | d_{a0} | d_1 | t_1 | β_0 | B |
|-------------|-------|-----------|-------|-----------------|-------|-------|---------------------|-------|
| 1,0...1,5 | 85 | 58...86 | 31,75 | 87,79...91,64 | 60 | 34,6 | 10° | 14,86 |
| 1,25...1,75 | 180 | 100...115 | 63,5 | 149,25...187,23 | 110 | 67,5 | $5^\circ, 15^\circ$ | 20 |

Таблиця 8.19 – Основні розміри дискових шеверів типу 2, мм



| Модуль, мм | d_0 | z_0 | d | d_{a0} | d_1 | t_1 | β_0 | B |
|------------|-------|----------|------|-----------------|-------|-------|-----------|-----|
| 1,5...6,0 | 180 | 29...83 | 63,5 | 168,51...199,97 | 110 | 67,5 | 5°, 15° | 20 |
| 2,0...8,0 | 250 | 29...115 | 63,5 | 222,71...265,61 | 110 | 67,5 | 5°, 15° | 25 |

Таблиця 8.20 – Основні розміри дрібномодульних дискових шеверів, мм



| | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| m_0 | z_0 | m_0 | z_0 | m_0 | z_0 |
| 0,20 | 438 | 0,35 | 246 | 0,60 | 146 |
| 0,22 | 396 | 0,40 | 212 | 0,70 | 122 |
| 0,25 | 348 | 0,45 | 192 | 0,80 | 106 |
| 0,28 | 312 | 0,50 | 172 | 0,90 | 94 |
| 0,30 | 292 | 0,55 | 154 | — | — |

Класифікацію твердосплавних шеверів представлено на рис. 8.11. Як приклад на рис. 8.12 наведено конструкцію дискового твердосплавного шевера.



Рисунок 8.11 – Класифікація твердосплавних шеверів

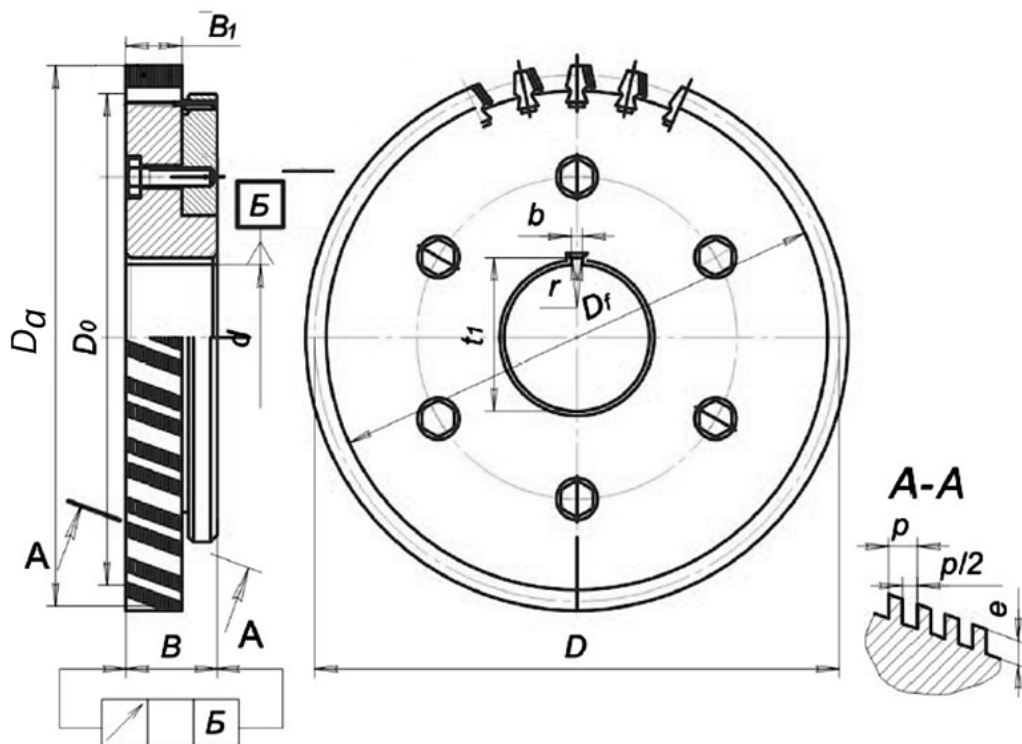


Рисунок 8.12 – Збірний твердосплавний шевер

Зубостругальні різці застосовуються для нарізування прямозубих конічних зубчастих коліс із $m = 0,3 \dots 2,0$ мм методом обкатування. Нарізування засновано на принципі зачеплення оброблюваної заготовки з вироблювальним плоским колесом; при цьому кожний зуб заготовки обробляється із двох сторін двома різцями.

Стандартні зубостругальні різці (ДСТУ 5392-80 Е) виготовляються чотирьох типів:

- тип 1 – довжина $L = 40$ мм, у двох виконаннях, з модулем $m = 0,3 \dots 2,5$ мм, висотою $H = 27$ мм і величиною $K = 18,63$ мм (рис. 8.13, табл. 8.21);

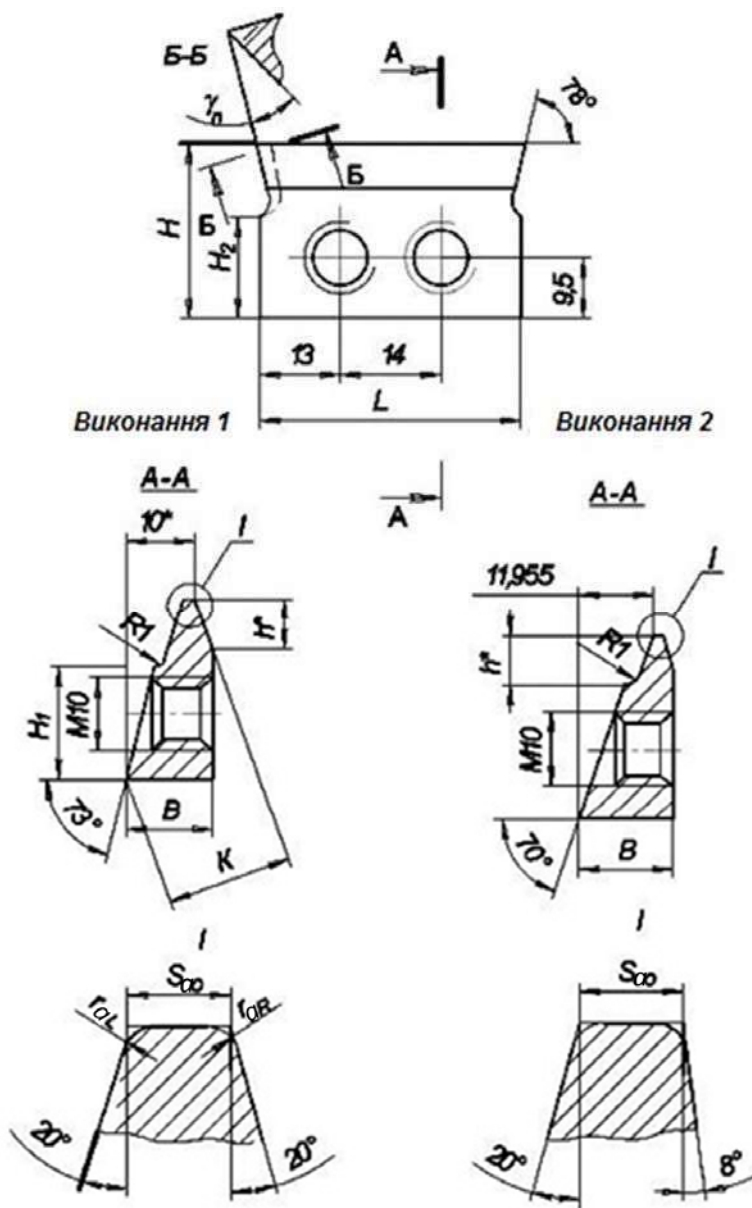


Рисунок 8.13 – Зубостругальний різець типу 1

Таблиця 8.21 – Основні розміри зубофугальних різців типу 1, мм

| Модуль, мм | Виконання 1 | | Виконання 2 | | S_{a0} | H_1 | H_2 | r_{aR} | r_{aL} |
|--------------|-------------|-----|-------------|-----|----------|-------|-------|----------|----------|
| | B | h | B | h | | | | | |
| 0,3...0,35 | 10,36 | 1,0 | 12,18 | 2,0 | 0,12 | 25,7 | 25,0 | 0,8 | — |
| 0,4...0,45 | 10,44 | 1,2 | 12,22 | 2,2 | 0,16 | | | 0,12 | |
| 0,5...0,55 | 10,51 | 1,4 | 12,26 | 2,5 | 0,20 | 25,0 | 24,0 | 0,15 | |
| 0,6...0,7 | 10,66 | 1,8 | 12,30 | 3,0 | 0,24 | | | 0,18 | |
| 0,8...0,9 | 10,80 | 2,2 | 12,38 | 3,5 | 0,32 | 23,9 | 23,0 | 0,24 | |
| 1,0...1,125 | 11,09 | 3,0 | 12,46 | 4,0 | 0,4 | | | 0,3 | |
| 1,25...1,375 | 11,18 | 3,3 | 12,56 | 4,5 | 0,5 | 22,7 | 22,0 | 0,38 | |
| 1,5...1,75 | 11,53 | 4,2 | 12,66 | 5,5 | 0,6 | | | 0,45 | |
| 2,0...2,25 | 11,93 | 5,3 | 12,86 | 6,0 | 0,8 | 20,5 | 20,0 | 0,6 | 0,18 |
| 2,5 | 12,18 | 6,0 | 13,06 | 6,0 | 1,0 | | | 0,75 | 0,2 |

• тип 2 – довжина $L = 75$ мм, з модулем $m = 0,5...5,5$ мм, висотою $H = 33$ мм і величиною $K = 25,85$ мм (рис. 8.14, табл. 8.22);

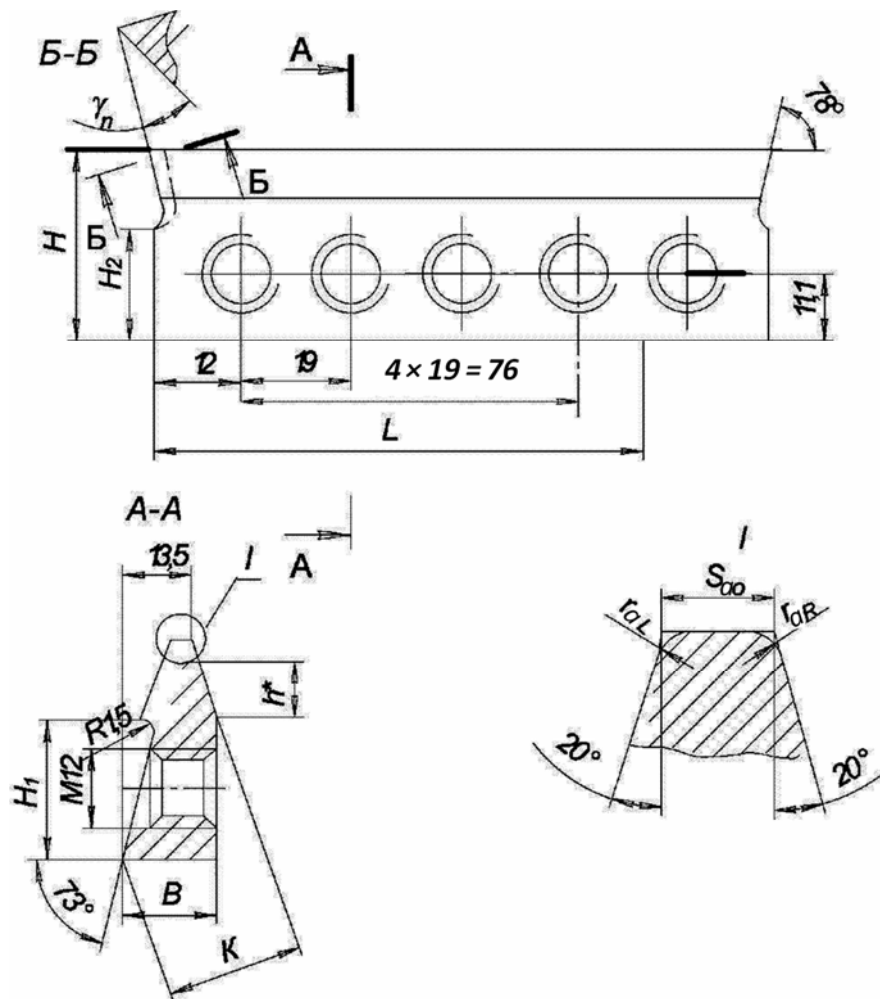


Рисунок 8.14 – Зубофугальний різець типу 2

Таблиця 8.22 – Основні розміри зубостругальних різців типу 2, мм

| Модуль, мм | B | h | S_{a0} | H_1 | H_2 | r_{aR} | r_{aL} |
|--------------|-------|------|----------|-------|-------|----------|----------|
| 0,5...0,55 | 16,01 | 1,4 | 0,2 | 29 | 30 | 0,15 | — |
| 0,6...0,7 | 16,16 | 1,8 | 0,24 | | | 0,18 | |
| 0,8...0,9 | 16,3 | 2,2 | 0,32 | | 29 | 0,24 | |
| 1,0...1,125 | 16,59 | 3,0 | 0,4 | | | 0,30 | |
| 1,25...1,375 | 16,68 | 3,3 | 0,5 | | 28 | 0,38 | |
| 1,5...1,75 | 17,03 | 4,2 | 0,6 | 0,45 | | 0,15 | |
| 2,0...2,25 | 17,43 | 5,3 | 0,8 | 23 | 26 | 0,60 | 0,18 |
| 2,5...2,75 | 17,86 | 6,5 | 1,0 | | | 0,75 | 0,20 |
| 3,0...3,25 | 18,27 | 7,6 | 1,2 | | 23 | 0,80 | 0,25 |
| 3,5...3,75 | 18,70 | 8,8 | 1,4 | 1,0 | | 0,30 | |
| 4,0...4,5 | 19,36 | 10,6 | 1,6 | 18 | 21,5 | 1,2 | 0,35 |
| 5,0...5,5 | 20,24 | 13,0 | 2,0 | | 19,0 | 1,5 | 0,45 |

- тип 3 – довжина $L = 100$ мм, з модулем $m = 1,0...10$ мм, висотою $H = 43$ мм і величиною $K = 27,39$ мм (рис. 8.15, табл. 8.23);

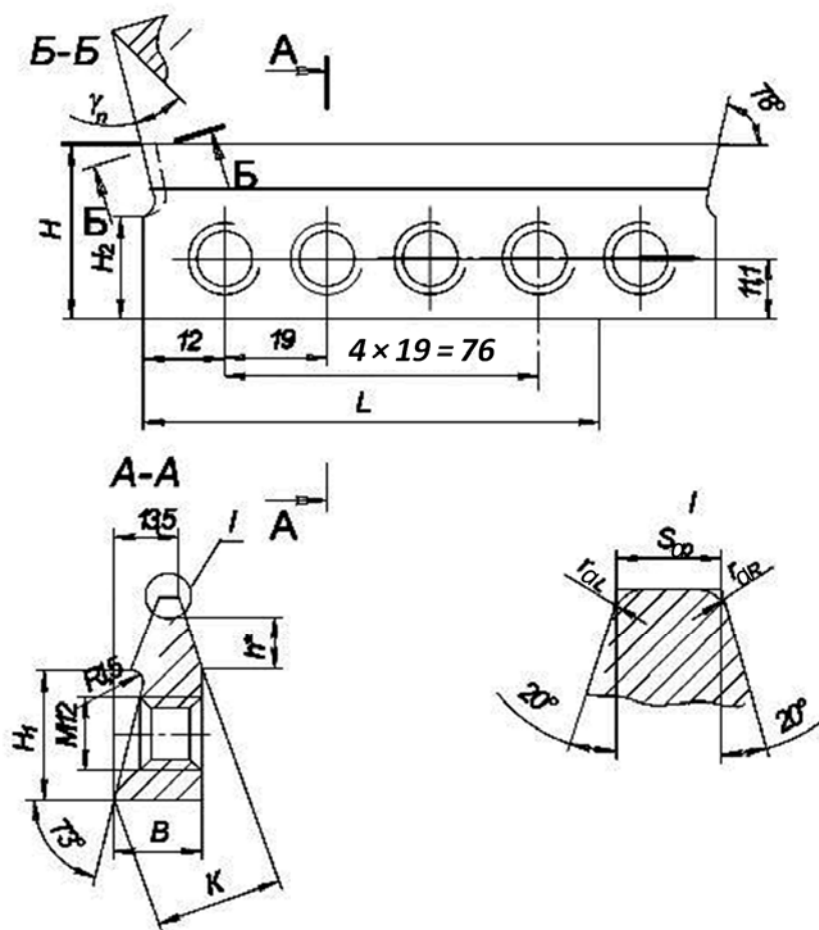


Рисунок 8.15 – Зубостругальний різець типу 3

Таблиця 8.23 – Основні розміри зубостругальних різців типу 3, мм

| Модуль, мм | B | h | $S_{\sigma 0}$ | H_1 | H_2 | r_{aR} | r_{aL} |
|--------------|-------|------|----------------|-------|-------|----------|----------|
| 1.0...1.125 | 14,59 | 3,0 | 0,4 | 35 | 39 | 0,3 | |
| 1,25...1,375 | 14,70 | 3,3 | 0,5 | | | 0,38 | |
| 1,5...1,75 | 15,03 | 4,2 | 0,6 | | 37 | 0,45 | 0,15 |
| 2,0...2,25 | 15,59 | 5,3 | 0,8 | | | 0,60 | 0,18 |
| 2,5...2,75 | 15,87 | 6,5 | 1,0 | | 30 | 34,5 | 0,75 |
| 3,0...3,25 | 16,27 | 7,6 | 1,2 | 0,80 | | | 0,25 |
| 3,5...3,75 | 16,70 | 8,8 | 1,4 | 31,5 | | 1,0 | 0,30 |
| 4,0...4,5 | 17,36 | 10,6 | 1,6 | | | 1,2 | 0,35 |
| 5,0...5,5 | 18,23 | 13,0 | 2,0 | 26 | | 29 | 1,5 |
| 6,0...6,5 | 19,14 | 15,5 | 2,4 | | 26,5 | 1,8 | 0,55 |
| 7,0 | 19,51 | 16,5 | 2,8 | | 25,5 | 2,1 | 0,65 |
| 8,0 | 20,42 | 19,0 | 3,2 | | 23,0 | 2,4 | 0,7 |
| 9,0 | 21,33 | 21,5 | 3,6 | | 20,5 | 2,7 | 0,8 |
| 10,0 | 22,24 | 24,0 | 4,0 | | 18,0 | 3,0 | 0,9 |

• тип 4 – у трьох виконаннях довжина $L = 125$ мм, висотою $H = 60$ мм і величиною $K = 39,78$ мм для модулів $m = 3...12$ мм; $H = 75$ мм, $K = 44,915$ мм для модулів $m = 14...20$ мм (рис. 8.16, табл. 8.24).

Таблиця 8.24 – Основні розміри зубостругальних різців типу 4, мм

| Модуль, мм | B | h | $S_{\sigma 0}$ | H_1 | H_2 | r_{aR} | r_{aL} |
|-------------|-------|------|----------------|-------|-------|----------|----------|
| Виконання 1 | | | | | | | |
| 3,0...3,25 | 23,27 | 7,6 | 1,2 | 48 | 50 | 0,80 | 0,25 |
| 3,5...3,75 | 23,70 | 8,8 | 1,4 | | | 1,0 | 0,30 |
| 4,0...4,5 | 24,36 | 10,6 | 1,6 | | 48,5 | 1,2 | 0,35 |
| 5,0...5,5 | 25,23 | 13,0 | 2,0 | 42 | 46 | 1,5 | 0,45 |
| Модуль, мм | B | h | $S_{\sigma 0}$ | H_1 | H_2 | r_{aR} | r_{aL} |
| 6,0...6,5 | 26,14 | 15,5 | 2,4 | | 43,5 | 1,8 | 0,55 |
| 7,0 | 26,51 | 16,5 | 2,8 | | 42,5 | 2,1 | 0,65 |
| Виконання 2 | | | | | | | |
| 8,0 | 27,42 | 19,0 | 3,2 | 38 | 40,0 | 2,4 | 0,7 |
| 9,0 | 28,33 | 21,5 | 3,6 | | 37,5 | 2,7 | 0,8 |
| 10,0 | 29,24 | 24,0 | 4,0 | 30 | 35,0 | 3,0 | 0,9 |
| 11,0 | 29,89 | 25,8 | 4,4 | | 33,0 | 3,3 | 1,0 |
| 12,0 | 30,73 | 28,1 | 4,8 | | 31,0 | 3,5 | 1,1 |
| Виконання 3 | | | | | | | |
| 14,0 | 32,44 | 32,8 | 5,6 | 30 | 41 | 4,2 | 1,25 |
| 16,0 | 34,15 | 37,5 | 6,4 | | 36,5 | 4,8 | 1,45 |
| 18,0 | 35,86 | 42,2 | 7,2 | | 31 | 5,4 | 1,6 |
| 20,0 | 37,61 | 47 | 8,0 | | 27 | 6,0 | 1,8 |

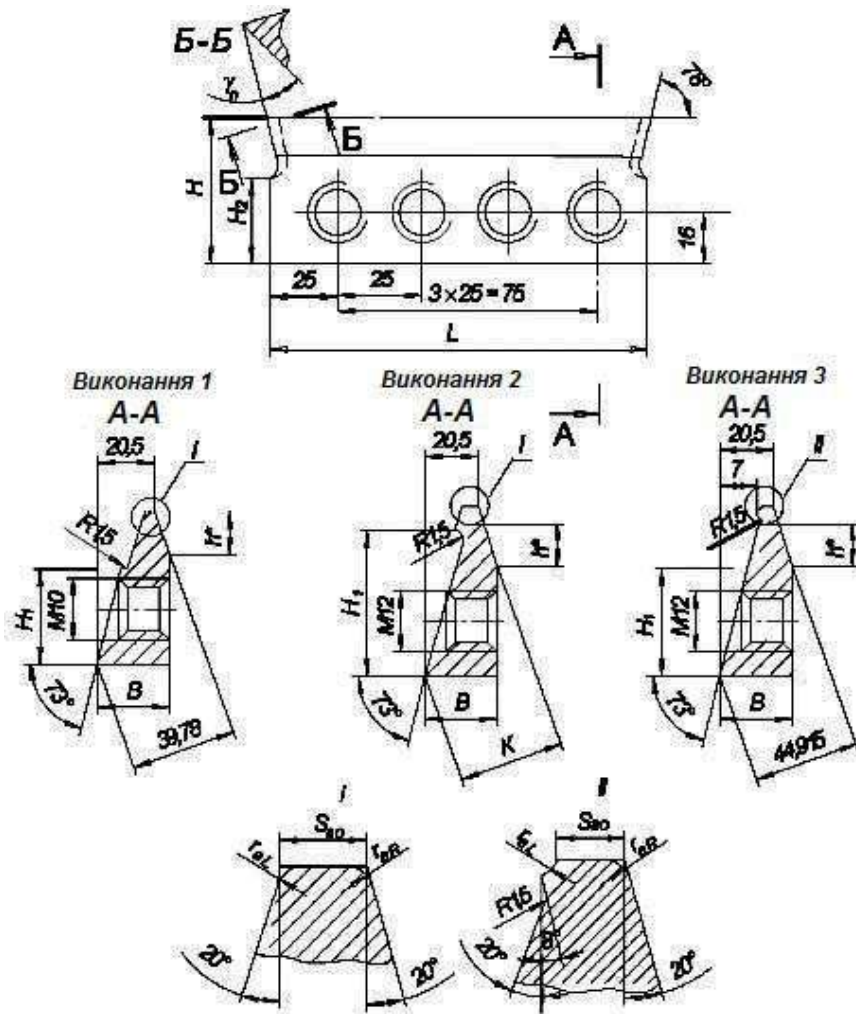


Рисунок 8.16 – Зубостругальний різець типу 4

Різці типу 1 (виконання 2) призначено для роботи на верстатах в одній западині зуба. Усі інші різці застосовуються для нарізування сусідніх западин зубів. Зубостругальні різці виготовляються зі швидкорізальних сталей або твердосплавними.

8.3. Рекомендації щодо вибирання режимів різання при зубонарізуванні

Найпоширенішою операцією у виробництві циліндричних зубчастих коліс є нарізування зубів дисковими, черв'ячними фрезами та довбачами.

Вибирання режимів різання при зубофрезеруванні проводиться так:

- вибираються стійкість фрези, кількість проходів, подача;
- визначаються швидкість різання та кількість обертів;
- перевіряється потужність та визначається основний час.

Зубофрезерування дисковими фрезами.

Режими різання дисковими зуборізальними фрезами при чорновому зубофрезеруванні представлено в табл. 8.25.

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та подачу залежно від твердості оброблюваного матеріалу такі:

| | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|-----|------|------|------|
| σ_B , кг/мм ² | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| K | 1,44 | 1,20 | 1,0 | 0,86 | 0,75 | 0,67 |

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та подачу залежно від твердості оброблюваного матеріалу:

| | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|-----|------|------|------|
| σ_B , кг/мм ² | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| K | 1,44 | 1,20 | 1,0 | 0,86 | 0,75 | 0,67 |

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та подачу залежно від стійкості фрези:

| | | | |
|----------|-----|-----|-----|
| T , хв | 60 | 180 | 300 |
| K | 1,6 | 1,0 | 0,8 |

Таблиця 8.25 – Режими різання дисковими фрезами

| Фрези із швидкорізальної сталі | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Модуль, мм | Діаметр фрези d_o , мм | Оброблюваний матеріал (групи різання) | | | |
| | | Сталь (P01, P10, P20) | | Чавун (K01, K10) | |
| | | V , м/хв | $S_{хв}$, мм/хв | V , м/хв | $S_{хв}$, мм/хв |
| До 4 | 80 | 32 | 134 | 25 | 200 |
| 5 | 90 | 32 | 120 | 25 | 180 |
| 6 | 100 | 32 | 109 | 25 | 165 |
| 8 | 110 | 32 | 109 | 25 | 165 |
| Фрези, які оснащені твердим сплавом | | | | | |
| 2 | 140 | 200...220 | 600...950 | – | – |
| 4 | 100 | 180...200 | 520...720 | – | – |
| Фрези із швидкорізальної сталі | | | | | |
| Модуль, мм | Діаметр фрези d_o , мм | Оброблюваний матеріал (групи різання) | | | |
| | | Сталь (P01, P10, P20) | | Чавун (K01, K10) | |
| | | V , м/хв | $S_{хв}$, мм/хв | V , м/хв | $S_{хв}$, мм/хв |
| 6 | 180 | 190...215 | 190...350 | – | – |
| 8 | 200 | 180...190 | 185...250 | – | – |
| 12 | 240 | 160...170 | 115...190 | – | – |

Примітка.

1. Швидкості різання наведено, виходячи зі стійкості фрез – $T = 480$ хв для фрез зі швидкорізальної сталі й $T = 180$ хв – для твердосплавних.

2. Подача на зуб фрези $S_z = 0,1...0,15$ мм/об.

Подальший порядок визначення параметрів режиму різання при нарізуванні зубів коліс дисковими фрезами здійснюється, як і при фрезеруванні (див. розд. 6).

Зубофрезерування черв'ячними фрезами

Режими різання при нарізуванні зубів однозахідними черв'ячними фрезами з осьовою подачею (паралельно осі оброблюваного колеса) представлено в табл. 8.26 і 8.27. Наведені значення швидкості різання припускають стійкість $T_{\text{хв}}$ до 240 хв для інструментів без зносостійкого покриття.

Таблиця 8.26 – Подача при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами із швидкорізальної сталі

| Вид обробляння | Оброблюваний матеріал (група різання) | Потужність приводу верстата, кВт | Подача S_0 , мм/об, при модулі колеса, мм | | | | | |
|---|---------------------------------------|----------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | Від 1 до 1,5 | > 1,5 до 2,5 | > 2,5 до 4 | > 4 до 6 | > 6 до 8 | > 8 до 10 |
| Чорнова, н/чистова (під шліфування) | Сталь (P01 ... P20) | 1,5...2,8 | 0,8... 1,3 | 1,2... 1,8 | 1,6... 2,0 | 1,2... 1,4 | — | — |
| | | 3...4 | 1,5... 1,8 | 2,4... 2,8 | 2,6... 3,0 | 2,2... 2,6 | 2,0... 2,2 | — |
| | | 5...9 | 1,8... 2,0 | 2,4... 2,8 | 2,8... 3,2 | 2,4... 2,8 | 2,2... 2,6 | 2,0... 2,4 |
| | | Св.9 | 1,8... 2,0 | 2,4... 2,8 | 2,8... 3,2 | 2,6... 3,0 | 2,4... 2,8 | 2,2... 2,6 |
| | Чавун (K01, K10) | 1,5...2,8 | 1,0... 1,5 | 1,3... 1,8 | 1,8... 2,2 | 1,3... 1,6 | — | — |
| | | 3...4 | 1,5... 2,3 | 2,6... 3,0 | 2,8... 3,2 | 2,4... 3,0 | 2,2... 2,4 | — |
| | | 5...9 | 2,0... 2,3 | 2,6... 3,0 | 3,0... 3,5 | 2,6... 3,0 | 2,5... 2,8 | 2,2... 2,8 |
| | | Св.9 | 2,0... 2,3 | 2,6... 3,2 | 3,0... 3,5 | 2,8... 3,3 | 2,6... 3,0 | 2,4... 2,8 |
| Чистова по суцільному металу при шорсткості | | | | | | | | |
| R_a 2,5 не більше | Сталь (P01 ... P20) | 1,5...9 | 1,0... 1,2 | 1,2... 1,8 | 1,4... 2,0 | 1,4... 2,0 | — | — |
| R_a 1,6 не більше | | | 0,5... 0,8 | 0,8... 1,0 | 0,9... 1,2 | 0,9... 1,2 | — | — |
| R_a 2,5 не більше | Чавун (K01, K10) | 1,5...9 | 1,2... 1,4 | 1,4... 1,8 | 1,5... 2,0 | 1,5... 2,0 | — | — |
| R_a 1,6 не більше | | | 0,5... 0,8 | 0,8... 1,0 | 0,9... 1,2 | 0,9... 1,2 | — | — |

Таблиця 8.27 – Швидкість різання при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами із швидкорізальної сталі

| Вид оброблення | Подача S_o , мм/об | Швидкість різання, м/хв при модулі колеса, мм | | | | | |
|--|----------------------|---|--------------|------------|----------|----------|-----------|
| | | від 1 до 1,5 | > 1,5 до 2,5 | > 2,5 до 4 | > 4 до 6 | > 6 до 8 | > 8 до 10 |
| Чорнове, н'чистове (під шліфування) | 0,8 | 60 | 59 | 58 | 52 | 43 | 38 |
| | 1,0 | 50 | 49 | 48,5 | 44 | 38 | 33 |
| | 1,3 | 45 | 45 | 44 | 39 | 36,5 | 30 |
| | 1,5 | 43,5 | 43 | 43 | 37 | 33 | 28 |
| | 1,8 | 39 | 39 | 38 | 35 | 30 | 26,5 |
| | 2,0 | 38 | 37 | 37 | 33,5 | 29 | 25 |
| | 2,3 | – | 35,6 | 35,6 | 32 | 26 | 22 |
| | 2,5 | – | 33,5 | 33,5 | 30 | 24,5 | 21 |
| | 2,8 | – | 31,5 | 31,5 | 28 | 23 | 20 |
| | 3,0 | – | 30,5 | 30,5 | 27 | 22 | – |
| Чистове по суцільному металу | 0,5 | 62 | 53 | 51 | | | |
| | 0,8 | 52 | 50 | 49 | | | |
| | 0,9 | 49 | 48 | 47 | | | |
| | 1,0 | 46 | 45 | 44 | – | – | – |
| | 1,2 | 39 | 38 | 37 | | | |
| | 1,4 | – | 34 | 33 | | | |
| | 1,8 | – | 27 | 26 | | | |
| | 2,0 | – | – | 24 | | | |
| Чистове по нарізаному зубу при шорсткості $R_{a1,6}$ | 2,0...2,6 | – | – | 24...26 | | | |
| | 0,7...1,0 | – | – | 20...24 | | | – |

При використанні інструменту зі зносостійкими покриттями значення $T_{хв}$ зростають до 400 хв, що дозволяє збільшувати швидкість різання в порівнянні з табличними значеннями на 10...15 %. Поправкові коефіцієнти на швидкість різання K_{V_m} і величину подачі K_{S_m} залежно від твердості оброблюваного матеріалу наведено в табл. 8.28.

Таблиця 8.28 – Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та величину подачі залежно від твердості оброблюваного матеріалу

| Оброблюваний матеріал (група різання) | Коефіцієнти | Твердість по Бринелю, НВ | | | |
|---|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|
| | | < 170 | 170...207 | 207...241 | > 241 |
| Нелеговані та низьколеговані сталі (P01, P20) | K_{V_m} | 1,1 | 1,0 | 0,8 | – |
| | K_{S_m} | 1,0 | 0,9 | 0,9 | – |
| Високолеговані сталі (P30) | K_{V_m} | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| | K_{S_m} | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,7 |
| Чавуни (K01, K10) | K_{V_m} | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| | K_{S_m} | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |

Режими різання черв'ячними фрезами, оснащеними твердим сплавом (групи застосовності Р), при нарізуванні зубчастих коліс (групи різання Р, М) залежно від виду обробляння такі:

Обробляння під шліфування

| | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| m , мм | 1,5...2,5 | 2,5...3,5 | 3,5...4,5 | 4,5...6,0 |
| V , м/хв | 180...200 | 170...190 | 150...170 | 140...160 |
| S , мм/об | 2,3...3,0 | 1,8...2,6 | 1,6...2,0 | 1,2...1,5 |

Чистове обробляння

| | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| m , мм | 0,2...1,0 | 1...2 | 2...3 | 3...4 |
| V , м/хв | 40...90 | 180...200 | 170...190 | 160...180 |
| S , мм/об | 0,1...0,5 | 0,8...1,6 | 1,2...1,5 | 1,2...1,4 |
| m , мм | 4...5 | 5...6 | 6...8 | 8...10 |
| V , м/хв | 150...170 | 140...160 | 130...150 | 110...140 |
| S , мм/об | 1,1...1,3 | 1,1...1,3 | 1,0...1,2 | 0,8...1,1 |

Період стійкості фрез T прийнято таким, що дорівнює 180 хв. Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та подачу залежно від стійкості фрези прийнято такі:

| | | | |
|------------|-----|-----|------|
| T , хв | 60 | 180 | 300, |
| K_V, K_S | 1,6 | 1,0 | 0,8. |

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та подачу залежно від міцності матеріалу коліс:

| | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|----------|------------|
| σ_b , кг/мм ² | 50...60 | 70...80 | 90...100 | 100...110, |
| K_S | 1,4 | 1,0 | 0,75 | 0,6, |
| K_V | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 0,5. |

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання залежно від матеріалу черв'ячних фрез:

| | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| Твердий сплав | P01 | P10 | P20 | P30 | M10, |
| K_V | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,65. |

Режими різання при нарізуванні шліцьових валів із прямобічним профілем черв'ячними фрезами представлено в табл. 8.29. Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та величину подачі наведено в табл. 8.30.

Нарізування черв'ячних зубчастих коліс може здійснюватися з радіальною або тангенціальною подачею. Режими різання при нарізуванні черв'ячних коліс черв'ячними фрезами наведено в табл. 8.31.

Подальший порядок визначення параметрів режиму різання при нарізуванні зубів коліс черв'ячними фрезами здійснюється, як і при фрезеруванні циліндричними фрезами (див. розд. 6).

Таблиця 8.29 – Режими різання черв'ячними фрезами для шліцевих валів

| Вид оброблення | Оброблюваний матеріал (група різання) | Висота шліців, мм | Подача S_z , мм/об, при кількості шліців валу | | | Швидкість різання, м/хв |
|----------------|---------------------------------------|-------------------|---|---------|---------|-------------------------|
| | | | 6...8 | 10...12 | 14...16 | |
| Чорнове | Сталь (P01 ... P20) з HRC < 25 | 2...3,5 | 2,4 | 2,6 | 2,9 | 40 |
| | | 4...6 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 35 |
| Чистове | | 2...3,5 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 35 |
| | | 4...6 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 30 |
| Чорнове | Сталь (P01 ... P20) з HRC 25 ... 35 | 2...3,5 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 30 |
| | | 4...6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 25 |
| Чистове | | 2...3,5 | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 40 |
| | | 4...6 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 35 |

Таблиця 8.30 – Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та величину подачі залежно від твердості оброблюваного матеріалу

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Коефіцієнти | Твердість по Бринелю, HB | | | |
|---|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|
| | | < 170 | 170...207 | 207...241 | > 241 |
| P01 ... P20. Нелеговані та низьколеговані сталі | K_{Y_m} | 1,1 | 1,0 | 0,8 | — |
| | K_{S_m} | 1,0 | 1,0 | 0,9 | — |
| P30. Високолеговані сталі | K_{Y_m} | 0,9 | 0,9 | 0,7 | 0,5 |
| | K_{S_m} | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,7 |

Зубодовбання

Зубодовбання застосовується головним чином для оброблення зубчастих коліс із закритими вінцями, а також блокових коліс, коли величина перебігу інструменту становить незначну величину (2...5 мм).

