

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

Є. В. Островерх

ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ОБРОБЛЯННЯ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

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

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 1 від 16.01.19 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2019

УДК 620.3-03  
ББК 306  
Г75

Рецензенти:

*Ф.В. Новіков*, д-р техн. наук, проф. Національного економічного університету імені Семена Кузнеця

*А. П. Тарасюк*, д-р. техн. наук, проф., перший проректор Української інженерно-педагогічної академії

Розглянуто сучасні методи інструментального оснащення технологічних операцій у машинобудуванні. На основі узагальнення досвіду провідних вітчизняних і закордонних виробників різального інструменту наведено таблиці ідентифікації існуючих марок сталей і сплавів згідно з міжнародними державними стандартами і зіставлення їх за властивостями та групами застосовності відповідно до Міжнародної системи класифікації ISO. Надано рекомендації з вибирання сучасних конструкцій різального інструменту, інструментальних матеріалів і режимів різання для високопродуктивного оброблення конструкційних матеріалів різних груп оброблюваності.

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

**Г75 Островець С. В.** Інструментальне забезпечення технологічних процесів оброблення матеріалів у машинобудуванні / С. В. Островець. – Х. : НТУ «ХПІ», 2019. – 272 с. – Укр. мовою.

Рассматривается современная методика инструментального оснащения технологических операций в машиностроении. На основе обобщения опыта ведущих отечественных и зарубежных производителей режущего инструмента приведены таблицы идентификации существующих марок сталей и сплавов по международным государственным стандартам и сопоставление их по свойствам и группам применимости согласно Международной системе классификации ISO. Даны рекомендации по выбору современных конструкций режущего инструмента, инструментальных материалов и режимов резания для высокопроизводительной обработки конструкционных материалов различных групп обрабатываемости.

Предназначен для студентов специальности «Прикладная механика» дневной, заочной и дистанционной форм обучения.

Лл. 107. Табл. 157. Бібліогр. 17 найм.

УДК 620.3-03  
ББК

ISBN

© С. В. Островець, 2019

## ВСТУП

У сучасному машинобудуванні оброблення різанням є головним методом, який забезпечує високу якість і точність оброблення деталей.

В усі формотворні процеси різання широко впроваджується високопродуктивне автоматизоване устаткування з ЧПУ, ефективна експлуатація якого неможлива без створення нових різальних матеріалів і конструкцій інструментів для оснащення металорізальних верстатів, що дозволяють працювати на високих швидкостях різання.

З появою нових конструкцій інструментів, покриттів, нових інструментальних матеріалів повинна обновлятися й нормативна база режимів різання. Останні загальномашинобудівні нормативи режимів різання було випущено в 1991 році. Реальне виробництво в цей час опирається на методику нормування, запропоновану на початку ХХ століття Ф. Тейлором, в основі якої лежить емпіричний підхід з використанням статичних моделей стійкості, використовуючи емпіричні формули або таблиці. Принцип нормування режимів різання ґрунтується на двох факторах (швидкість різання  $V$  м/хв і подача  $S$  мм/об) з використанням степеневих моделей стійкості й не задовольняє вимогам, які пред'являються до сучасних технологічних процесів металооброблення. Розрахункові режими різання, отримані за допомогою статичних моделей, не відповідають реальним фізичним умовам зношування, дають малоефективні режими оброблення, особливо при різанні важкооброблюваних матеріалів.

Зміст таблиць для визначення початкових швидкостей різання, як правило, являє собою результати лабораторних або виробничих досліджень з встановлення зв'язків між стійкістю інструмента й швидкістю різання, рекомендованих вітчизняними й закордонними виробниками інструментальних матеріалів. Поряд із простотою й зручністю ця методика визначення режимів різання вимагає великої кількості випробувань і відомостей щодо матеріалів, які оброблюються, й інструментальних матеріалів. Однак у цей час накопичено досить великий досвід і існують рекомендації світових виробників різального інструменту з призначення режимів різання для оброблення різних матеріалів. Сьогодні закордонні (ВАТ «Кіровоградський завод твердих сплавів», ВАТ «Sandvik MKTC», АТ «Titex Plus», АВ «Sandvik Coromant» і ін.) виготовлювачі за своїми національними стандартами виго-

товляють безліч різних марок твердого сплаву й відповідно до них надають рекомендації із призначення режимів різання та вибирання інструментальних матеріалів.

Тому необхідно ідентифікувати всі марки твердого сплаву та зіставити їх за властивостями і групами застосовності згідно з Міжнародною системою класифікації ISO.

Завданням цього навчального посібника є ознайомлення із сучасною методикою інструментального оснащення технологічних процесів механічного обробляння (точіння, фрезерування, свердління та ін.) машинобудівних виробництв у тому числі методиками, в яких є вибирання різальних інструментів і режимів різання. Надано огляд сучасних конструкцій металорізального інструменту з механічним кріпленням різальних пластин, представлено рекомендації із 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.

## 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).

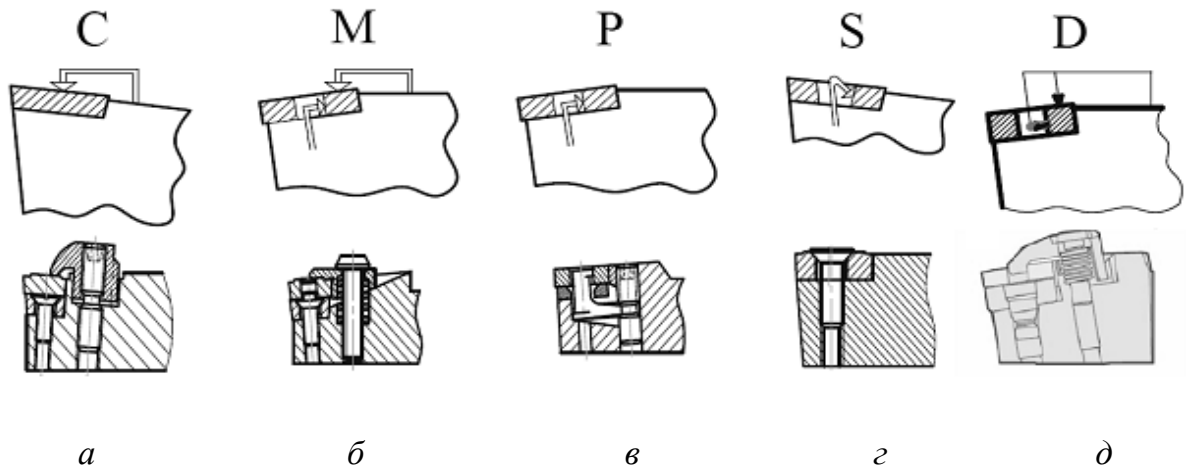


Рисунок 1.1 – Системи кріплення різальної пластини:  
*а* – притискання зверху (С); *б* – притискання зверху та піджимання за отвір (М);  
*в* – притискання важелем за отвір (Р); *г* – кріплення гвинтом (S);  
*д* – притискання підвищеної жорсткості (D)

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.


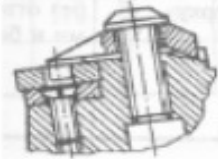
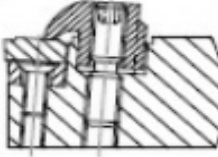
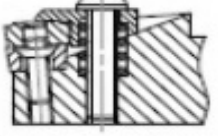


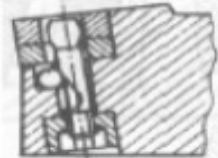
Обмежувальними чинниками, що визначають вибирання тієї або іншої системи кріплення (див. рис. 1.1), є:

- 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 ЧПУ або без);
- система кріплення пластини.

Також залежно від обраної системи кріплення тип різцеутримувача підбирається за головним і допоміжним кутами в плані  $\varphi$  і  $\varphi_1$  різця (табл. 1.2). Типи та розміри серійно виготовлених різців для зовнішнього точіння представлено в табл. 1.2–1.4.