Таблиця 8.31 – Режими різання при нарізуванні черв'ячних коліс черв'ячними фрезами

| Діаметр фрези, мм | Подача, мм/об | | Швидкість різання, м/хв |
|-------------------|---------------|---------------|-------------------------|
| | Радіальна | Тангенціальна | |
| 70 | 0,6...0,9 | 1,4...1,6 | 26,5 |
| 80 | 0,55...0,85 | 1,3...1,5 | 24,5 |
| 90 | 0,5...0,8 | 1,2...1,4 | 23 |
| 125 | 0,5...0,75 | 1,2...1,3 | 23 |
| 145 | 0,75...0,90 | 1,1...1,2 | 22,5 |

Примітка. Режими різання наведено для верстатів з потужністю приводу 1,5...4 кВт.

На вибирання режимів різання при зубодовбанні впливають модуль колеса, яке нарізується, властивості оброблюваного матеріалу, тип операції і т.п. Основними параметрами режиму різання при зубодовбанні є: швидкість різання, кругова та радіальна подачі.

Режими різання при зубодовбанні призначаються так:

1. Вибирання кількості проходів (табл. 8.32).

Таблиця 8.32 – Кількість проходів при нарізуванні зубів довбачем

| Модуль, мм | Кількість проходів | | |
|------------|--------------------|--------------|---------|
| | Чорнові | Напівчистові | Чистові |
| 1,5...3 | | | 1 |
| 4...8 | 1 | 1 | 1 |
| 10...12 | 2 | 1 | 1 |

2. Вибирання кругової подачі $S_{кр}$, мм/дв. хід, при нарізуванні довбачем циліндричних зубчастих коліс (табл. 8.33).

Таблиця 8.33 – Кругова подача при нарізуванні зубів довбачем

| Вид оброблення | Оброблюваний матеріал | Потужність приводу верстата, кВт | $S_{кр}$, (мм/подв.хід) при модулі колеса, мм | | | | |
|------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--|---------------------|---------------|----------------|----------------|
| | | | > 2 до 4 | > 4 До 6 | > 6 до 8 | > 8 до 10 | > 10 до 12 |
| | | | Чорнове, н/чистове (під шліфування) | Сталь (P01 ... P20) | 1,5 | 0,35... 0,4 | 0,2... 0,25 |
| | | 1,5...2,5 | 0,4... 0,45 | 0,3... 0,4 | – | – | – |
| | | 2,6...5 | – | 0,4... 0,5 | 0,3... 0,4 | 0,25... 0,3 | 0,15... 0,2 |
| | Чавун (K01, K10) | 1,5 | 0,35... 0,55 | 0,2... 0,3 | – | – | – |
| | | 1,5...2,5 | 0,45... 0,6 | 0,35... 0,5 | 0,4... 0,5 | 0,4... 0,55 | 0,3... 0,5 |
| | | 2,6...5 | – | – | 0,5... 0,6 | 0,5... 0,7 | 0,4... 0,6 |
| Чистове по суцільному металу | Сталь (P01 ... P20) | 1,0...5,0 | 0,28...0 ,35 | – | | | |
| | Чавун (K01, K10) | | 0,32...0 ,40 | – | | | |
| Чистове по прорізаному зубу | Сталь (P01 ... P20) | 1,0...5,0 | – | 0,25...0,3 | | | |
| | Чавун (K01, K10) | | – | 0,35...0,4 | | | |

Примітка.

1. При чорновому обробленні у два проходи значення подач слід збільшити на 20 %.
2. Більші значення подач ухвалювати при кількості зубів колеса $z > 25$, менші – при $z < 25$.

3. Прийняти величину радіальної подачі $S_p = (0,1 \dots 0,3)S_{кр}$, мм/дв. хід. Обрані значення $S_{кр}$ і S_p корегуються для конкретного верстата. За величину верстатних подач бажано ухвалювати найменше значення.

4. Швидкість різання при нарізуванні довбачами циліндричних зубчастих коліс і поправкові коефіцієнти залежно від оброблюваного матеріалу наведено в табл. 8.34 і 8.35.

Таблиця 8.34 – Швидкість різання при нарізуванні довбачем циліндричних зубчастих коліс

| Вид оброблення | Подача $S_{кр}$, (мм/подв.хід) | Швидкість різання V , м/хв, при модулі колеса, мм | | | | | |
|---|------------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| | | Від 1 до 3 | > 3 до 4 | > 4 до 6 | > 6 до 8 | > 8 до 10 | > 10 до 12 |
| Оброблюваний матеріал: сталь (P01 ... P20) | | | | | | | |
| Чорнове, напівчистове та чистове по суцільному металу | 0,10 | 41,5 | 36 | 29 | – | – | – |
| | 0,15 | 34 | 28 | 23 | – | – | – |
| | 0,20 | 30 | 25 | 21 | 18,5 | 17 | 16 |
| | 0,25 | 27 | 22 | 18,5 | 17 | 16 | 14 |
| | 0,30 | 24 | 20 | 16 | 15,5 | 14 | 13 |
| | 0,35 | 22,5 | 18 | 15 | 14,5 | 13 | 12 |
| | 0,40 | 21 | 17 | 14,5 | 14 | 12 | 11 |
| | 0,45 | – | 16 | 13,5 | 12 | 11 | 10 |
| | 0,50 | – | 15,5 | 13,5 | 11,5 | 10 | 9,5 |
| | 0,55 | – | – | 12,5 | 10,5 | 9,5 | 9 |
| | 0,60 | – | – | 12 | 10 | 9 | – |
| Чистове по попередньо обробленому зубу | 0,15 | – | – | – | 44 | – | – |
| | 0,20 | – | – | – | 40 | – | – |
| | 0,25 | – | – | – | 35 | – | – |
| | 0,35 | – | – | – | 31 | – | – |
| Оброблюваний матеріал: чавун (K01, K10) | | | | | | | |
| Чорнове, напівчистове та чистове по суцільному металу | 0,20 | 24,5 | 22 | 19 | – | – | – |
| | 0,25 | 23 | 21 | 18 | – | – | – |
| | 0,30 | 22 | 20,5 | 17 | 16 | 15 | 14 |
| | 0,3 | 21 | 18,5 | 16 | 15,7 | 14,5 | 13,5 |
| | 0,40 | 20,5 | 18 | 16,5 | 15 | 14 | 13 |
| | 0,45 | 19,5 | 17,5 | 15 | 14,8 | 13,5 | 12,5 |
| | 0,50 | 19 | 17 | 14,8 | 14,5 | 13 | 11,5 |
| | 0,55 | – | 16,5 | 14,5 | 14 | 12 | 11 |
| | 0,60 | – | 16 | 14 | 13 | 11 | 10 |
| | 0,70 | – | – | – | – | 10 | – |
| Чистов по попередньо обробленому зубу | 0,15 | – | – | – | 44 | – | – |
| | 0,20 | – | – | – | 42 | – | – |
| | 0,25 | – | – | – | 37 | – | – |
| | 0,35 | – | – | – | 33 | – | – |

Таблиця 8.35 – Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та величину подачі при зубодовбанні

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Коефіцієнти | Твердість по Бринелю, НВ | | | |
|---|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|
| | | < 170 | 170...207 | 207...241 | > 241 |
| P01 ... P20. Нелеговані та низьколеговані сталі | K_{V_m} | 1,1 | 1,0 | 0,9 | – |
| | K_{S_m} | 1,0 | 1,0 | 0,9 | – |
| P30. Високолеговані сталі | K_{V_m} | – | 0,8 | 0,8 | 0,5 |
| | K_{S_m} | – | 0,9 | 0,8 | 0,7 |

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання залежно від кількості зубів колеса, які нарізуються:

| | | | | | |
|-----------|------|-----|-----|-----|------|
| z | 12 | 20 | 40 | 80 | 120, |
| K_{V_z} | 0,95 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,2. |

Режими різання дрібномодульними зуборізальними довбачами наведено в табл. 8.36.

Таблиця 8.36 – Швидкість різання дрібно модульними зуборізальними довбачами

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Модуль, мм | $S_{кр}$, мм/подв.хід | V , м/хв |
|--|--------------|------------------------|------------|
| Сталь (P10) в стані постачання | До 0,5 | 0,14 | 30 |
| | > 0,5 до 0,9 | 0,17 | 25 |
| Сталь (P20) в стані постачання | До 0,5 | 0,14 | 25 |
| | > 0,5 до 0,9 | 0,17 | 20 |
| Сталь (P20) після термообробки | До 0,5 | 0,11 | 25 |
| | > 0,7 до 0,9 | 0,14 | 15 |
| Кольорові метали (N01 ... N30) | До 0,5 | 0,17 | 50 |
| | > 0,5 до 0,9 | 0,20 | 40 |

Примітка. Середня стійкість довбачів між переточуваннями становить 100...150 хв.

5. Кількість подвійних ходів довбача у хвилину n , дв.хід/хв, визначається за формулою

$$n = \frac{1000V}{2L},$$

де L – довжина ходу довбача, мм, $L = l + l_1$; l_1 – величина перебігу, мм (табл. 8.37).

Таблиця 8.37 – Величина перебігу довбача

| Довжина оброблюваної поверхні l , мм | | | | | |
|--|----|----|----|-----|-----|
| 20 | 50 | 72 | 85 | 120 | 165 |
| Величина перебігу, мм | | | | | |
| 5 | 8 | 12 | 15 | 20 | 25 |

Кількість подвійних ходів довбача у хвилину корегується для конкретного верстата й ухвалюється найближче менше значення, наявне на верстаті.

6. Основний час $T_{хв}$, хв, при довбанні однієї деталі визначається за формулою

$$T_M = \frac{\pi z m i}{S_{кр} n} + \frac{h}{S_p n},$$

де z – кількість зубів нарізованого колеса; n – кількість подвійних ходів довбача, хв; h – висота зуба, що нарізується; i – кількість проходів; $S_{кр}$ – кругова подача; S_p – радіальна подача.

Зубошевінгування

Припуск на товщину зуба під шевінгування вибирається залежно від модуля (табл. 8.38).

Таблиця 8.38 – Припуск під шевінгування на товщину зуба

| | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Модуль, мм | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |
| Припуск Δ , мм | 0,035... 0,060 | 0,035... 0,065 | 0,045... 0,070 | 0,050... 0,075 | 0,055... 0,080 | 0,060... 0,085 | 0,065... 0,090 |
| Модуль, мм | 5 | 5,5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Припуск Δ , мм | 0,070... 0,095 | 0,075... 0,100 | 0,080... 0,105 | 0,085... 0,110 | 0,090... 0,115 | 0,095... 0,120 | 0,100... 0,125 |

Режими різання при шевінгуванні характеризуються швидкістю різання V (швидкість бічного ковзання зубів шевера щодо зубів оброблюваного колеса, м/хв), поздовжньою подачею $S_{п}$ (величина переміщення оброблюваного колеса за один його оберт, мм/об), радіальною S_p подачею (переміщення шевера в радіальному напрямку за один його хід уздовж оброб-

люваного колеса, мм/дв.хід) і кількістю ходів n без радіальної подачі (табл. 8.39).

Швидкість різання при шевінгуванні з величиною міжосьового кута шевера й колеса, що дорівнює 15° , визначається за формулами:

- для прямозубих коліс

$$V = V_K \sin 15^\circ;$$

- для косозубих коліс

$$V = V_K \sin 15^\circ / \cos \beta,$$

де V_K – колова швидкість шевера, м/хв; β – кут нахилу зубів оброблюваного колеса.

Основний час T_M , хв, при шевінгуванні визначається за формулою

$$T_M = \frac{L}{S_{\Pi} n} K,$$

де L – довжина робочого ходу шевера; S_{Π} – поздовжня подача; n – частота обертання шевера; K – кількість ходів, $K = 1,37\Delta / S_p + 2$; S_p – радіальна подача; Δ – припуск на товщину зуба.

Таблиця 8.39 – Режими різання при шевінгуванні

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Твердість НВ | Колова швидкість, м/хв | | Радіальна подача S_p , мм/подв.хід | Поздовжня подача S_{Π} , мм/об |
|---------------------------------------|--------------|------------------------|-----------|--------------------------------------|------------------------------------|
| | | Модуль, мм | | | |
| | | 1...8 | 0,2...0,9 | | |
| Сталі (P01... P20) | 156..170 | 150 | 50 | 0,02...0,05 | 0,15...0,5 |
| | 170...207 | 140 | 80 | | |
| Сталі (P01... P20) | 240...280 | 80 | 50 | – | – |
| Чавун (K01, K10) | 170...207 | 110 | 80 | – | – |
| Кольорові метали (N01... N30) | 80...160 | – | 127 | 0,04 | 0,2...0,4 |

Примітка. Сумарна кількість ходів столу перебуває в межах 2...10, з них 2...4 здійснюються без подачі.

Зубостругання

Найбільше поширення в машинобудуванні одержав метод нарізування прямозубих конічних зубчастих коліс двома різцями на зубостругальних верстатах методом обкатування. Режим різання при оброблянні прямозубих конічних зубчастих коліс залежить від оброблюваного матеріалу, модуля коліс, що нарізуються, ширини зубчастого вінця. Швидкість різання V , м/хв, при нарізуванні зубів на зубостругальних верстатах визначається як

$$V = \frac{L_{p.x} n}{1000},$$

де $L_{p.x}$ – довжина робочого ходу різця, $L_{p.x} = b + (6...9)$, мм; n – частота руху, подв.хід/хв; b – ширина зубчастого вінця. Подача $S_{\text{ч}}$ (час оброблення одного зуба, с) (табл. 8.40) вибирається залежно від модуля, виду оброблення, оброблюваного матеріалу. У табл. 8.40 наведено режими різання при оброблянні сталевих зубчастих вінців із твердістю 156...207 НВ зубостругальними різцями із швидкорізальної сталі.

Таблиця 8.40 – Режими різання при зубоструганні

| Ширина зубчастого вінця, мм | Частота руху подв.хід/хв | Швидкість різання, м/хв | Подача $S_{\text{ч}}$ (час на обробл. одного зуба), с/зуб, при модулі | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|---|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| | | | 1,5...2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | | |
| 10 | 352 | 14 | 12 | 14 | 16 | 19 | | | | | | | | |
| 20 | 293 | 16 | 14 | 16 | 19 | 22 | 22 | | | | | | | |
| 25 | 256 | 18 | | 19 | 22 | 25 | 25 | 29 | | | | | | |
| 30 | 224 | 18 | | | 25 | 25 | 29 | 32 | 32 | | | | | |
| 38 | 196 | 20 | | | | 19 | 32 | 22 | 25 | 29 | 32 | | | |
| 45 | 171 | 20 | | | | | 25 | 25 | 29 | 32 | 42 | | | |
| 50 | 142 | 18 | | | | | | 32 | 32 | 42 | 42 | | | |
| 60 | 123 | 18 | | | | | | | 42 | 50 | 50 | 65 | | |
| 80 | 101 | 18 | | | | | | | | 60 | 60 | 75 | | |

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та подачу (час оброблення одного зуба) наведено в табл. 8.41.

Поправковий коефіцієнт на стійкість T , хв, залежно від інструментального матеріалу становить:

- для швидкорізальної сталі нормальної теплостійкості $K_{vt} = 1,0$;
- для швидкорізальної сталі підвищеної теплостійкості $K_{vt} = 1,2$.

Таблиця 8.41 – Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та величину подачі (час) при зубоструганні

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Коефіцієнти | Твердість по Бринелю, НВ | | | |
|---|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|
| | | < 170 | 170...207 | 207...241 | > 241 |
| (P01 ... P20). Нелеговані та низьколеговані сталі | K_{V_M} | 1,1 | 1,0 | 0,9 | – |
| | K_{S_M} | 0,9 | 1,0 | 1,4 | – |
| P30. Високолеговані сталі | K_{V_M} | – | 0,8 | 0,8 | 0,6 |
| | K_{S_M} | – | 1,3 | 1,5 | 1,8 |

Поправкові коефіцієнти на основний час оброблення одного зуба K_{V_0} залежно від фактичної стійкості T_{Φ} інструмента наведено нижче:

$$T_{\Phi}/T = 0,6, \quad K_{V_0} = 0,8;$$

$$T_{\Phi}/T = 0,8, \quad K_{V_0} = 0,9;$$

$$T_{\Phi}/T = 1,0, \quad K_{V_0} = 1,0;$$

$$T_{\Phi}/T = 1,1, \quad K_{V_0} = 1,2;$$

$$T_{\Phi}/T = 1,2, \quad K_{V_0} = 1,4.$$

Норми стійкості T зубостругальних різців між двома переточуваннями залежно від виконання наведено в табл. 8.42.

Таблиця 8.42 – Норми стійкості зубостругальних різців

| Тип різця | Вид оброблення | | Стійкість T , хв. |
|------------------|----------------------------------|-------------|---------------------|
| | чорнове | чистове | |
| | Допустиме спрацювання h_s , мм | | |
| Виконання 1 | 0,6...0,8 | 0,25...0,35 | 180 |
| Виконання 2 | 0,6...0,8 | 0,25...0,35 | 200 |
| Виконання 3 та 4 | 0,8...1,0 | 0,3...0,4 | 180 |

Основний час, хв, при зубоструганні

$$T_M = \frac{S_q z}{60},$$

де S_q – подача (час) оброблення одного зуба, с/зуб; z – кількість зубів оброблюваного колеса.

РОЗДІЛ 9 АБРАЗИВНЕ ОБРОБЛЯННЯ

Абразивне обробляння – найбільш продуктивний спосіб формоутворення при механічному оброблянні матеріалів на операціях шліфування, доведення, заточення, полірування, притирання і т.п., що забезпечує зниження шорсткості оброблюваних поверхонь. Це єдиний спосіб обробляння сучасних інструментальних матеріалів (твердих сплавів, різальної кераміки, і надтвердих матеріалів). У якості різальних інструментів при абразивному оброблянні використовуються абразивні інструменти різальна частина, яких складається з абразивних матеріалів.

Розрізняють інструменти на твердій основі (круги, головки, сегменти, бруски), на гнучкій основі (еластичні круги, стрічки, шкурки), пасти й абразивні зерна. Вибір абразивного інструменту для різних операцій металообробляння здійснюється покроково:

1. Вибір абразивного матеріалу.
2. Вибір схеми обробляння деталей абразивними інструментами.
3. Вибір форми та розмірів абразивних інструментів.
4. Вибір характеристики абразивних інструментів.
5. Рекомендації з вибору режимів різання при абразивному оброблянні.

Розглянемо кожний крок докладніше.

9.1. Вибір абразивного матеріалу

Абразивні матеріали є природні – алмаз, корунд, наждак, гранат, кремій і ін. і штучні – електрокорунд, карбід кремнію, нітрид бору, карбід бору й ін.

Природні абразивні матеріали

Природний алмаз (А) складається із чистого вуглецю з великою кількістю домішок. У промислових цілях використовується технічний алмаз. Відрізняється високою твердістю, теплопровідністю, високим модулем пружності, малими коефіцієнтами лінійного й об'ємного розширення, малою схильністю до адгезії з металами, крім заліза і його сплавів. Разом з тим він є крихким, має анізотропію (міцність кристала в різних напрямках змінюється в 500 разів). При нагріванні понад 700...800°C природний алмаз переходить у графіт. Використовується переважно в кругах і пастах.

Корунд складається з α -модифікації Al_2O_3 . Застосовується переважно для оброблення металу та скла вільними зернами, рідше у виробництві кругів і брусків.

Наждак містить корунд (10...30%), магнетит, кварц. Область застосування та сама, що й у корунду.

Гранат – це група мінералів, з яких як абразив використовується альмандин і піроп. Застосовується у вигляді шліфпорошків і шліфзерна при виготовленні шліфувальної шкурки для оброблення деревини, шкіри, пластмас; мікропорошків для полірування скла.

Креміль містить не менше ніж 92% SiO_2 , не більше ніж 2% CaO й 4% глинистих мінералів. Застосовується для виготовлення шліфувальної шкурки й у вигляді вільних зерен при оброблянні деревини.

Штучні матеріали

Електрокорунд нормальний містить 93...95% корунду, відрізняється високою міцністю, в'язкістю. Застосовується при виготовленні всіх видів абразивного інструмента для оброблення металів.

Електрокорунд білий складається на 98...99% з корунду й домішок. Застосовується для виготовлення абразивного інструменту, шліфувальної шкурки, у вигляді мікропорошків при оброблянні вільними зернами.

Електрокорунд хромотитанистий, хромистий або титанистий – це електрокорунд, легований хромом або титаном. Застосовується для виготовлення всіх видів абразивного інструменту, забезпечує значне підвищення продуктивності при оброблянні конструкційних і вуглецевих сталей у порівнянні з електрокорундом.

Електрокорунд цирконієвий складається з корунду й окису цирконію. Використовується для виготовлення обдирних кругів.

Монокорунд має високі механічні та різальні властивості. Застосовується при виготовленні всіх видів абразивного інструменту для оброблення важкооброблюваних сталей і сплавів.

Сферокорунд складається на 99% з Al_2O_3 . Має вигляд порожніх сфер. Застосовується при виготовленні шліфувальних кругів для оброблення м'яких, в'язких матеріалів, кольорових металів, шкіри, гуми, пластмас.

Склад формокорунда включає 80...87% Al_2O_3 , до 1,5% Fe_2O_3 і решту становлять домішки. Зерно корунду циліндричної (С) діаметром 1,2...2,8 мм або призматичної (Р) форми шириною 1,2...2,8 мм і довжиною 3,8...8 мм. Матеріал застосовується при виробництві абразивного інструменту для важких обдирних робіт.

Карбід бору складається на 84...93% із кристалічного карбіду бору (B₄C) і домішок. Відрізняється високою крихкістю, випускається у вигляді шліфматеріалів для обробляння вільними зернами твердосплавного інструменту.

Карбід кремнію складається з α -модифікації SiC. Випускається у вигляді зеленого й чорного карбідів. Застосовується при виготовленні всіх видів абразивного інструменту.

Алмаз синтетичний (AC) одержується із графіту при впливі на нього високим тиском і температурою. За фізичними властивостями він є ідентичним природному й не поступається йому абразивною здатністю. Застосовується для виготовлення всіх видів абразивного інструменту.

Полікристалічні синтетичні алмази (AP) одержують за тих самих умов, що й синтетичний алмазний порошок. Синтез алмазного порошку, його спікання в блоки щільністю 3,2...3,45 г/см³ дозволяє одержувати зцементовану масу, відмінну від монокристалів, що не має дефектів кристалічних ґрат і мікротріщин.

Кубічний нітрид бору (CBN) – синтетичний матеріал, що відрізняється високою твердістю, теплостійкістю, високим модулем пружності, низьким коефіцієнтом лінійного розширення, хімічною стійкістю до кислот, лугів, інертністю до заліза. З нього виготовляються усі види абразивного інструменту.

Основні фізико-механічні властивості й області застосування природних і штучних абразивних матеріалів наведено в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Фізико-механічні властивості абразивних матеріалів

| Матеріал | Густина, г/см ³ | Мікротвердість, ГПа | Теплотривкість, °С |
|----------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|
| Природні | | | |
| Алмаз | 3,48...3,56 | 98,4 | 700...800 |
| Корунд | 3,90...4,12 | 17,7...23,5 | 1700...1800 |
| Гранат | 3,53...4,32 | 13,7...16,7 | 1200...1250 |
| Кремій | 2,57...2,62 | 9,8...14,7 | 1500...1600 |
| Штучні | | | |
| Алмаз | 3,47...3,56 | 84,4...98,1 | 700...800 |
| Кубічний нітрид бору | 3,45...3,49 | 78,5...98,1 | 1400...1500 |
| Карбід бору | 2,48...2,52 | 39,2...44,2 | 700...800 |
| Карбід кремнію | | | |
| зелений | 3,15...3,25 | 32,4...35,3 | 1300...1400 |
| чорний | 3,15...3,25 | 32,4...35,3 | 1300...1400 |
| Електрокорунд: | | | |
| нормальний | 3,85...3,95 | 18,9...19,6 | 3250...1300 |
| білий | 3,90...3,95 | 19,6...20,9 | 1700...1800 |
| хроміттаністий | 3,95...4,00 | 19,6...22,6 | 1750...1850 |
| цирконієвий | 4,05...4,15 | 22,6...23,5 | 1900...2000 |
| Монокорунд | 3,94...4,00 | 22,6...23,5 | 1700...1800 |
| Сферокорунд | 3,90...3,95 | 19,6...20,9 | 1700...1800 |
| Формокорунд | 3,95...4,05 | 18,9...19,6 | 1250...1300 |

Марки абразивних матеріалів українського виробництва позначають у відповідності до стандартів ДСТУ 21445-84, ДСТУ 23505-88, ДСТУ 14706-85, а закордонного виробництва згідно з ISO 525, DIN 69100 й інших стандартів (табл. 9.2 і 9.3).

Таблиця 9.2 – Марки й область застосування абразивних матеріалів

| Абразивний матеріал, марка | Абразивний інструмент | Область використання |
|---|--|--|
| Алмаз природний зі змістом 10, 20, 30, 50 та 80% зерен ізометричної форми відповідно А1, А2, А3, А5, А8 | Інструменти на металічній зв'язці. Вільне зерно, пасти, круги, бруски, олівці, ролики | Обробл. кераміки, скла, каменю, бетону. Правка, буріння та каменеобробка. |
| Алмаз синтетичний: АС2, АС4 АС6, АС15, АС20, АС32, АС50 | Інструменти на органічній зв'язці. Вільне зерно, пасти, круги, бруски, шкурки Інструменти на металевій зв'язці | Обробл. твердих сплавів, кераміки. Те ж саме при підвищених навантаженнях та бурінні, різка каменю, граніту, корунду |
| Алмазні мікропорошки: АМ, АСМ, АН, АСН, АМ1, АМ5, АСМ1, АСМ5 | Вільне зерно, пасти, шкурки, полірувальні диски | Доведення та полірування надтвердих важкооброблюваних матеріалів, кераміки, алмазів, та полірування |
| Кубічний нітрид бору: К01, К02, К05 та інші | Вільне зерно, пасти, шкурки, полірувальні диски | Остаточне оброблення високо-точних заготовок із підшипникових, інструментальних та важкооброблюваних загартованих сталей |
| Електрокорунд нормальний 12А, 13А 14А 15А, 16А | Вільне зерно, пасти, сегменти, інструменти на органічній зв'язці Інструменти на органічних та неорганічних зв'язках Круги, бруски, шкурки, пасти. Інструменти на органічних зв'язках | Попереднє шліфування сталейних заготовок. Оздоблювальні роботи вільним абразивом Шліфування сталейних заготовок Шліфування та оздоблення сталейних заготовок незакріпленими зернами, пастами, брусками |

| Абразивний матеріал, марка | Абразивний інструмент | Область використання |
|--|---|--|
| Електрокорунд білий: 22А 23А, 24А 25А | Вільне зерно, пасти, крути, бруски Крути, бруски, шліфувальна шкурка. Інструменти на керамічній зв'язці. Крути, бруски, шліфувальна шкурка. Інструменти на керамічній зв'язці | Шліфування загартованих сталених заготовок. Оздоблювальні роботи шліфувальною шкуркою. Швидкісне шліфування доведення сталених загартованих заготовок. Шліфування важкооброблюваних матеріалів |
| Електрокорунд хромистий: 32А, 33А, 34А | Вільне зерно, пасти, крути, бруски | Шліфування, доведення та оздоблювальне оброблення виробів з вуглецевих сталей |
| Електрокорунд титанистий: 37А | Крути, сегменти. Інструменти на бакелітовій та керамічній зв'язках | Швидкісне шліфування сталених заготовок |
| Електрокорунд цирконієвий: 38А | Крути, сегменти. Інструменти на бакелітовій зв'язці | Попереднє силове шліфування сталених заготовок |
| Монокорунд: 43А 44А, 45А | Вільне зерно, пасти, крути, шкурки. Інструменти на керамічній зв'язці Бруски, шліфувальна шкурка | Шліфування та заточування важкооброблюваних сталей та сплавів Оздоблення та доведен. сталених заготовок |
| Електрокорунд хромотитанистий: 91А, 92А 93А, 94А | Крути. Інструменти на всіх зв'язках Крути. Інструменти на керамічній та бакелітовій зв'язках. Вільне зерно, пасти | Напівчистове та чистове шліфування загартованих сталених заготовок Шліфування загартованих та незагартованих сталених заготовок крутами. Оздоблення та доведен. чавунних заготовок, також заготовок з кольорових металів та сплавів |

Закінчення табл. 9.2

| Абразивний матеріал, марка | Абразивний інструмент | Область використання |
|---|---|---|
| Карбід кремнію чорний: 52C, 53C, 54C, 55C | Крути, бруски, сегменти, шліфувальна шкурка. Інструменти на всіх видах зв'язки | Обробляння заготовок з чавуну кольорових металів та вольфрамових твердих сплавів |
| Карбід кремнію зелений: 62C, 64C 63C 64C | Вільне зерно, пасти, крути, бруски, шкурка Інструменти на всіх видах зв'язки Те ж саме Крути, бруски, сегменти, шліфувальна шкурка. Вільне зерно, бруски, крути на керамічній зв'язці | Обробляння заготовок з чавуну алюмінію, міді, граніту, мармуру Обробляння титанових, титанотанталових твердих сплавів. Оздоблення та доведення поверхонь заготовок Швидкісне шліфування заготовок з чавуну |
| Суміш з зеленого (60%), чорного (40%) карбіду кремнію | Крути, бруски, сегменти, шліфувальна шкурка | Обробляння заготовок з твердих сплавів, чавунів та кольорових металів |
| Карбід бору: КБ | Вільне зерно, пасти | Шліфування, оздоблення, доведення незакріпленим абразивом деталей з твердих сплавів, чавунів |

Таблиця 9.3 – Марки абразивних матеріалів закордонних виробників

| Марка | Матеріал | Країна, фірма |
|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| A C D B | Електрокорунд Карбід кремнію Алмаз Кубічний нітрид бору | ISO 525 |
| AS CS EK NK SiC | Електрокорунд Карбід кремнію Електрокорунд білий Електрокорунд нормальний Карбід кремнію зелений | Naxos-Union (Німеччина, DIN 69100) |

| Марка | Матеріал | Країна, фірма |
|--------|--------------------------|---|
| 38A | Електрокорунд білий | Norton (США) |
| A, 16A | Електрокорунд нормальний | |
| 39C | Карбід кремнію зелений | |
| 37C | Карбід кремнію чорний | |
| AA | Електрокорунд білий | |
| A | Електрокорунд нормальний | |
| 5A | Електрокорунд хромистий | |
| GC | Карбід кремнію зелений | |
| C | Карбід кремнію чорний | |
| AW | Електрокорунд білий | Universal Grinding Wheel (Велика Британія) |
| A | Електрокорунд нормальний | |
| C | Карбід кремнію зелений | |
| BC | Карбід кремнію чорний | |
| EKW | Електрокорунд білий | Trolit (Австрія) |
| NK | Електрокорунд нормальний | |
| C | Карбід кремнію зелений | |
| IC | Карбід кремнію чорний | |

Зернистість абразивних матеріалів

Зернистість характеризує розміри основної фракції абразивних зерен, які виражені лінійними розмірами. Абразивні зерна певної зернистості одержують шляхом поділу продуктів дроблення абразивів за розмірами. Розподілення абразивних матеріалів залежно від їхніх розмірів на групи наведено в табл. 9.4. Зернистість шліфзерна та шліфпорошків позначають цифровим індексом, рівним 0,1 розміру гнізда сита в мікрометрах, на якому затримуються зерна основної фракції. Зернистість мікропорошків позначається буквеним індексом М та цифровим індексом, що дорівнює верхній межі розмірів зерен основної фракції в мікрометрах.

Таблиця 9.4 – Розподілення зернистості абразивних матеріалів на групи

| Найменування групи зернистості | Позначення зернистості (номери) |
|--------------------------------|--|
| Шліфзерно | 200; 160; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 32; 25; 20; 16 |
| Шліфпорошки | 12; 10; 8; 6; 5; 4; 3 |
| Мікропорошки | M63; M50; M40; M28; M20; M14 |
| Тонкі мікропорошки | M10; M7; M5 |

Залежно від процентного вмісту зерен основної фракції (високий, підвищений, нормальний або припустимий – у такій послідовності зменшується зміст основної фракції) номер зернистості додатково позначається буквеним індексом В, П, Н, Д.

Абразивні матеріали зі змістом основної фракції В та П використовуються для кругів класу точності АА; В, П та Н – для кругів класу А; В, П, Н та Д – для кругів класу Б. На відміну від України, в країнах виготовлювачів, що входять до Європейської організації абразивів (FEPA), прийнято інші стандарти для позначення зернистості абразивних матеріалів (табл. 9.5).

Таблиця 9.5 – Зернистість абразивних матеріалів за ISO та FEPA

| ДСТУ 3647-80 | | ISO 8486-86 FEPA 42L | | | |
|---------------------|-------------------|--|----------------------------|---|-------------------|
| | | Ряд F (крути, головки, сегменти, бруски) | | Ряд P (шкурки, стрічки, полірувальні диски) | |
| Зернистість | Розмір зерен, мкм | Позначення | Середній розмір зерен, мкм | Позначення | Розмір зерен, мкм |
| Шліфувальне зерно | | | | | |
| 200 | 2500...2000 | F10 | 2360...2000 | – | – |
| 160 | 2000...1600 | F 12 | 2000...1700 | P12 | 2000...1700 |
| 125 | 1600...1250 | F 16 | 1400...1180 | P20 | 1400...1180 |
| 100 | 1250...1000 | F 20 | 1180...1000 | – | 1000...850 |
| 80 | 1000...800 | F 24 | 850...710 | P30 | 850...710 |
| 63 | 800...630 | F 30 | 710...600 | – | 710...600 |
| 50 | 630...500 | F 36 | 600...500 | P36 | 600...500 |
| 40 | 500...400 | F 40 | 425...355 | P40 | 425...355 |
| 32 | 400...320 | F 54 | 355...300 | P50 | 355...300 |
| 25 | 320...250 | F 60 | 300...250 | P60 | 300...250 |
| 20 | 250...200 | F 70 | 250...212 | P80 | – |
| 16 | 200...160 | F 80 | 212...180 | – | 212...180 |
| Шліфувальні порошки | | | | | |
| 12 | 160...125 | F 100 | 180...125 | P120 | 180...125 |
| 10 | 125...100 | F 120 | 125...106 | P150 | 125...106 |
| 8 | 100...80 | F 150 | 106...65 | P180 | 106...65 |
| 6 | 80...63 | F 180 | 90...63 | P220 | 75...63 |
| 5 | 63...50 | F 220 | 75...53 | – | – |
| 4 | 50...40 | – | – | – | – |
| 3 | 40...28 | – | – | – | – |

| ДСТУ 3647-80 | | ISO 8486-86 FEPA 42L | | | |
|--------------|-------------------|---|----------------------------|--|-------------------|
| | | Ряд <i>F</i> (круги, головки, сегменти, бруски) | | Ряд <i>P</i> (шкурки, стрічки, полірувальні диски) | |
| Зернистість | Розмір зерен, мкм | Позначення | Середній розмір зерен, мкм | Позначення | Розмір зерен, мкм |
| Мікропорошки | | | | | |
| M63 | 63...50 | F 230 | 53 ± 3,0 | P240 | 58,5 ± 2,0 |
| M50 | 50...40 | F 240 | 44,5 ± 2,0 | P320 | 46,5 ± 1,5 |
| M40 | 40...28 | F 280 | 36,5 ± 1,5 | P400 | 35 ± 1,5 |
| M28 | 28...20 | F 360 | 22,8 ± 1,5 | P800 | 25,8 ± 1,0 |
| M20 | 20...14 | F 400 | 17,3 ± 1,0 | P1000 | 18,3 ± 1,0 |
| M14 | 14...10 | F 500 | 12,8 ± 1,0 | P1200 | 13,5 ± 1,0 |
| M10 | 10...7 | F 600 | 9,3 ± 1,0 | — | — |
| M7 | 7...5 | F 800 | 6,5 ± 1,0 | — | — |
| M5 | 5...3 | F 1000 | 4,5 ± 0,8 | — | — |

Алмазні порошки за ДСТУ 9206-80 – це сукупність алмазних зерен різної величини. Залежно від методу їхнього одержання вони підрозділяються на шліфпорошки (розмір зерен 2500...40 мкм), мікропорошки (розмір зерна 60...1 мкм і менші), субмікропорошки (розмір зерен 1,0...0,1 мкм і менші) (табл. 9.6).