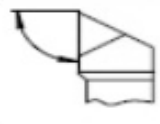



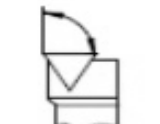



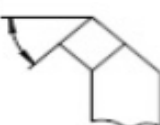





Для забезпечення більш жорсткого закріплення різальної пластини та з метою зменшення вильоту інструменту різцеутримувач слід вибрати з найбільшою висотою  $h$ . Найпоширеніші державки із прямокутним перері-



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

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

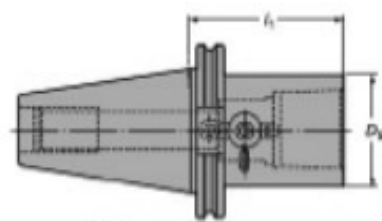
Таблиця 1.2 – Типи серійно виготовлених різців для зовнішнього точіння

№ 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					$\epsilon=55^\circ$	
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 крайки  $l$  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	16,5	22,0	27,5
	3			16,5					
	4			16,5					
S	1	6,3	9,5	9,5	12,7	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	10,8			
C	1		9,7	9,7	12,9	12,9	12,9	16,1	19,3
	2			12,9					
	4								
	5			12,9					
	7			12,9					
D	1			11,6	15,5	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		
			$D_1$	$f_1$	$\Delta$
ISO40	C5	C5-390.14004-40 080	50	60	1,6
ISO50		C5-390.14004-50 080	50	80	3,2
ISO60	C6	C6-390.14004-60 090	63	90	3,9
ISO60	C8	C8-390.14004-60 106	60	106	4,9

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									■	■
		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 вибранням 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.

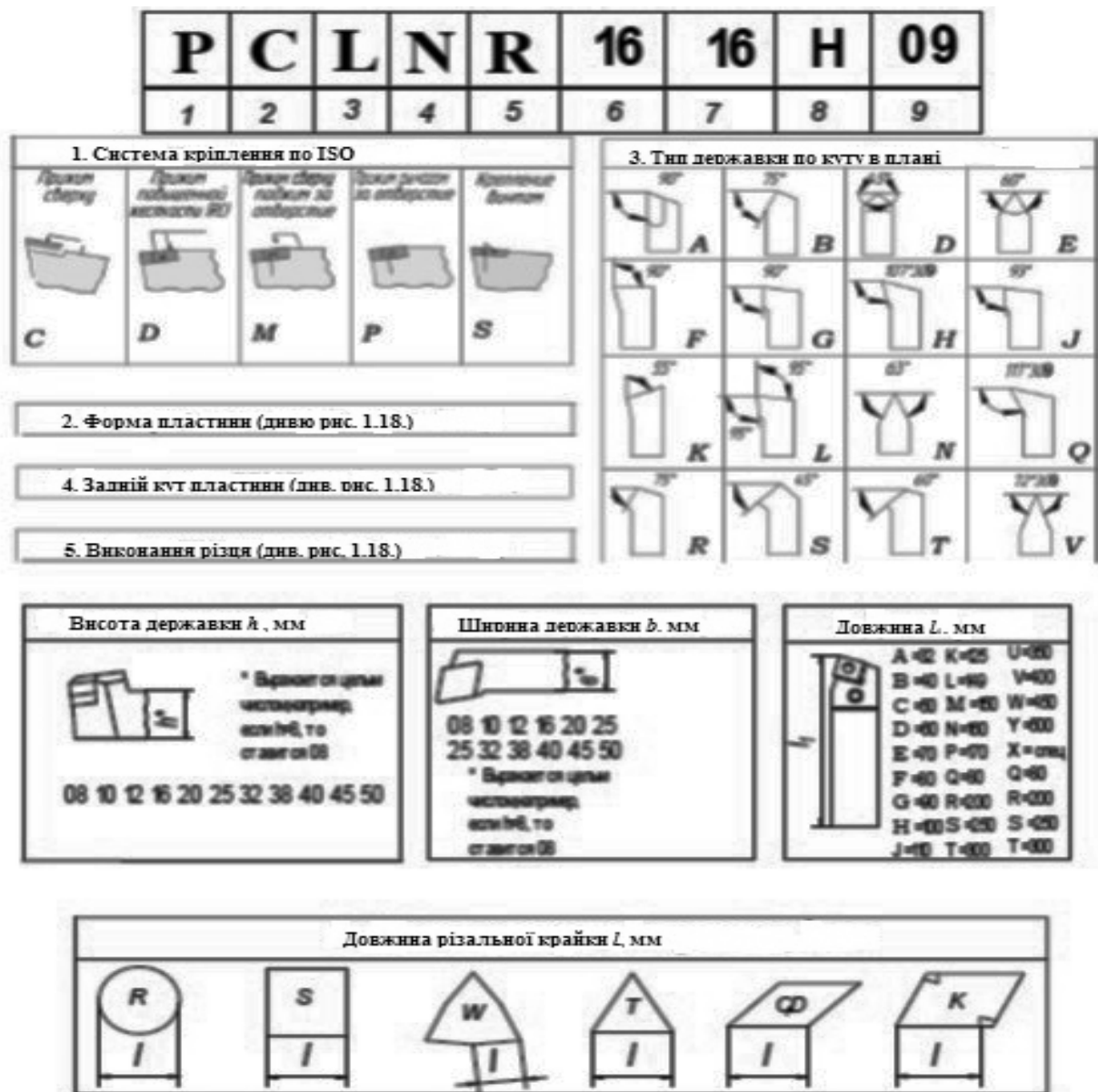


Рисунок 1.3 – Система позначення державок різців для зовнішнього точіння

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).