Таблиця 9.6 – Зерновий склад алмазних порошків

| Шліфпорошки | | | Мікропорошки | Субмікропорошки |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------------|
| Широкий діапазон зернистостей | Вузький діапазон зернистостей | Вузький діапазон зернистостей | | |
| 2500/1600 | 2500/2000 | 315/250 | 60/40 | 0,7/0,3 |
| 1600/1000 | 2000/1600 | 250/200 | 40/28 | 0,5/0,1 |
| 1000/630 | 1600/1250 | 200/160 | 28/20 | 0,3/0 |
| 630/400 | 1250/1000 | 160/125 | 20/14 | 0,1/0 |
| 400/250 | 1000/800 | 125/100 | 14/10 | |
| 250/160 | 800/630 | 100/80 | 10/7 | |
| 160/100 | 630/500 | 80/63 | 7/5 | |
| 100/63 | 500/400 | 63/50 | 5/3 | |
| 63/40 | 400/315 | 50/40 | 3/2 | |
| | | | 2/1 | |
| | | | 1/0 | |

Зернистість алмазів і інших надтвердих матеріалів позначається дробом. Для шліфпорошків чисельник дроби відповідає розміру сторони гнізда сита, при якому зерна основної фракції проходять крізь сито, знаменник –

розміру сторони гнізда сита, при якому зерна затримуються на ситі. Для мікропорошків і субмікропорошків чисельник дробу відповідає найбільшому розміру зерен основної фракції, знаменник – найменшому розміру зерен цієї фракції. Залежно від розмірів гнізд верхнього й нижнього сит зернистість шліфпорошків відповідає вузькому або широкому діапазону (табл. 9.7). Алмазні мікропорошки та субмікропорошки нормальної абразивної здатності із природних і синтетичних алмазів позначаються буквами АМ і АСМ відповідно, а підвищеної абразивної здатності – буквами АН і АСН. До позначення субмікропорошків додають цифри, що позначають процентний вміст зерен великої фракції (АМ1, АМ5, АСМ1, АСМ5).

Таблиця 9.7 – Зерновий склад алмазних шліфпорошків

| Зернистість, мкм | Крупна фракція | | Основна фракція | Дрібна фракція |
|------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|
| | Проходить крізь сито 100% | Затримується на ситі не більше 15% | Затримується на ситі менше 70% | Може проходити крізь сито не більше 3% |
| | Широкий діапазон зернистостей | | | |
| 2500/1600 | 2000 | 2500 | 1600 | 1250 |
| 1600/1000 | 1600 | 1600 | 1000 | 800 |
| 1000/630 | 1000 | 1000 | 630 | 500 |
| 630/400 | 630 | 630 | 400 | 320 |
| 400/250 | 500 | 400 | 250 | 200 |
| 250/160 | 315 | 250 | 160 | 125 |
| 160/100 | 200 | 160 | 100 | 80 |
| 100/63 | 125 | 100 | 63 | 50 |
| 63/40 | 80 | 63 | 40 | - |

Позначення розмірів зерен алмазів та кубічного нітриду бору за FERA і ISO наведено в табл. 9.8.

Таблиця 9.8 – Позначення порошків алмазу та КНБ за міжнародними стандартами

| ДСТУ 3647-80 Зернистість, мкм (вузький діапазон) | ISO 565 Розміри ячей сит, мкм | FERA Позначення зернистості (вузький діапазон) |
|--|----------------------------------|--|
| 1250/1000 | 1180/1000 | D1181 |
| 1000/800 | 1000/850 | D1001 |
| 800/630 | 850/710 | D851 |
| | 710/600 | D711 |
| 630/500 | 600/500 | D601 |
| 500/400 | 500/425 | D501 |
| 400/315 | 425/355 | D426 |
| | 355/300 | D356 |
| 315/250 | 300/250 | D301 |

| ДСТУ 3647-80 | ISO 565 | FЕРА |
|--|-----------------------|--|
| Зернистість, мкм (вужький діапазон) | Розміри ячей сит, мкм | Позначення зернистості (вужький діапазон) |
| 250/200 | 250/212 | D251 |
| 200/160 | 212/180 | D213 |
| 160/125 | 180/150 | D181 |
| | 150/125 | D151 |
| 125/100 | 125/106 | D126 |
| 100/80 | 106/90 | D107 |
| 80/63 | 90/75 | D91 |
| | 75/63 | D76 |
| 63/50 | 63/53 | D64 |
| 50/40 | 53/45 | D54 |
| | 45/38 | D46 |

9.2. Вибірвання схеми оброблення деталей абразивними інструментами

Залежно від виду оброблення, форми та розташування оброблюваної поверхні використовуються різні технологічні схеми абразивного оброблення зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання. Найбільше поширення одержало кругле зовнішнє, кругле внутрішнє, безцентрове шліфування та хонінгування. Кругле зовнішнє шліфування – це процес оброблення заготовок шліфувальним кругом у центрах або патроні. Існують три схеми шліфування:

- шліфування з поздовжньою подачею (рис. 9.1);
- шліфування врізанням (рис. 9.2);
- шліфування комбінованим способом.

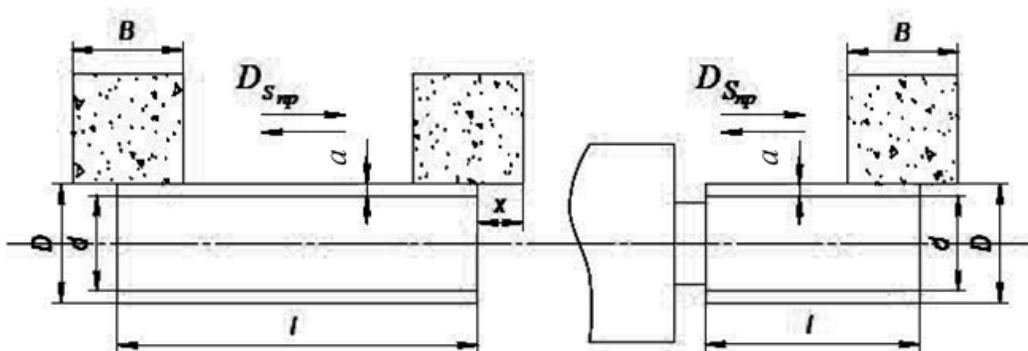


Рисунок 9.1 – Зовнішнє кругле шліфування методом поздовжньої подачі

Шліфування з поздовжньою подачею застосовується при попередньому та остаточному оброблянні довгих заготовок. Процес полягає в підведенні круга без шліфування на задану глибину у поздовжній (уздовж осі виробу) його подачі.

Схема шліфування врізанням реалізується при безперервній подачі інструмента на заготовку до необхідного розміру. Схема комбінованого оброблення полягає в підведенні круга із врізанням у деталь на деяку глибину й наступному оброблянні з поздовжньою подачею.

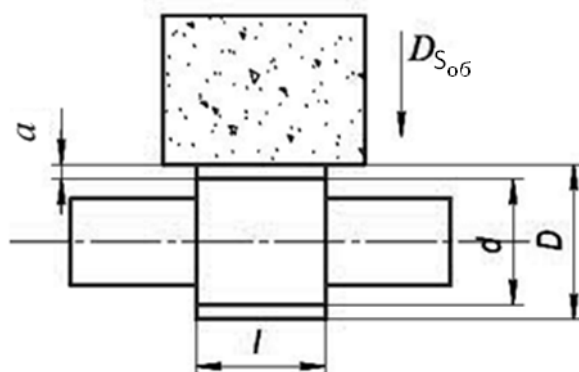


Рисунок 9.2 – Зовнішнє кругле шліфування методом радіальної подачі

Внутрішнє шліфування здійснюється з поздовжньою та радіальною подачами (рис. 9.3).

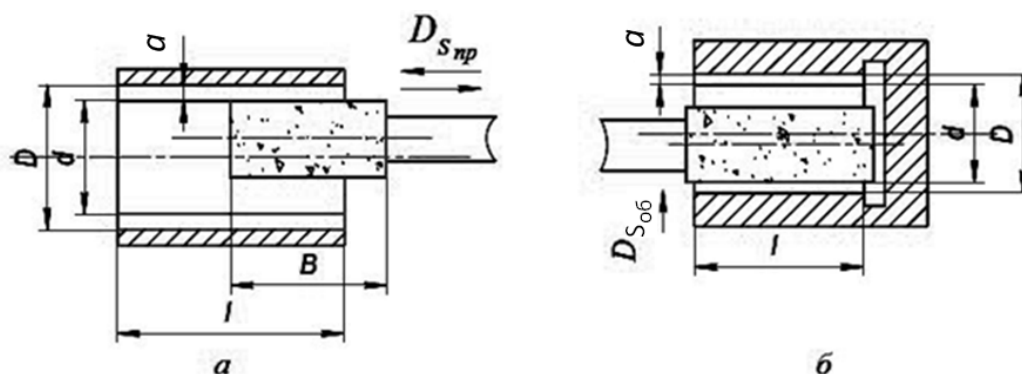


Рисунок 9.3 – Внутрішнє кругле шліфування методами поздовжньої (а) і радіальної (б) подачі

У першому випадку шліфувальний круг або головка та оброблюваний виріб обертаються навколо своїх осей, зворотно-поступальне переміщення уздовж осі виробу робить або круг, або виріб зі швидкістю поздовж-

ньої подачі. Подача на глибину проводиться наприкінці ходу або подвійного ходу. Діаметр круга вибирається зі співвідношення $D_k = (0,6 \dots 0,8) d$.

Зовнішнє та внутрішнє шліфування торців (рис. 9.4) здійснюється за схемою врізного шліфування. Процес реалізується трьома рухами: обертальному заготовки; обертальному й поступальному (уздовж осі) інструменту.

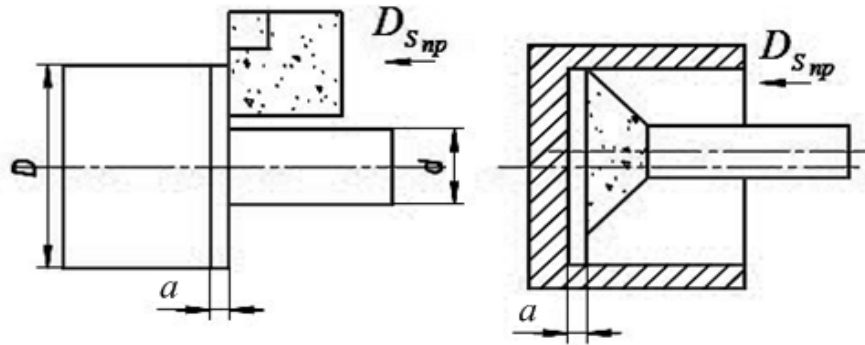


Рисунок 9.4 – Зовнішнє та внутрішнє шліфування торців методом врізання

Безцентрове зовнішнє шліфування заготовок (рис. 9.5) характеризується базуванням відносно зовнішньої поверхні обертання заготовки. Передача обертального моменту виробу здійснюється від тягового круга, що передає обертання за рахунок тертя, привод подачі – за рахунок примусового переміщення круга або за рахунок нахилу його осі до осі оброблюваної заготовки. Обидва круга: той, що шліфує та тяговий, обертаються в один бік, але з різними окружними швидкостями: тяговий круг має швидкість в 60...100 разів менше, ніж шліфувальний. Опорою оброблюваної заготовки є напрямний ніж, який може розташовуватися так, щоб центр заготовки перебував вище або нижче лінії центрів інструментів. Для тонких довгих заготовок центри їхнього обертання повинні бути нижче лінії центрів кругів.

Хонінгування (рис. 9.6) – це процес оздоблювального оброблення, як правило, отворів, при якому інструменту надається обертальне та зворотно-поступальне переміщення. Шліфувальними елементами в цьому процесі є абразивні бруски, закріплені в збірному інструменті. Обробляються отвори діаметром 2 мм і більше із відхиленнями від циліндричності до 5 мкм і шорсткістю $R_a = 0,32 \dots 0,63$ мкм.

Плоске шліфування є одним з найпоширеніших видів абразивного оброблення. Розрізняють плоске шліфування торцем круга (рис. 9.7) і периферією круга (рис. 9.8).

Шліфування торцем круга застосовується переважно в масовому виробництві для чорнових робіт з великим припуском. Шліфування периферією круга – більш універсальний спосіб для обробляння пазів, уступів, площин у серійному та дрібносерійному виробництві.

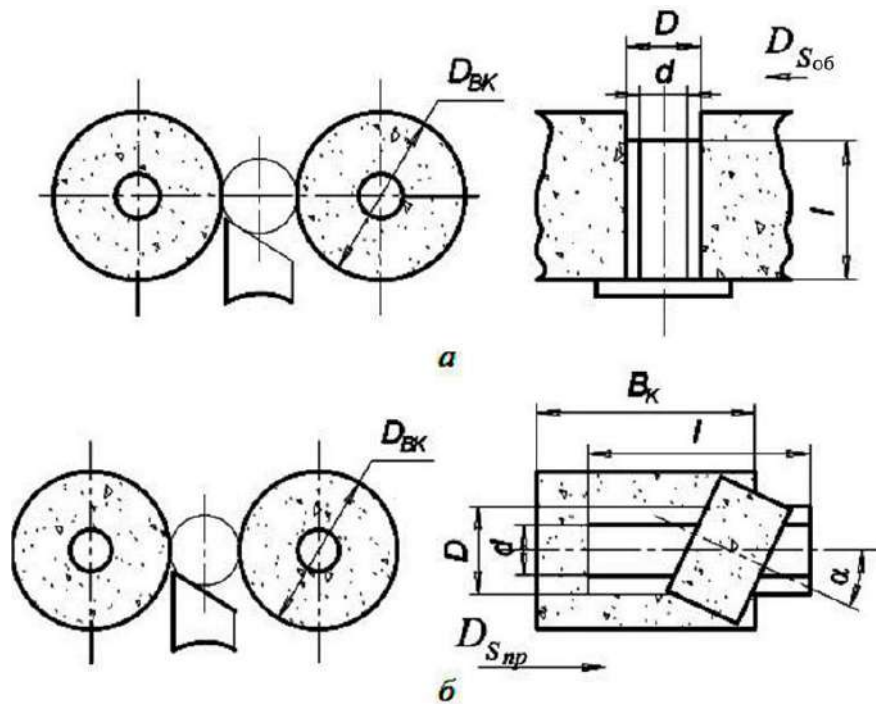


Рисунок 9.5 – Безцентрове зовнішнє шліфування методами радіальної (а) і поздовжньої (б) подачі

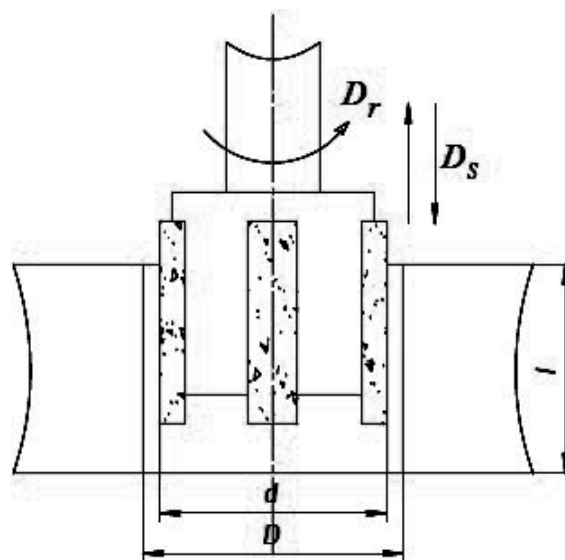


Рисунок 9.6 – Хонінгування отворів

Верстати для плоского шліфування мають обертовий рух столу з оброблюваною заготовкою або зворотно-поступальне відносне переміщення круга й виробу.

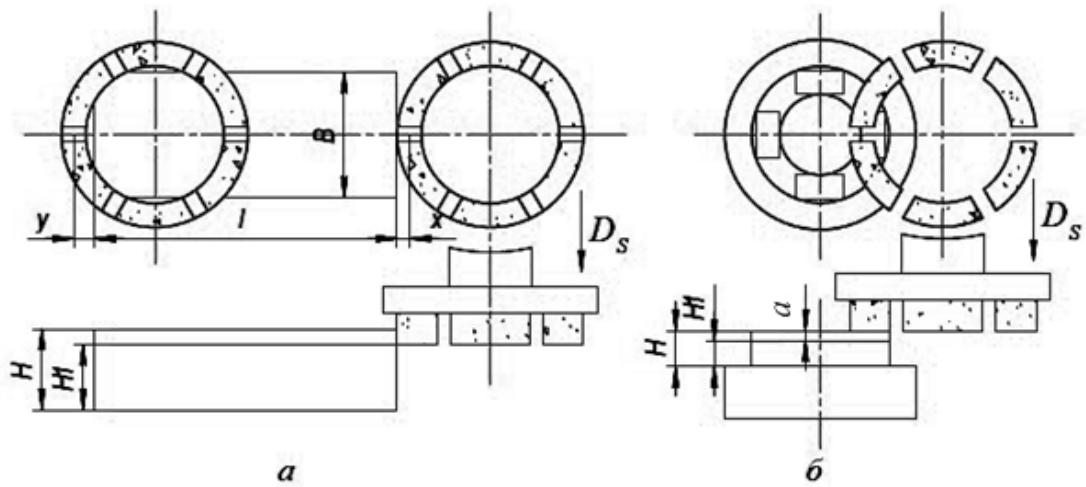


Рисунок 9.7 – Плоске шліфування торцем круга на верстатах із прямокутним столом (а) та з круглим столом (б)

Шліфування торцем круга здійснюється декількома способами:

- з нахилом (до 4°) осі шліфувального інструмента до напрямку поздовжньої подачі столу;
- без нахилу круга.

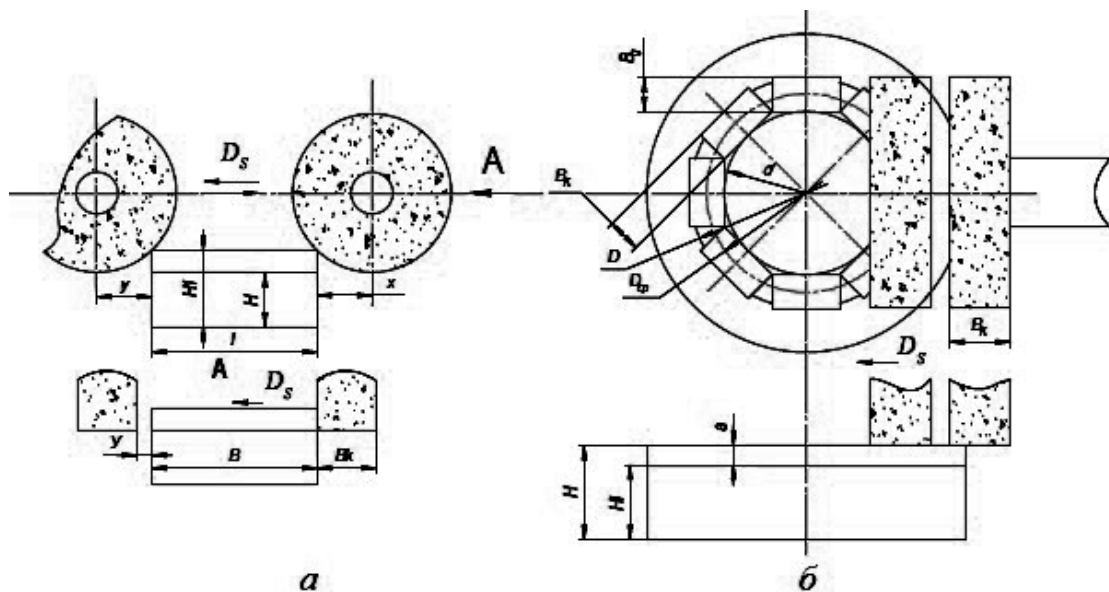


Рисунок 9.8 – Плоске шліфування периферією круга на верстатах із прямокутним столом (а) та з круглим столом (б)

Перший спосіб застосовується при попередньому оброблянні з великим зніманням металу, другий – забезпечує одержання високоточних поверхонь при чистовому оброблянні.

До складних поверхонь у металооброблянні відносяться шліцьові, різьбові, зубчасті. Розглянемо найпоширеніші методи абразивного оброблення цих складних поверхонь.

Шліфування шліцьових валів (рис. 9.9) здійснюється стандартними та спеціальними кругами. Процеси здійснюються при обертанні абразивного круга та поступальному переміщенні виробу. Припуск на оброблення визначається за рахунок радіальної подачі інструмента.

Різьбошліфування (рис. 9.10) забезпечує одержання необхідної форми нарізи і її розмірів як при шліфуванні різі в суцільному матеріалі, так і при шліфуванні попередньо обробленого профілю. Оброблення здійснюється на різьбо-шліфувальних верстатах одно- і багатонитковими кругами, профіль осьового перерізу яких відповідає профілю різі, яка нарізується.

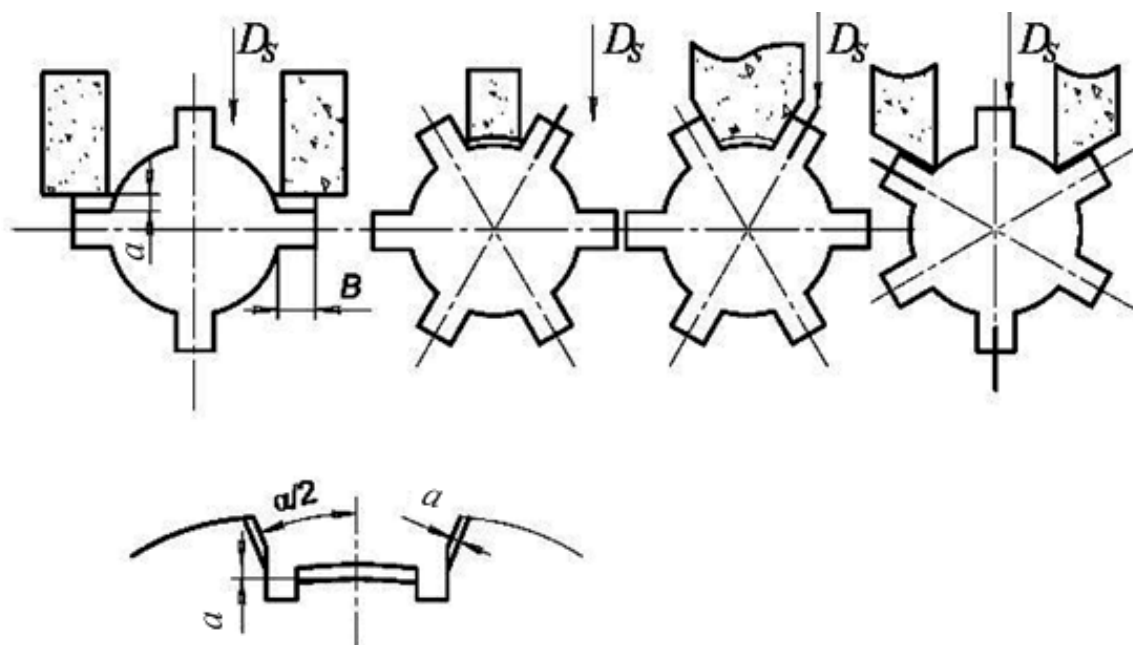


Рисунок 9.9 – Шліфування шліцьових валів

Шліфування одонитковим кругом реалізується при обертанні виробу й осьовій його подачі. Шліфування нарізи багатонитковим кругом, ширина якого перевищує довжину різі, що нарізується, здійснюється способом радіальної подачі при поздовжньому її переміщенні на один крок за один оберт заготовки.

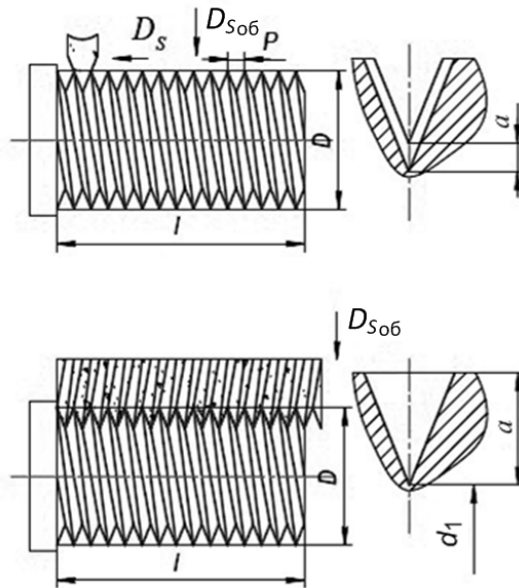


Рисунок 9.10 – Шліфування нарізі

Твердосплавні деталі шліфуються плоскими алмазними кругами із двостороннім конічним профілем з характеристикою АСМ4(6) 60/40 4(5) М2-01(Б2-01).

Найбільш застосовуваними схемами зубошліфування є: шліфування бічними сторонами тарілчастих шліфувальних кругів методом обкатування; профільною поверхнею круга – методом копіювання і абразивним черв'яком.

Шліфування методом обкатування двома кругами (рис. 9.11 а) або одним кругом (рис. 9.11 б) ведеться без поздовжньої подачі, тому для захоплення всієї довжини оброблюваного зубу використовуються шліфувальні круги великого діаметру.

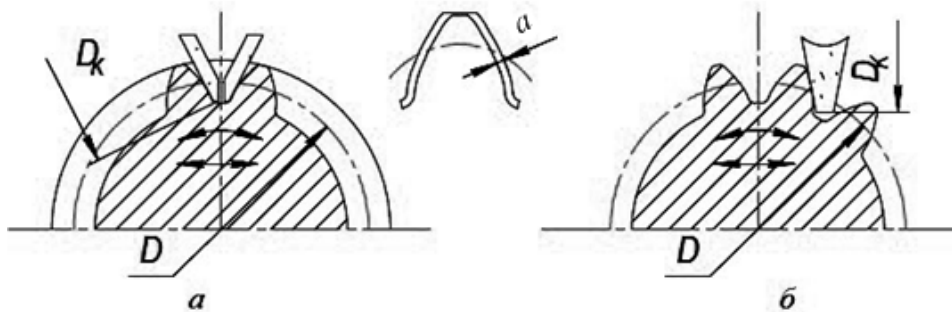


Рисунок 9.11 – Шліфування зубів методом обкатування

Для відтворення евольвенти у торцевому перерізі заготовка одержує зворотньо-коливальний та зворотньо-поступальний рух обкатування.

При шліфуванні профільним кругом (рис. 9.12) методом копіювання круг обертається, а заготовка робить зворотно-поступальний рух. Знімання припуску здійснюється за рахунок радіальної подачі інструмента.

Шліфування абразивним черв'яком (рис. 9.13) забезпечує найбільшу продуктивність за рахунок безперервності процесу та мінімальних допоміжних ходів. Черв'ячний абразивний круг та оброблювана заготовка роблять взаємозалежні обертання від приводів верстату, що забезпечують однакову частоту обертання двох ланок технологічного налагодження.

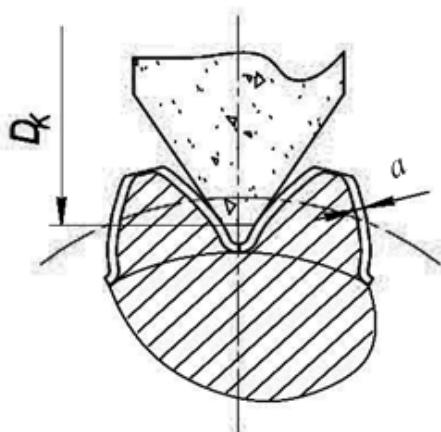


Рисунок 9.12 – Шліфування зубів методом копіювання

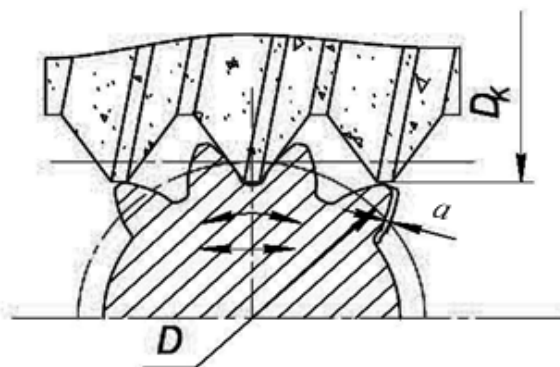


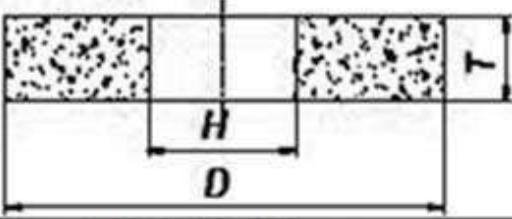
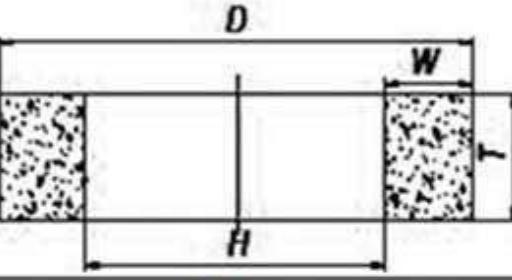
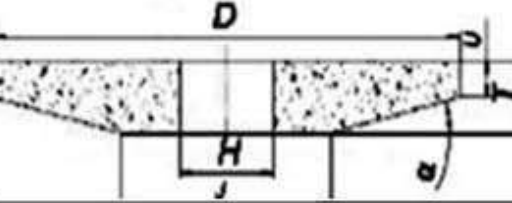
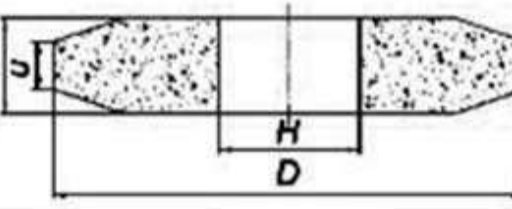
Рисунок 9.13 – Шліфування методом копіювання

9.3. Вибір форми та розмірів абразивних інструментів

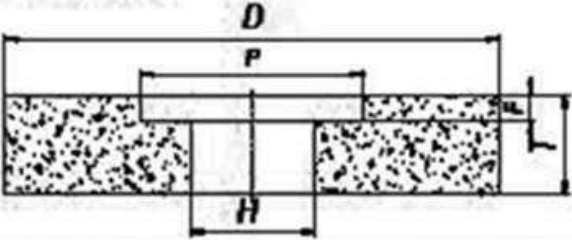
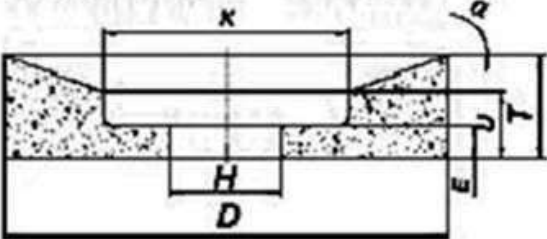
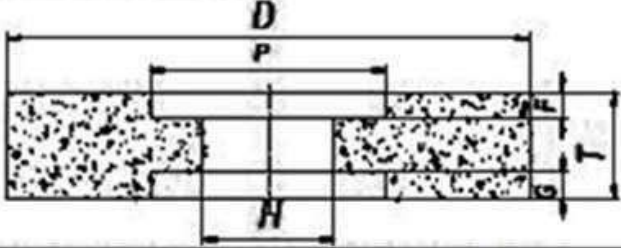
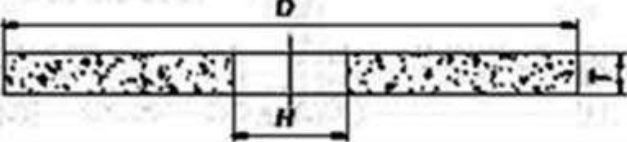
Тип і геометричні розміри абразивних інструментів визначаються верстатом і характером рухів інструментів, а також формою та розмірами оброблюваних поверхонь. Основні форми та розміри абразивних шліфувальних кругів на керамічній (К), бакелітовій (Б) або вулканітовій (В) зв'язках за ДСТУ 2424-83 (у ред. 1996 р.) і області їх використання наведено в табл. 9.9.

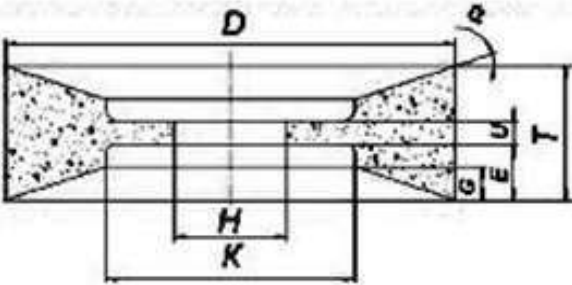
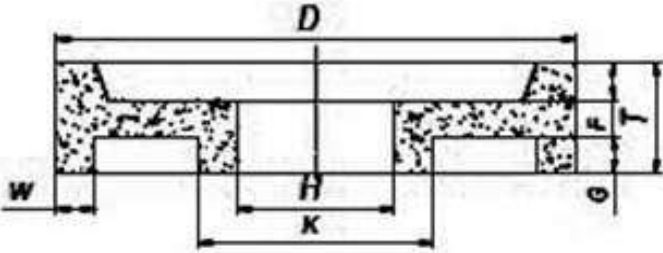
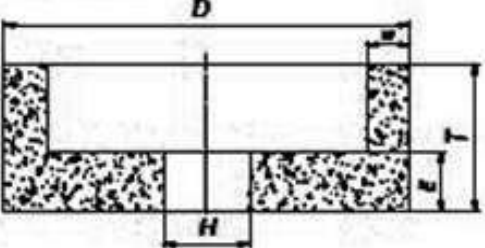
Відрізнні круги за ДСТУ 21963-82 випускаються на бакелітовій та вулканітовій зв'язках. Гранично припустима швидкість цих кругів становить 50 і 60 м/с відповідно (див. табл. 9.9).