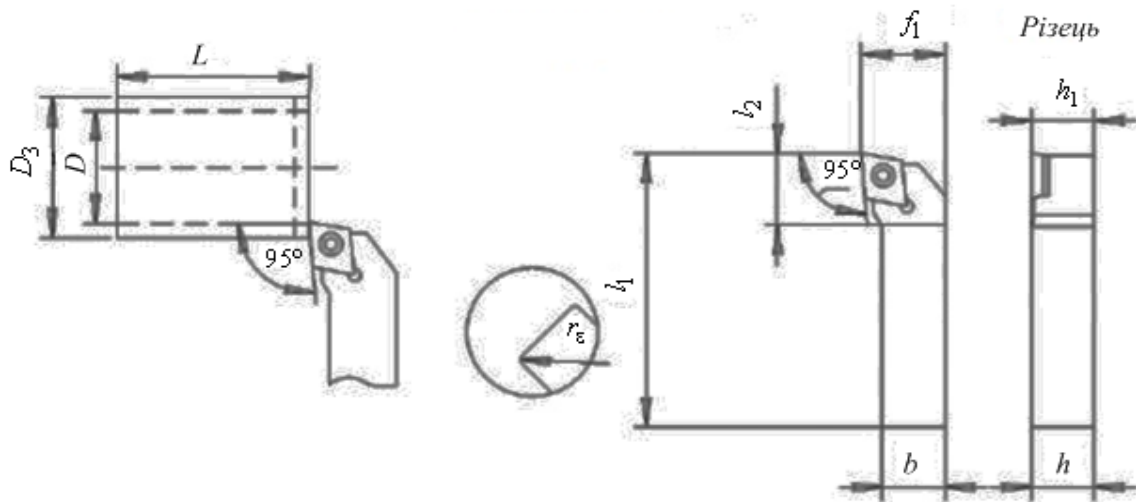


Рисунок 1.4 – Розмір та тип державки

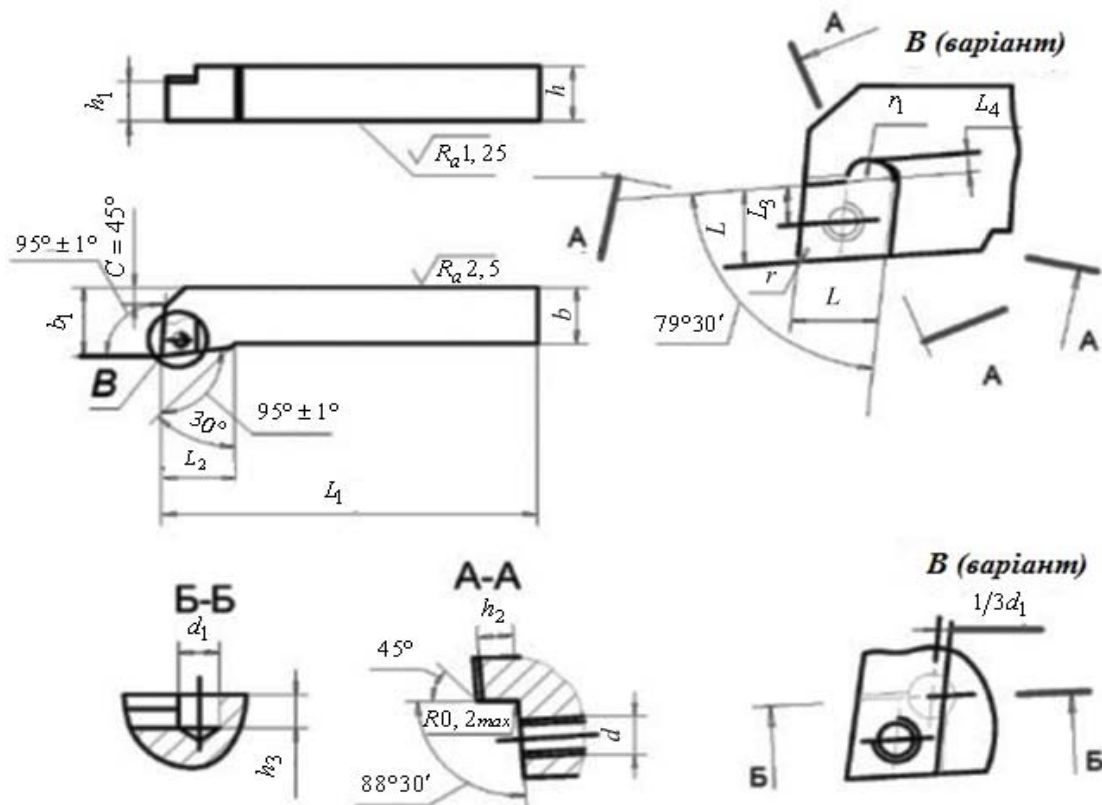
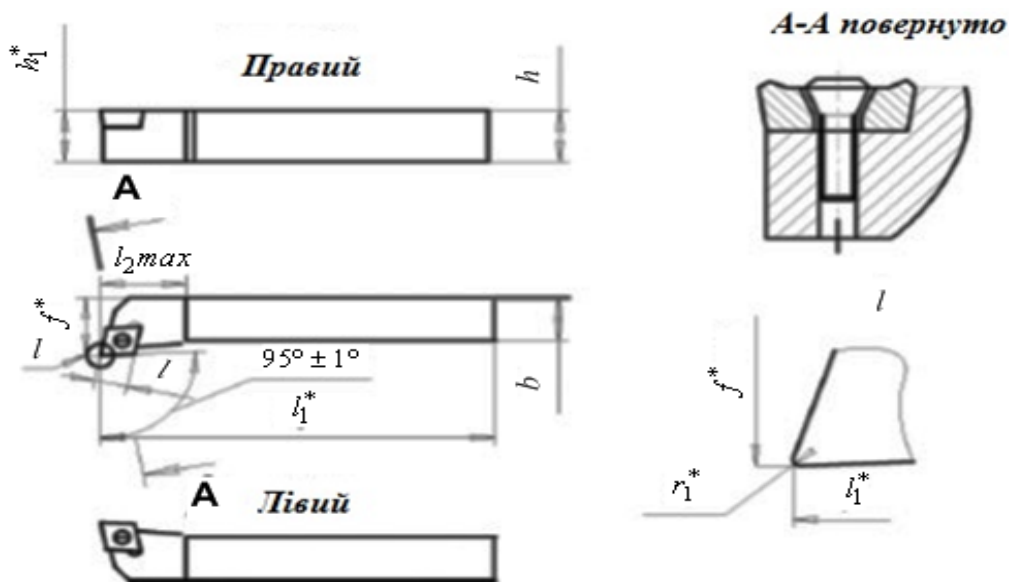


Рисунок 1.5 – Державка прохідного відігнутого різця (відповідає рис. 1.4)



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	$r_3^*$	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	0,41	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	0,27	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 – C; задній кут –  $7^\circ$ ; 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  $\varphi$ . Вона може бути різної залежно від кута при вершині, який може змінюватися в межах від  $35^\circ$  до  $100^\circ$ , 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  $r_\varepsilon$ ;
- діаметр вписаного кола  $d$ ;
- задній кут  $\alpha$ .

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.