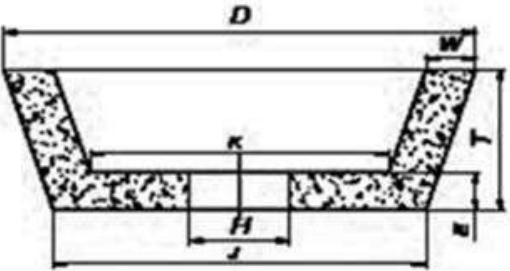
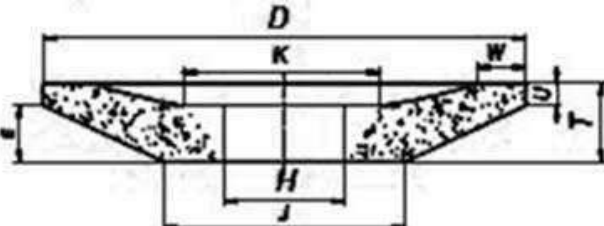
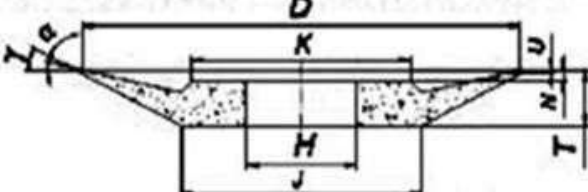
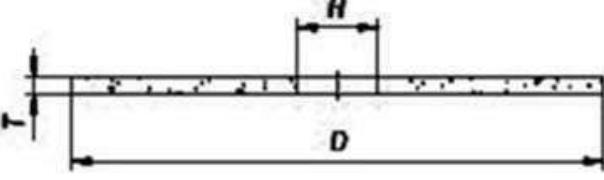
Таблиця 9.9 – Типи, розміри й області застосування абразивних кругів

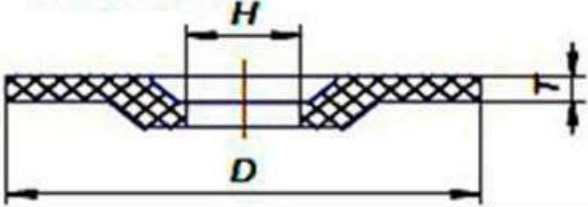
| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">Плоскі</p> <p>З прямим профілем, тип 1 (ПП), 1 D-T-H $D=3 \dots 1060$ мм, $T=6 \dots 200$ мм, $H=1 \dots 305$ мм</p>  | <p>Для усіх видів обробл. торцем та периферією круга від обдирної до заточки інструментів. різе-, шліцьо-, зубошліфування</p> |
| <p>Кільцеві, тип 2 (К), 2 D-T-W-H $D=200 \dots 600$ мм, $T=63 \dots 160$ мм, $H=76 \dots 480$ мм</p>  | <p>Плоске шліфування торцем круга на верстатах з вертикальним шпинделем, заточка різальних інструментів</p> |
| <p>З конічним профілем, тип 3 (ЗП), 3 D-T-H $D=63 \dots 500$ мм, $T=6 \dots 40$ мм, $H=10 \dots 203$ мм, $\alpha=10^\circ \dots 45^\circ$</p>  | |
| <p>З двостороннім конічним профілем, тип 4 (2П), 4 D-T-H $D=250 \dots 500$ мм, $T=8 \dots 32$ мм, $H=76 \dots 203$ мм, $\alpha=40^\circ; 60^\circ$</p>  | <p>Шліфування зубців шестірен. Заточув. багатолезових інструментів, різе-, зубошліфування та пилок</p> |

Продовження табл. 9.9

| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">Плоскі</p> <p>З прямим профілем з односторонньою виточкою, тип 5 (ПВ), 5 D-T-H $D=10 \dots 600$ мм, $T=13 \dots 100$ мм, $H=3 \dots 305$ мм</p>  | <p>Те ж саме, що і тип 1, але з можливістю більш міцного закріплення, зменшення площі контакту круга з заготовкою, підрізання торців, буртиків</p> |
| <p>З прямим профілем з кінчною виточкою, тип 23 (ПВК), 23 D-T-H $D=300 \dots 750$ мм, $T=50 \dots 80$ мм, $H=127 \dots 305$ мм, $\alpha=10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$</p>  | <p>Те ж, що і тип 5, але з можливістю працювати як з підрізним різцем при шліфуванні на круглешліфувальних верстатах заготовок з буртиками</p> |
| <p>З прямим профілем з двосторонньою виточкою, тип 7 (ПВД), 7 D-T-H $D=100 \dots 900$ мм, $T=25 \dots 250$ мм, $H=32 \dots 305$ мм</p>  | <p>Для всіх видів шліфування торцем та периферією круга з одночасною підрізкою торців заготовок</p> |
| <p>Диски на органічній зв'язці, тип 41, 41 D-T-H $D=50 \dots 500$ мм, $T=0,6 \dots 5$ мм, $H=16 \dots 32$ мм</p>  | <p>Відрізування та прорізування</p> |

| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|---|--|
| Плоскі | |
| <p>З прямим профілем та двосторонньою конічною виточкою, тип 26 (ПВДК), 26 D-T-H $D=750$ мм, $T=80$ мм, $H=305$ мм, $\alpha=5^\circ$</p>  | <p>Для всіх видів шліфування торцем та периферією круга, з можливістю зменшення площі контакту круга з заготовкою, підрізання торців, буртиків</p> |
| <p>З прямим профілем та двосторонньою виточкою та маточиною, тип 10 (ПВДС), 10 D-T-W-H $D=150 \dots 300$ мм, $T=8 \dots 20$ мм, $H=32 \dots 127$ мм</p>  | <p>Для всіх видів шліфування торцем та периферією круга, а також для шліфування калібрових скоб</p> |
| Чашкові | |
| <p>Циліндричні, тип 6 (ЧЦ), 6 D-T-W-H $D=40 \dots 300$ мм, $T=25 \dots 100$ мм, $H=13 \dots 127$ мм</p>  | <p>Для плоского та внутрішнього шліфування, заточка та доводка інструментів</p> |

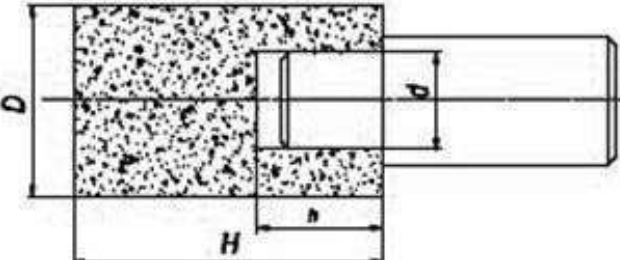
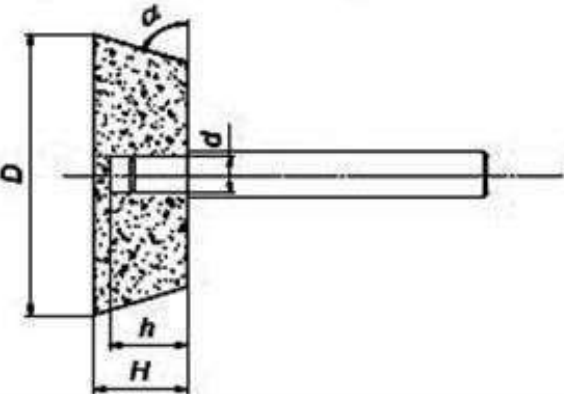
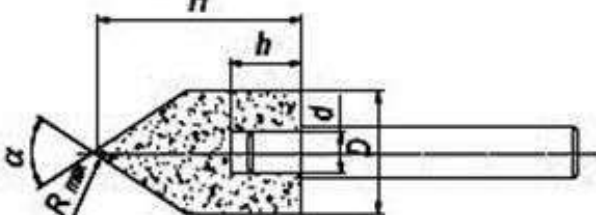
| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|--|---|
| Плоскі | |
| <p>Конічні, тип 11 (ЧК), 11 <i>D-T-W-H</i> $\alpha = 50^\circ \dots 80^\circ$, $D = 50 \dots 300$ мм, $T = 25 \dots 100$ мм, $H = 13 \dots 150$ мм</p>  | <p>Для плоского та внутрішнього шліфування, заточування та доведення інструментів, зубошліфування</p> |
| Тарільчасті | |
| <p>Тип 12, (Т), 12 <i>D-T-W-H</i> $D = 80 \dots 250$ мм, $T = 8 \dots 25$ мм, $H = 13 \dots 32$ мм, $\alpha = 15^\circ, 25^\circ$</p>  | <p>Оброблення зубів, заточування та доведення передніх поверхонь багатолезових інструментів</p> |
| <p>Тип 14, (1Т), 14 <i>D-T-W-H</i> $D = 100 \dots 350$ мм, $T = 10 \dots 40$ мм, $H = 20 \dots 127$ мм, $\alpha = 7^\circ, 10^\circ$; $\gamma = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$</p>  | |
| Відрізні | |
| <p>Тип 1, без зміцнювальних елементів $D = 50 \dots 500$ мм, $T = 0,6 \dots 5$ мм, $H = 10 \dots 75$ мм</p>  | <p>Відрізання та прорізання різних сталей та сплавів, неметалічних виробів</p> |

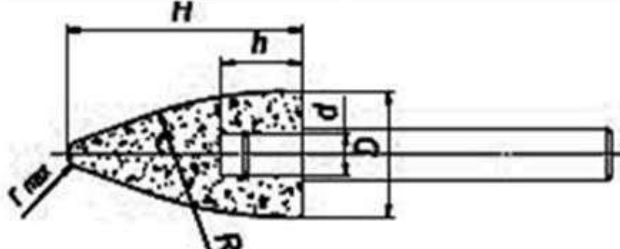

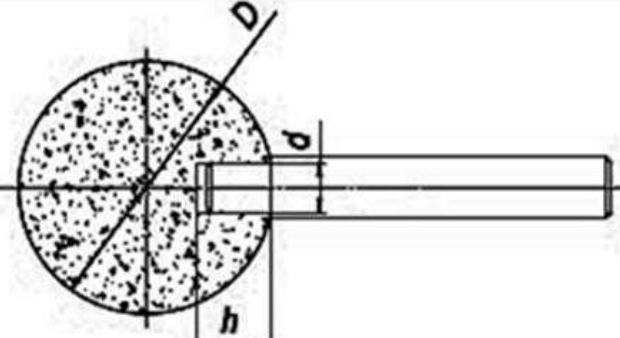
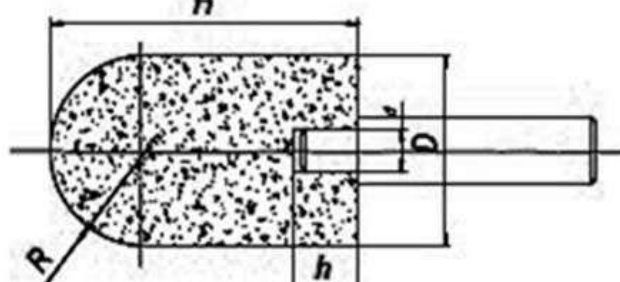
| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|---|--|
| Плоскі | |
| Тип 1, зі зміцнюючими елементами $D= 50 \dots 1500$ мм, $T= 1,5 \dots 12$ мм, $H= 10 \dots 150$ мм | Обдирні роботи, відрізання та прорізання, зачищення зварних швів |
|  | |

Шліфувальні головки за ДСТУ 2447-82 призначені для оброблення внутрішніх поверхонь різних форм і розмірів.

Основні типи й розміри головок наведено в табл. 9.10.

Таблиця 9.10 – Типи й розміри шліфувальних головок

| Тип, найменування, основні розміри | Приклад |
|--|--|
| Циліндричні, <i>AW</i> $D= 3 \dots 40$ мм, $H= 6 \dots 60$ мм, $\alpha= 1 \dots 13$ мм |  |
| Кутові, <i>DW</i> $D= 12 \dots 40$ мм, $H= 6 \dots 10$ мм, $\alpha= 1 \dots 13$ мм, $\alpha = 75^\circ$ |  |
| Конічні, <i>EW</i> $D= 10 \dots 32$ мм, $H= 25 \dots 50$ мм, $\alpha= 3 \dots 6$ мм, $\alpha = 60^\circ$ |  |

| Тип, найменування, основні розміри | Приклад |
|---|--|
| Конічні з закругленою вершиною, <i>KW</i> $D= 16 \dots 40$ мм, $H= 16 \dots 60$ мм, $\alpha= 6 \dots 13$ мм |  |
| Склеписта, <i>F-1W</i> $D= 6 \dots 38$ мм, $\alpha= 2 \dots 10$ мм, $H= 10 \dots 50$ мм |  |
| Шарова, <i>F-2W</i> $D= 10 \dots 32$ мм, $\alpha= 3 \dots 6$ мм |  |
| Шарова з циліндричною боковою поверхнею, <i>FW</i> $D= 16 \dots 25$ мм, $H= 20 \dots 32$ мм, $\alpha= 3 \dots 8$ мм |  |

Сегменти шліфувальні за ДСТУ 2464-82 (табл. 9.11) призначено для оброблення різних матеріалів. Використовуються в збірних інструментах для плоского шліфування заготовок на верстатах з поздовжнім і круглим столом.

Бруски шліфувальні за ДСТУ 2456-82 (табл. 9.12) призначено для слюсарних робіт, хонінгування або суперфінішування. Основні типи, розміри та позначення алмазних шліфувальних кругів за ДСТУ і області їхнього застосування наведено в табл. 9.13.

Таблиця 9.11 – Типи й розміри шліфувальних сегментів

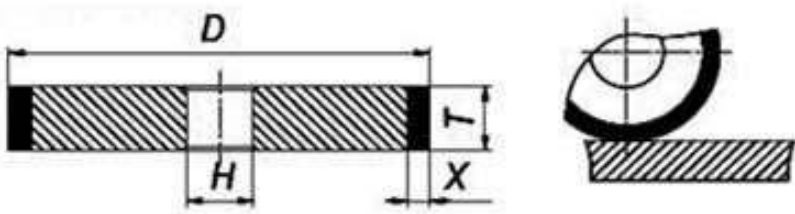
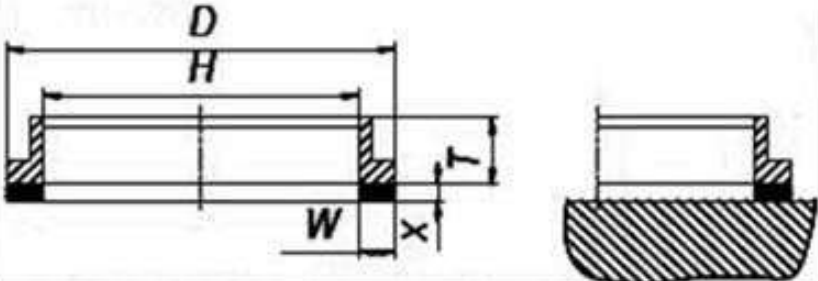
| Тип, найменування, основні розміри | Приклад |
|---|---------|
| Прямокутні, 1П $B = 40 \dots 180$ мм, $H = 20 \dots 63$ мм, $L = 80 \dots 250$ мм | |
| Опукло-вгнуті, 1С $B = 60 \dots 150$ мм, $L = 75 \dots 200$ мм, $R = 85 \dots 300$ мм, $B_1 = 40 \dots 110$ мм, $R_1 = 60 \dots 250$ мм | |
| Вгнуто-опуклі, 2С $B = 80 \dots 95$ мм, $L = 125 \dots 175$ мм, $R = 200, 250$ мм, $B_1 = 75 \dots 80$ мм, $R_1 = 150, 220$ мм | |
| Опукло-плоскі, 3С $B = 110 \dots 350$ мм, $H = 40 \dots 240$ мм, $L = 180 \dots 300$ мм, $R = 200 \dots 500$ мм, $B_1 = 75 \dots 210$ мм | |
| Плоско-опуклі, 4С $B = 100 \dots 190$ мм, $H = 40, 50$ мм, $L = 150, 160$ мм, $R = 220 \dots 400$ мм, $B_1 = 80, 180$ мм | |
| Трапецеїдальні, 5С $B = 60 \dots 100$ мм, $H = 16 \dots 40$ мм $L = 125 \dots 200$ мм, $B_1 = 46 \dots 85$ мм | |

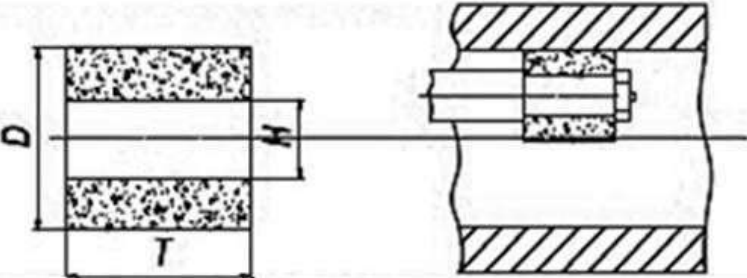
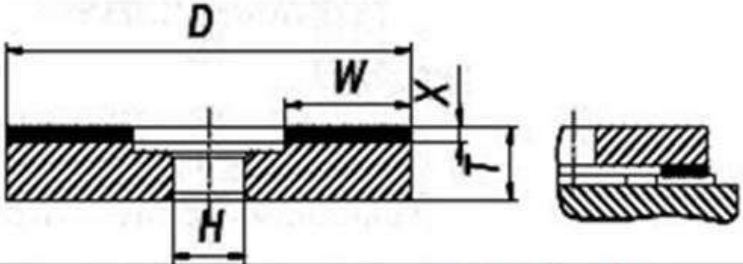
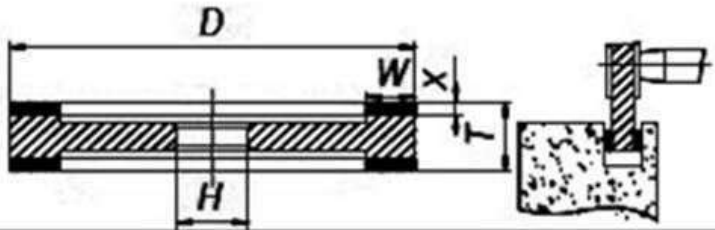
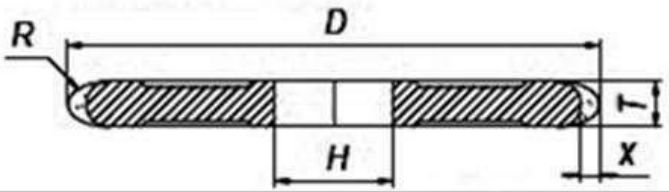
Таблиця 9.12 – Типи й розміри шліфувальних брусків

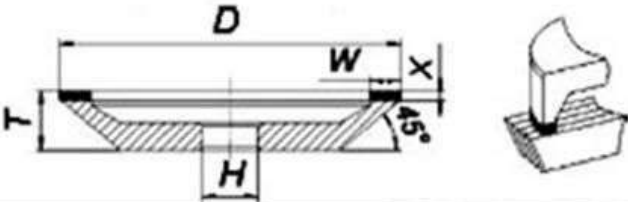
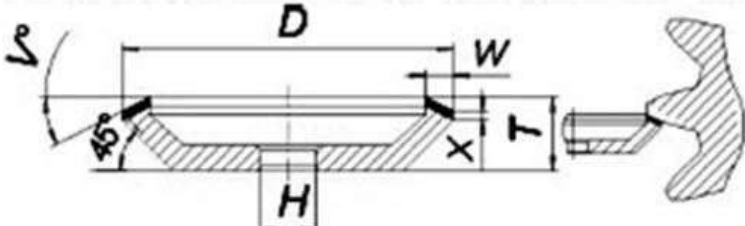
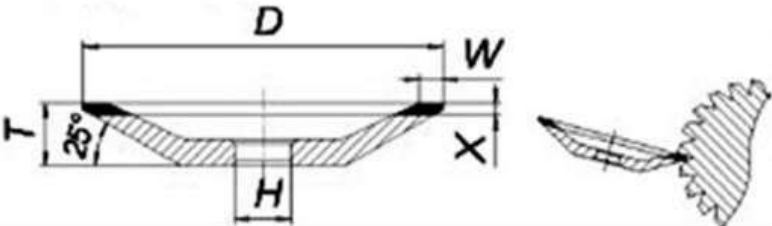
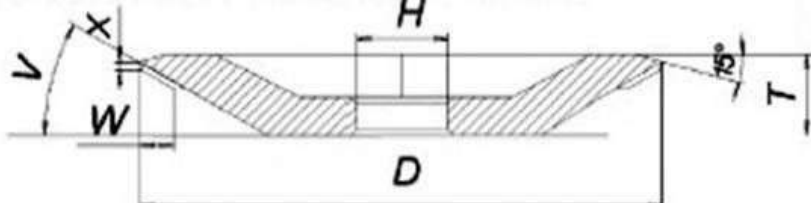
| Тип, найменування, основні розміри, мм | | |
|---|---|---|
| <p>Квадратні, БКв</p> <p>$B = 4 \dots 45$ мм, $L = 16 \dots 200$ мм</p> | <p>Круглі, БКр</p> <p>$D = 6 \dots 16$ мм, $L = 100 \dots 150$ мм</p> | <p>Напівкруглі, БПкр</p> <p>$D = 13 \dots 20$ мм, $L = 50 \dots 200$ мм</p> |

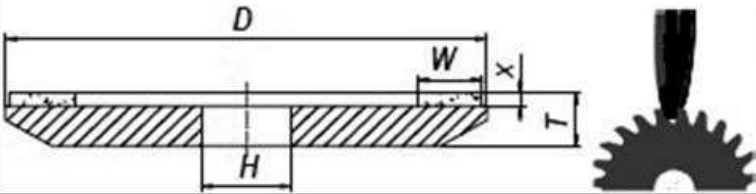
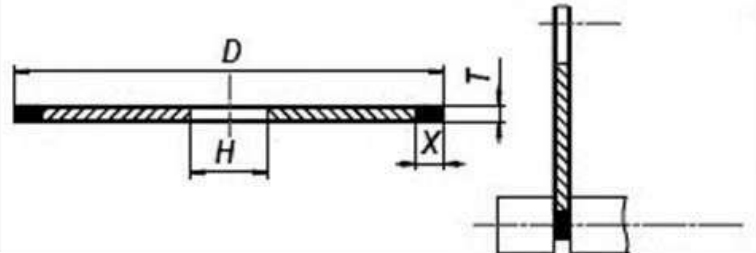
| Тип, найменування, основні розміри, мм | | |
|---|---|---|
| <p>Прямокутні, БП</p>  <p>$B = 2 \dots 80 \text{ мм}$, $H = 3 \dots 25 \text{ мм}$, $L = 15 \dots 200 \text{ мм}$</p> | <p>Трикутні, БТ</p>  <p>$B = 6 \dots 16 \text{ мм}$, $L = 100 \dots 150 \text{ мм}$</p> | <p>Вгнуті, Л2БС</p>  <p>$B = 25 \dots 100 \text{ мм}$, $L = 5 \dots 13 \text{ мм}$, $H = 5 \dots 16 \text{ мм}$, $h = 3 \dots 6 \text{ мм}$</p> |

Таблиця 9.13 – Типи, розміри й області застосування алмазних кругів

| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|---|--|
| Плоскі | |
| <p>Прямого профілю по ДСТУ 16167-90, тип 1A1, 1A1 D-T-X-H</p> <p>$D = 16 \dots 500 \text{ мм}$, $T = 2 \dots 80 \text{ мм}$, $H = 6 \dots 203 \text{ мм}$, $X = 2 \dots 6 \text{ мм}$</p>  | <p>Обробл. циліндричних, конічних та плоских поверхонь, отворів, торців, виступів, пазів, шлиць.</p> <p>Заточування та доведення твердосплавного інструменту</p> |
| <p>Кільцевий по ДСТУ 17006-80, тип 2A2</p> <p>2A2 D-T-W-X-H</p> <p>$D = 5 \dots 280 \text{ мм}$, $T = 8 \dots 20 \text{ мм}$, $X = 3 \dots 5 \text{ мм}$, $W = 2 \dots 6 \text{ мм}$</p>  | <p>Шліфування сферичних та плоских деталей зі скла, кварцю, мармуру та інших неметалевих твердих матеріалів</p> |

| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|--|--|
| Плоскі | |
| <p>Прямого профілю без корпусу по ДСТУ 16168-91, тип А8, А8 $D-T-H$ $D=6 \dots 14$ мм, $T=4 \dots 12$ мм, $H=2 \dots 4$ мм</p>  | <p>Внутрішнє шліфування циліндричних поверхонь деталей із твердого сплаву, скла, кераміки та важкооброблюваних матеріалів</p> |
| <p>З витчкою по ДСТУ 16170-91, тип 6А2, 6А2 $D-T-W-X-H$ $D=50 \dots 300$ мм, $T=22, 33$ мм, $H=16 \dots 76$ мм, $X=2 \dots 6$ мм $W=3 \dots 40$ мм</p>  | <p>Заточування та доведення твердосплавного інструменту, плоске шліфування скла та інших неметалевих матеріалів</p> |
| <p>З двосторонньою витчкою по ДСТУ 16171-91, тип 9А3, 9А3 $D-T-W-X-H$ $D=100 \dots 250$ мм, $T=10 \dots 37$ мм, $H=20 \dots 127$ мм, $X=2 \dots 6$ мм, $W=3 \dots 20$ мм</p>  | <p>Те ж саме</p> |
| <p>З напівкругло-опуклим профілем по ДСТУ 16180-91, тип 1FF1, 1FF1 $D-R-T-X-H$ $D=50 \dots 250$ мм, $T=2 \dots 30$ мм, $H=16 \dots 51$ мм, $R=1 \dots 15$ мм, $X=2 \dots 6$ мм</p>  | <p>Обробл. канавок інструментів та шліфування фасонного профілю</p> |

| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|--|---|
| Чашкові | |
| <p>Конічний з кутом 45° по ДСТУ 16172-90, тип 12A2-45°, 12A2-45° <i>D-T-W-X-H</i> $D=50 \dots 250$ мм, $T=20 \dots 52$ мм, $H=16 \dots 76$ мм, $X=2 \dots 6$ мм, $W=2 \dots 20$ мм</p>  | <p>Заточування та доведення багатолезового твердосплавного інструменту з прямим та гвинтовим зубом по передній поверхні</p> |
| Тарільчасті | |
| <p>З кутом 45° по ДСТУ 16174-91, тип 12V5-45°, 12V5-45° <i>D-T-W-X-V-H</i> $D=50 \dots 250$ мм, $T=20 \dots 40$ мм, $H=16 \dots 51$ мм, $X=3 \dots 5$ мм, $W=3 \dots 6$ мм, $V=15^\circ, 25^\circ$</p>  | <p>Заточування та доведення багатолезового твердосплавного інструменту з прямим та гвинтовим зубом по передній та задній поверхням</p> |
| <p>З кутом 25° по ДСТУ 16176-82, тип 12R4, 12R4 <i>D-T-W-X-H</i> $D=125 \dots 30$ мм, $T=6 \dots 16$ мм, $H=16 \dots 51$ мм, $X=1,5; 2; 3$ мм, $W=4 \dots 40$ мм</p>  | <p>Заточування та доведення передньої поверхні зубців твердосплавного інструменту (розгортки, фрези, протяжки, довбачі, черв'ячні фрези та ін.)</p> |
| <p>З кутом 15° або 25° по ДСТУ 16174-82, тип 12D9, 12D9 <i>D-T-W-X-V-H</i> $D=125 \dots 300$ мм, $T=11 \dots 25$ мм, $H=31 \dots 75$ мм, $X=2; 3$ мм, $W=4 \dots 40$ мм, $V=15^\circ, 25^\circ$</p>  | <p>Заточування та доведення інструменту з прямим та гвинтовим зубом по передній та задній поверхням</p> |

| Тип, маркування та розміри круга | Область використання |
|--|--|
| Тарільчасті | |
| <p>Плоский по ДСТУ 16175-90, тип 4A2, 4A2 <i>D-T-W-X-H</i> $D= 100 \dots 150$ мм, $T= 10, 12$ мм, $X= 1 \dots 3$ мм, $W= 3 \dots 8$ мм, $H= 20 \dots 31,75$ мм</p>  | <p>Заточування та доведення передньої поверхні багатолезового різального інструменту</p> |
| <p>Відрізний по ДСТУ 10110-87, тип 1A1R 1A1R <i>D-T-X-H</i> $D= 50 \dots 400$ мм, $T= 0,15 \dots 0,22$ мм $H= 6 \dots 75$ мм, $X= 2,5 \dots 10$ мм</p>  | <p>Різнання твердих сплавів, скла, мармуру, кварцю, кераміки та інших неметалевих матеріалів</p> |

9.4. Вибір характеристики абразивних інструментів

Основними характеристиками абразивних інструментів є: абразивний матеріал, зернистість, твердість, структура, зв'язка, клас точності. Обертний інструмент додатково характеризується класом неврівноваженості, а алмазні інструменти та інструменти з кубічного нітриду бору – концентрацією зерен у робочому шарі. Вибір матеріалу та зернистості абразивних інструментів наведено у підрозд. 9.1.

Зв'язка призначена для закріплення абразивних зерен і наповнювачів, і в значній мірі визначає продуктивність абразивного оброблення, зношування інструменту та економічність операції. Основа зв'язок – різні органічні та неорганічні матеріали (табл. 9.14).

Твердість абразивного інструменту – величина, що характеризує властивість зв'язки інструменту чинити опір порушенню зчеплення між зернами та) зв'язкою при збереженні експлуатаційних властивостей інструменту в межах установлених норм. Для абразивного оброблення застосовують інструменти з різним ступенем твердості (табл. 9.15).

Таблиця 9.14 – Зв'язки абразивних інструментів

| Вид зв'язки, умовне позначення | | Склад | Область використання |
|---|--|--|--|
| ДСТУ | ФЕРА | | |
| Гліфталева ГФ | Гліфталева ГФ | Гліфталева смола | Чистове та оздоблювальне шліфування |
| Металева М1 МО16 МВ1 МК-01 МК-2 МС1 МК3 М13 | Металева М2-01 М2-09 М1-01 М5-02 М5-03 М5-04 М5-06 М5-08 | Мідь, олово | Попереднє оброблення, всі види шліфування, в яких використовуються інструменти із надтвердких матеріалів, доводка, відрізка |
| Види зв'язки, умовне позначення | | Склад | Область використання |
| ДСТУ | ФЕРА | | |
| Керамічна К1, К3, К5, К7, К8, К10, К 18-2 | Керамічна V | Вогнетривка глина, польовий шпат, гальк, рослинне масло | Всі види шліфування за виключенням відрізних робіт. $V_{кр} \leq 35$ м/с |
| Магнезійна МГ | Магнезійна М | Каустичний магnezит та хлористий магній | Сухе шліфування, заточування та доводка площин, $V_{кр} \leq 20$ м/с |
| Силікатна С | Силікатна С | Розчинне скло, окис цинку, крейда, пластична глина | Плоске сухе шліфування торцем круга, коли круг має велику площу контакту з поверхнею деталі |
| Бакелітова Б1 Б156 БП2 | Бакелітова В2-01 В2-02 В1-01 | Фенолформаль- дегідні смоли | Плоске шліфування, Прорізання вузьких пазів, різешліфування, заточка різальних інструментів |
| Вулканітова В1 Р11 | Вулканітова В1-13 В3-06 | Каучук та наповнювачі (окис цинку, окис магнію, сажа та ін.) | Відрізні роботи при $V_{кр} = 80$ м/с, шліфування та полірування шлиців, нарізей, фасонних поверхонь, обробка твердих сплавів |

Таблиця 9.15 – Твердість абразивних інструментів

| Ступінь твердості | Позначення | Область використання |
|--------------------|---------------|---|
| Вельми м'яка | BM1; BM2 | Обробл. твердих сплавів, шліфування важкооброблюваних сплавів. Заточення та доведення твердосплавних різальних інструментів |
| М'яка | M1; M2; M3 | |
| Середньом'яка | CM1; CM2 | Шліфування загартованих сталей, заточення твердосплавних різальних інструментів на верстатах |
| Середня | C1; C2 | Всі види шліфування незагартованих сталей, ковких чавунів. Заточення твердосплавних різальних інструментів вручну |
| Середньотверда | CT1; CT2; CT3 | Чорнове хонінгування, кругле та безцентрове шліфування, прорізання та відрізання |
| Тверда | T1; T2 | Обдирні операції на великих відливках, Прорізання канавок, відрізання, хонінгування |
| Вельми тверда | BT1; BT2 | |
| Надзвичайно тверда | HT1; HT2 | Правлення абразивних інструментів, оброблення підшипникових кульок, безцентрове шліфування, прорізання вузьких канавок |

Відповідність позначень ступенів твердості абразивних інструментів, вироблених вітчизняними й закордонними виробниками, наведено в табл. 9.16.

Таблиця 9.16 – Позначення твердості за ДСТУ і FEPA

| Позначення ступіню твердості по ДСТУ 18118-79 | Позначення ступеню твердості по FEPA | Позначення ступіню твердості по ДСТУ 18118-79 | Позначення ступеню твердості по FEPA |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| BM1 | F | C2 | N |
| BM2 | G | CT1 | O |
| M1 | H | CT2 | P |
| M2 | I | CT3 | Q |
| M3 | J | T1 | R |
| CM1 | K | T2 | S |
| CM2 | L | HT | T,U |
| C1 | M | CT | V,W,Y,Z |

Натепер твердість відрізних кругів указується не літерним позначенням, а цифровим показником, іменованим «звуковий індекс» (табл. 9.17).

Таблиця 9.17 – Співвідношення між звуковим індексом і твердістю абразивних інструментів

| Ступінь твердості | Значення звукового індексу абразивних інструментів вироблених з | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|---|
| | Електрокорунд зернистістю більше 6 | Карбід кремнію зернистістю більше 6 | Електрокорунд та карбід кремнію зернистістю 6 ... M40 | Електрокорунд та карбід кремнію зернистістю менше M40 |
| Зв'язка керамічна | | | | |
| M1 | 35, 37 | | 33, 35 | 33, 35 |
| M2 | 39, 41 | 47, 49 | 37, 39 | 35, 37 |
| M3 | 41, 43 | 51, 53 | 41, 43 | 39, 41 |
| CM1 | 45, 47 | 55 | 43, 45 | 41, 43 |
| CM2 | 49 | 57 | 45, 47 | 43, 45 |
| C1 | 51 | 59 | 49 | 45, 47 |
| C2 | 53 | 59 | 49, 51 | 47, 49 |
| CT1 | 55 | 61 | 51, 53 | 49 |
| CT2 | 57 | 61 | 53 | 51 |
| Ступінь твердості | Значення звукового індексу абразивних інструментів з | | | |
| | Електрокорунд зернистістю більше 6 | Карбід кремнію зернистістю більше 6 | Електрокорунд та карбід кремнію зернистістю 6 ... M40 | Електрокорунд та корунд кремнію зернистістю менше M40 |
| CT3 | 59 | 61 | 55 | 53 |
| T1 | 61 | 63 | 55, 57 | |
| T2 | 61 | | 57 | |
| BT | 63 | | | |
| Значення звукового індексу абразивних інструментів з електрокорунду | | | | |
| Зв'язка бакелітова | | | | |
| Ступінь твердості | Звуковий індекс | Ступінь твердості | Звуковий індекс | |
| C1 | 31 | T1 | 37 | |
| C2 | 33 | T2 | 39 | |
| CT1 | 35 | BT | 39 | |
| CT2 | 35 | HT | 41 | |
| CT3 | 37 | | | |
| Зв'язка вулканітова | | | | |
| CM1, CM2 | 19, 21 | CT1, CT2, CT3 | 27, 29, 31 | |
| C1, C2 | 23, 25 | T1, T2 | 33, 35 | |

Примітка. Співвідношення між звуковим індексом і твердістю абразивних інструментів мають недостатню кореляцію, і потрібно застосовувати літерне позначення.

Між ступенями твердості абразивних інструментів і їхньою окружною швидкістю існує взаємозв'язок: для ступенів твердості M1, M3, M3, CM1, CM2 рекомендовано окружну швидкість 25...50 м/с; BM1, BM2, C1, C2 – 20...40 м/с; CT1, CT2, CT3 – 5...20 м/с. Між ступенями твердості абразивних інструментів і швидкістю поширення акустичних хвиль теж є вза-

емозв'язок. Тому значення звукового індексу абразивних інструментів перебувають у межах від 19 до 63 залежно від ступеня твердості та зв'язки (див. табл. 9.17).

Під структурою прийнято розуміти співвідношення зерен, зв'язки та пор у кругові. За структурою абразивні інструменти розподіляють на 13 груп. Чим вище номер, тем менше зерен і більше зв'язки та пор. Структури № 0...4 відносять до закритих, № 5...8 – до середніх, № 9...12 – до відкритих (табл. 9.18).

Важливою характеристикою, що визначає різальну здатність і продуктивність абразивного інструменту, є концентрація зерен алмазів або композитів у робочому шарі. Зараз застосовуються абразивні інструменти з 25, 50, 75, 100, 125, 150%-ною концентрацією.

Таблиця 9.18 – Структури абразивного інструменту

| Номер структури | Область використання | Вміст зерен, % |
|-------------------------|---|----------------|
| Щільна 0; 1; 2; 3; 4 | Профільне шліфування. Шліфування при великих, а також змінних навантаженнях. Відрізання, прорізання | 60...52 |
| Середньощільна 5;6 | Кругле зовнішнє шліфування, безцентрове шліфування, плоске шліфування периферією круга та заточення інструменту | 50...48 |
| Середньощільна 7;8 | Плоске шліфування торцем круга, внутрішнє шліфування, заточення інструменту | 46...44 |
| Відкрита 9;10 | Плоске шліфування, шліфування та заточення інструменту | 42...40 |
| Високопориста 11;12 | Різешліфування дрібнозернистими кругами | 38...36 |

За 100%-ною концентрацією приймається вміст 0,878 г (4,4 карата) зерен алмазів або композитів в 1 см³ робочого шару, що становить 25% його обсягу. При маркуванні абразивного інструмента його концентрація позначається такими цифровими індексами: 25%-на концентрація маркується цифрою 1, 50%-на – 2, 75%-на – 3, 100%-на – 4, 125%-на – 5, 150%-на – 6.

Вибірання концентрації визначається економічними міркуваннями. Ефективність роботи з високою концентрацією залежить від терміну роботи алмазних зерен і передчасного їхнього виривання зі зв'язки. При вели-

кому терміні роботи інструменти з високою концентрацією працюють ефективніше ніж інструменти з низькою концентрацією. Зараз найпоширенішою є концентрація 100%.

Розглянуті характеристики абразивних інструментів включаються в маркування, яке додатково містить інформацію про товарний знак підприємства-виготовлювача, умовну позначку круга, окружну швидкість круга, клас точності й клас невірноваженості.

Відповідно до ДСТУ 24214-83 (у ред. 1996 р.) розрізняються три класи точності кругів: АА, А і Б. Установлено граничні відхилення розмірів кругів за класами точності для зовнішнього діаметра D , посадкового діаметра H і висоти T круга.

Відповідно до ДСТУ 3060-86 встановлено чотири класи невірноваженості. Наведено діапазони невірноважених мас кіл M , г, діаметром 250...1100 мм залежно від їхньої висоти H , мм:

| Висота H | Маса M | Висота H | Маса M |
|------------|----------|------------|----------|
| до 13 | 5...45 | 75...100 | 20...325 |
| 13...25 | 10...85 | 100...125 | 25...295 |
| 25...50 | 15...250 | 125...150 | 30...250 |
| 30...75 | 15...225 | Св. 150 | 35...260 |

Класи точності повинні відповідати класу його невірноваженості:

| Клас точності | АА | А | Б |
|-----------------------|----|------|-------|
| Клас невірноваженості | 1 | 1, 2 | 1...3 |

Приклад маркування абразивного круга

Круг типу 1 з розмірами $D = 500$ мм, $T = 50$ мм і $H = 305$ мм із білого електрокорунду марки 25А, зернистістю 63Н, ступенем твердості 32, номером структури 7, на керамічній зв'язці К1, з робочою швидкістю 35 м/с, класом точності А, класом невірноваженості 1.

Маркування цього абразивного круга буде виглядати так:

1 500 × 50 × 305 24А 16Н 32 7 К1 35 м/с А 1кл. ДСТУ 2424-83

Приклад маркування алмазного круга

Круг типу 1А1 з розмірами $D = 500$ мм, $T = 50$ мм, $X = 5$ мм, $H = 305$ мм, з алмазного шліфпорошка марки АС4, зернистістю 100/80, концентрацією 4, на бакелітовій зв'язці В2-01, з позначенням типорозміру круга 2720-0139.

Маркування цього алмазного круга буде виглядати так:

1А1 500 × 50 × 5 × 305 АС4 100/80 4 В2-01 2720-0139 ДСТУ 1616-90

Рекомендації з вибирання абразивних кругів при різних видах шліфування сталей, твердих сплавів і інших матеріалів, а також при хонінгуванні, різешліфуванні наведено в табл. 9.19–9.23.

Таблиця 9.19 – Характеристика кругів при круглому зовнішньому та внутрішньому шліфуванні

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Вид оброблення | Шорсткість обробленої поверхні R_a , мкм | Характеристика круга |
|---------------------------------------|----------------|--|----------------------|
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10) | Попереднє | 1,25...0,63 | 15A40HCT16K8 |
| | Чистове | 0,63...0,32 | 23A25HC16K8 |
| | Остаточне | 0,32...0,16 | 24A12HCM16K1 |
| Нержавіючі сплави (M20, M30) | Попередня | 1,25 | 24A32HCM16K8 |
| | Чистове | 0,63...0,32 | 24A25HCM16K1 |
| | Остаточне | 0,32...0,16 | 24A16HM36K5 |
| Жароміцні сплави (S01, S10) | Попереднє | 1,25 | 25A25HCM16K1 |
| | Чистове | 0,63...0,32 | 43A16HM26K8 |
| | Остаточне | 0,32...0,16 | 45A12HM36K5 |
| Титанові сплави (S30) | Попереднє | 1,25 | 63C25HCM16K1 |
| | Чистове | 0,63...0,32 | 63C16HM37K5 |
| | Остаточне | 0,32...0,16 | 62C12HM37K5 |
| Матеріали високої міцності (H01, H10) | Попереднє | 1,25 | 24A32HCM16K1 |
| | Чистове | 0,63...0,32 | 25A25HM16K |
| | Остаточне | 0,32...0,16 | 45A12HM36K6 |
| Чавуни (K01, K10) | Попереднє | 1,25 | 14A32HCM26K1 |
| | Чистове | 0,63...0,32 | 15A16HCM16K1 |
| | Остаточне | 0,32...0,16 | 15A12HC16K1 |

Таблиця 9.20 – Характеристика кругів при плоскому шліфуванні

| Шорсткість обробленої поверхні R_a , мкм | Оброблюваний матеріал (групи різання) | | | |
|--|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| | Сталі (P01) | Сталі (P10) | Сталі (P10) | Чавуни (K01, K10) |
| Метод шліфування: периферією круга | | | | |
| 1,6...1,25 | 14A40HCM27K | 14A40HCM17K | 14A40HM37K | 53C40HCM28K |
| 1,25...0,63 | 14A25HCM16K | 14A25HCM26K | 24A25HCM17K | 53C25HCM18K |
| 0,63...0,32 | 14A16HC16K | 14A16HCM26K | 24A20HCM17K | 53C16HC17K |
| 0,32...0,16 | 14A16HC16K | 14A16HCM26K | 24A16HCM16K | 53C16HC16K |

| Шорсткість обробленої поверхні R_a , мкм | Оброблюваний матеріал (групи різання) | | | |
|---|---------------------------------------|-------------|-------------|----------------------|
| | Сталі (P01) | Сталі (P10) | Сталі (P10) | Чавуни (K01, K10) |
| Метод шліфування: торцем круга | | | | |
| 1,6...1,25 | 14A40НСМ17Б | 14A40НСМ17Б | 14A40НМ27Б | 53С40НСМ27Б |
| 1,25...0,63 | 14A25НСМ26Б | 14A25НСМ16Б | 14A25НМ36Б | 53С25НС17Б |
| 0,63...0,32 | 14A25НСМ25Б | 14A25НСМ15Б | 14A25НМ36Б | 53С25НС15Б |
| 0,32...0,16 | 14A25НСМ25Б | 14A25НСМ15Б | 14A20НМ35Б | 53С25НС15Б |

Примітка. При оброблянні чавунів допускається електрокорунд 14А

Таблиця 9.21 – Характеристика алмазних кругів при шліфуванні твердих сплавів

| Шорсткість обробленої поверхні R_a , мкм | Вид оброблення | Характеристика круга |
|---|----------------|-------------------------------------|
| Кругла зовнішнє шліфування | | |
| 0,63...0,32 | Попереднє | АС6200/160 (125/100) 4 М2-01(Б2-01) |
| 0,32...0,16 | Чистове | АС6 63/50 (50/40) 4 Б2-01 |
| 0,16...0,04 | Остаточне | АСМ40/28 (20/14) 4 Б2-01 |
| Внутрішнє шліфування | | |
| 1,25...0,63 | Попереднє | АС6200/160 (125/100) 6 М2-01 |
| 0,63...0,32 | Чистове | АС6 63/50 (50/40) 4 М2-01 |
| 0,32...0,16 | Остаточне | АСМ40/28 (20/14) 4 Б2-01 |
| Плоске шліфування | | |
| 0,63...0,32 | Попереднє | АС6200/160 (125/100) 4 М2-01(Б2-01) |
| 0,32...0,16 | Чистове | АС6 63/50 (50/40) 4 Б2-01 |
| 0,16...0,08 | Остаточне | АСМ40/28 (20/14) 4 Б2-01 |
| 0,08...0,04 | Оздоблювальне | АСМ14/10 (10/7) 2 К18-2 |

Таблиця 9.22 – Характеристика алмазних кругів при хонінгуванні

| Шорсткість поверхні R_a , мкм | Вид оброблення | Характеристика круга |
|--|----------------|----------------------------------|
| Оброблюваний матеріал: сталь незагартована (P01, P10) | | |
| 1,25...0,63 | Попереднє | АС6200/160 (100/80) 4 М2-01 |
| 0,63...0,32 | Напівчистове | АС6 80/63 (50/40) 4 М2-01 |
| 0,32...0,16 | Остаточне | АСМ40/28 (20/14) 4 М2-01(Б2-01) |
| Оброблюваний матеріал: сталь загартована (H01, H10, H20) | | |
| 1,25...0,63 | Попереднє | АС6200/160 (100/80) 4 М2-01 |
| 0,63...0,16 | Остаточне | АС6 63/50 (28/20) 4 М2-01(Б2-01) |

| Шорсткість поверхні R_a , мкм | Вид оброблення | Характеристика круга |
|---|--|---|
| Оброблюваний матеріал: чавун (K01, K10) | | |
| 2,50...1,25 1,25...0,63 0,63...0,32 | Попереднє Напівчистове Остаточне | AC6200/160 (100/80) 4 M2-01 AC6 80/63 (50/40) 4 M2-01 АСМ40/28 (20/14) 4 M2-01(Б2-01) |
| Оброблюваний матеріал: чавун загартований (K20, K30, H30) | | |
| 2,50...1,25 1,25...0,63 0,63...0,16 | Попереднє Напівчистове Остаточне | AC6250/200 (125/100) 4 M2-01 AC6 100/80 (50/40) 4 M2-01 АСМ40/28 (20/14) 4 M2-01(Б2-01) |

Таблиця 9.23 – Характеристика кругів при різешліфуванні

| Крок різі, мм | Оброблюваний матеріал (групи різання) | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------|
| | Сталі (P01, P10, P20) | Сталі (P30) | |
| Багатониточне різешліфування | | | |
| 0,5...0,75 | 24AM20C16 K18-2 | 24A (63C) M20C27 K18-2 | |
| 0,75...1,0 | 24AM28C16 K18-2 | 24A (63C) M28C27 K18-2 | |
| 1,0...1,25 | 24AM28CM16 K18-2 | 24A (63C) M28C17 K18-2 | |
| 1,5...1,75 | 24AM20CM16 K18-2 | 24A (63C) M40C17 K18-2 | |
| 1,5...2,0 | 24AM40CM16 K18-2 | 24A (63C) M40CM27 K18-2 | |
| 2,0...2,5 | 24A5HCM16 K18-2 | 24A (63C) 5HCM17 K18-2 | |
| 2,5...3,0 | 24A5HCM16 K18-2 | 24A (63C) 5HCM27 K18-2 | |
| 4,0...6,0 | 24A5HCM16 K18-2 | 24A (63C) 5HCM27 K18-2 | |
| Шліфування однониточним кругом | | | |
| Кроки різі, мм | Попереднє | Остаточне | За одну операцію |
| 0,25...0,5 | 24A (63C) M28CT26K | 24A M20CT26K 63CM20CT3(T1)6K | 63CM28CT26 B2-01 |
| 0,5...0,75 | 24A M28C2(CT1)6K | 24A M28CT26K 63CM40T16K | 24A M20T27 B2-01 |
| 0,75...1,0 | 24A M20C2(CT1)6K 63CM28C2(CT1)6K | 24AM28CT16K | 24A M28T27 B2-01 |
| 1,0...1,5 | 63C6HC16K | 63CM40C2(CT1)6K | 24A M40T17 B2-01 |
| 1,5...2,0 | | | 24A5HCT37 B2-01 |
| 2,5...3,0 | | | 24A10HCT37 B2-01 |
| 4,0...6,0 | | | 24A8HCM17 B2-01 |

9.5. Рекомендації щодо вибирання режимів різання при абразивному обробленні

9.5.1. Кругле зовнішнє шліфування

До елементів режиму різання при круглому зовнішньому шліфуванні методом поздовжньої подачі (див. рис. 9.1) відносяться:

- швидкість обертання шліфувального круга $V_{кр}$, м/с;
- швидкість обертання заготовки $V_{д}$, м/хв;
- швидкість зворотно-поступального переміщення стола $V_{с}$, м/хв;
- поздовжня $S_{поз}$, мм/хв, і поперечна $S_{поп}$, мм/дв.хід, подачі.

Після визначення виду шліфування – чистового (необхідна точність 7–8 квалітет, $R_a = 0,16 \dots 0,32$ мкм) або попереднього (більші значення точності й шорсткості) треба призначити припуск під обробляння (табл. 9.24).

Послідовність призначення режимів різання.

1. Швидкість обертання шліфувального круга визначається за формулою

$$V_{кр} = \frac{\pi D_{кр} n_{кр}}{6 \cdot 10^4},$$

де $D_{кр}$ – діаметр круга, мм, і $n_{кр}$ – частота обертання шліфувального круга, об/хв, вибираються за паспортними даними верстата.

2. Необхідно зіставити розрахункову величину $V_{кр}$ із максимально припустимою швидкістю обертання шліфувального круга:

$$V_{кр} \leq V_{прип.}$$

Якщо ця нерівність не забезпечується, вибрати шліфувальний круг меншого діаметру при збереженні діаметра посадкового отвору 203 мм.

Таблиця 9.24 – Значення припусків на діаметр при круглому зовнішньому шліфуванні, мм

| Діаметр шліфуючої поверхні D , мм | Довжина шліфування, мм | | |
|-------------------------------------|------------------------|---------------|-------------|
| | до 100 | св. 100...400 | св. 400 |
| Попереднє шліфування | | | |
| 10...18 | 0,25...0,30 | 0,30...0,40 | |
| Св. 18...30 | 0,25...0,30 | 0,30...0,45 | 0,35...0,50 |
| Св. 30...50 | 0,35...0,50 | 0,40...0,55 | 0,45...0,55 |
| Св. 50...120 | 0,40...0,50 | 0,45...0,60 | 0,60...0,65 |
| Остаточне шліфування | | | |
| 10...18 | 0,30...0,35 | 0,35...0,40 | 0,40...0,50 |
| Св. 18...30 | 0,35...0,40 | 0,40...0,45 | 0,45...0,55 |
| Св. 30...50 | 0,40...0,45 | 0,45...0,50 | 0,55...0,60 |
| Св. 50...120 | 0,50...0,55 | 0,55...0,60 | 0,75...0,80 |

2. Швидкість обертання заготовки V_d призначається відповідно до табл. 9.25.

Таблиця 9.25 – Швидкість обертання заготовки

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Вид шліфування | Швидкість обертання заготовки V_d , мм/хв | Діаметр заготовки V_d , мм |
|--|----------------|---|------------------------------|
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | Попереднє | 10...25 | 10...30 |
| | | 25...64 | 40...160 |
| | | 65...100 | 160...400 |
| | Остаточне | 15...30 | 10...30 |
| | | 30...75 | 40...160 |
| | | 75...110 | 160...400 |
| Жароміцні, титанові сталі та сплави (S01, S10, S20, S30) | Попереднє | 9...20 | 10...30 |
| | | 20...53 | 40...160 |
| | | 55...88 | 160...400 |
| | Остаточне | 15...37 | 10...30 |
| | | 37...79 | 40...160 |
| | | 79...120 | 160...400 |

Частота обертання деталі, 1/хв:

$$n_d = \frac{1000V_d}{\pi D}$$

Отримане значення округлити до цілого числа та зіставити з технічною характеристикою верстата.

3. Швидкість зворотно-поступального переміщення столу верстата V_c залежить від ширини шліфувального круга B та частоти обертання деталі n_d . Подача на один оберт деталі призначається в частках ширини шліфувального круга:

$$S_o = S_d \cdot B, \text{ мм/об,}$$

де S_d – часткова подача – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від діаметру деталі D і виду шліфування.

Діаметр заготовки D до 20 мм: при попередньому шліфуванні $S_d = 0,3 \dots 0,5$; при чистовому шліфуванні $S_d = 0,2 \dots 0,4$. Діаметр заготовки D

понад 20 мм: при попередньому шліфуванні $S_d = 0,7 \dots 0,85$; при чистовому – $S_d = 0,2 \dots 0,4$.

Поздовжня подача стола верстата, мм/хв, визначається за формулою

$$S_{\text{поз}} = S_d B n_d.$$

Тоді швидкість, мм/хв, зворотно-поступального переміщення столу верстата визначається за формулою

$$V_c = S_{\text{поз}} / 1000.$$

Отримане значення округлити до цілого числа, зіставити з технічною характеристикою верстата й уточнити величину поздовжньої подачі $S_{\text{поз}}$.

4. Значення поперечної подачі $S_{\text{поп}}$ при шліфуванні заготовок методом поздовжньої подачі при круглому зовнішньому шліфуванні (табл. 9.26) вибираються залежно від виду шліфування (попереднього або чистового) й оброблюваного матеріалу.

5. Розраховується величина машинного часу, хв, за формулою

$$T_m = \frac{L_{p.x} i}{S_{\text{пр}}} K,$$

де $L_{p.x}$ – величина робочого ходу столу, $L_{p.x} = 2[l + (0,2 \dots 0,4) B]$; l – довжина поверхні, що шліфується, мм; i – кількість проходів, $i = z / 2 \cdot S_{\text{поп}}$; K – коефіцієнт шліфування, який враховує витрати часу на «вихід» – продовження процесу шліфування при вимкненій поперечній подачі. Це необхідно для виправлення похибок форми та зниження шорсткості обробленої поверхні. При попередньому шліфуванні $K = 1,1$, при чистовому – $K = 1,4$.

До елементів режиму різання при круглому зовнішньому шліфуванні методом радіальної подачі відносяться (див. рис. 9.2):

- швидкість обертання шліфувального круга $V_{\text{кр}}$, м/с;
- швидкість обертання заготовки V_d , м/хв;
- швидкість радіальної подачі $V_{\text{об}}$, мм/хв;

Таблиця 9.26 – Значення поперечної подачі при круглому зовнішньому шліфуванні

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Вид шліфування | $S_{\text{поп}}$, мм/подр.хід |
|--|----------------|--------------------------------|
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20) | Попереднє | 0,02...0,05 |
| | Чистове | 0,01...0,02 |
| Сталі (P30, H01, H10, H20) | Попереднє | 0,02...0,05 |
| | Чистове | 0,005...0,01 |
| Жароміцні, титанові сталі та сплави (S01, S10, S20, S30) | Попереднє | 0,01...0,03 |
| | Остаточне | 0,005...0,01 |

Послідовність призначення швидкості обертання шліфувального круга та заготовки при круглому зовнішньому шліфуванні методом радіальної подачі аналогічна послідовності призначення при шліфуванні методом поздовжньої подачі. Величина швидкості радіальної подачі (швидкість врізання) $V_{\text{вр}}$ призначається залежно від виду шліфування та оброблюваного матеріалу (табл. 9.27).

Таблиця 9.27 – Швидкість радіальної подачі при шліфуванні методом радіальної подачі

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Вид шліфування | $V_{\text{д}}$, м/хв | $V_{\text{об}}$, мм/хв |
|--|----------------|-----------------------|-------------------------|
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20) | Попереднє | 12...15 | 0,5...2,0 |
| | Чистове | 12...15 | 0,2...1,0 |
| Сталі (P30, H01, H10, H20) | Попереднє | 10...20 | 0,5...2,0 |
| | Чистове | 10...20 | 0,4...1,0 |
| Жароміцні, титанові сталі та сплави (S01, S10, S20, S30) | Попереднє | 5...10 | 0,05...0,15 |
| | Остаточне | 5...10 | 0,02...0,05 |

9.5.2. Внутрішнє шліфування

Послідовність призначення припуску, швидкості обертання шліфувального круга та заготовки при внутрішньому шліфуванні (див. рис. 9.3) є аналогічною послідовності призначення цих елементів при круглому зовнішньому шліфуванні. У табл. 9.28 наведено значення режимів різання при шліфуванні заготовок на внутрішньошліфувальних верстатах.

Таблиця 9.28 – Режими різання при внутрішньому шліфуванні

| Діаметр отвору, мм, не більше | V_D , м/хв | Оброблюваний матеріал (групи різання) Сталь загартована (P30, H01, H10, H20) | | | | | |
|----------------------------------|--------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Величина поперечної подачі, мм/повд.хід при поздовжній подачі, м/хв | | | | | |
| | | 3 | 5 | 7 | 9 | 12 | 15 |
| 16 | 10 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | | |
| | 15 | 0,0015 | 0,001 | | | | |
| 20 | 12 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | |
| | 15 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | |
| | 18 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | | |
| 32 | 15 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 |
| | 18 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | |
| | 22 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | |
| 50 | 15 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 |
| | 20 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | |
| | 25 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | |
| 80 | 18 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 |
| | 22 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 |
| | 25 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | |
| 120 | 18 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| | 25 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 |
| | 32 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 |
| 200 | 20 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 |
| | 25 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 |
| | 28 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| | 32 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,001 |
| 300 | 20 | 0,006 | 0,0055 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,001 |
| | 25 | 0,0055 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | |
| | 30 | 0,005 | 0,0045 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | |
| | 35 | 0,0045 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | | |
| Діаметр отвору, мм, не більше | V_D , м/хв | Оброблюваний матеріал (група різання) Чавун (K01, K10) | | | | | |
| | | Поздовжня подача, м/хв | | | | | |
| | | 3 | 5 | 7 | 9 | 12 | 15 |
| 16 | 10 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | |
| | 15 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | |
| 20 | 12 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 |
| | 15 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 |
| | 18 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | |

| Діаметр отвору, мм, не більше | V_d , м/хв | Оброблюваний матеріал (група різання) Чавун (К01, К10) | | | | | |
|----------------------------------|--------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Поздовжня подача, м/хв | | | | | |
| | | 3 | 5 | 7 | 9 | 12 | 15 |
| 32 | 15 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| | 18 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 |
| | 22 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 |
| 50 | 15 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| | 20 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 |
| | 25 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 |
| 80 | 18 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 |
| | 22 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| | 25 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 |
| 120 | 18 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 |
| | 25 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 |
| | 32 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| 200 | 20 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 |
| | 25 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 |
| | 28 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| | 32 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 |
| 300 | 20 | 0,0065 | 0,006 | 0,0055 | 0,005 | 0,004 | 0,003 |
| | 25 | 0,0060 | 0,0055 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,002 |
| | 30 | 0,0055 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,001 |
| | 35 | 0,0045 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | |

9.5.3. Плоске шліфування

До елементів режиму різання при плоскому шліфуванні відносяться (див. рис. 9.7 і 9.8):

- швидкість обертання шліфувального круга $V_{кр}$, м/с;
- швидкість зворотно-поступального переміщення столу $V_{ш}$, м/хв;
- поперечна подача столу $S_{поп}$, мм/подв.хід;
- вертикальна подача на глибину S_b , мм.

Послідовність визначення режимів різання.

1. Припуск на оброблення призначається залежно від габаритних розмірів оброблюваної заготовки (довжини L , ширини B і висоти H) і виду шліфування – попереднього або чистового (табл. 9.29).

2. Швидкість обертання шліфувального круга $V_{кр}$ визначається як при круглому зовнішньому шліфуванні.

3. Швидкість зворотно-поступального переміщення столу при плоскому шліфуванні периферією або торцем круга залежно від оброблюваного матеріалу наведено в табл. 9.30, 9.31.

4. Режими різання при плоскому шліфуванні твердих сплавів алмазними кругами наведено в табл. 9.32.

5. Значення величини поперечної подачі, мм/подв.хід, і подачі на глибину, мм, при плоскому шліфуванні наведено в табл. 9.33.

Таблиця 9.29 – Величина припуску при плоскому шліфуванні

| Вид шліфування | Ширина B або довжина L оброблюваної поверхні, мм | Висота заготовки H , мм | | |
|---|--|---------------------------|-------------|-----------|
| | | 2...30 | Св. 30...50 | св. 50 |
| Чистове без термічної обробки | До 100 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |
| | Св. 100...250 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |
| | Св. 250...400 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |
| Чистове після термічної обробки | До 100 | 0,1...0,3 | 0,2...0,5 | 0,2...0,5 |
| | Св. 100...250 | 0,1...0,3 | 0,2...0,5 | 0,2...0,5 |
| | Св. 250...400 | 0,2...0,5 | 0,2...0,5 | 0,2...0,5 |
| Попереднє до та після термічної обробки | До 100 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| | Св. 100...250 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| | Св. 250...400 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Жароміцні сталі та сплави | До 100 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| | Св. 100...250 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |
| | Св. 250...400 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |

Таблиця 9.30 – Швидкість зворотно-поступального переміщення столу при плоскому шліфуванні периферією круга

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Попереднє | | Чистове | |
|--|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | Часткова подача | | | |
| | 0,2...0,3 | Св.0,3...0,5 | 0,03...0,1 | Св.0,1...0,2 |
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | 10...18 | 8...15 | 20...25 | 15...20 |
| Жароміцні, титанові сталі та сплави (S01, S10, S20, S30) | 8...14 | 6...12 | 15...20 | 12...15 |

Таблиця 9.31 – Швидкість зворотно-поступального переміщення стола при плоскому шліфуванні торцем круга

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Попереднє | | Чистове | |
|--|----------------------------------|-----------|---------|-----------|
| | Ширина оброблюваної поверхні, мм | | | |
| | До 40 | Більше 40 | До 40 | Більше 40 |
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | 10...16 | 10..12 | 15...25 | 15...20 |
| Жароміцні, титанові сталі та сплави (S01, S10, S20, S30) | 10...15 | 7...10 | 12...20 | 12...15 |

Таблиця 9.32 – Режими різання при алмазному шліфуванні твердих сплавів

| R_a , мкм | Вид обробляння | Режими шліфування | | | | |
|----------------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------|------------------|-------------|
| | | $V_{кр}$, м/с | $V_{д}$, м/хв | S_p , мм/хв | $S_{шл}$, мм/хд | t , мм |
| Кругле зовнішнє шліфування | | | | | | |
| 0,63...0,32 | Попереднє | 30...35 | 20...30 | 0,6 | | 0,1...0,07 |
| 0,32...0,16 | Чистове | 20...25 | 10...15 | 0,5 | | 0,02...0,01 |
| 0,16...0,04 | Остаточне | 20...25 | 15...20 | 0,5 | | 0,005 |
| Внутрішнє шліфування | | | | | | |
| 1,25...0,63 | Попереднє | 30...35 | 30...40 | 1,0 | | 0,02 |
| 0,63...0,32 | Чистове | 30...35 | 30...40 | 0,5 | | 0,005 |
| 0,32...0,16 | Остаточне | 20...25 | 40...60 | 0,5 | | 0,0025 |
| Плоске шліфування | | | | | | |
| 0,63...0,32 | Попереднє | 30...35 | | 12 | 1,0 | 0,2 |
| 0,32...0,16 | Чистове | 20...25 | | 8 | 1,0 | 0,1 |
| 0,16...0,08 | Остаточне | 20...25 | | 6 | 0,5 | 0,05...0,01 |

Таблиця 9.33 – Поперечна подача при плоскому шліфуванні

| Вид шліфування: периферією круга | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| R_a , мкм | Поперечна подача, мм/подв.хід, при ширині шліфувального круга, мм | | | | | | | | |
| | 20 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | | | |
| 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 16,0 | | | |
| 0,8 | 1,8 | 2,5 | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 12,0 | | | |
| 0,4 | 1,2 | 1,8 | 2,5 | 4,0 | 5,0 | 8,0 | | | |
| 0,2 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,5 | 3,2 | 5,0 | | | |
| Подача на глибину, мм | | | | | | | | | |
| Швидкість столу, м/хв, не більше | Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | | | | | | | | |
| | Поперечна подача, мм/хд, не більше | | | | | | | | |
| | | 0,8 | 1,5 | 2,5 | 4,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 16,0 |
| 5 | 0,006 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,002 | |
| 6,3 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | |

Закінчення табл. 9.33

| Вид шліфування: периферією круга | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Швидкість столу, м/хв, не більше | Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | | | | | | | |
| | Поперечна подача, мм/хід, не більше | | | | | | | |
| | 0,8 | 1,5 | 2,5 | 4,0 | 6,0 | 9,0 | 12,0 | 16,0 |
| 8 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| 10 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | | |
| 12,5 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | | | |
| 16 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | | | | |
| 20 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | | | | | |
| Подача на глибину, мм | | | | | | | | |
| Швидкість столу, м/хв, не більше | Чавуни (K01, K10, K20, K30) | | | | | | | |
| | Поперечна подача, мм/хід, не більше | | | | | | | |
| | 1,5 | 2,5 | 4,0 | 6,0 | 10,0 | | | |
| 5 | 0,007 | 0,006 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | | | |
| 6,3 | 0,0065 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | | | |
| 8 | 0,006 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | | | |
| 10 | 0,0055 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | | | |
| 12,5 | 0,005 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | | | |
| 16 | 0,0045 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | | | | |
| 20 | 0,004 | 0,003 | 0,0025 | | | | | |
| Вид шліфування: торцем круга | | | | | | | | |
| Швидкість столу, м/хв, не більше | Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | | | | | | | |
| | Подача на глибину шліфування, мм/хід, при ширині шліфувального круга, мм | | | | | | | |
| | 32 | 50 | 80 | 125 | 200 | | | |
| 5,0 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | | | |
| 6,3 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | | |
| 8 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | | | |
| 10 | 0,002 | 0,0015 | 0,001 | | | | | |
| 12,5 | 0,0015 | 0,001 | | | | | | |
| 16 | 0,001 | | | | | | | |
| Швидкість столу, м/хв, не більше | Чавуни (K01, K10, K20, K30) | | | | | | | |
| | Подача на глибину шліфування, мм/хід, при ширині шліфувального круга, мм | | | | | | | |
| | 32 | 50 | 80 | 125 | 200 | | | |
| 3,2 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | | | |
| 4 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | | | |
| 5,0 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | | | | |
| 6,3 | 0,0025 | 0,002 | 0,0015 | | | | | |
| 8 | 0,002 | 0,0015 | | | | | | |
| 10 | 0,0015 | | | | | | | |

Поправкові коефіцієнти на подачу при плоскому шліфуванні наведено в табл. 9.34.

Таблиця 9.34 – Поправкові коефіцієнти на подачу при плоскому шліфуванні

| Поправкові коефіцієнти, які враховують: | | | | | | |
|---|------|------|--|------|-----------|-----|
| оброблюваний матеріал K_M | | | | | | |
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10, H20) | 1,0 | | Жароміцні сталі та сплави (P40, P50, S01, S10, S20, S30) | | 0,5...0,8 | |
| стійкість круга K_T , хв | | | | | | |
| 5 | 10 | | 15 | | 20 | |
| 1,7 | 1,0 | | 0,74 | | 0,58 | |
| діаметр круга D , мм | | | | | | |
| 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 500 | 600 |
| 0,5 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 1,0 | 1,15 | 1,5 |
| довжину оброблюваної поверхні L , мм | | | | | | |
| 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | | |
| 1,0 | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,65 | | |

9.5.4. Безцентрове шліфування

Безцентрове шліфування здійснюється з поздовжньою або радіальною подачею (див. рис. 9.5). Припуски на оброблення та швидкість обертання заготовки наведено в табл. 9.35 і 9.36.

Таблиця 9.35 – Величина припуску при безцентровому шліфуванні

| Вид шліфування | Діаметр заготовки, мм | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 6 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 120 |
| Чистове без термічної обробки | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| | 0,005... | 0,1... | 0,1... | 0,1... | 0,1... | 0,1... | 0,15... |
| Чистове після термічної обробки | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| | 0,15 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |

Таблиця 9.36 – Швидкість обертання заготовки при безцентровому шліфуванні

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Вид шліфування | Швидкість обертання заготовки V_d , м/хв | Діаметр заготовки D_d , мм |
|---------------------------------------|----------------|--|------------------------------|
| | | Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | Попереднє |
| 16...30 | 25...50 | | |
| 21...36 | 75...100 | | |
| 24...38 | Св. 100 | | |

| Оброблюваний матеріал (групи різання) | Вид шліфування | Швидкість обертання заготовки V_d , м/хв | Діаметр заготовки D_d , мм |
|--|----------------|---|---------------------------------|
| Сталі (P01, P10, P20, P30, M10, M20, H01, H10) | Остаточне | 16...29 | 5...10 |
| | | 22...38 | 25...50 |
| | | 29...45 | 75...100 |
| | | 32...50 | Св. 100 |
| Жароміцні, титанові сталі та сплави (S01, S10, S20, S30) | Попереднє | 10...18 | 5...10 |
| | | 14...26 | 25...50 |
| | | 18...30 | 75...100 |
| | | 20...32 | Св. 100 |
| | Остаточне | 16...29 | 5...10 |
| | | 22...38 | 25...50 |
| | | 29...45 | 75...100 |
| | | 32...50 | Св. 100 |

Значення величини поздовжньої $S_{\text{поз}}$, мм/хв, і радіальної подачі S_r , мм/об, при безцентровому шліфуванні наведено в табл. 9.37 і 9.38.

Таблиця 9.37 – Поздовжня подача при безцентровому шліфуванні

| Діаметр заготовки, мм, не більше | Поздовжня подача $S_{\text{поз}}$, мм/хід | | | | |
|-------------------------------------|--|------|------|------|------|
| | Припуск $2t$, мм | | | | |
| | 0,1 | 0,15 | 0,25 | 0,4 | 0,65 |
| 5 | 4480 | 3050 | 2150 | 1520 | 1950 |
| 10 | 3400 | 2390 | 1680 | 1180 | 825 |
| 20 | 2670 | 1880 | 1310 | 940 | 650 |
| 40 | 2100 | 1480 | 1040 | 735 | 520 |
| 80 | 1650 | 1160 | 820 | 580 | 405 |
| > 80 | 1300 | 915 | 645 | 450 | 315 |

Таблиця 9.38 – Радіальна подача при безцентровому шліфуванні

| Діаметр заготовки, мм, не більше | Швидкість заготовки, м/хв | Радіальна подача S_r , мм/об | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------|--------|--------|
| | | Довжина оброблюваної деталі, мм | | | |
| | | 30 | 55 | 100 | 150 |
| 10 | 15 | 0,005 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 |
| | 20 | 0,004 | 0,003 | 0,0022 | 0,002 |
| | 27 | 0,003 | 0,002 | | |
| 20 | 15 | 0,007 | 0,005 | 0,004 | 0,003 |
| | 20 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,0025 |
| | 27 | 0,004 | 0,003 | 0,0022 | 0,002 |

| Діаметр заготовки, мм, не більше | Швидкість заготовки, м/хв | Радіальна подача S_r , мм/об | | | |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|
| | | Довжина обробленої деталі, мм | | | |
| | | 30 | 55 | 100 | 150 |
| 45 | 20 | 0,007 | 0,005 | 0,004 | 0,0035 |
| | 27 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,0025 |
| | 36 | 0,004 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| 100 | 20 | 0,010 | 0,007 | 0,005 | 0,004 |
| | 27 | 0,007 | 0,005 | 0,004 | 0,0035 |
| | 36 | 0,006 | 0,004 | 0,003 | 0,0025 |

Поправкові коефіцієнти на подачу при безцентровому шліфуванні наведено в табл. 9.39.

Таблиця 9.39 – Поправкові коефіцієнти на подачу при безцентровому шліфуванні

| Поправкові коефіцієнти, які враховують | | | | | |
|--|-------------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| оброблюваний матеріал K_M | | | | | |
| Сталі (P01, P10, P20) | $\frac{1,0}{1,0}$ | Сталі (S01, S10) | $\frac{0,86}{0,55}$ | Сталі (S30, S40) | $\frac{0,66}{0,5}$ |
| стійкість круга K_T , хв | | | | | |
| 5 | | 10 | | 15 | 20 |
| 1,7 | | 1,0 | | 0,74 | 0,58 |
| діаметр круга D , мм | | | | | |
| 300 | 400 | 500 | 600 | 750 | |
| 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | |
| довжину обробленої поверхні L , мм | | | | | |
| 15 | 30 | 50 | 70 | 100 | 150 |
| 1,0 | 1,25 | 1,64 | 1,92 | 2,34 | 2,93 |

Примітка. Значення поправкового коефіцієнту K_M надані в чисельнику для шліфування з поздовжньою подачею, у знаменнику – з радіальною.

9.5.5. Хонінгування отворів

Хонінгування (див. рис. 9.6) – це процес оздоблювального оброблення отворів, при якому інструмент (хонінгувальна головка) з розсувними брусками одержує обертальний V , м/хв і зворотно-поступальний $V_{п}$, м/хв, рух.

Режими різання при алмазному хонінгуванні отворів наведено в табл. 9.40.

Таблиця 9.40 – Режими різання при алмазному хонінгуванні

| Довжина оброблюваного отвору, мм | Вид операції | Режими різання | | | |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------|--|------------------------|
| | | Припуск на діаметр, мкм | Швидкість обертання V , мм/хв | Швидкість зворотно-поступального руху V_p , м/хв | Тиск брусків P , МПа |
| До 100 | Попередня | 100 | 20...40 | 5...8 | 0,5...1,5 |
| | Остаточна | 10 | 20...50 | 8...12 | 0,3...0,6 |
| 100... 150 | Попередня | 100 | 30...60 | 12...16 | 0,6...1,5 |
| | Остаточна | 10 | 30...60 | 12...16 | 0,3...0,6 |
| Св.150 | Попередня | 100 | 30...80 | 15...27 | 1,0...1,8 |
| | Остаточна | 10 | 30...80 | 15...27 | 0,3...0,6 |

Величина припуску при хонінгуванні залежить від оброблюваного матеріалу, точності розмірів, форми та шорсткості поверхні деталі. При чистовому та напівчистовому хонінгуванні припуск на діаметр становить 0,005...0,08 мм при оброблянні сталей і чавунів, а при оброблянні кольорових металів і сплавів – 0,01...0,1 мм.

9.5.6. Шліфування нарізі

Режими різання при вишліфовуванні нарізі (див. рис. 9.10) у суцільному матеріалі та при шліфуванні після нарізування різі представлено в табл. 9.41 і 9.42.

Таблиця 9.41 – Режими вишліфовування нарізі в суцільному матеріалі

| Одностороннім кругом | | | | | |
|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| Крок нарізі, мм | Швидкість заготовки, м/хв | Подача на глибину, мм | | Кількість проходів | |
| 4 | 0,9...1,1 | 0,32 | | 8...12 | |
| 6 | 0,9...1,1 | 0,36 | | 10...15 | |
| 8 | 0,9...1,0 | 0,42 | | 12...18 | |
| 10 | 0,7...0,9 | 0,45 | | 14...22 | |
| 12 | 0,7...0,9 | 0,48 | | 16...30 | |
| Багатостороннім кругом | | | | | |
| Крок нарізі, мм | Подача на глибину, мм | | Швидкість заготовки, м/хв | | Кількість проходів |
| | На першому проході | На всіх інших проходах | На першому проході | На всіх інших проходах | |
| 4 | 1,5 | 0,5 | 0,6...0,7 | 0,9...1,1 | 3 |
| 6 | 2,0 | 0,6 | 0,6...0,7 | 0,9...1,1 | 4 |
| 8 | 2,3 | 0,65 | 0,6...0,7 | 0,8...1,0 | 5 |
| 10 | 2,5 | 0,68 | 0,5...0,6 | 0,7...0,8 | 6 |
| 12 | 2,7 | 0,72 | 0,5...0,6 | 0,7...0,8 | 7 |

Таблиця 9.42 – Режими шліфування після чорного нарізування різі

| Нарізь трапецеїдальна | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|-----------|-----------------------|---------|--------------------|---------|----|
| Крок нарізі, мм | Швидкість заготовки, м/хв | | Подача на глибину, мм | | Кількість проходів | | |
| | Вид шліфування | | | | | | |
| | Напівчистове | Чистове | Напівчистове | Чистове | Напівчистове | Чистове | |
| 4 | 0,6...0,7 | 04...0,6 | 0,08 | 0,03 | 6 | 8 | |
| 6 | 0,6...0,7 | 04...0,6 | 0,1 | 0,035 | 8 | 10 | |
| 8 | 0,6...0,7 | 04...0,6 | 0,12 | 0,04 | 12 | 12 | |
| 10 | 0,5...0,6 | 04...0,6 | 0,15 | 0,045 | 16 | 14 | |
| 12 | 0,5...0,6 | 04...0,6 | 0,18 | 0,05 | 20 | 16 | |
| Модуль, мм | Нарізь модульна | | | | | | |
| | 2 | 0,5...0,6 | 04...0,6 | 0,2 | 0,04 | 8 | 8 |
| | 2,5 | 0,5...0,6 | 04...0,6 | 0,25 | 0,045 | 10 | 10 |
| | 3,0 | 0,5...0,6 | 04...0,6 | 0,25 | 0,05 | 12 | 12 |
| | 4 | 0,4...0,5 | 04...0,6 | 0,3 | 0,055 | 16 | 14 |
| | 5 | 0,4...0,5 | 04...0,6 | 0,3 | 0,06 | 20 | 16 |
| | 6 | 0,4...0,5 | 04...0,6 | 0,35 | 0,065 | 25 | 18 |

9.5.7. Шліфування зубів

Режими шліфування зубів бічними сторонами двох тарілчастих кругів методом обкатування (див. рис. 9.11 *а*) або одним конічним кругом (див. рис. 9.11 *б*), профільною поверхнею круга методом копіювання (див. рис. 9.12) представлено в табл. 9.43 і 9.44.