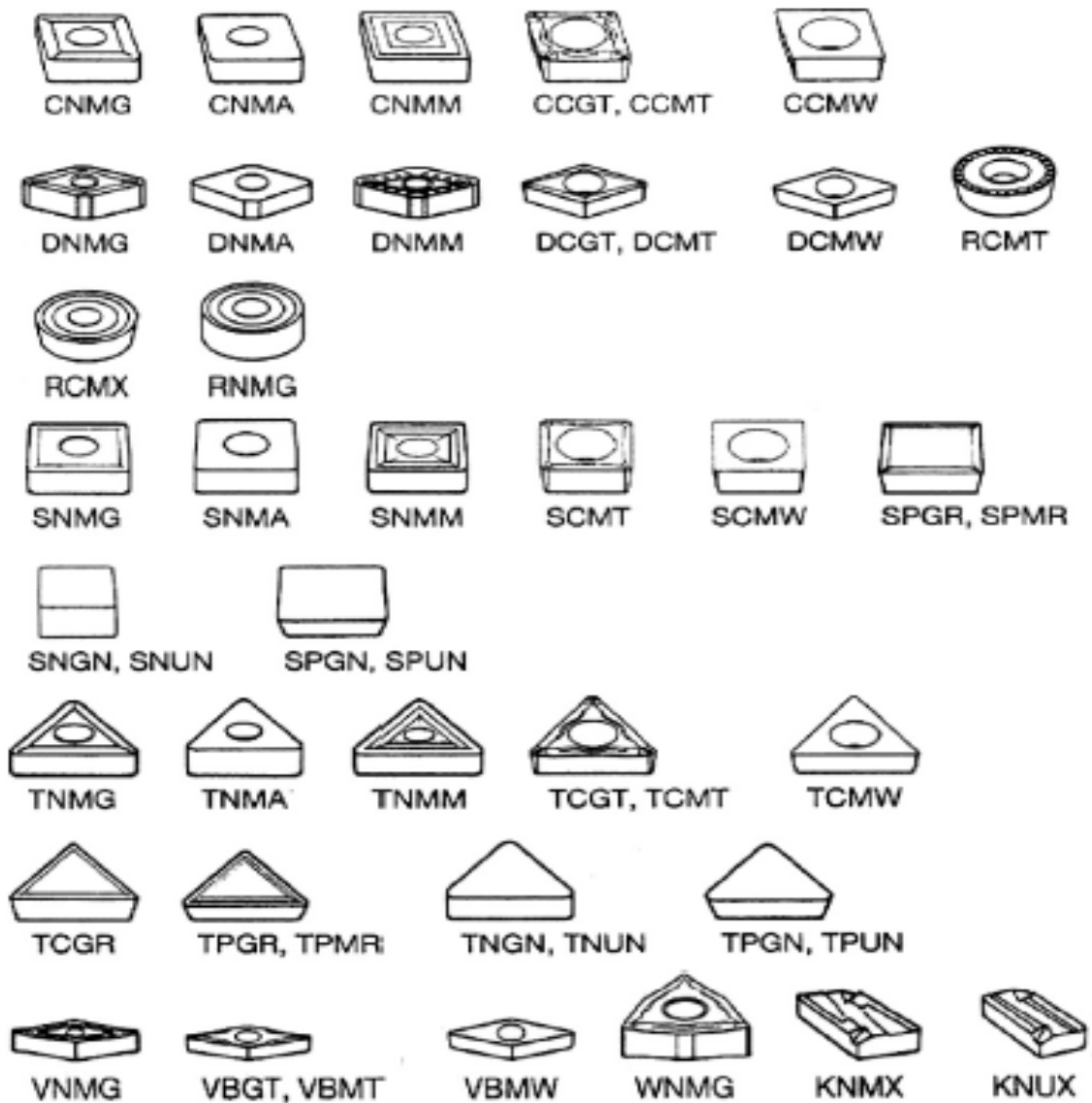


Рисунок 1.7 – Твердосплавні токарні пластини

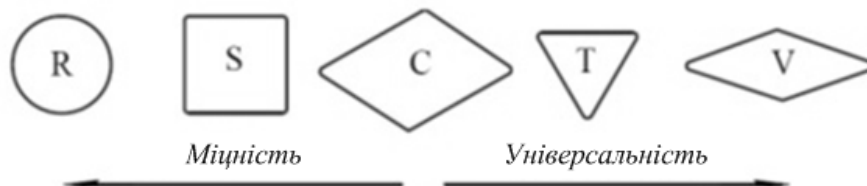


Рисунок 1.8 – Вибір форм пластини



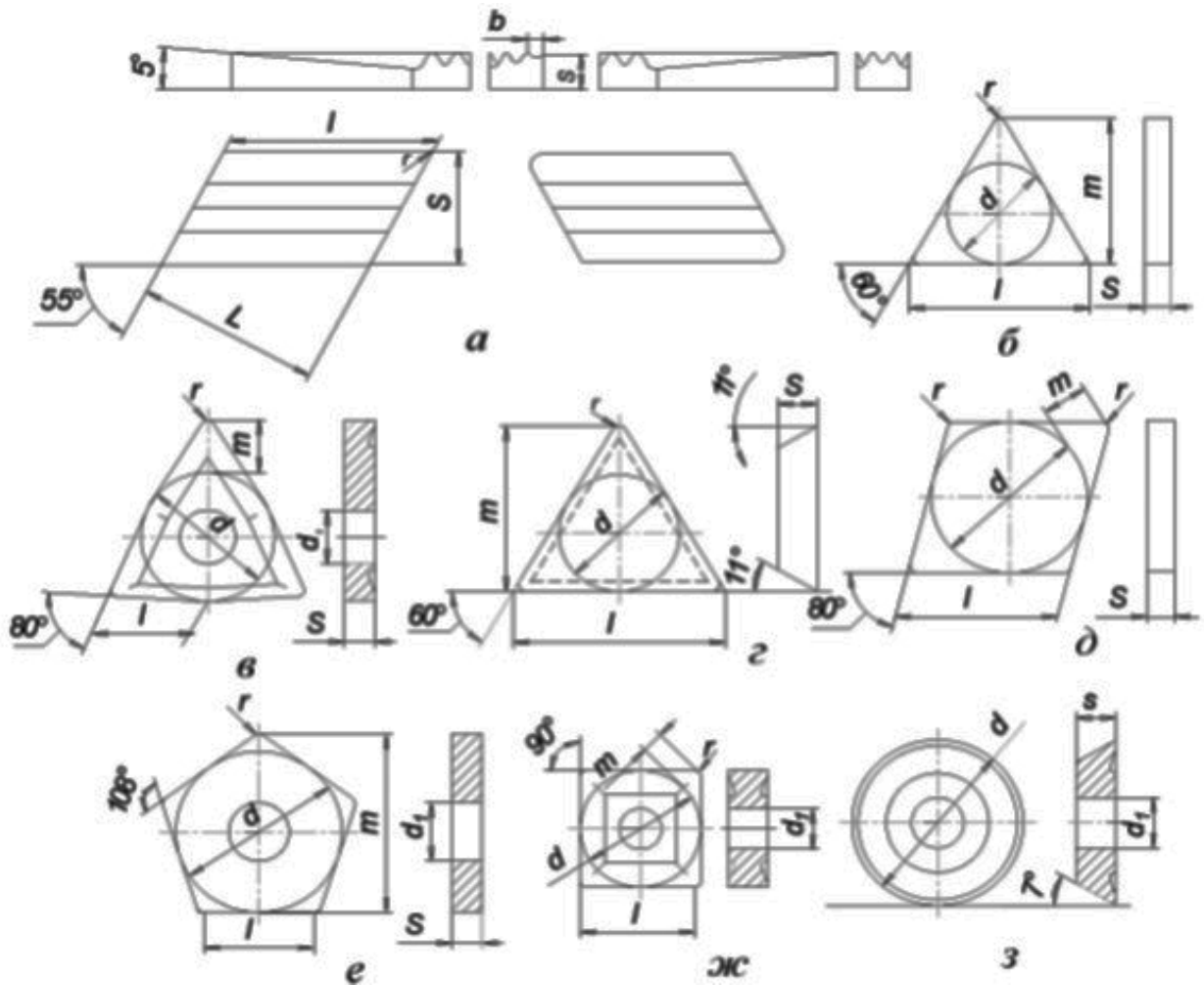


Рисунок 1.9 – Основні розміри змінних багатограних твердосплавних пластин

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

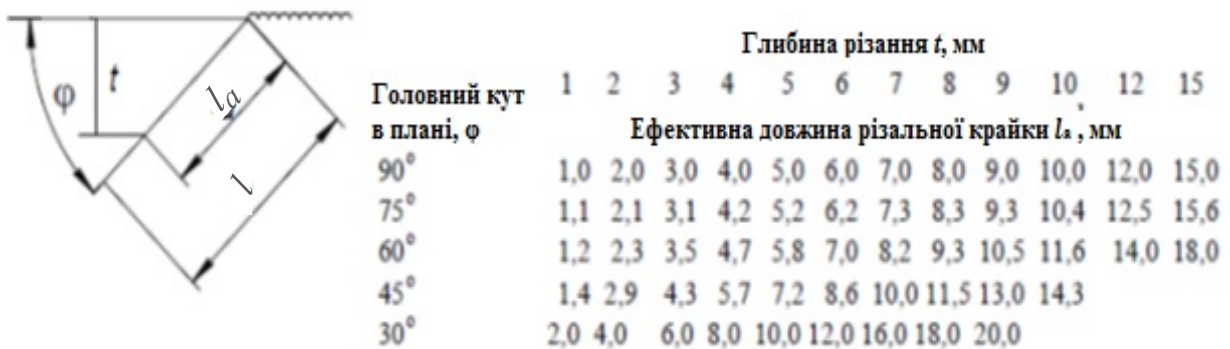


Рисунок 1.10 – Вибірвання ефективної довжини різальної крайки

Таблиця 1.5 – Співвідношення розмірів багатограних пластин

Форма пластини	$\varepsilon_n$ , 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.

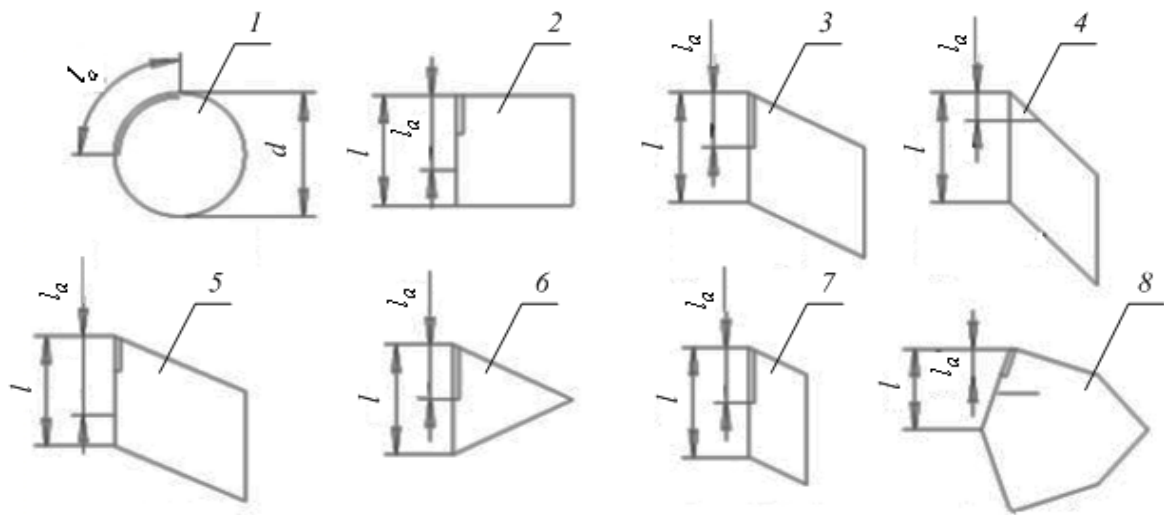


Рисунок 1.11 – Максимально припустимі значення довжини різальної пластини залежно від її форми:

$$1 - l_a = 0,4d; \quad 2 - l_a = 2/3l; \quad 3 - l_a = 1/2l; \quad 4 - l_a = 1/4l; \\ 5 - l_a = 2/3l; \quad 6 - l_a = 1/2l; \quad 7 - l_a = 1/2l; \quad 8 - l_a = 1/4l$$

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  $r_\epsilon$  (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 $r_\epsilon$ , 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.

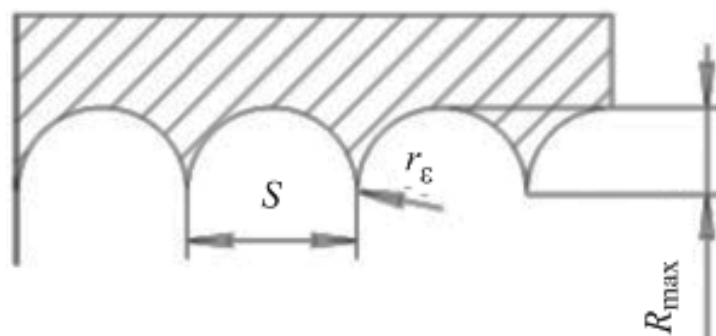


Рисунок 1.12 – Визначення шорсткості поверхні:  $R_{\max} = \frac{S^2}{8r_\epsilon} 1000$  мкм

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.

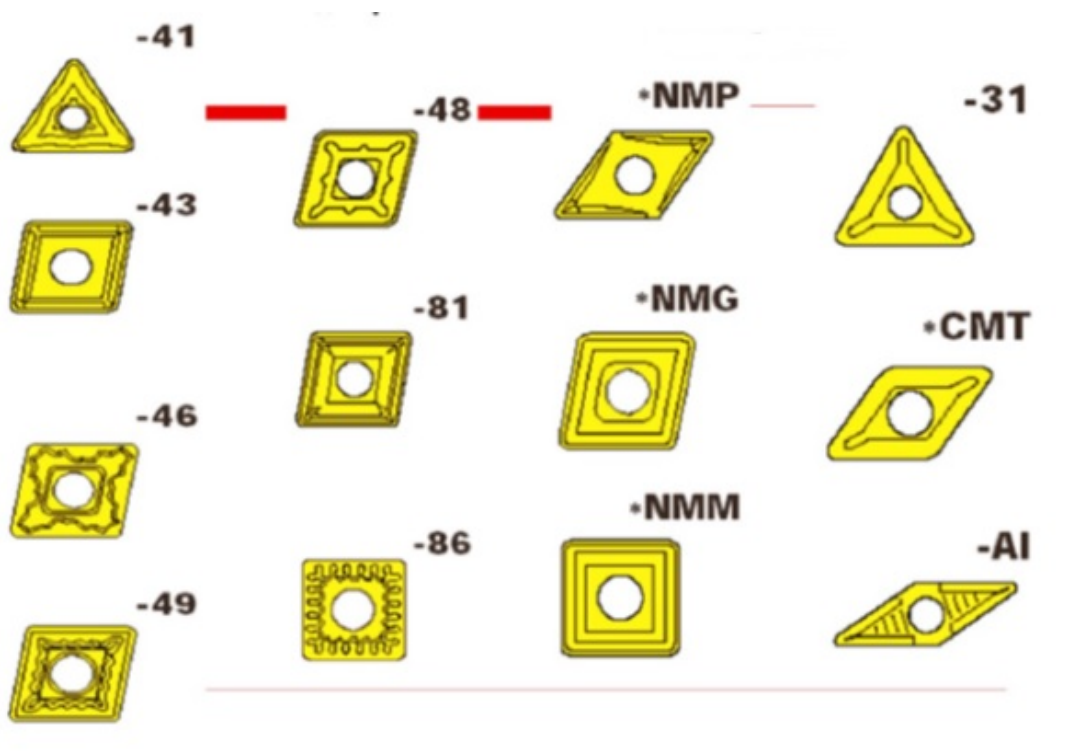


Рисунок 1.15 – Геометрії передніх поверхонь пластин, що випускаються ВАТ «Sandvik MKTC»

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.

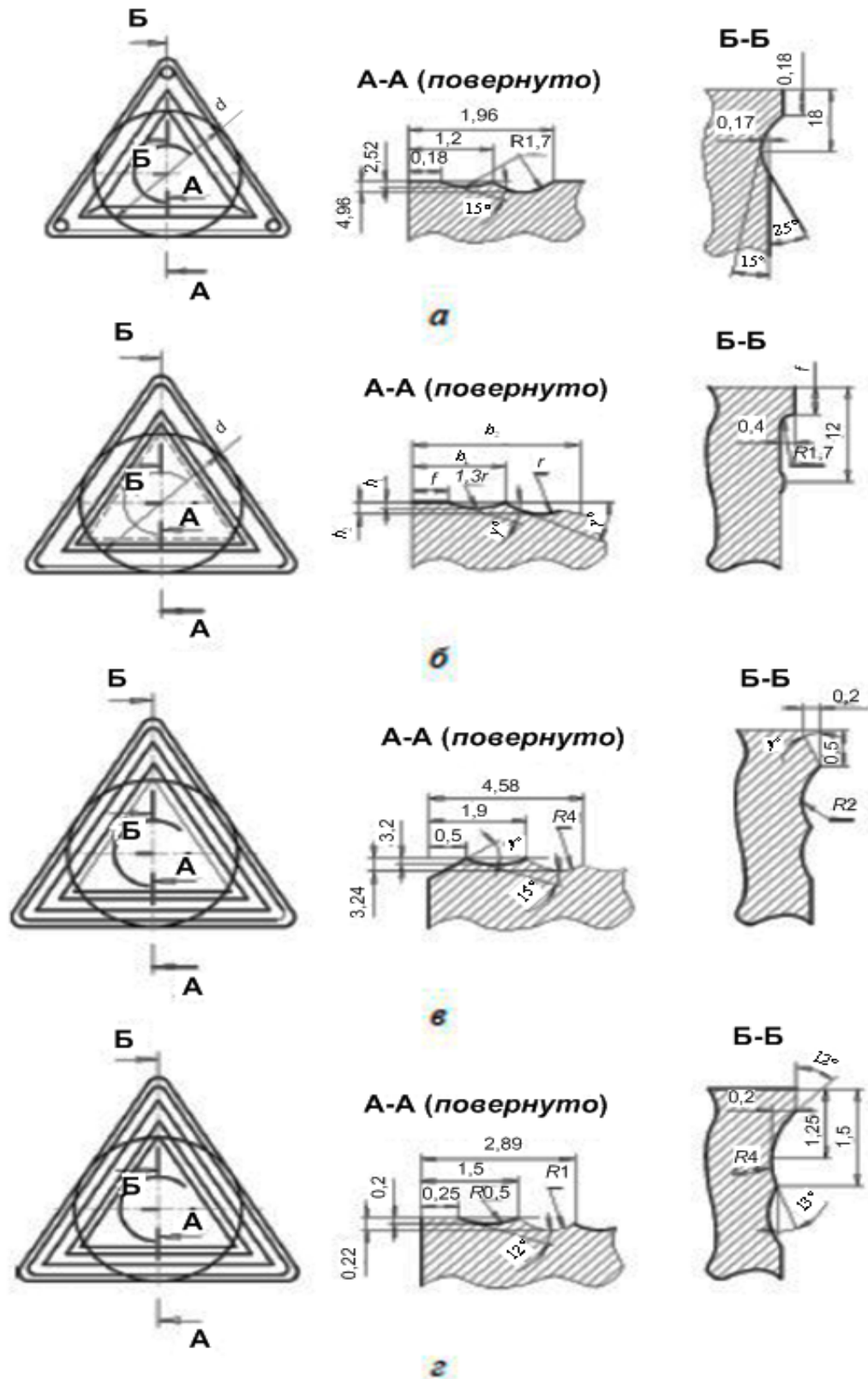


Рисунок 1.16 – Форми передніх поверхонь ЗПІ:  
*a* – при подачі до 0,25 мм/об; *б* – при подачі до 0,3 мм/об;  
*в* – для глибини різання до 8 мм і подачі до 0,4 мм/об;  
*г* – важкі умови оброблення (глибина до 15 мм, подача більша за 0,4 мм/об.)



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

- 41, 43 – двобічні з більшим додатнім переднім кутом  $\gamma$  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  $\gamma$  для чорнового оброблення;
- 81 – однобічна з більшим додатнім переднім кутом  $\gamma$  – для чорнового оброблення;
- 86 – однобічна з додатніми передніми кутами  $\gamma$  для чорнового оброблення при переривчастому різанні;
- NMP – двобічна з додатнім переднім кутом  $\gamma$  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.