Кількість зубів до 50

| | | | | |
|-------------|------------|-------------|------------|-----------|
| Модуль, мм | < 5 | 5...8 | 8...10 | > 10 |
| Припуск, мм | 0,25...0,3 | 0,25...0,45 | 0,25...0,6 | 0,4...0,7 |

Кількість зубів від 50...100

| | | | | |
|-------------|------------|------------|------------|-----------|
| Модуль, мм | < 5 | 5...8 | 8...10 | > 10 |
| Припуск, мм | 0,25...0,4 | 0,3...0,55 | 0,35...0,7 | 0,5...0,8 |

Кількість зубів > 100

| | | | | |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Модуль, мм | до 5 | 5...8 | 8...10 | св. 10 |
| Припуск, мм | 0,3...0,5 | 0,35...0,7 | 0,4...0,8 | 0,6...0,8 |

Таблиця 9.43 – Режими шліфування зубів методом копіювання

| Модуль зубів, мм | Вид оброблення | | | Припуск h , мм | Швидкість столу, м/хв | Кількість прохо- дів | | | |
|----------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|----|----|-----|
| | Чорнове | Напівчистове | Чистове | | | | | | |
| | Подача на глибину, мм/подв.хід | | | | | | | | |
| 4 | 0,03...0,04 | 0,015...0,02 | 0,005...0,01 | 0,125 | 7...10 | 7 | | | |
| 4...6 | 0,03...0,04 | 0,015...0,02 | 0,005...0,01 | 0,2 | 7...10 | 9 | | | |
| 6 | 0,03...0,04 | 0,015...0,02 | 0,005...0,01 | 0,3 | 7...10 | 11 | | | |
| Довжина перебігу круга, мм | | | | | | | | | |
| Діаметр круга, мм | Модуль зубів, мм | | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 100 | 31 | 35 | 38 | 41 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 |
| 150 | 35 | 41 | 45 | 49 | 53 | 55 | 58 | 61 | 63 |
| 200 | 39 | 46 | 51 | 56 | 60 | 63 | 67 | 70 | 74 |
| 250 | 43 | 50 | 56 | 61 | 66 | 70 | 74 | 78 | 81 |
| 300 | 46 | 54 | 61 | 66 | 72 | 76 | 81 | 85 | 88 |
| 400 | 50 | 61 | 69 | 75 | 81 | 87 | 92 | 97 | 101 |

Примітка. При шліфуванні зубчастих коліс із високоміцних матеріалів, загартованих до твердості HRC більше ніж 55, наведені подачі слід призначати з коефіцієнтом 0,8.

Таблиця 9.44 – Режими шліфування зубів методом обкатування

| Модуль зубів, мм, не більше | Обкатування одним кругом | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------|------|------|-------|
| | Вид оброблення | Припуск h , мм | Глибина t , мм | Подача, мм/подв.хід | | | | |
| | | | | Кількість зубів колеса | | | | |
| | | | | 25 | 40 | 60 | 80 | Св.80 |
| 2 | Чорнове | 0,12...0,16 | 0,07...0,10 | 1,35 | 1,46 | 1,58 | 1,8 | 2,03 |
| | Н/чистове | 0,12...0,16 | 0,03...0,04 | 1,35 | 1,46 | 1,58 | 1,8 | 2,03 |
| | Чистове | 0,12...0,16 | 0,02 | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| 4 | Чорнове | 0,16...0,20 | 0,07...0,10 | 1,69 | 1,69 | 1,8 | 2,03 | 2,25 |
| | Н/чистове | 0,16...0,20 | 0,04...0,05 | 1,69 | 1,69 | 1,8 | 2,03 | 2,25 |
| | Чистове | 0,16...0,20 | 0,02 | 0,75 | 0,75 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 6 | Чорнове | 0,20...0,25 | 0,07...0,09 | 1,9 | 1,9 | 2,03 | 2,25 | 2,48 |
| | Н/чистове | 0,20...0,25 | 0,04...0,05 | 1,9 | 1,9 | 2,03 | 2,25 | 2,48 |
| | Чистове | 0,20...0,25 | 0,02 | 0,85 | 0,85 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| 8 | Чорнове | 0,25...0,30 | 0,07...0,08 | 2,25 | 2,36 | 2,48 | 2,6 | 2,7 |
| | Н/чистове | 0,25...0,30 | 0,04...0,05 | 2,25 | 2,36 | 2,48 | 2,6 | 2,7 |
| | Чистове | 0,25...0,30 | 0,02 | 1,05 | 1,05 | 1,1 | 1,15 | 1,2 |

| | | Обкатування двома кругами | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------|---------------------------|-------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | | Подача, мм/подв.хід | | | | | | | | |
| 3 | Чорнове | 0,125 | 0,07 | | | 4,7 | | | | |
| | Н/чистове | | 0,04 | | | 4,7 | | | | |
| | Чистове | | 0,02 | | | 1,3 | | | | |
| | Чорнове | 0,16 | 0,08 | | | 4,7 | | | | |
| | Н/чистове | | 0,04 | | | 4,7 | | | | |
| 6 | Чистове | 0,20 | 0,02 | | | 1,33 | | | | |
| | Чорнове | | 0,075 | | | 4,7 | | | | |
| | Н/чистове | | 0,04 | | | 4,7 | | | | |
| | Чистове | 0,25 | 0,02 | | | 1,33 | | | | |
| | Чорнове | | 0,07 | | | 4,7 | | | | |
| | Н/чистове | | 0,04 | | | 4,7 | | | | |
| 7 і більше | Чистове | 0,30 | 0,02 | | | 1,33 | | | | |
| | Чорнове | | 0,08 | | | 4,7 | | | | |
| | Н/чистове | | 0,04 | | | 4,7 | | | | |
| | Чистове | | 0,02 | | | 1,33 | | | | |
| Довжина перебігу круга, мм | | | | | | | | | | |
| Діаметр круга, мм | Модуль зубів, мм | | | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| 150 | 60 | 72 | 80 | 88 | 96 | 100 | 106 | 112 | 116 | 124 |
| 200 | 68 | 82 | 92 | 102 | 110 | 116 | 124 | 130 | 136 | 146 |
| 22 | 72 | 86 | 97 | 107 | 116 | 123 | 130 | 138 | 144 | 154 |
| 250 | 76 | 90 | 102 | 112 | 122 | 130 | 138 | 146 | 152 | 164 |
| 275 | 80 | 94 | 108 | 117 | 128 | 136 | 146 | 152 | 160 | 172 |

При шліфуванні зубів глибина шліфування t (за один прохід) і припуск h (на сторону) ухвалюються згідно з ділильним діаметром зубчастого колеса. Припуск під шліфування зубів повинен бути мінімально припустимим для виправлення деформації після термічного оброблення та вибирається залежно від модуля та кількості зубів.

РОЗДІЛ 10

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ Й ОПТИМІЗАЦІЯ

У цьому розділі проілюстровано застосування комп'ютерних методів і інструментів у моделюванні й оптимізації процесів твердої токарної обробки (точіння загартованих сталей). Зроблено огляд сучасного стану справ у цій великій темі. Пояснюються обчислювальні методи не тільки для моделювання взаємозв'язків між змінними в процесі різання, але й для оптимізації найбільш важливих параметрів. Виявлені особливості цих методик, зрівнюються їхні переваги й недоліки. Представлені передбачувані майбутні тенденції в цій області.

10.1 Вступ

Математичне моделювання процесів різання дуже важливе не тільки для розуміння сутності самого процесу, але й для планування й оптимізації операцій обробки. Проте, тверда токарна обробка включає безліч складних і нелінійних взаємозв'язків між різними змінними й параметрами. Моделювання цих відносин є складним завданням.

Хоча аналітичні моделі допомагають краще зрозуміти основну фізичну природу процесу різання при механічній обробці твердих матеріалів, вони звичайно менш задовільні при моделюванні змінних через спрощення й допущення. Тому замість цього слід використовувати емпіричні моделі; однак виявлення корисних взаємозв'язків з неопрацьованих експериментальних даних непросте. Історично склалося так, що статистичні інструменти (такі як DoE, вибірка й множинна регресія) широко використовувалися, але застосування цих методів до механічної обробки далеко від задовільного успіху.

В останні роки інструменти штучного інтелекту набули популярності в дослідницькому співтоваристві, про що свідчить зростаюча кількість публікацій по цих темах. Так звані методи м'яких обчислень (тобто штучні нейронні мережі, нечітка логіка, нейро-нечіткі системи і т.п.) є найбільш використовуваними підходами в моделюванні складних машин.

Крім того, оптимізація параметрів різання, хоча й досить важлива для планування ефективних процесів обробки, є непростю задачею, рішення якої ускладнюється не тільки комплексним характером залучених явищ, але й необхідністю ретельного визначення реалістичних цілей оптимізації, а також розробки й впровадження потужних й універсальних методів оптимізації. У цьому сенсі методи стохастичної оптимізації, в основному еволюційні алгоритми, широко висвітлюються в літературі.

Цей розділ призначений для того, щоб представити студентам панорамний огляд поточного застосування обчислювальних інструментів у моделюванні й оптимізації складних процесів. Із цією метою він розділений на дві частини. *Перша* розкриває обчислювальні методи моделювання, включаючи не тільки інтелектуальні методи, але й інші більш традиційні підходи, що довели свою ефективність для цієї мети. *Другий* описує проблему оптимізації твердої токарної обробки й розглядає недавно використані інструменти, порівнюючи їх продуктивність. Тематичне дослідження включене, щоб проілюструвати комбінацію нейронних мереж і генетичних алгоритмів (GAs) при рішенні зворотної задачі оптимізації. Нарешті, можна приблизно передбачити майбутні тенденції в цих областях.

10.2 Обчислювальні інструменти для моделювання твердої токарної обробки

10.2.1 Мета моделювання твердої токарної обробки

Математичне моделювання процесів твердосплавної обробки здійснюється із двома основними цілями. З одного боку, він використовується для одержання взаємозв'язків між змінними параметрами різання, щоб їх можна було використовувати при плануванні й оптимізації процесу. Ці моделі звичайно зв'язують параметри процесу різання (глибину різання, подачу, швидкість різання і т.п.) з іншими важливими параметрами процесу, такими як температура різання, стійкість інструмента або отримана шорсткість поверхні. Ці відносини в основному є стаціонарними, тобто вони явно не включають тривалість процесу різання, тобто час.

З іншого боку, моделювання дозволяє відслідковувати процеси різання, встановлюючи взаємозв'язок між деякими легкодоступними параметрами, такими як потужність різання або струм електродвигуна шпинделя, і іншими відповідними змінними, такими як зношування інструмента. Крім того, такий вид моделювання дозволяє ідентифікувати певні значення вимірюваних змін, що вказують на яку-небудь важливу подію в процесі обробки (наприклад, відмова різального інструменту). В обох випадках відносини минулі, тобто явно зв'язані з часом.

Можна відзначити, що більшість статей, опублікованих по моделюванню твердої обробки, присвячені токарному процесу, і лише деякі присвячені іншим процесам, таким як фрезерування. Ще одним важливим фактом є досліджуваний матеріал. Найбільш популярними використовуваними матеріалами є сталь AISI

52100 і сталь AISI D2, хоча повідомлялося й про деякі інші, наприклад, AISI 3020 аустенітна сталь, сталь AISI AISI H11 (DIN X38Cr mov5) і сталь AISI H13.

10.2.2 Традиційні обчислювальні інструменти

Статистичні методи, широко використовувані із самого початку моделювання процесу різання, довели свою ефективність у рішенні важливих частин завдань моделювання механічної обробки, навіть при важкій обробці. У декількох недавніх роботах повідомлялося про успішне використання регресійних моделей для різних параметрів різання, в основному шорсткості поверхні, сили різання і стійкості інструмента. Деякі дослідники намагаються моделювати більш однієї змінної, наприклад, Девім і Фігейра, які враховують шорсткість поверхні, сили різання й зношування задньої поверхні інструмента, а Арсекуларатне й ін., які моделюють шорсткість поверхні й складові сили різання.

Дисперсійний аналіз (ANOVA) використовувався для розрахунків впливу параметрів різання на шорсткість поверхні, зношування інструмента й компоненти сили різання. Крім того, цей метод широко використовується в множинних регресіях для перевірки вірогідності отриманої моделі.

Надійний метод Тагучі — ще один відомий метод моделювання жорсткої токарної обробки. Він застосовувався для моделювання впливу охолодження на зношування інструмента і для прогнозування зношування інструмента й шорсткості поверхні залежно від параметрів різання.

Окремі автори порівнюють продуктивність статистичних множинних регресій і штучних нейронних мереж при моделюванні деяких змінних. Як правило вони стверджують, що одержали кращі результати за допомогою нейронних мереж, чим за допомогою звичайних статистичних інструментів. Однак відсутні чіткі методики порівняння цих підходів, тому недоліки статистичних підходів до кінця не доведені, хоча прийнято вважати, що явища різання при твердому точінні ще недостатньо вивчені.

10.2.3 Інтелектуальні методи

10.2.3.1 Штучні нейронні мережі

Через складність явища процесу різання існує сильна нелінійність взаємозв'язків між змінними, що беруть участь. Із цієї причини дослідники декілька раз вказували на недоліки статистичних підходів до моделювання цих відносин.

Напроти, деякі інструменти, засновані на штучному інтелекті, довели свою здатність зіставляти складні нелінійні відносини. Найбільш популярними й глибоко вивченими методами м'яких обчислень є штучні нейронні мережі. Вони успішно використовуються для моделювання різних явищ у процесах твердої обробки.

Штучні нейронні мережі виникли як спроба змоделювати структуру й функціонування мозку. Однак, крім якої-небудь неврологічної інтерпретації, їх можна розглядати як клас загальних, гнучких, нелінійних регресійних моделей.

Мережа складається з декількох простих одиниць, які називаються нейронами, розташованих у певній топології й зв'язаних один з одним. Нейрони організовані в шари. Залежно від їхнього положення шари називаються вхідним шаром, схованим шаром або вихідним шаром. Нейронна мережа може містити кілька схованих шарів.

Якщо в нейронній мережі нейрони зв'язані тільки з нейронами наступних шарів, це називається мережею прямого поширення (див. рис. 10.1). У цю групу входять багатшарові перцептрони (MLP), мережі радіальних базисних функцій (RBF) та карти, що можуть самоорганізовуватися (SOM).

Напроти, якщо між нейронами різних шарів існують рекурсивні або зворотні зв'язки, мережа називається рекурентною (див. рис. 10.2). Мережі Елмана й Хопфілда є типовими зразками рекурентних топологій.

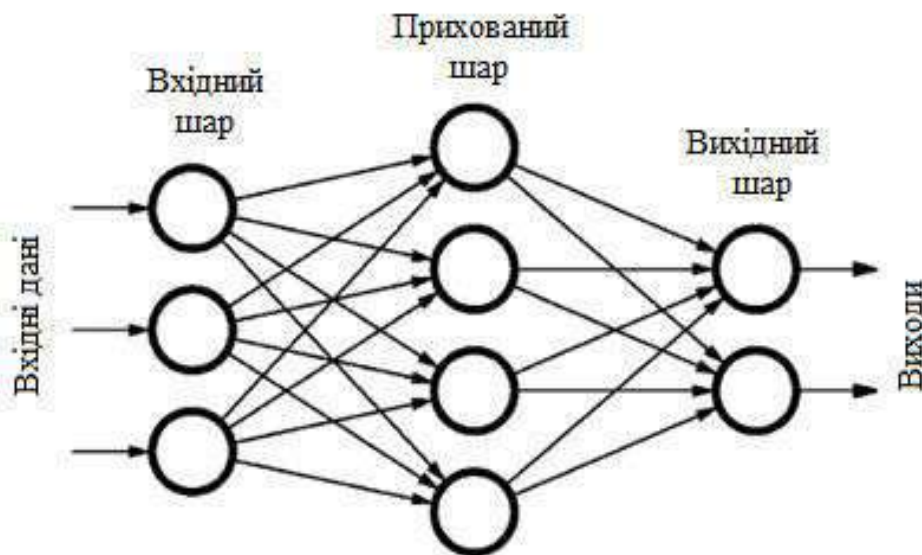


Рисунок 10.1. Приклад нейронної мережі із прямим зв'язком

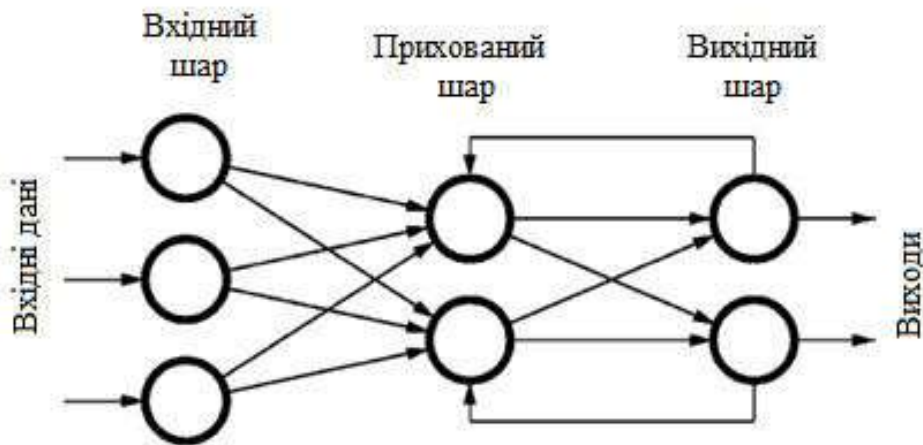


Рисунок 10.2. Приклад рекурентної нейронної мережі

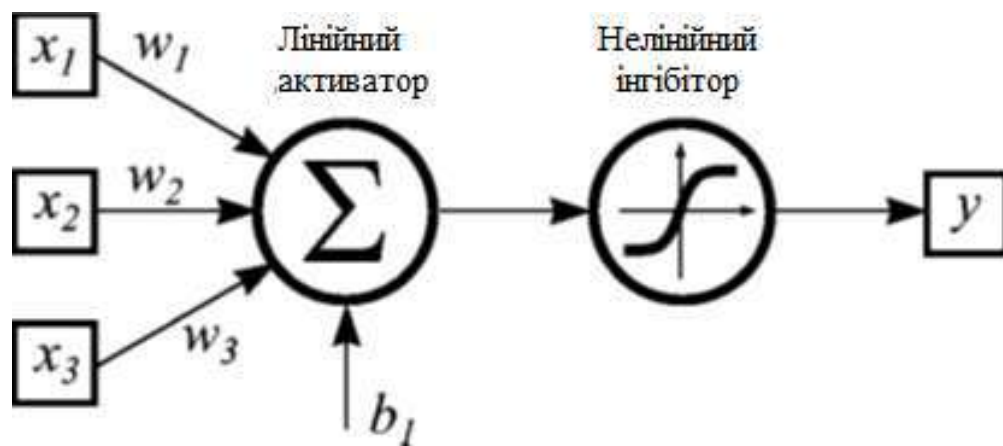


Рисунок 10.3 Логічна схема нейрона

Типовий нейрон складається з лінійного активатора, за яким іде нелінійна гальмуюча функція (див. рис. 10.3). Лінійна функція активації дає суму зважених вхідних даних плюс незалежний член, так званий зсув, b .

Функція нелінійного гальмування намагається зупинити рівень сигналу суми. Східчаста, сигмовидна й гіперболічна тангенсні функції є найпоширенішими функціями, використовуваними в якості інгібіторів (див. рис. 10.4). Іноді для цієї мети використовуються й чисто лінійні функції, особливо у вихідних шарах.

Процес коректування ваг і зсувів на основі наданих даних називається навчанням, а використовувані дані — навчальним набором. Процес навчання нейронної мережі можна розділити на дві типові категорії:

- контрольоване навчання: вимагає використання як вхідних, так і цільових значень для кожного зразка в навчальному наборі. Найпоширенішим алгоритмом у цій групі є алгоритм зворотнього поширення, використовуваний в MLP, але він

також містить у собі більшість методів навчання для рекурентних нейронних мереж, нейронних мереж з тимчасовою затримкою й мереж RBF.

- неконтрольоване навчання: використовується, коли цільовий зразок не повністю відомий. Він містить у собі методи, засновані на теорії адаптивного резонансу й SOM.

Зворотне поширення, яке застосовується до MLP, є найбільш популярним і добре вивченим алгоритмом навчання. Це метод градієнтного спуску, який мінімізує середньоквадратичну помилку різниці між вихідними даними мережі й цілями в навчальному наборі.

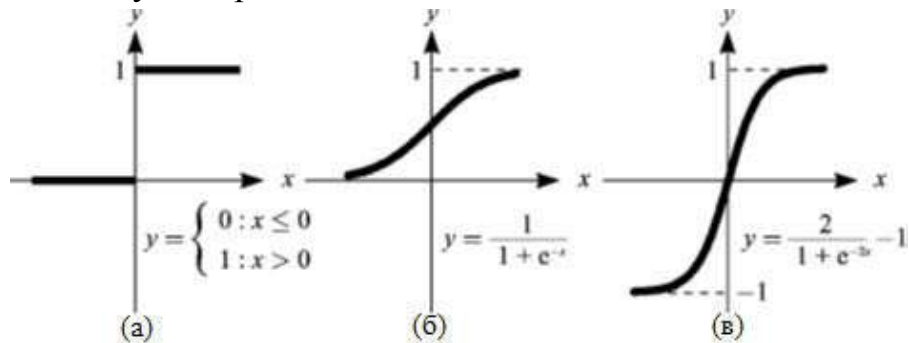


Рисунок 10.4. Типові гальмуючі функції: (а) крок, (б) сигмовидний (в) гіперболічний тангенс

Апроксимація нелінійних функцій є одним з найбільш важливих додатків багат шарових нейронних мереж. Доведено, що двошарова нейронна мережа може апроксимувати будь-яку безперервну функцію в межах будь-якої довільної заздалегідь установленної похибки за умови, що вона має достатню кількість нейронів у схованому шарі. Це так звана властивість універсальної апроксимації.

У твердій обробці штучні нейронні мережі широко використовуються не тільки для моделювання змінних, але й з метою моніторингу. Дуже цікавий підхід представлений Умбрелло і його колегами, які поєднують нейронні мережі й методи кінцевих елементів для прогнозування залишкових напружень і оптимальних режимів різання при твердому точінні.

Навіть для найбільш широко реалізованої нейронної мережі MLP дотепер немає загальних правил для вказівки кількості схованих шарів, кількості нейронів для кожного шару й мережного з'єднання для досягнення оптимізованого ефекту моделювання. Якщо штучні нейронні мережі обрані як підхід до моделювання зношування інструмента, такі проблеми необхідно ретельно вирішувати.

Іншим недоліком є те, що в деяких роботах представлена математична модель навченої нейронної мережі, тобто коефіцієнти ваг і зсувів. Це не дозволяє використовувати результати в інших додатках.

10.2.3.2 Нечітка логіка й нейро-нечіткі системи

Нечітка логіка, заснована на теорії нечітких безлічей, має справу з невизначеністю. У той час як бінарна логіка використовує тільки два значення для своїх наборів (1 або 0), у нечіткій логіці ступінь істинності твердження може перебувати в діапазоні від 0 до 1.

Нечітка безліч — це підмножина елементів, кожний з яких має зв'язане значення, з інтервалу $[0, 1]$, яке визначає його приналежність до певної безлічі. Ці значення також відомі як ступені істини, а їх розподіл називається функцією приналежності.

Наприклад, на рис. 10.5 показані функції приналежності для трьох підмножин сили різання F_C .

Їх називають низькими, середніми й високими. Отже, для сили $F_C = 2500$ Н зазначений ступінь істини мають наступні твердження:

$$\left. \begin{array}{l} F_C \text{ is "Low"} = 0.20 \\ F_C \text{ is "Moderate"} = 0.80 \\ F_C \text{ is "High"} = 0 \end{array} \right\} \quad (10.1)$$

Загальна система нечіткого виводу складається із трьох частин. Чітке введення спочатку фазифікується шляхом вираження вхідних змінних у вигляді нечітких значень приналежності, заснованих на різних функціях приналежності. Потім база нечітких правил обробляє його для одержання нечіткого виводу. Нарешті, цей нечіткий вивід дефазифікується, щоб одержати чіткий результат.

Через взаємодоповнюючу природу нечіткої логіки й нейронних мереж ці два методи можна інтегрувати декількома способами, щоб подолати недоліки кожного з них. Такі коннекціоністські архітектури широко відомі як нейро-нечіткі гібридні системи. У той час як нейронні мережі підтримують можливість навчання системи на основі емпіричних даних, нечітка логіка забезпечує обґрунтування процесу навчання й створює банк правил для цілей контролю або класифікації.

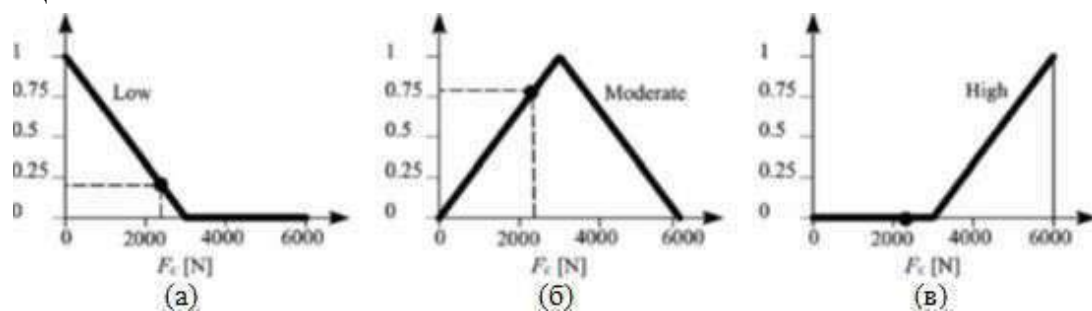


Рисунок 10.5. Приклади функцій приналежності: (а) низька, (б) помірна й (в) висока

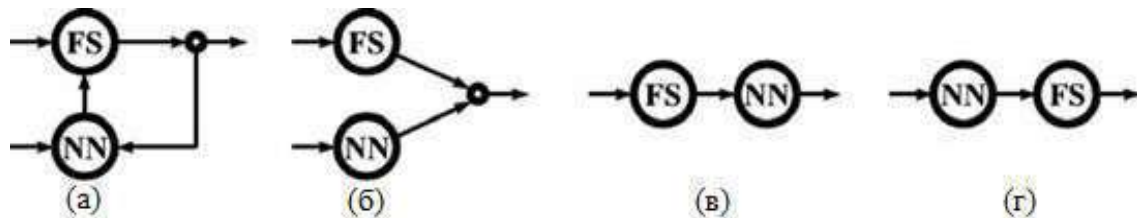


Рисунок 10.6 Комбінації нейронних мереж і нечіткої логіки: (а) NN оптимізує параметри FS, (б) вихід FS коректується виходом NN, (в), (г) каскадні складання

Хоча існує безліч можливих комбінацій цих двох систем, успішно застосовуються лише чотири основні комбінації (див. рис. 10.6). Перша комбінація (рис. 10.6 (а)) використовує нейронну мережу (NN) для оптимізації параметрів нечіткої системи (FS) шляхом мінімізації розриву між виходом нечіткої системи й заданою метою. У другому випадку (рис. 10.6 (б)) висновок нечіткої системи коректується виводом нейронної мережі для підвищення точності кінцевого висновку системи. Третя й четверта комбінації (рис. 10.6 (в) і (г)) являють собою каскадні складання нейронної мережі й нечіткої системи.

Набір опублікованих робіт із застосування нейро-нечіткої системи для твердого точіння включає статтю Хорнга й Чіанга, які використовують нечітку логіку для моделювання зношування інструмента й шорсткості поверхні при токарній обробці сталі Гадфільда. В іншому підході Хуанг і Чен реалізують систему прогнозування шорсткості поверхні на основі нечітких мереж для токарних операцій.

Незважаючи на деякі успішні додатки, нейро-нечіткі системи не дуже прості в реалізації, і їх моделі важко використовувати з іншими системами.

10.2.3.3 Інші інтелектуальні інструменти

Машини опорних векторів або роздільники з великими відступами можуть використовувати у своїх інтересах попередні знання й побудувати гіперплощину як поверхню розв'язку, так щоб границя поділу між

різними класами була максимальна. Машина опорних векторів початково була розроблена для завдання класифікації з поділюваними даними, а пізніше була вдосконалена для роботи з нероздільними даними.

Методи опорних векторів успішно застосовувалися для мульти класифікації зношування інструмента в процесі токарної обробки.

10.3 Оптимізація твердої токарної обробки

10.3.1 Важливість оптимізації твердої обробки

Оптимізація є важливим завданням у процесах обробки, що дозволяє вибрати найбільш зручні режими різання для одержання бажаних значень деяких змінних, які звичайно мають прямий економічний вплив, таких як тривалість обробки або загальна вартість операції.

Оптимізація процесів механічної обробки становиться значно утруднена, коли потрібні наступні аспекти:

- знання процесу різання;
- емпіричні рівняння, що зв'язують стійкість інструмента, сили, потужність і т.п., для розробки реалістичних обмежень;
- специфікація можливостей обробки;
- розробка ефективного критерію оптимізації;
- знання математичних і чисельних методів оптимізації.

При обробці твердих матеріалів задачі оптимізації мають вирішальне значення, оскільки вони містять у собі безліч складних процесів. Звичайно невелика зміна одного параметра викликає помітні зміни іншого. Більше того, деякі змінні, такі як сили різання або зношування інструмента, сильно залежать від умов різання.

Тому оптимізація важкооброблювальних процесів ще повністю не вирішена. У наступних розділах розглядаються й пояснюються основні моменти по цій темі з урахуванням самих останніх публікацій у цій області.

10.3.2 Визначення проблеми

10.3.2.1 Одноцільова оптимізація

Одноцільову оптимізацію можна розглядати як проблему знаходження вектора змінних x , який задовольняє обмеженням і оптимізує скалярну цільову функцію y . Отже, термін «оптимізувати» означає знаходження мінімуму або максимуму цінності; однак можна мати справу тільки із завданнями мінімізації, оскільки будь-яке завдання максимізації можна перетворити в завдання мінімізації шляхом зручного перетворення цільової функції.

Більш формально завдання однокритеріальної оптимізації можна визначити в такий спосіб:

Визначення 10.1 (однокритеріальна задача оптимізації). Для заданої скалярної функції $y: \mathcal{Q} \subset \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}$, $\mathcal{Q} \neq \emptyset$ треба знайти значення $\mathbf{x}^* \in \mathcal{Q}$ (назване рішенням глобального мінімуму), яке мінімізує (або максимізує) значення y , тобто $\mathbf{x}^* \in \mathcal{Q}: y(\mathbf{x}^*) < y(\mathbf{x})$. Безліч \mathcal{Q} є припустимою областю, яка звичайно визначається як:

$$\mathcal{Q} = \{\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n \mid (g_i(\mathbf{x}) \geq 0, i = 1, \dots, m) \wedge (h_i(\mathbf{x}) = 0, i = 1, \dots, p)\}$$

де $g_i(\mathbf{x})$ — m обмежень нерівностей, а $h_i(\mathbf{x})$ — p обмежень рівностей.

10.3.2.2 Багатоцільова оптимізація

Грубо говорячи, багатокритеріальну оптимізацію можна розглядати як задачу одночасної мінімізації (або максимізації) двох або більше цільових функцій. Більш формально:

Визначення 10.2 (завдання багатокритеріальної оптимізації). Для векторної функції $\mathbf{y} : \mathcal{Q} \subset \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^k$, $\mathcal{Q} \neq \emptyset$, треба знайти значення $\mathbf{x} \in \mathcal{Q}$, яке мінімізує (або максималізує) компоненти вектора \mathbf{y} .

Як і в завданні оптимізації з однією метою, \mathcal{Q} обмежується обмеженнями нерівності й рівності.

Однак формального критерію для порівняння двох векторів не існує, тому глобального мінімуму може й не бути. У цьому сенсі можна використовувати два основні підходи. Перший — це *апостеріорний метод*, коли особа, що ухвалює рішення, поєднує різні цілі в скалярну функцію витрат. Це фактично перетворює багатокритеріальну задачу в однокритеріальну ще до проведення процесу оптимізації. У цей підхід включені лінійна й нелінійна комбінації й агрегація по порядку.

Другий підхід називається *апостеріорним*. У цьому методі особі, що ухвалює рішення, надається набір оптимальних можливих рішень, і він вибирає із цього набору. Ці рішення оптимальні в тому широкому сенсі, що ніяке інше рішення у просторі пошуку не перевершує їх, коли враховуються всі цілі оптимізації.

Тому для формалізації *апостеріорного* підходу до задачі багатокритеріальної оптимізації необхідно зробити деякі попередні визначення:

Визначення 10.3 (домінування по Парето). Кажуть, що вектор $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_k)$ вважається домінуючим над іншим вектором, $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_k)$ (позначається $\mathbf{u} \prec \mathbf{v}$), тоді й тільки тоді, якщо частина \mathbf{u} більше відповідного компонента \mathbf{v} , і принаймні один компонент \mathbf{u} менше; тобто:

$$\mathbf{u} \prec \mathbf{v} : (\mathbf{u}, \mathbf{v}) \in \mathbf{R}^k \Leftrightarrow (\forall i \in \{1, \dots, k\}, u_i \leq v_i) \wedge (\exists i \in \{1, \dots, k\} : u_i < v_i).$$

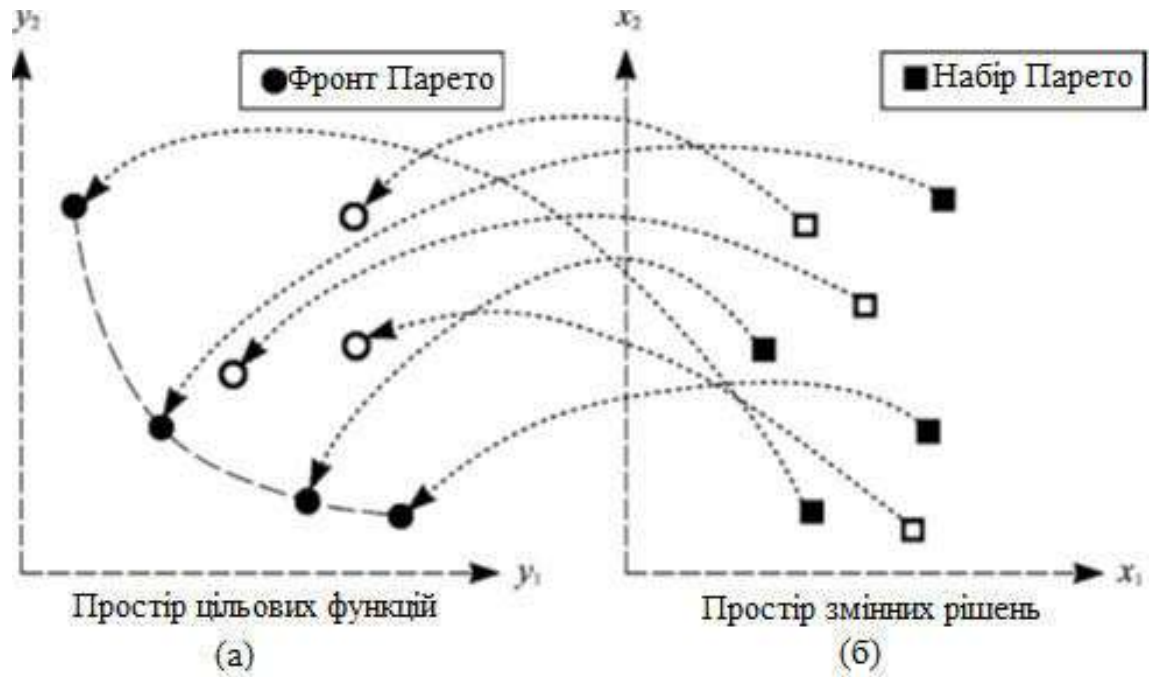


Рисунок 10.7. Графічне представлення фронту Парето (а) і безлічі Парето (б)

Визначення 10.4 (оптимальність по Парето). Рішення $\mathbf{x} \in \Omega$ називається оптимальним по Парето відносно Ω (позначається як $\mathbf{x} = \text{par}(\Omega)$) тоді й тільки тоді, коли не існує $\mathbf{x}^* \in \Omega$, для якого $\mathbf{y}(\mathbf{x}^*)$ домінує над $\mathbf{y}(\mathbf{x})$.