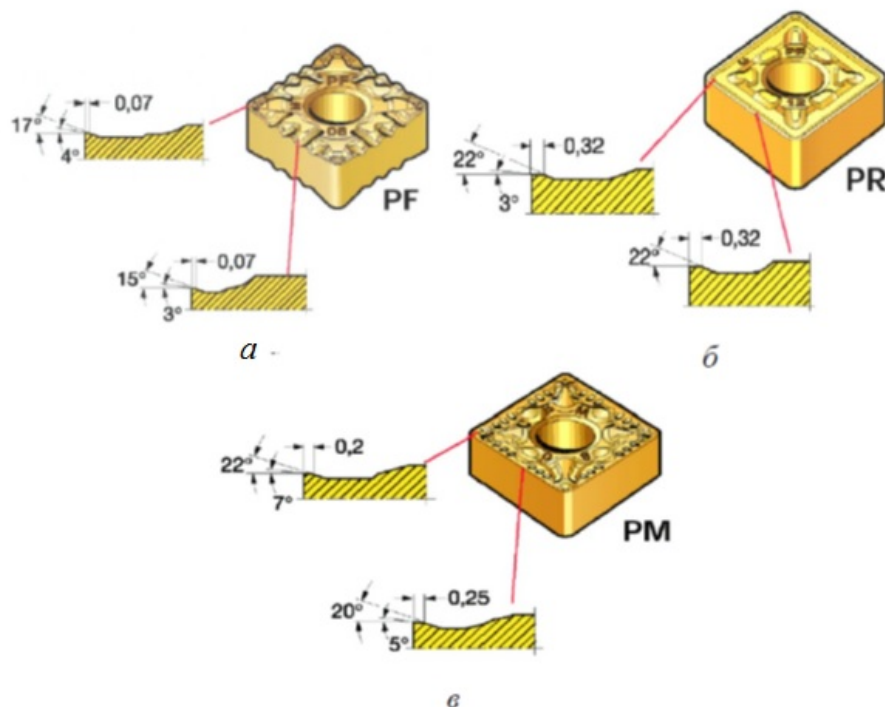


Рисунок 1.17 – Геометрії пластин:

- 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.

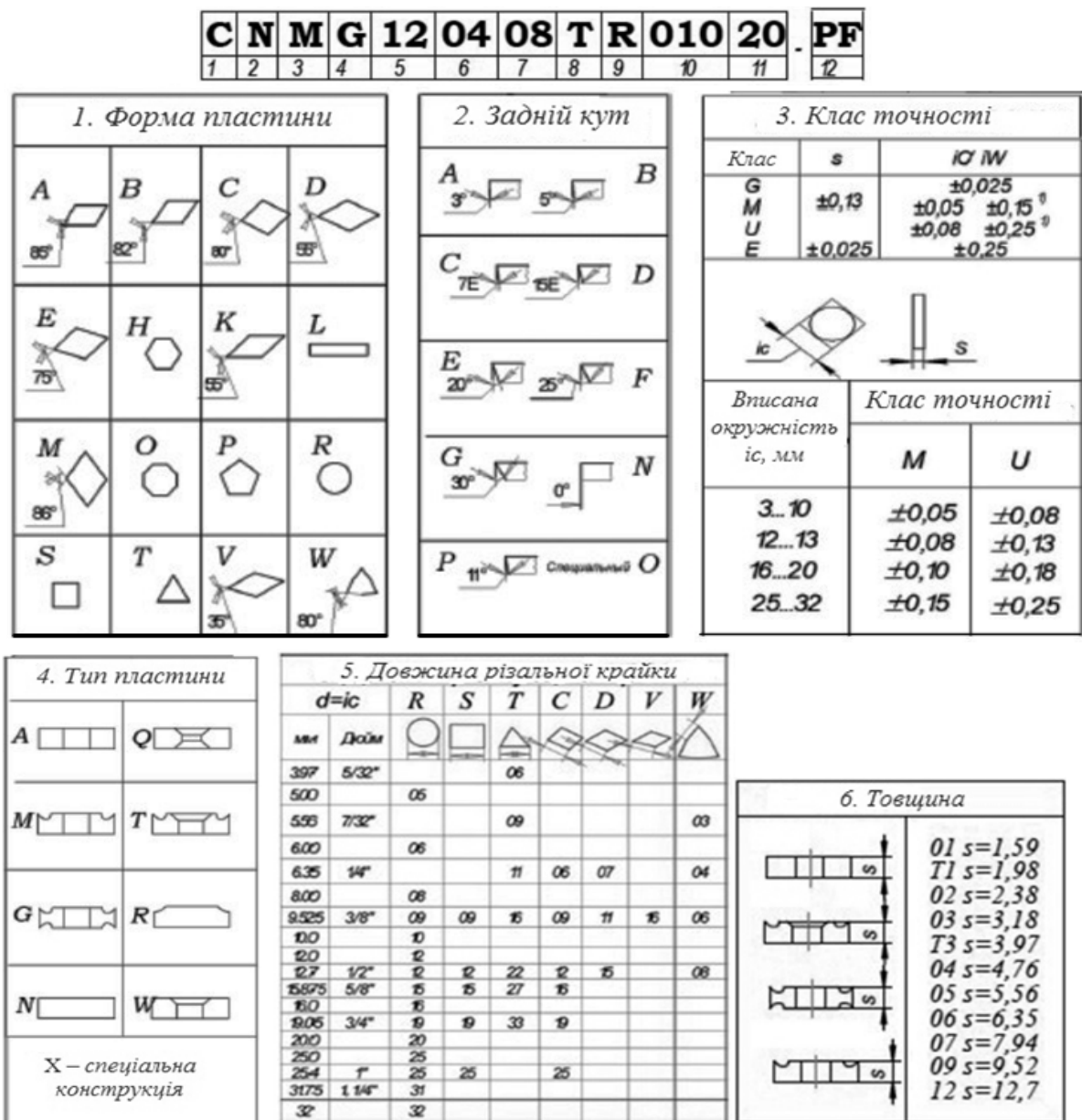


Рисунок 1.18 – Система позначення пластин (початок)

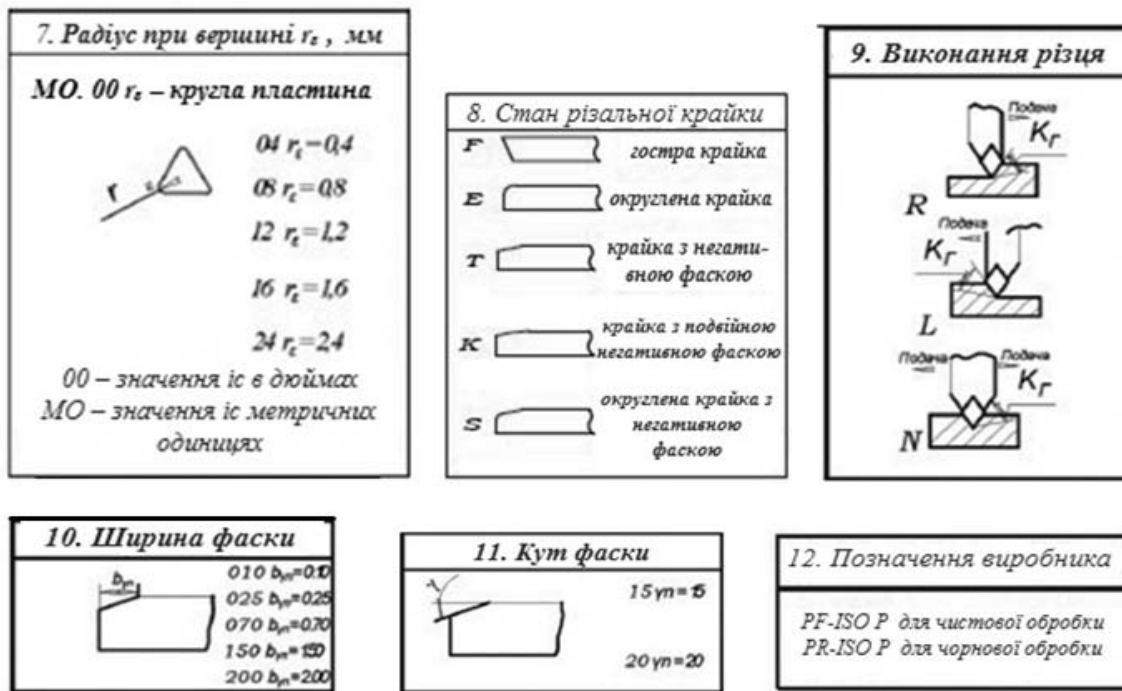


Рисунок 1.18 – Система позначення пластин (кінець)