Парето-оптимальні рішення також називаються не гіршими, припустимими або ефективними рішеннями.

Визначення 10.5 (Парето-оптимальна безліч). Оптимальна по Парето безліч (позначувана як P) визначається як безліч усіх оптимальних по Парето рішень для даної багатокритеріальної задачі оптимізації, тобто:

$$P \equiv \{\mathbf{x} \in \Omega \mid \neg \exists \mathbf{x}' \in \Omega : \mathbf{y}(\mathbf{x}') \prec \mathbf{y}(\mathbf{x})\}.$$

Визначення 10.6 (Фронт Парето): Фронт Парето (позначуваний F) визначається як безліч зображень $\mathbf{y}(\mathbf{x})$ для всіх значень оптимальної по Парето безлічі, тобто:

$$F \equiv \{\mathbf{y} = \mathbf{y}(\mathbf{x}) \mid \mathbf{x} \in P\}.$$

На рис. 10.7 показана графічне представлення безлічі Парето й фронту Парето для двовимірної функції двовимірного аргументу.

Нарешті, задача множинної оптимізації в *апостеріорному* підході може бути визначена як задача знаходження безлічі Парето.

10.3.3 Цільова функція

Вибір правильної цільової функції дуже важливий при постановці задачі оптимізації. Обраний критерій повинен відбивати найбільш актуальну ціль з урахуванням особливостей розглянутого процесу.

Як і в інших процесах механічної обробки, у твердій механічній обробці найпоширенішою цільовою функцією є вартість, оскільки вона має чіткий прямий економічний зміст. У декількох статтях повідомляється про використання вартості як критерію оптимізації; деякі з них ураховують тільки працезатрати Z_L , які є функцією часу обробки τ . Напроти, деякі інші воліють розглядати сукупну вартість Z , яка включає не тільки витрати на оплату праці, але й накладні витрати, Z_O , і витрати на інструмент, Z_T .

Іншою дуже популярною метою оптимізації є тривалість або час обробки. Вони мають сильний вплив на економіку процесу, особливо в тих випадках, коли вартістю інструмента можна знехтувати при порівнянні із працезатратами й накладними витратами. З іншого боку, швидкість знімання матеріалу, як величина, зворотна часу обробки, також використовується в якості мети оптимізації.

Хуеріng і колеги повідомили про оптимізацію залишкових напружень в загартованій підшипниковій сталі.

Проте, ці одноцільові підходи мають обмежену цінність для встановлення оптимальних режимів різання через складну природу процесів твердої обробки, коли необхідно одночасно враховувати кілька різних і суперечливих цілей. У цей час багатокритеріальні методи є найбільш популярними підходами в оптимізації твердої обробки, і вони широко описані в спеціальній літературі. Були проведені комбінації часу й вартості, зношування інструмента й шорсткості поверхні, і часу й шорсткості.

Буаша й ін. представляють комбінацію шести цільових функцій: трьох показників шорсткості поверхні (R_a , R_s і R_z) і трьох компонентів сили різання, F_C , F_F і F_R . Інший цікавий підхід запропонований Пайвой і його колегами, які одночасно оптимізують стійкість інструмента, T , вартість обробки за штуку, C_p , час різання, τ , загальний час токарного циклу, τ_T , шорсткість поверхні, R_a і швидкість знімання матеріалу.

Слід зазначити, що в більшості згаданих робіт використовуються апріорні підходи. Тільки Озель і Карпат одержують фронт Парето як комбінацію цільової функції.

10.3.4 Змінні рішення

Звичайно змінні рішення в задачах оптимізації твердої токарної обробки включають параметри різання. При твердому точінні іноді враховуються тільки швидкість подачі f і швидкість різання v , але в інших випадках також враховується глибина різання a_p . Басак і ін. розглядають час тривалості різання як ще одну змінну при рішенні.

Іноді інші параметри розглядаються як змінні рішення, що відбивають деякі важливі аспекти проблеми. У цю групу входять геометрія інструмента, представлена радіусом вершини, r_E або діаметром інструмента.

10.3.5 Обмеження

Хоча вони формально не є обмеженнями, припустимі межі для змінних рішень враховуються при розмежуванні припустимої області. Наприклад, для параметрів різання вони мають вид:

$$a_p^{\min} \leq a_p \leq a_p^{\max}, \quad (10.2a)$$

$$f^{\min} \leq f \leq f^{\max}, \quad (10.2b)$$

$$v^{\min} \leq v \leq v^{\max}, \quad (10.2b)$$

де $[a_p^{\min}, a_p^{\max}]$, $[f^{\min}, f^{\max}]$ і $[v^{\min}, v^{\max}]$ — припустимі діапазони для відповідних змінних.

Іншими обмеженнями, звичайно прийнятими до уваги, є сили різання й подача, F_C і F_F , які повинні бути менше припустимих значень для верстата, F_C^{\max} і F_F^{\max}

$$F_C \leq F_C^{\max}, \quad (10.3a)$$

$$F_F \leq F_F^{\max}. \quad (10.3b)$$

При чистових проходах шорсткість поверхні R звичайно включають у якості обмеження, утримуючи її нижче заздалегідь устанавленого значення R^{\max} :

$$R \leq R^{\max}. \quad (10.4)$$

Пайва і його колеги пропонують комбінацію цільових функцій як обмеження, щоб задати інший набір пріоритетів для цих цілей.

10.3.6 Методи оптимізації

10.3.6.1 Загальні положення

Методи оптимізації можна розділити на дві великі категорії: числові й стохастичні підходи. До першої групи відносяться точні алгоритмічні методи, що мають міцну математичну основу, для одержання глобального оптимуму. Чисельні підходи звичайно використовують ітераційні алгоритми. До них відносяться підходи на основі градієнта, метод нащадків і симплексний алгоритм.

Навпаки, стохастична оптимізація намагається імітувати деякі природні процеси, які, хоча й не гарантують послідовність глобального оптимуму, але вони дозволяють одержати досить гарні рішення. Ці евристичні методи мають сильну випадкову складову. У цю групу входять такі методи, як еволюційні алгоритми, імітація відпалу й оптимізація рою часток.

10.3.6.2 Методологія поверхні відгуку

Методологія поверхні відгуку являє собою загальний підхід до одержання максимального значення залежної (відгуку) змінної, яка залежить від декількох незалежних (пояснюючих) змінних. Цей метод поєднує в собі планування експериментів (DoE) і множинну регресію.

DoE — це загальний підхід до розробки будь-яких вправ по збору інформації, у яких присутні варіації. У моделюванні процесу обробки DoE маємо справу в основному з контрольованими експериментами, у яких варіації незалежних змінних перебувають під контролем дослідника.

Поточні методи DoE засновані на наступних принципах:

- порівняння: допомагає виявити небажані відмінності в результатах вимірів.
- рандомізація: зменшує вплив неконтрольованих факторів на вимірювані результати.
- реплікація: дозволяє оцінити варіацію результатів вимірів.
- блокування: зменшує відомі, але нерелевантні джерела варіації між одиницями й, отже, підвищує точність оцінки джерела варіації.
- ортогональність: гарантує, що контраст буде виконаний таким чином, що вся інформація може бути захоплена.

Найпоширенішим підходом в DoE є факторні експерименти, які забезпечують підходящий розподіл експериментальних точок відповідно до зазначених принципів. На рис. 10.8 показані деякі зразки DoE.

У декількох роботах повідомлялося про використання методології поверхні відгуку (або повної методології, або деяких її компонентів) для оптимізації процесів твердої токарної обробки.

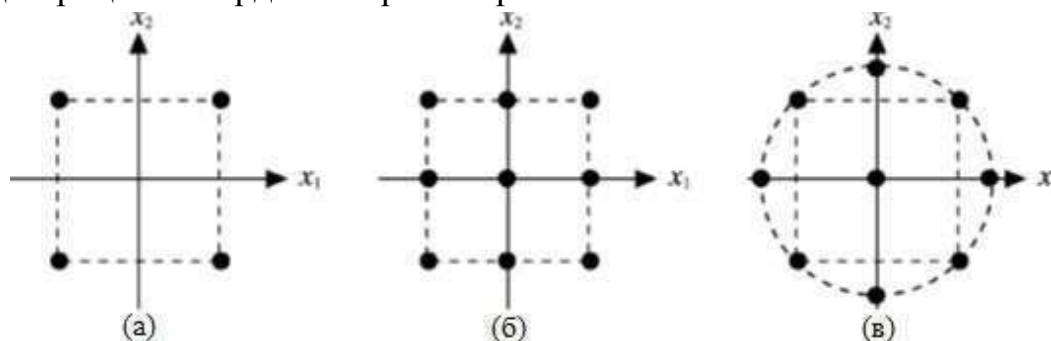


Рисунок 10.8 Приклади факторних планів: (а) повний факторний план 2^2 , (б) повний факторний план 3^2 і (в) кубічна зірка

10.3.6.3 Метод Тагучи

Метод Тагучи, також відомий як надійний дизайн Тагучи, являє собою методологію проектування продуктів, які мають мінімальну чутливість до зміни неконтрольованих факторів. Цей метод заснований на традиційних методах з деякими рекомендаціями із планування експериментів по проектуванню й аналізу результатів цих експериментів.

Ключову роль у методі Тагучи відіграє так звана функція втрати якості, що представляє собою безперервну функцію, обумовлену через відхилення розрахункового параметра від ідеального або цільового значення.

Передбачається, що функція втрат є квадратичною (див. рис. 10.9), тому її можна виразити рівнянням:

$$L(y) = k(y - m)^2, \quad (10.5)$$

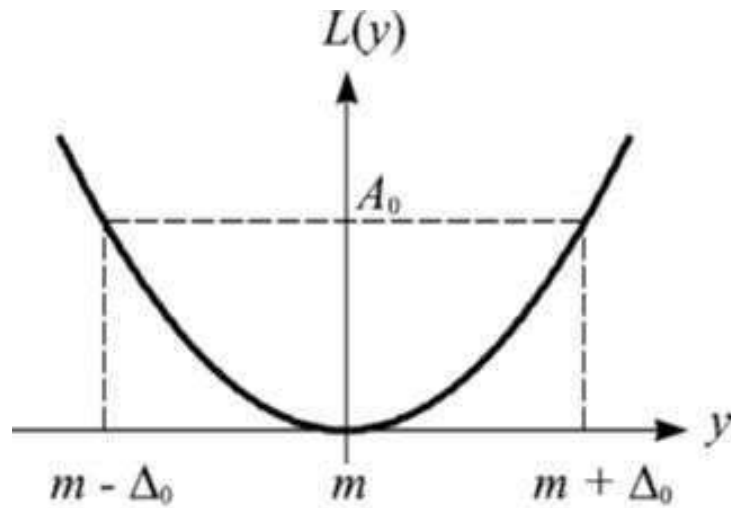
де m — фактичне значення проектного параметра, y — його фактичне значення, а k — константа, що залежить від вартості в межах специфікації. Для групи експериментальних даних із середнім значенням μ і дисперсією σ^2 середню функцію втрати якості можна оцінити як:

$$L(y) = k[S^2 + (\mu - m)^2]. \quad (10.6)$$

При проектуванні параметрів існує два типи факторів, що впливають на функціональні характеристики продукту: керуючі фактори й шумові фактори. Керуючі фактори — це ті фактори, якими можна легко управляти; навпроти, фактори шуму — це фактори, які важко, неможливо або занадто дорого контролювати.

Щоб варіювати й тестувати різні рівні керуючого фактора, використовується спеціальний метод DoE, який називають ортогональним масивом. Фактично поєднуються два масиви факторів, що містять, керування й фактори шуму. Вони називаються внутрішнім масивом і зовнішнім масивом відповідно. Разом вони відомі як масив продуктів або повна схема проектування параметрів.

Найбільш зручні настроювання параметрів обчислюються з експериментальних даних з використанням відносини сигнал/шум SN . Рівні, які максимізують бажане відношення сигнал/шум, вважаються оптимальними. Існує три стандартні співвідношення сигнал-шум, залежно від бажаної продуктивності:



Квадратична функція втрат

Рисунок 10.9 Приклади функцій втрати якості

- чим менше, тим краще (щоб зробити реакцію системи якнайменшою):

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right); \quad (10.7a)$$

- номінальний краций (для зменшення мінливості навколо мети):

$$SN = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{\sigma^2} \right); \quad (10.7б)$$

- чим більше, тим краще (щоб максимально збільшити відгук системи):

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2} \right). \quad (10.7в)$$

Після того, як усі SN будуть розраховані для кожного запуску експерименту, для аналізу даних використовується графічний підхід. У цьому графічному підході SN і середні відповіді наносяться на графік для кожного фактора залежно від кожного з його рівнів. Потім графіки вивчаються, щоб вибрати рівень фактора, який щонайкраще максимізує SN і приводить середне значення до цільового значення (або максимізує або мінімізує середне значення, залежно від обставин).

Повідомлялося про декілька застосувань методу Тагучи для оптимізації обробки твердих матеріалів не тільки для одноцільових додатків, але й для багатоцільових.

10.3.6.4 Еволюційні алгоритми

Еволюційні алгоритми являють собою набір евристик, що моделюють процес природньої еволюції (рис. 10.10). Хоча закладені в їхній основі механізми прості, ці алгоритми зарекомендували себе як універсальний, надійний і потужний інструмент пошуку. Зокрема, вони особливо зручні для задач, пов'язаних з декількома конфліктуючими цілями та з більшими й складними просторами пошуку.

Незважаючи на велику різноманітність пропонованих підходів, еволюційний алгоритм можна охарактеризувати трьома особливостями:

- підтримується набір можливих рішень.
- на цій безлічі проводиться конкурсний відбір.
- кілька рішень можуть бути об'єднані з погляду рекомбінації для створення нових рішень.

Існують дві основні еволюційні евристики: німецька школа еволюційних стратегій (ES) і американська школа генетичного алгоритму (GAs). Основні відмінності між цими двома підходами наведено в таблиці 10.1.

У деяких роботах показано застосування еволюційних методів в оптимізації твердої обробки.

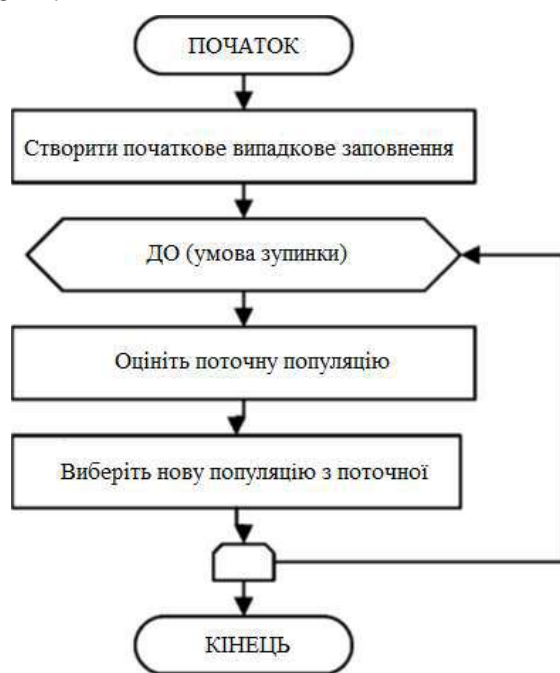


Рисунок 10.10 Блок-схема типового еволюційного алгоритму

Таблиця 10.1 Відмінності між ES і Gas

| Характеристика | ЕС | ГА |
|---------------------------|-------------------------|--|
| Індивідуальна кодифікація | Як реальне число | Як бітовий рядок |
| Мутація | Додаючи випадкове число | Трохи змінивши |
| Кросовер | Комбінуючи дійсні числа | Розбиваючи та рекомбінуючи бітовий рядок |

10.4 Практичний приклад

10.4.1 Опис випадку

У даному прикладі представлено моделювання й оптимізація процесу твердого точіння. Експериментальні дані були взяті у Девіма й Фігейри по токарній обробці високохромистої інструментальної сталі AISI D2 (1,55 % C, 0,30 % Si, 0,40 % Mn, 11,80 % Cr, 0,80 % Mo і 0,80 % V). Заготовки зміцнювались загартуванням (після вакуумної обробки) від 1000 до 1040 °C з досягненням твердості ~59 HRC.

Керамічні інструментальні вставки типу CNMA 120408 T01020 CC650 використовувались для обробки інструментальної сталі з наступною геометрією: передній кут -6° (негативний), задній кут 5° , кут нахилу ріжучої крайки головного інструмента 80° і різання – кут нахилу крайки 0° . Використовувався тримач інструмента типу PCLNL2020K12 (ISO). Глибина різання, a_p , становила 0,2 мм.

У плані експерименту враховувались три незалежні змінні: швидкість різання v , подача f і тривалість різання τ . У таблиці 10.2 показані відповідні експериментальні рівні для кожної змінної.

Був проведений повний факторний план експерименту 3^3 . Для кожної точки вимірювали значення питомого тиску різання K_S , зношування інструмента V_C і середньоарифметичного значення шорсткості поверхні R_a . Експериментальні результати показано в таблиці 10.3.

Таблиця 10.2 Експериментальні рівні для незалежних змінних

| Змінна | Низький рівень | Середній рівень | Високий рівень |
|-------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Швидкість різання, v (м/хв) | 80 | 150 | 220 |
| Подача, f (мм/об) | 0.05 | 0.10 | 0.15 |
| Час, τ (хв) | 5 | 10 | 15 |

Таблиця 10.3 Експериментальні дані

| № п/п | Швидкість різання, v (м/хв) | Подача, f (мм/об) | Час, τ (хв) | Питомий тиск, K_S (Н/мм ²) | Зношування інстру- мента, V_c (мм) | Шорсткість, R_a (мкм) |
|-------|----------------------------------|------------------------|---------------------|---|---|----------------------------|
| 1 | 80 | 0.05 | 5 | 4264.6 | 0.058 | 0.43 |
| 2 | 80 | 0.05 | 10 | 4127.1 | 0.081 | 0.50 |
| 3 | 80 | 0.05 | 15 | 3775.9 | 0.104 | 0.56 |
| 4 | 80 | 0.10 | 5 | 2872.2 | 0.048 | 0.72 |
| 5 | 80 | 0.10 | 10 | 3137.8 | 0.080 | 0.97 |
| 6 | 80 | 0.10 | 15 | 3218.8 | 0.088 | 1.05 |
| 7 | 80 | 0.15 | 5 | 2320.8 | 0.033 | 0.55 |
| 8 | 80 | 0.15 | 10 | 2537.0 | 0.081 | 0.70 |
| 9 | 80 | 0.15 | 15 | 2671.4 | 0.960 | 0.82 |
| 10 | 150 | 0.05 | 5 | 3808.0 | 0.101 | 0.39 |
| 11 | 150 | 0.05 | 10 | 4172.4 | 0.140 | 0.50 |
| 12 | 150 | 0.05 | 15 | 4290.2 | 0.540 | 0.60 |
| 13 | 150 | 0.10 | 5 | 2843.9 | 0.082 | 0.79 |
| 14 | 150 | 0.10 | 10 | 3085.5 | 0.141 | 0.89 |
| 15 | 150 | 0.10 | 15 | 3654.7 | 0.250 | 1.05 |
| 16 | 150 | 0.15 | 5 | 2497.5 | 0.099 | 0.77 |
| 17 | 150 | 0.15 | 10 | 2661.4 | 0.176 | 1.07 |
| 18 | 150 | 0.15 | 15 | 3131.0 | 0.243 | 1.32 |
| 19 | 220 | 0.05 | 5 | 4783.7 | 0.339 | 0.26 |
| 20 | 220 | 0.05 | 10 | 5037.1 | 0.597 | 0.46 |
| 21 | 220 | 0.05 | 15 | 5590.4 | 0.642 | 1.40 |
| 22 | 220 | 0.10 | 5 | 3126.6 | 0.200 | 0.59 |
| 23 | 220 | 0.10 | 10 | 3756.3 | 0.300 | 0.98 |
| 24 | 220 | 0.10 | 15 | 4386.9 | 0.320 | 1.38 |
| 25 | 220 | 0.15 | 5 | 2655.8 | 0.188 | 0.88 |
| 26 | 220 | 0.15 | 10 | 3134.2 | 0.225 | 1.31 |
| 27 | 220 | 0.15 | 15 | 3109.1 | 0.775 | 1.48 |

10.4.2 Статистичне моделювання

Щоб установити корисний взаємозв'язок між незалежними змінними (зношування інструмента, шорсткість поверхні й питома сила різання) і залежними змінними (швидкість різання, подача й час обробки), були скоректовані моделі множинної регресії. Для кожної моделі були випробувані три типи рівнянь: лінійні, квадратичні й потенційні.

Для питомого тиску K_S були отримані наступні моделі:

$$K_s = 3877 + 5.281v - 16.81 \cdot 10^3 f + 51.73t, \quad R^2 = 0.88, \quad p(F) = 0.0000; \quad (10.8a)$$

$$K_s = 7204 - 18.62v - 44.59 \cdot 10^3 f - 166.7t - 8.519vft + 40.58vf \dots \\ \dots + 1.402vt + 1490ft + 47.81 \cdot 10^{-3} v^2 + 97.83 \cdot 10^3 f^2 - 0.658t^2, \quad (10.8b) \\ R^2 = 0.96, \quad p(F) = 0.0000;$$

$$K_s = 363.7 \frac{v^{0.1832} t^{0.1382}}{f^{0.4299}}, \quad R^2 = 0.91, \quad p(F) = 0.0000. \quad (10.8b)$$

Як видно, усі підібрані моделі пояснюють більш 85% мінливості K_s . Однак найкраще підходить квадратична модель. Усі вони демонструють статистично значимий зв'язок між незалежними й залежними змінними з рівнем вірогідності більш 99%.

На зношування інструмента, V_c були скоректовані наступні моделі:

$$V_c = -0.317 + 1.63 \cdot 10^{-3} v + 0.198f + 0.0308t, \quad R^2 = 0.41, \quad p(F) = 0.0038; \quad (10.9a)$$

$$V_c = 1.22 - 4.26 \cdot 10^{-3} fvt - 5.08 \cdot 10^{-3} v - 15.2f - 0.126t + \dots \\ \dots + 13.6 \cdot 10^{-3} fv + 0.929ft + 0.426 \cdot 10^{-3} vt + 52.5f^2 - \dots \\ \dots - 17.9 \cdot 10^{-6} v^2 + 3.17 \cdot 10^{-3} t^2, \quad (10.9b) \\ R^2 = 0.71, \quad p(F) = 0.0073;$$

$$V_c = 23.4 \cdot 10^{-6} \frac{v^{1.30} t^{1.05}}{f^{0.0839}}, \quad R^2 = 0.69, \quad p(F) = 0.0000. \quad (10.9b)$$

Очевидно, що лінійна модель має погану продуктивність. Хоча інші не набагато кращі, їхня кореляція насправді недостатня. Три моделі показують значення ймовірності, зв'язане зі статистикою Фішера, нижче 0,01, тому існує статистично значимий зв'язок при рівні вірогідності 99%.

Нарешті, для шорсткості поверхні R_a були отримані наступні моделі:

$$R_a = -0.357 + 1.94 \cdot 10^{-3} v + 4.22f + 0.0476t, \quad R^2 = 0.70, \quad p(F) = 0.0000; \quad (10.10a)$$

$$R_n = 0.927 - 10.5 \cdot 10^{-3} v - 6.29 f - 0.100 t + 4.86 \cdot 10^{-3} vt + \dots$$

$$\dots + 71.7 \cdot 10^{-3} vf + 0.914 \cdot 10^{-3} vt + 0.709 ft + 3.17 \cdot 10^{-6} v^2 - \dots \quad (10.10б)$$

$$\dots - 63.1 f^2 + 0.622 \cdot 10^{-3} t^2,$$

$$R^2 = 0.89, \quad p(F) = 0.0000;$$

$$R_n = 0.310 v^{0.229} t^{0.532} f^{0.588}, \quad R^2 = 0.73, \quad p(F) = 0.0000. \quad (10.10в)$$

Квадратична модель показує кращу продуктивність. Проте жодна з них не пояснює більш 90% мінливості експериментальних даних. Три моделі демонструють статистично значимий взаємозв'язок при рівні вірогідності 99%.

10.4.3 Моделювання на основі нейронних мереж

10.4.3.1 Загальні аспекти

Щоб встановити корисний зв'язок між незалежними змінними (зношування інструмента, шорсткість поверхні й питома сила різання) і залежними змінними (швидкість різання, подача й час обробки), були обрані нейронні мережі типу багатошарові перцептрони (MLP). Нейронні мережі мають два шари: один схований шар і один вихідний шар. Схований шар використовує функцію переносу сигмовидного типу:

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + \exp(-b - \sum w_i x_i)}; \quad (10.11a)$$

у той час як вихідний шар використовує лінійну функцію:

$$f(\mathbf{x}) = b + \sum w_i x_i. \quad (10.11б)$$

Для проведення процесу навчання не тільки вхідні змінні, але й вихідні були нормовані в діапазоні [0, 1] для полегшення процесу навчання нейронної мережі.

Мережі навчалися з використанням градієнтного нащадка з адаптивним алгоритмом зворотного поширення швидкості й імпульсу. Швидкість навчання була встановлена як 0,01; збільшення швидкості навчання, 1,05; зниження швидкості навчання, 0,9; постійна імпульсу 0,7; максимальний коефіцієнт помилок 1,04; і максимальна кількість епох для навчання — 2000. При створенні всі ваги й зсуви були випадковим чином ініціалізовані в діапазоні -0,1...0,1.

10.4.3.2 Конкретна модель сили різання

Для питомої сили різання K_S у схованому шарі були встановлені три нейрони. Це гарантує наявність достатньої кількості ступенів свободи (як можна відзначити в таблиці 10.4), щоб зробити процес навчання математично детермінованим.

Заздалегідь встановлена помилка навчання була досягнута на епосі номер 4915. На рисунку 10.11 показана сума квадратів помилок (SSE) у міру виконання процесу навчання.

Статистика *R-квадрата* для цієї моделі склала 0,96, що вказує на те, що підібрана модель пояснює 96% мінливості K_S . Оскільки значення *P* у таблиці ANOVA (таблиця 10.4) менше 0,01, існує статистично значимий зв'язок між змінними при довірчому рівні 99%.

Таблиця 10.4 Дисперсійний аналіз для моделі K_S

| Джерело | Сума квадратів | D.F. | Середні квадрати | <i>F</i> -співвідношення | <i>P</i> -значення |
|----------------------|----------------------|------|---------------------|--------------------------|--------------------|
| Модель | 17.988×10^6 | 16 | 1.124×10^6 | 21.04 | 0.0000 |
| Залишок | 0.053×10^6 | 10 | 0.053×10^6 | — | — |
| Залишок, сума (кор.) | 18.675×10^6 | 26 | — | — | — |

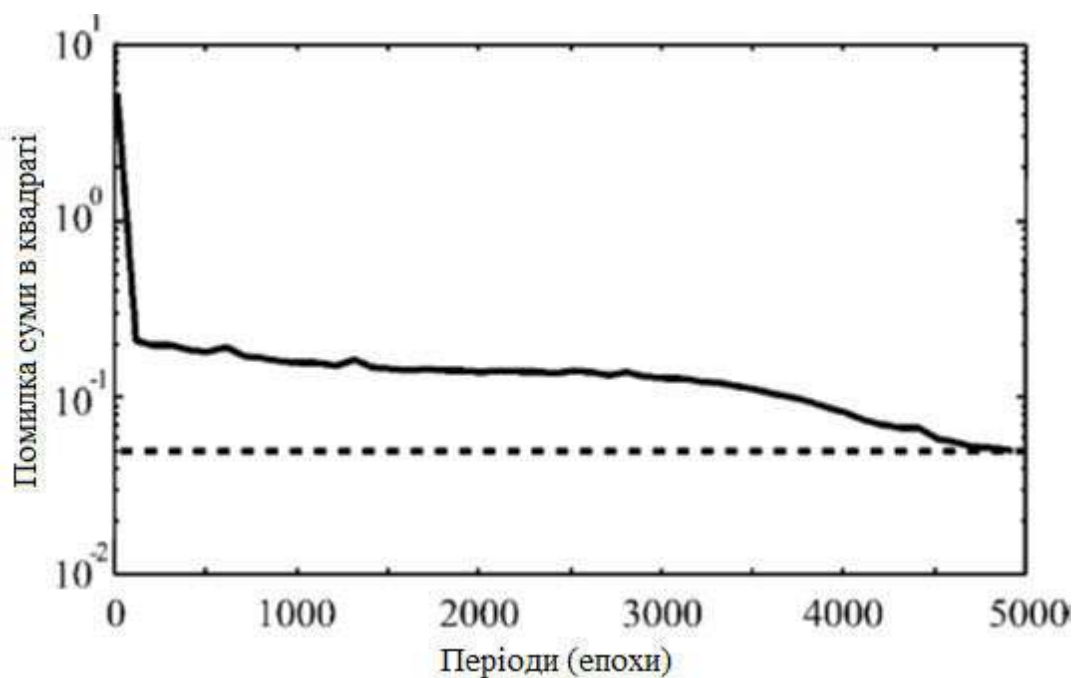


Рисунок 10.11 Процес навчання для мережі K_S

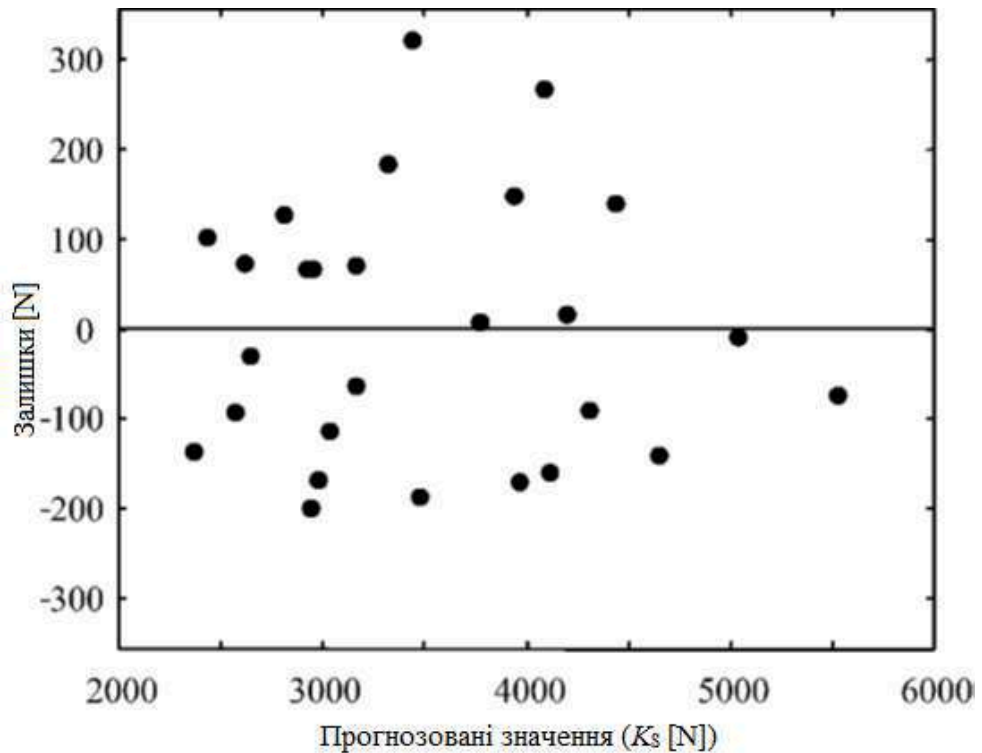


Рисунок 10.12. Залишкові й прогнозовані значення для моделі K_s

На рис. 10.12 показані залежності відхилів від значень, передвіщених моделлю. Можна відзначити, що залишки розподілені рівномірно. У коді 10.1 зазначена функція для моделі K_s на основі нейронної мережі.

На рис. 10.13 показано графічне представлення скоректованої моделі. Слід зазначити, що зв'язок між змінними складний, що робить застосування нейронних мереж дуже зручним.

Код 10.1 Matlab-функція нейросітьової моделі для K_s

```
function Ks = nn_ks(v, f, t)
v = (v - 80)./(220 - 80);
f = (f - 0.05)./(0.15 - 0.05);
t = (t - 5)./(15 - 5);
X = [v; f; t];
W1 = [-0.738005, -0.366224, 0.916024;
-0.736798, -2.463920, -0.927616;
2.039850, -1.271836, 0.624422];
B1 = [0.638930; -1.197159; -2.863192];
W2 = [0.597236, 1.888979, 1.877621];
B2 = [-0.384430];
Y1 = logsig(W1*X + B1*ones(1,size(X,2)));
Y2 = purelin(W2*Y1 + B2*ones(1,size(Y1,2)));
Ks = 2320.8 + (Y2.').*(5590.4 - 2320.8);
```

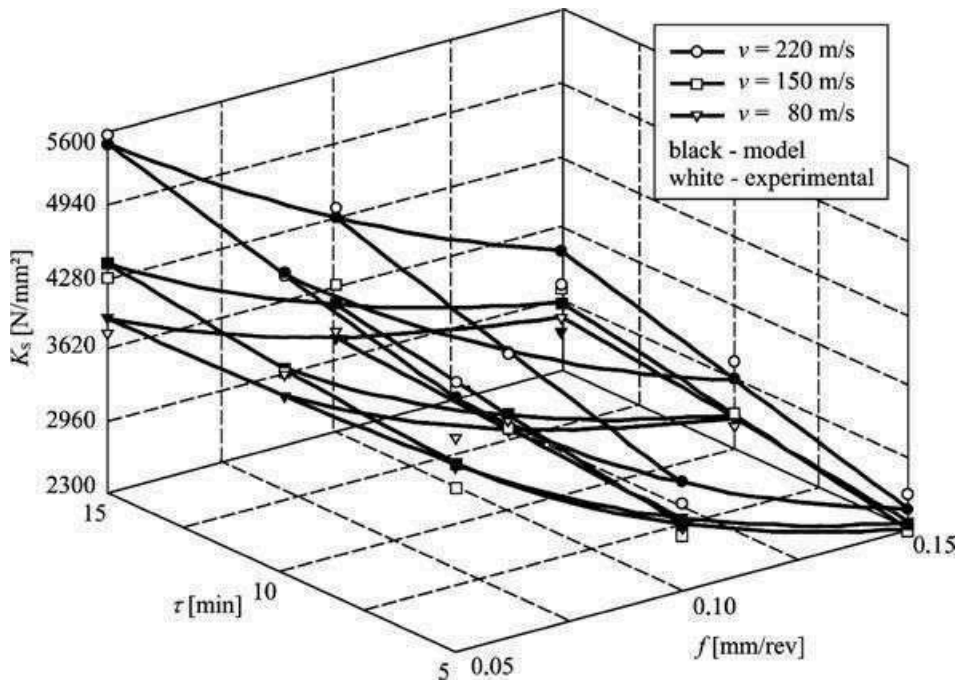


Рисунок 10.13 Графічне представлення моделі K_s

10.4.3.3 Модель зношування інструмента

Для моделі зношування інструмента V_C була обрана мережа із чотирма нейронами в схованому шарі. SSE був попередньо встановлений як 0,10 і був досягнутий в епоху 23 097. На рис. 10.14 показана SSE у процесі навчання.

R -квадрат для цієї моделі рівний 0,94, що означає, що він пояснює 94% мінливості V_C . Дисперсійний аналіз (див. Таблицю 10.5) показує P -значення менш 0,1, тому можна сказати, що при рівні вірогідності 90% існує статистично значимий взаємозв'язок між досліджуваними змінними.

Відхилення в порівнянні з передвіщеними значеннями показані на рис. 10.15, що показує, що відхилення розподілене однорідно. У коді 10.2 перераховані функції для нейросітьової моделі V_C .

Графічне представлення скоректованої моделі наведено на рис. 10.16. Отримана модель не повністю відповідає експериментальним даним; однак це краще, ніж відповідні статистичні моделі.