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
<b>P</b> Сталь	-43	-31	-46	*CMT	-49	*CMT	-86	–
<b>M</b> Нержавіюча сталь	-43/-46	-31	-46	*CMT	-49	*CMT	-49	–
<b>K</b> Чугун	*NMA	*CMT	*NMA	*CMT	*NMA	*CMT	*NMA	*CMT
<b>N</b> Кольорові метали	*NMP	-AI	*NMP	-AI	*NMP	-AI	*NMP	-AI
<b>S</b> Жароміцні та титанові сплави	*NMP	-31	*NMP	-31	*NMP	–	*NMP	–
<b>H</b> 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	Межа міцності при вигині $\sigma_B$ , МПа	
Нормальної теплостійкості			
P18, P6M5, P8M3, P9M4, 10P6M5	600...620	3000...3700	Для виготовлення універсального інструменту при оброблянні конструкційних матеріалів з $\sigma_B < 800$ МПа
Підвищеної теплостійкості кобальтові та ванадієві			
P9K5, P9K10, P6M5K5, P9Ф5, P12Ф3, P6M5Ф3, 11P3M3Ф2	630...640	2500...3000	Оброблення конструкційних матеріалів з $\sigma_B > 800$ 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		
		C = 0,55...0,8 %	55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А, 80С		
	P10	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, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 14Х2Н3МА, 18Х2Н4МА, 20ХН2М, 15Н2М, 20Н2М, 15ХМ, 20ХМ, 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 20ХГР, 27ХГР, 20ХНР, 20ХГНР, 15ХГН2ТА, 20ХГНГР, 15Х2ГН2ТА, 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, 38ХГН, 30ХГСН2А, 30ХН2МА, 38Х2Н2МА, 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, 25Х2Н4МА, 20ХН4ФА, 45ХН2МФА, 20Х3ВМФ, 30Х3МФ, 38ХН3МФА, 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		
			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, Н10Х11М2Т, Н9Х12Д2ТБ, 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
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: Наунес-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, АС14ХН, АС19ХН, АС20ХНМ, АС30ХМ, АС38ХМ, АС40ХЕ, АС40ХНМ, АС30ХМ, АС38ХМ, АС40ХЕ, АС40ХНМ, 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
		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 перекриває 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 (Росія)	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	
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	КЗТС (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)	Kyocera (Японія)	Sumitomo (Японія)	Iscar (Ізраїль)	Dijet (Японія)	Mitsubishi Carbide (Японія)	Kannametal (США)	Tugaloy (Японія)
<b>Р</b>	P50	TP40AM		IC9350 IC8350 IC3028 IC330			KCM35 KCP40	
<b>М</b>	M01	AP10AT			JC5003	MC7015		T9115
	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 SH730 GH130 J740
	M40	BC35PT BP35AM TP40TT	PR1225	AC830P AC630M AC530U	IC3028 IC330	JC525X	MP7035 US735	KCM35 KCP40
<b>К</b>	K01	AP10AT	CA4505	AC405K AC410K AC415K	IC428 IC5005 IC4028 IC5010 IC8048 IC9150 IC8150	JC105V JC525X	MC5005 MC5015 UC5105 UC5115 MY5015 KCK05	T5105



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

Закінчення табл. 1.14

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 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 (Швеція)	Seco Tools (Швеція)	Korloy (Корея)	TeaguTec (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	B35						PB2	
	K50								
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)	Кусосера (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)	Кусоєра (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
ДОБРІ ○	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.		
<b>P</b>	01		
	10	CT15M	PT10
	20	CT25M	PT20
	30	CT35M	PT30
	40	CU45	PT40
	50		

Рисунок 1.19 – Вибір 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 виробниками для токарних робіт.

Мінералокерамічні тверді сплави (різальна кераміка) 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 (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>).

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 ЧПУ, 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		Обробл. загартованих сталей (до 55 HRC). H01 ... H10
BX360, BX340		Обробл. загартованих сталей (до 64 HRC). H10 ... H20
BX290, BX380		Обробл. загартованих сталей (до 65 HRC). H30
BX930, BX950		Обробл. жароміцних сталей та сплавів (S01 ... S20), чавунів (K01 ... K20)

Матеріал	Розміри полікристалів, мм	Області та групи використання
<b>Kennametal (США)</b>		
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
<b>Ceram Tec (Німеччина)</b>		
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
<b>Mitsubishi Carbide (Японія)</b>		
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, твердого сплаву. K01 ... K20, P10 ... P50 Обробл. теплостійких сплавів на основі Ni та Co і чугунів. S10 ... S20, K01 ... K20
<b>Dijet (Японія)</b>		
JBN330  JBN245 JBN795		Обробл. чавунів (K10 ... K20) та матеріалів підвищеної твердості (H01 ... H20) Обробл. матеріалів з підвищеною твердістю. H20 Обробл. чавунів. K01 ... K30
<b>De Beers Industrial Diamonds (Велика Британія)</b>		
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. Н10 та Н20, К10 та К20 Чистове обробл. сталей та м'яких чавунів. Н10, К01 Обробл. сталей (переривчасте пізання). Н20 Високошвидкісне обробл. сірих чавунів (переривчасте різання). К10 ... К20 Чорнове обробл. з важкими умовами сірого чавуну. К10 ... К20
Sandvik Coromant (Швеція)		
CB20 CB7020		Чистове обробл. загартованої сталі (переривчасте різання) та чавунів високої твердості. Н01 ... Н30
CB50 CB7050		Точіння чавунів та матеріалів високої твердості при важких умовах обробки. К01 ... К20, Н10 ... Н30
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 (Н01 ... Н10) Обробл. сірих чавунів з шаровидним графітом (К10 ... К20) та загартованих сталей (Н10 ... Н20) Обробл. чавунів (К30) та загартованих сталей. Н20 ... Н30 Обробл. сірих чавунів з шаровидним графітом (к01 ... К30) та загартованих сталей (Н10 ... Н20)

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
<b>Seco (Швеція)</b>		
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
<b>Toshiba (Японія)</b>		
DX180 DX160 DX140, DX120	Дрібне Середнє Велике	Обробл. кольорових сплавів. N01 ... N20 Обробл. кольорових сплавів. N10 Обробл. кольорових сплавів. N20
<b>Kyocera (Японія)</b>		
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
<b>Dijet (Японія)</b>		
JDA735 JDA745 JDA715		Обробл. алюмінію та сплавів на його основі. N01 Обробл. алюмінієвих сплавів. N10 Обробл. алюмінієвих сплавів. N20
<b>Kooyo (Південна Корея)</b>		
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
<b>WIDIA (Німеччина)</b>		
PD100		Обробл. кольорових металів, пластиків. N01 ... N30
<b>Iscar (Ізраїль)</b>		
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	
	$< 5$	$\geq 5$	$< 5$	$\geq 5$
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  $\phi$ ;
- 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  $90^\circ$  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;

$K_\phi$  – поправковий коефіцієнт, що враховує різницю кута в плані  $\phi$  (початкове значення рівне  $90^\circ$ ). Значення  $K_\phi$  залежно від  $\phi$ :

$\phi$	90	75	60	45	30,
$K_\phi$	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 шаро-видним 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 $\sigma_s$ , Н/мм <sup>2</sup>	Твердість по Вікерсу (HV)	Твердість по Бринелю (HB)	Твердість по Роквеллу (HRC)	Міцність $\sigma_s$ , Н/мм <sup>2</sup>	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  $K_\phi$  для головного кута в плані  $90^\circ$  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  $1 \text{ мм}^2$  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).  $K_{C0,4} = 2100 \text{ H/мм}^2$ .

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

$K_{p\phi}$	1	1,01	1,04	1,11	1,22,
$\phi$	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 <sup>2</sup>	Марки твердих сплавів			
						СТ15М			
Гр.	П/г					Подача $S$ , мм/об			
						0,1	0,4	0,8	
						Швидкість різання $V_{ш}$ , м/хв			
<b>Р</b>						<b>Нелеговані сталі</b>			
<b>Сталі</b>	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,  $N_{\text{вер}} = 10 \text{ кВт}$ ;  $\eta$  – 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.

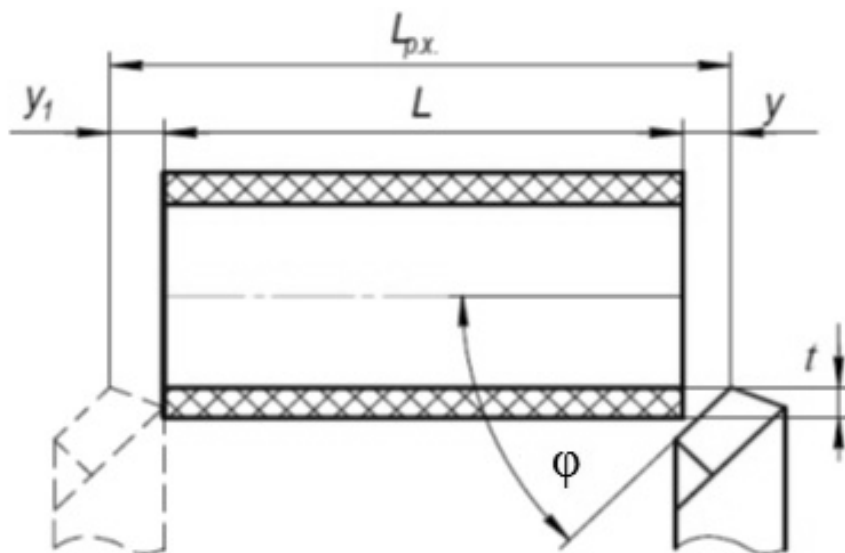


Рисунок 1.20 – Визначення довжини робочого ходу  $L_{\text{р.х}}$



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.

Вибирання 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. Вибирання 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 обробленні.

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.

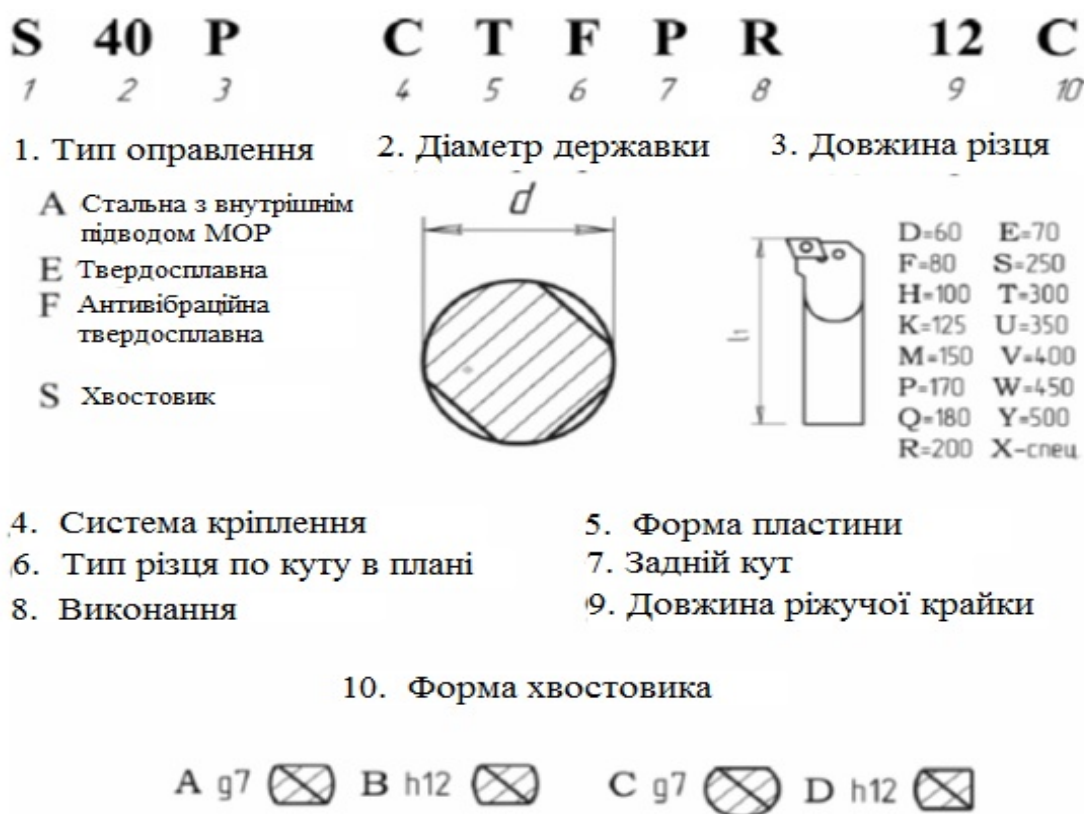


Рисунок 2.1 – Система позначення розточувальних різців

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.

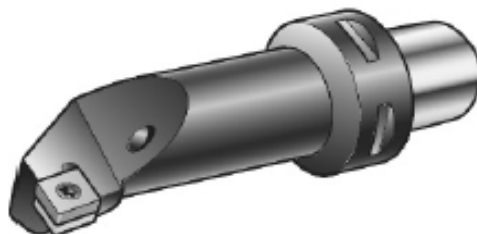






Рисунок 2.2 – З'єднання розточувального інструменту Coromant Capto

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 $\phi$ (град)					
	45	75	90	95	90	93
	•	•	•	•	•	•
				•		•
	$\beta^\circ$					
	75		•	•	•	•
	60		•	•	•	•
	45		•	•	•	•
	30	•	•	•	•	•
25	•	•	•	•	•	
	$\beta_{\text{max}}$	37	17	22	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	 ε = 80°		S	S	S	P	P	P
5	F	D	 ε = 55°						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 <sub>1</sub> - довжина різця, мм	80	■						
	100		■					
	125	▨		■				
	150		▨		■			
	170			▨		■		
	180				▨		■	
	200					▨		■
	250						▨	
	300							▨
	350							
Варіант кріплення пластини (див. табл. 1.1.)	1	•	•	•	•			
	2			•	•	•	•	
	3			•	•	•		•
	5					•	•	•

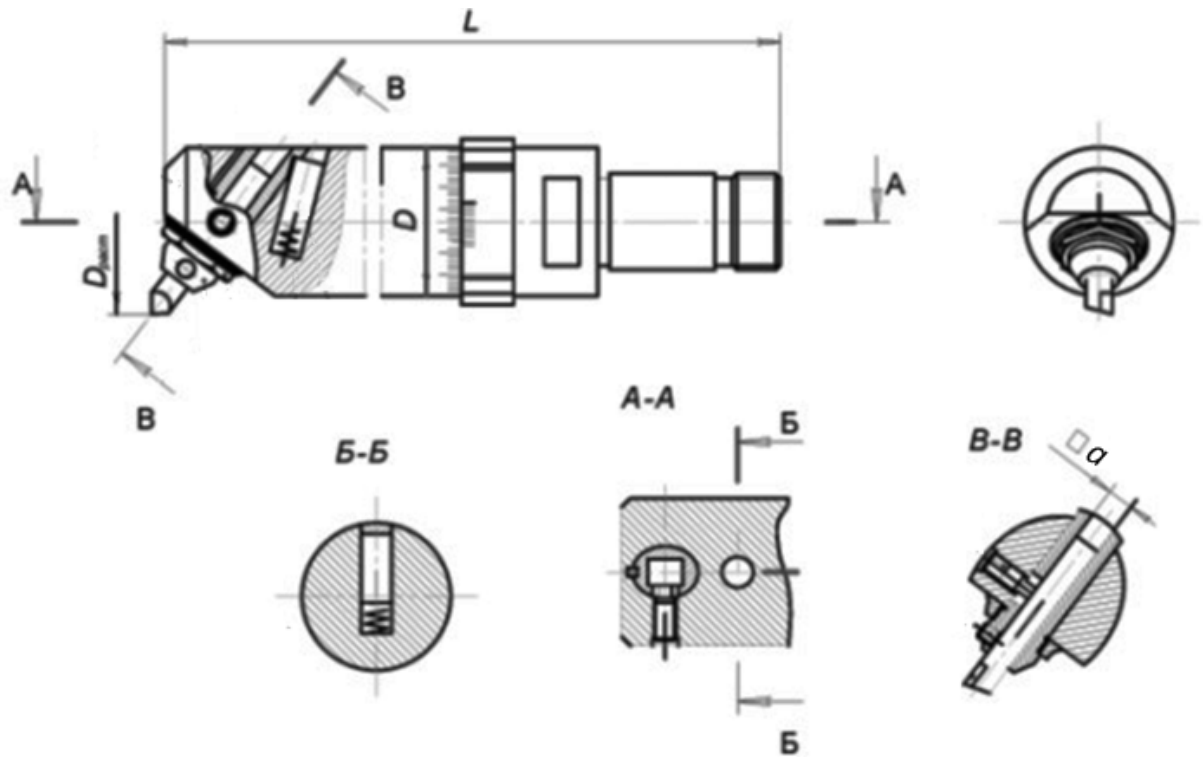


Рисунок 2.3 – Розточувальна вставка з мікроскопічним регулюванням вильоту різця