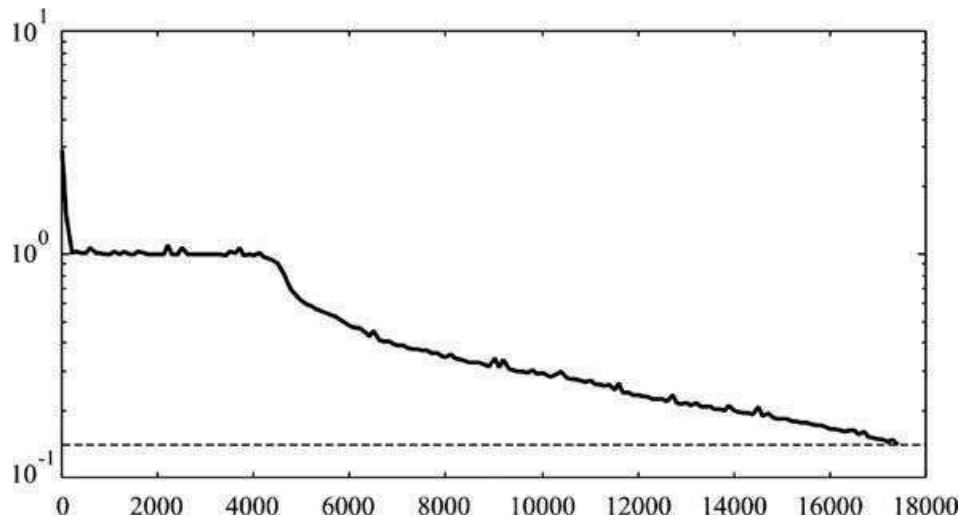


Рисунок 10.14 Процес навчання для мережі V_C

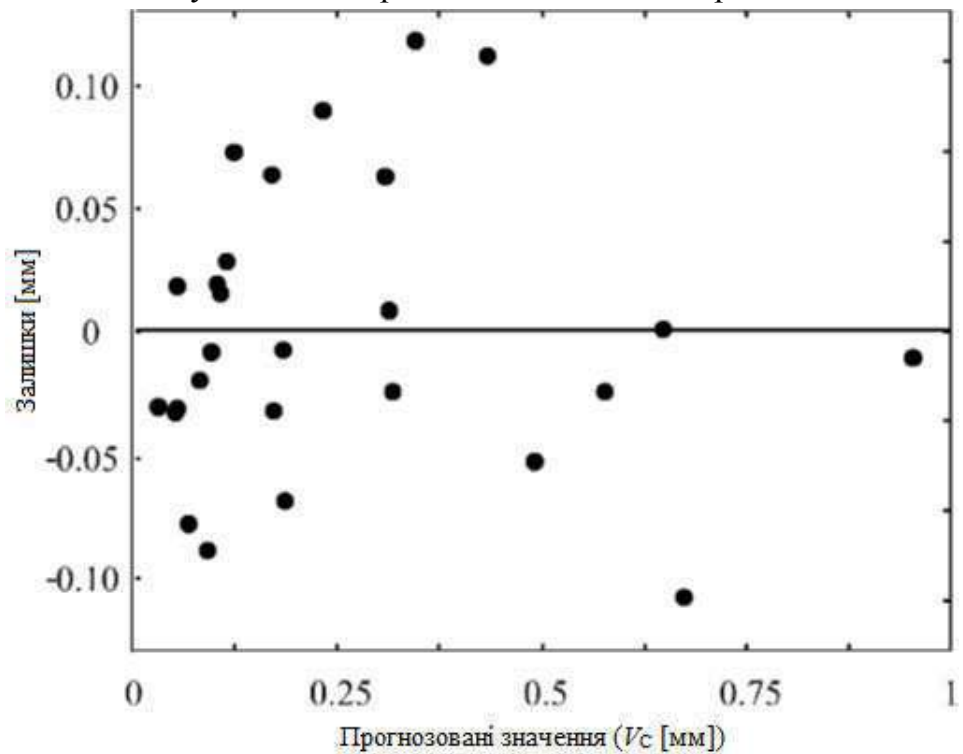


Рисунок 10.15. Залишкові й прогнозовані значення для моделі V_C

Таблиця 10.5 Дисперсійний аналіз для моделі V_C

| Джерело | Сума квадратів | D.F. | Середні квадрати | F-відношення | P-значення |
|-------------|----------------|------|------------------|--------------|------------|
| Модель | 1.4198 | 21 | 0.0676 | 3.9341 | 0.0671 |
| Залишок | 0.0859 | 5 | 0.0172 | — | — |
| Разом (кор) | 1.5205 | 26 | — | — | — |

Код 10.2 Функція MATLAB моделі нейронної мережі для V_C

```

function Vc = nn_vc(v, f, t)
v = (v - 80)./(220 - 80);
f = (f - 0.05)./(0.15 - 0.05);
t = (t - 5)./(15 - 5);
X = [v; f; t];
W1 = [0.895355, 4.197258, 0.926702;
0.444275, 2.139901, 0.225616;
-5.100363, 4.328508, 4.664264;
4.330807, -2.101679, 3.694703];
B1 = [-3.321501; -2.334190; -10.343271; ...
-4.972819];
W2 = [-1.857116, 3.478536, 5.082896, 0.729469];
B2 = [-0.253010];
Y1 = logsig(W1*X + B1*ones(1,size(X,2)));
Y2 = purelin(W2*Y1 + B2*ones(1,size(Y1,2)));
Y = Y2;
Vc = 0.033 + (Y2.').*(0.96 - 0.033);

```

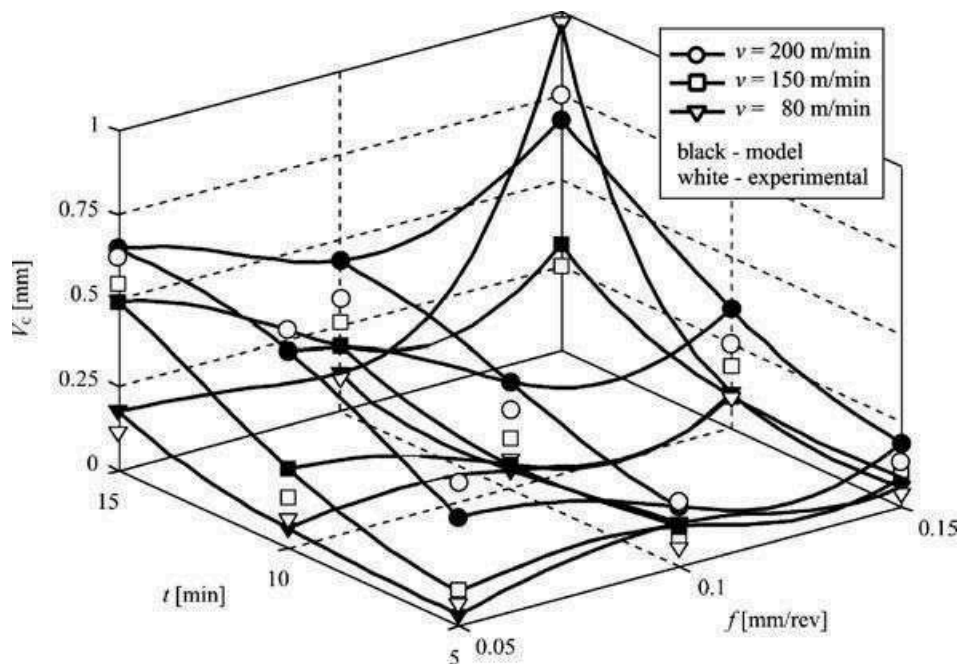


Рисунок 10.16 Графічне уявлення моделі V_c

10.4.3.4 Модель шорсткості поверхні

Для шорсткості поверхні R_a у відповідну мережу були включені три сховані нейрони. Очікуваний SSE був установлений 0,05 і був досягнутий в епоху 20 000. На рисунку 10.17 представлений процес навчання з відповідними SSE.

Скоректована модель має статистику R^2 , рівну 0,97, що пояснює 97% мінливості моделі. Дисперсійний аналіз показано в таблиці 10.6. Імовірність, зв'язана зі статистикою F , близька до нуля, тому при довірчій імовірності 99% між аналізованими змінними існує статистично значимий зв'язок.

На рис. 10.18 показані залежності залишків від прогнозованих значень для моделі R_a . Ці залишки нормально розподілені, і по них неможливо визначити яку-небудь тенденцію. Отриману функцію зазначено в коді 10.3. На рис. 10.19 графічно показана скоректована модель для R_a .

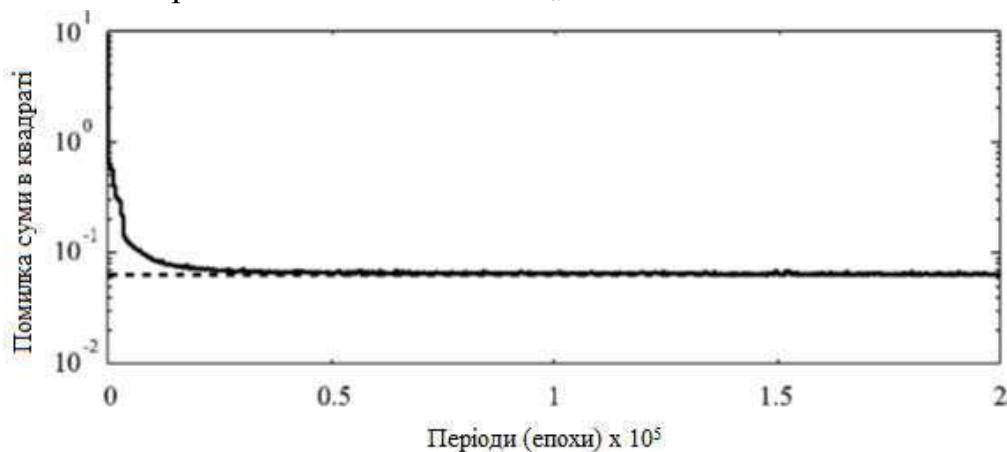


Рисунок 10.17 Процес навчання для мережі R_a

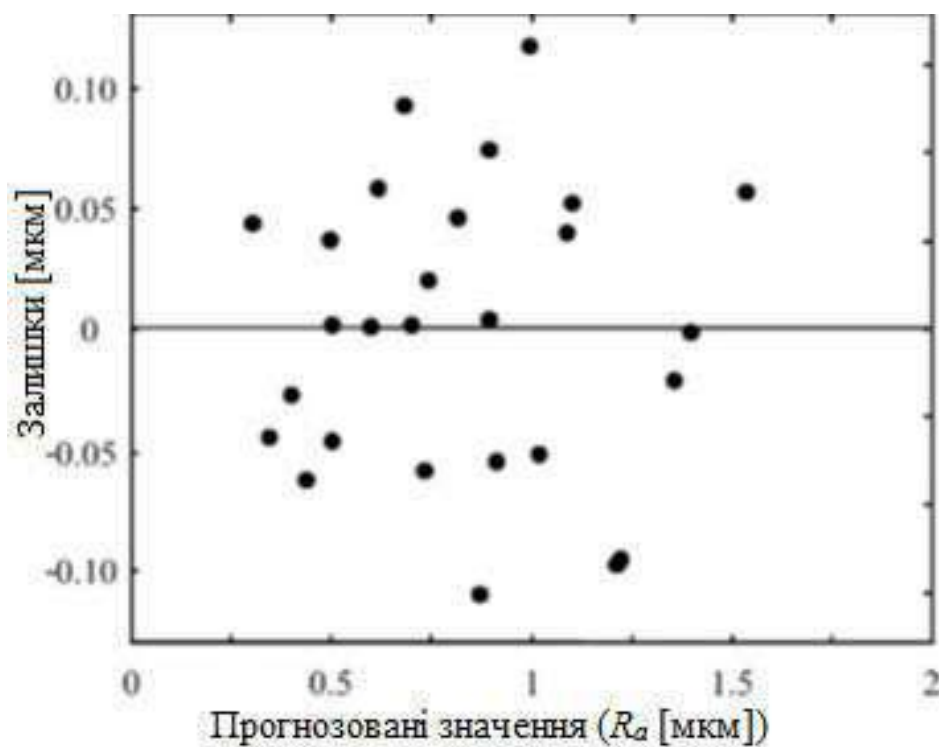


Рисунок 10.18. Залишкові й передвіщені значення для моделі R_a

Таблиця 10.6 Дисперсійний аналіз для моделі R_a

| Джерело | Сума квадратів | D.F. | Середні квадрати | F-відношення | P-значення |
|----------------|----------------|------|------------------|--------------|------------|
| Модель | 2.9548 | 16 | 0.1847 | 19.73 | 0.0000 |
| Залишок моделі | 0.0936 | 10 | 0.0093 | — | — |
| Разом (кор.) | 3.0523 | 26 | — | — | — |

Код 10.3 Функція MATLAB моделі нейронної мережі для R_a

```
function Ra = nn_ra(v, f, t)
v = (v - 80)./(220 - 80);
f = (f - 0.05)./(0.15 - 0.05);
t = (t - 5)./(15 - 5);
X = [v; f; t];
W1 = [-0.442358, 2.072393, 0.385718;
-1.045139, 3.257369, -0.015000;
5.368294, -2.052004, 4.133462];
B1 = [-1.853852; -3.998309; -11.184745];
W2 = [3.314839, -4.285657, 5.030268];
B2 = [-0.254177];
Y1 = logsig(W1*X + B1*ones(1,size(X,2)));
Y2 = purelin(W2*Y1 + B2*ones(1,size(Y1,2)));
Y = Y2;
Ra = 0.26 + (Y2.').*(1.48 - 0.26);
```

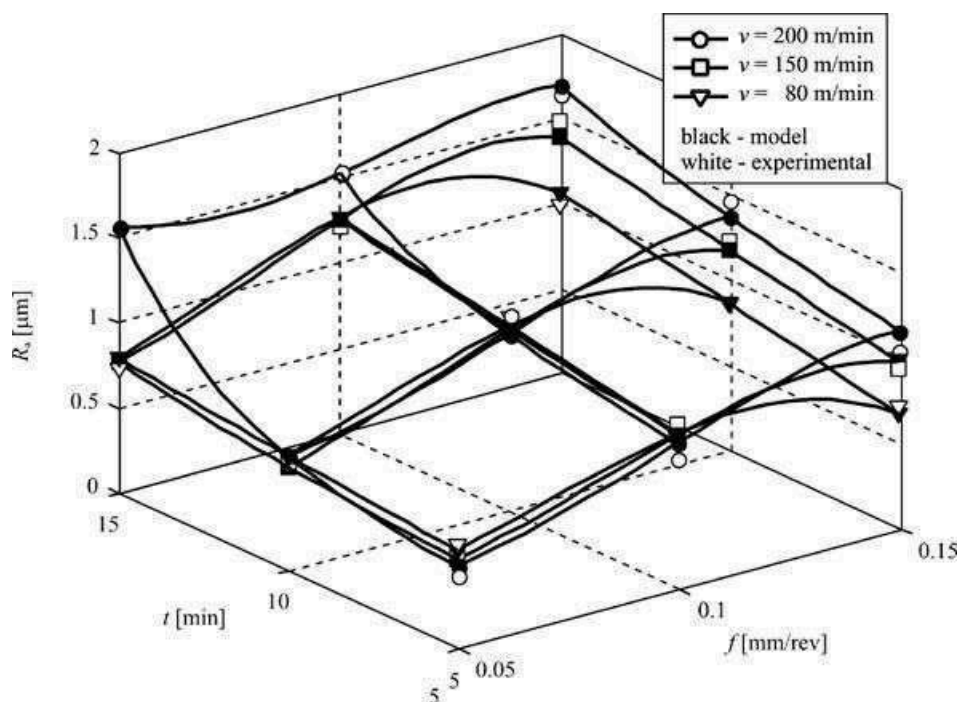


Рисунок 10.19 Графічне уявлення моделі R_a

10.4.4 Багатоцільова оптимізація

10.4.4.1 Змінні рішення

У якості вирішальних змінних у цьому прикладі були обрані подача f і швидкість різання v . Обидві були визначені для діапазонів між мінімальним і максимальним експериментальними рівнями, тобто в діапазоні, де діють скоректовані функції:

$$0.05 \leq f \leq 0.15; \quad (10.12a)$$

$$80 \leq v \leq 220. \quad (10.12b)$$

10.4.4.2 Цільові функції

У якості цільових функцій були обрані шорсткість поверхні R_a і зношування інструмента V_C . Вони залежать від параметрів різання f і v і часу різання t у такий спосіб:

$$R_a = \varphi_1(v, f, t); \quad (10.13)$$

$$V_C = \varphi_2(v, f, t); \quad (10.14)$$

де φ_1 і φ_2 — нейросітьові моделі, отримані для R_a і V_C відповідно.

З іншого боку, час різання можна розрахувати як:

$$t = \frac{L}{n f}; \quad (10.15)$$

де L — довжина різання, а n — швидкість обертання шпинделя, яку можна визначити як:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}; \quad (10.16)$$

де D — діаметр оброблюваної поверхні.

10.4.4.3 Обмеження

Єдиним розглянутим обмеженням є потужність різання P_C , яка повинна бути менше припустимої потужності двигуна P_M :

$$P_C = \frac{F_C v}{6 \times 10^4} \leq P_M; \quad (10.17)$$

де сила різання F_C розраховується як:

$$F_C = K_s f a_p; \quad (10.18)$$

і питома сила різання, K_S :

$$K_S = \varphi_3(v, f, t); \quad (10.19)$$

де φ_3 — відповідна нейронна модель.

10.4.4.4 Багатокритеріальний генетичний алгоритм (GAs)

Для проведення процесу оптимізації був реалізований багатокритеріальний GAs. Блок-схема GAs показана на рис. 10.20.

Першим кроком є створення початкової популяції розміром N . Кожному індивідууму привласнюється значення для кожної змінної рішення. Ці значення вибираються випадковим шляхом з відповідних припустимих діапазонів, тобто:

$$x_1 = \text{rnd}(v) : 80 \leq v \leq 220; \quad (10.20a)$$

$$x_2 = \text{rnd}(f) : 0.05 \leq f \leq 0.15. \quad (10.20b)$$

Два значення кожного індивідуума кодуються, щоб сформувати кодовий рядок, який представляє себе. Цей кодовий рядок, так звана «хромосома», складається із двійкових елементів (0 або 1) і має 64 символи (по 32 для кожної змінної розв'язку).

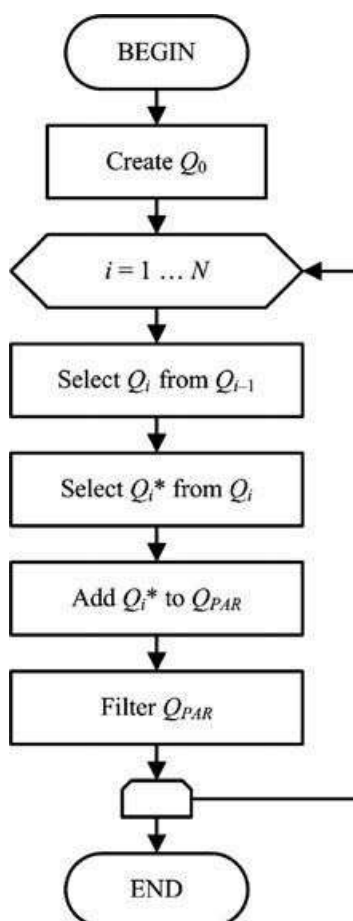


Рисунок 10.20 Блок-схема Gas

Для кожного індивідуума в популяції цільові функції (шорсткість поверхні й зношування інструмента) оцінюються з використанням відповідних значень параметрів різання (змінних розв'язку).

Обмеження також оцінюється. Щоб полегшити обробку, це обмеження масштабується, що приводить до форми:

$$g_1 = \frac{P_c}{P_M} - 1 \leq 0. \quad (10.21)$$

Із цього місця виконується петля. На кожному етапі цієї петлі (так звані епохи) створюється нова популяція з раніше існуючої шляхом відбору, схрещування й мутації.

При такому підході відбір проводився по турнірах. Щоб створити кожну особину для нової популяції, необхідно випадковим образом вибрати дві пари кандидатів у батьки. У кожній парі рівняються обидва кандидата з урахуванням наступних правил:

- можлива людина завжди краще, чим неможлива.
- в парі можливих індивідуумів один з них краще, якщо він домінує над іншим. Якщо жодна людина не домінує над іншим, обоє однаково гарні.
- в парі нездійснених індивідуумів кращим є той, який має менший індекс нездійсненності.

Оператор кроссовера поєднує рядки коду двох успішні кандидатів (по одному для кожної пари). У пропонованому підході реалізований двухточковий кроссовер, оскільки в такий спосіб він менш руйнівний, чим багатоточковий кроссовер, і допомагає збереженню різноманітності краще, ніж одноточковий.

Нарешті, шляхом мутації можна одержати деякі випадкові зміни в кодовому рядку нових особин. Це метод, який допомагає ввести нові функції в популяції. Звичайно, немає ніякої гарантії, що ці нові функції можуть бути корисними; отже, імовірність мутації слід підтримувати на дуже низькому рівні, тому що високе значення знищить гарних особин і перетворить GAs в метод випадкового пошуку. У пропонованому GAs була обрана ймовірність мутації 10^{-4} .

Підтримка елітарної популяції (так звана паретианська популяція) є розповсюдженим методом збереження найбільш пристосованих особин. Наприкінці кожної епохи з поточної популяції вибираються невідомі особини (паретианські рішення) і додаються до елітарної.

Після додавання нових особин елітарні популяції повинні бути відфільтровані, щоб усунути домінованих та стейкінгових індивідуумів.

10.4.4.5 Результати й обговорення

Оптимізація проводилася як апостеріорний підхід, тобто виконання процесу оптимізації з метою одержання безлічі недомінуючих рішень, а потім ухвалення рішення про те, яке із цих рішень найбільш зручно для конкретного розглянутої умови.

У таблиці 10.7 показана безліч недомінуючих рішень для цього прикладу. Як видно, обмеження (потужність різання) помітно нижче встановленої межі.

Ці недомінуючі рішення розташовані на фронті Парето на рис. 10.21. Це графічне уявлення допомагає ухвалити рішення. Наприклад, якщо необхідно налагодити процес, при якому досягається мінімальне зношування інструмента, а шорсткість поверхні не є важливим чинником, то точка А є найбільш зручною. Навпаки, якщо бажано одержати найкращу якість поверхні без урахування зношування інструмента, то необхідно вибрати точку В. У проміжному випадку, коли заздалегідь задано значення шорсткості поверхні (наприклад, $R_a = 0,84$), буде обрана найближча точка на кривій (точка З).

Таблиця 10.7 Результати процесу оптимізації

| f (mm/rev) | v (m/min) | t (min) | V_c (mm) | R_a (μm) | F_c (N) | P_c (kW) |
|-----------------|----------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|---------------|
| 0.11 | 164 | 10.9 | 0.04 | 1.05 | 70.8 | 0.19 |
| 0.14 | 142 | 10.0 | 0.04 | 1.03 | 76.9 | 0.18 |
| 0.15 | 128 | 10.8 | 0.05 | 1.00 | 78.5 | 0.17 |
| 0.12 | 197 | 9.0 | 0.10 | 0.98 | 73.0 | 0.24 |
| 0.11 | 181 | 10.6 | 0.12 | 0.96 | 70.1 | 0.21 |
| 0.11 | 194 | 9.7 | 0.14 | 0.94 | 71.7 | 0.23 |
| 0.11 | 195 | 9.9 | 0.16 | 0.92 | 71.3 | 0.23 |
| 0.10 | 194 | 10.3 | 0.19 | 0.90 | 70.7 | 0.23 |
| 0.10 | 201 | 10.0 | 0.21 | 0.88 | 71.4 | 0.24 |
| 0.10 | 208 | 9.6 | 0.22 | 0.87 | 72.3 | 0.25 |
| 0.10 | 214 | 9.5 | 0.26 | 0.85 | 73.1 | 0.26 |
| 0.10 | 216 | 9.5 | 0.27 | 0.84 | 73.1 | 0.26 |
| 0.09 | 214 | 10.1 | 0.32 | 0.82 | 72.0 | 0.26 |
| 0.09 | 216 | 10.2 | 0.35 | 0.81 | 71.9 | 0.26 |

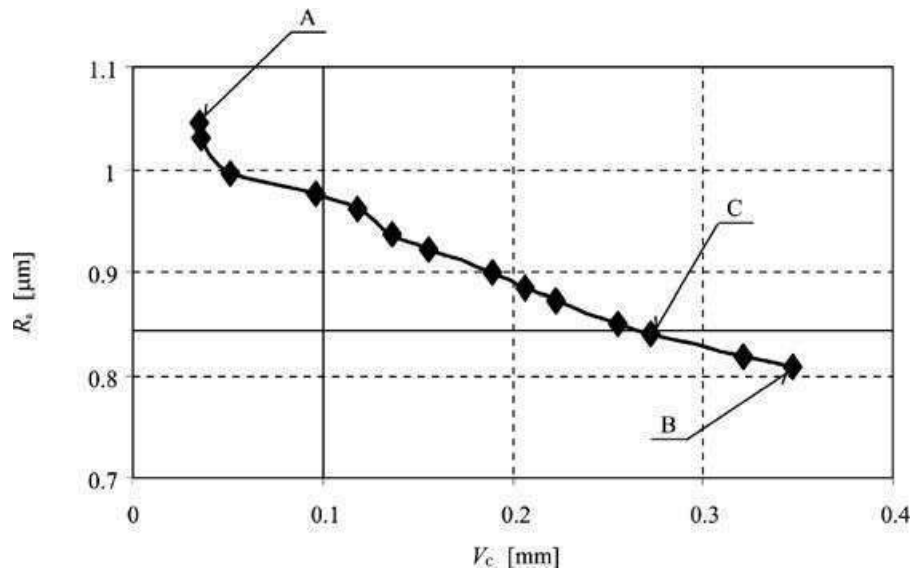


Рисунок 10.21 Фронтальна діаграма Парето

10.5 Майбутні тенденції

У найближчому майбутньому можна передбачити збільшення застосування інтелектуальних методів для моделювання й оптимізації складних механічних процесів. Нейронні мережі й нечітка логіка будуть широко використовуватися через їхню здатність зіставляти складні відносини. У тому ж сенсі для цієї мети будуть більш широко застосовуватися підходи стохастичної оптимізації. Цей ріст буде викликаний головним чином безперервним збільшенням обчислювальної потужності комп'ютерів.

Однак усі ці інструменти в цей час занадто «зелені». Для цієї мети потрібні більш міцні математичні основи. Повинні бути розроблені строгі процедури для розробки й навчання цим підходам і статистичним інструментам для аналізу їх результатів, щоб підвищити ефективність і надійність їх застосування.

ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Аверьянов О. И. Режущий инструмент : учебное пособие / Аверьянов О. И., Клепиков В. В. – М. : МГИУ, 2007. – 104 с.
2. Инструментальное оснащение технологических процессов металлообработки / Схиртладзе А. Г., Перевозников В. К., Иванов И. А. и др. – Пермь : Изд-во перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 280 с.
3. Равська Н. С. Металорізальні інструменти : підручник / Н. С. Равська, П. П. Мельничук, Р. П. Родін. – Житомир : ЖДТУ, 2016. – 612 с.
4. Режущий инструмент : учебник для студ. вузов / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов и др.; под ред. С. В. Кирсанова. – 2-е изд., доп., под ред. С. В. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 2005. – 528 с.
5. Звягольский Ю. С. Технология производства режущего инструмента : учеб. пособие / Ю. С. Звягольский, А. Г. Схиртладзе, В. Г. Солоненко. – 2-е изд., перераб. – М. : КНОРУС, 2012. – 336 с.
6. Davim J. P. Comparative evaluation of conventional and wiper ceramic tools on cutting forces, surface roughness, and tool wear in hard turning AISI D2 steel / J. P. Davim, L. Figueira // Proc. Inst. Mech. Eng. Part B: J. Eng. Manuf., 2007. – V. 221, N 4, pp. 625–633.
7. Mamalis A. On the finite element modelling of high speed hard turning / A. Mamalis, J. Kundrák, A. Markopoulos, D. Manolakos // Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2008. – 38, pp. 441–446.
8. Quiza R. Computational modeling of machining systems / R. Quiza, J. P. Davim. In: Özel T, Davim JP (eds) Intelligent machining: modeling and optimization of the machining processes and systems. – London: ISTE, 2009, pp. 173–213.
9. Basak S. Application of radial basis function neural networks in optimization of hard turning of AISI D2 cold-worked tool steel with a ceramic tool / S. Basak, U. S. Dixit, J. P. Davim // Proc. Inst. Mech. Eng. Part B: J. Eng. Manuf., 2007. – V. 221, pp. 987–998.

Допоміжна

1. Межгосударственные стандарты : каталог Kennametal. – М., 2013. – 2122 с. – (Металлорежущий инструмент).
2. Межгосударственные стандарты : каталог Kyocera: turning, milling. – М., 2013. – 593 с.
3. Межгосударственные стандарты : каталог Sumitomo. – М., 2011 – 2012. – 398 с. – (Высокопроизводительный режущий инструмент).
4. Каталог продукции / ЗАО «Полтавский алмазный инструмент». – Полтава, 2008. – 96 с.
5. Межгосударственные стандарты : каталог Mitsubishi. – М., 2014–2015. – 1352 с. – (Токарный инструмент, вращающийся инструмент).
6. Инструменты для сверления и фрезерования : технический каталог/ ОАО «Кировградский завод твердых сплавов». – Кировград, 2014. – 30 с.
7. Межгосударственные стандарты : каталог «Сменные пластины Sandvik-МКТС. Точение, резбонарезание, фрезерование, сверление»; ООО «Sandvik». – М., 2013. – 97 с.

Електронні ресурси

1. Библиотека инструментальщика [Электронный ресурс] – Сайт стандартів на металорізальний інструмент. – Режим доступу : <http://www.info.instrumentmr.ru>
2. Библиотека машиностроителя [Электронный ресурс] – Ресурс, що містить технічну літературу, книги, довідники з галузей машинобудування.
3. Інформаційний технічний портал [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.tehnoarticles.ru>
4. Заточка режущего инструмента [Электронный ресурс] – Режим доступу : <http://www.memorypowerusa.com>
5. Технічна література онлайн [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.imetal.in.ua/uk/tag/ugol-zaostreniya>

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

HV – твердість за Віккерсом

HRC – твердість за Роквеллом (шкали відповідно А, В, С)

ρ – густина матеріалу, г/см³

$\sigma_{зг}$ – границя міцності при згинанні, МПа

$\sigma_{ст}$ – границя міцності на стиск, МПа

α – коефіцієнт лінійного розширення, 1/°C

E – модуль пружності, МПа

ЗБП – змінні багатогранні пластини

R_{max} – найбільша висота профілю, мкм

R_a – середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини, мкм

КНБ – кубічний нітрид бору

ПКА – полікристалічний алмаз

ПКНБ – полікристалічний кубічний нітрид бору

ПНТМ – полікристалічний надтвердий матеріал

НТМ – надтвердий матеріал

МОР – мастильно-охолодна рідина

ЧПК – числове програмне керування

ISO – International Organization for Standardization – міжнародна організація з стандартизації

ККД – коефіцієнт корисної дії

FEPA – Federation of European Producers of Abrasives – європейська федерація виробників абразивних матеріалів

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| ВСТУП..... | 3 |
| РОЗДІЛ 1. ТОЧІННЯ | 5 |
| 1.1 Система кріплення різальної пластини | 5 |
| 1.2. Вибирання типу й розміру різцеутримувача..... | 8 |
| 1.3. Вибирання форми, типу та розміру різальної пластини..... | 15 |
| 1.4. Геометрія передньої поверхні пластини..... | 22 |
| 1.5. Матеріал різальної пластини..... | 28 |
| 1.6. Режими різання..... | 58 |
| РОЗДІЛ 2. РОЗТОЧУВАННЯ..... | 66 |
| 2.1. Вибирання типу розточувального інструмента..... | 66 |
| 2.2. Вибирання форми, розміру та геометрії різальної пластини..... | 75 |
| 2.3. Матеріал різальної пластини та режими різання | 76 |
| РОЗДІЛ 3. ВІДРІЗАННЯ. ОБРОБЛАННЯ КАНАВОК | 78 |
| 3.1. Вибирання інструменту..... | 78 |
| 3.2. Вибирання геометрії пластин і матеріалу інструменту | 81 |
| 3.3. Призначення режимів різання при відрізанні та при оброблянні канавок..... | 86 |
| РОЗДІЛ 4. НАРІЗАННЯ РІЗИ | 88 |
| 4.1. Вибирання системи кріплення різальної пластини та типу тримача..... | 88 |
| 4.2. Вибирання способу врізання..... | 90 |
| 4.3. Вибирання типу, розміру, геометрії пластини й інструментального матеріалу..... | 91 |
| 4.4. Призначення кількості проходів, глибини врізання за прохід і швидкості різання при різанарізанні | 97 |
| РОЗДІЛ 5. ОБРОБЛАННЯ ОТВОРІВ..... | 101 |
| 5.1. Свердління..... | 101 |
| 5.2. Зенкерування | 113 |
| 5.3. Розвірчування | 118 |
| 5.3.1. Вибирання типу розвертки..... | 119 |
| 5.3.2. Вибирання геометрії й інструментального матеріалу розвертки..... | 121 |
| 5.3.3. Призначення режимів різання при розвірчуванні | 121 |

| | |
|--|-----|
| РОЗДІЛ 6. ФРЕЗЕРУВАННЯ..... | 123 |
| 6.1. Вид і схема фрезерування..... | 123 |
| 6.2. Вибірання типу та конструктивних параметрів фрези..... | 126 |
| 6.3. Вибірання конструктивних, геометричних параметрів пластини й інструментального матеріалу..... | 133 |
| 6.4. Призначення режимів різання при фрезеруванні | 147 |
| РОЗДІЛ 7. ПРОТЯГУВАННЯ..... | 155 |
| 7.1. Вибірання схеми різання та методу утворення профілю при протягуванні..... | 156 |
| 7.2. Вибірання типу, конструктивних і геометричних параметрів протяжок..... | 157 |
| 7.2.1. Круглі протяжки..... | 157 |
| 7.2.2. Шліцьові протяжки..... | 160 |
| 7.2.3. Шпонкові протяжки..... | 161 |
| 7.2.4. Грановані протяжки..... | 163 |
| 7.2.5. Зовнішні протяжки..... | 165 |
| 7.2.6. Твердосплавні протяжки | 165 |
| РОЗДІЛ 8. ЗУБОНАРІЗУВАННЯ | 174 |
| 8.1. Вибірання конструктивних і геометричних параметрів зуборізальних інструментів, що працюють методом копіювання .. | 174 |
| 8.2. Вибірання конструктивних і геометричних параметрів зуборізальних інструментів, що працюють методом обкатування | 179 |
| 8.3. Рекомендації щодо вибірання режимів різання при зубонарізуванні | 199 |
| РОЗДІЛ 9. АБРАЗИВНЕ ОБРОБЛЯННЯ | 212 |
| 9.1. Вибірання абразивного матеріалу | 212 |
| 9.2. Вибірання схеми оброблення деталей абразивними інструментами | 222 |
| 9.3. Вибірання форми та розмірів абразивних інструментів..... | 229 |
| 9.4. Вибірання характеристики абразивних інструментів..... | 240 |

| | |
|---|-----|
| 9.5. Рекомендації щодо вибирання режимів різання | |
| при абразивному оброблянні..... | 248 |
| 9.5.1. Кругле зовнішнє шліфування | 248 |
| 9.5.2. Внутрішнє шліфування | 252 |
| 9.5.3. Плоске шліфування | 254 |
| 9.5.4. Безцентрове шліфування..... | 258 |
| 9.5.5. Хонінгування отворів | 260 |
| 9.5.6. Шліфування нарізі..... | 261 |
| 9.5.7. Шліфування зубів | 263 |
| РОЗДІЛ 10. ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ Й ОПТИМІЗАЦІЯ..... | 265 |
| 10.1. Вступ | 265 |
| 10.2. Обчислювальні інструменти для моделювання твердої токарної обробки..... | 266 |
| 10.2.1. Мета моделювання твердої токарної обробки..... | 266 |
| 10.2.2. Традиційні обчислювальні інструменти..... | 267 |
| 10.2.3. Інтелектуальні методи | 267 |
| 10.3. Оптимізація твердої токарної обробки | 272 |
| 10.3.1. Важливість оптимізації твердої обробки | 272 |
| 10.3.2. Визначення проблеми..... | 273 |
| 10.3.3. Цільова функція | 275 |
| 10.3.4. Змінні рішення | 276 |
| 10.3.5. Обмеження | 277 |
| 10.3.6. Методи оптимізації..... | 277 |
| 10.4. Практичний приклад | 281 |
| 10.4.1. Опис випадку | 282 |
| 10.4.2. Статистичне моделювання..... | 283 |
| 10.4.3. Моделювання на основі нейронних мереж | 285 |
| 10.4.4. Багатоцільова оптимізація..... | 292 |
| 10.5. Майбутні тенденції..... | 297 |
| ЛІТЕРАТУРА | 298 |
| УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ | 300 |

Навчальне видання

ОСТРОВЕРХ Євген Володимирович
ФЕДОРОВИЧ Володимир Олексійович
ПУПАНЬ Лариса Іванівна

ІНСТРУМЕНТИ ТА РЕЖИМИ РІЗАННЯ
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОБРОБЛАННЯ
МАТЕРІАЛІВ

Навчальний посібник

для студентів спеціальності «Прикладна механіка»
денної, заочної та дистанційної форм навчання

Роботу до видання рекомендував Олександр ШЕЛКОВИЙ

В авторській редакції

Комп'ютерний набір та верстка В.О. Склепус

План 2023 р., поз. 8.

Підп. до друку 03.03.2023 р. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 14,0.

Видавничий центр НТУ «ХП», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002
Свідоцтво про державну реєстрацію № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія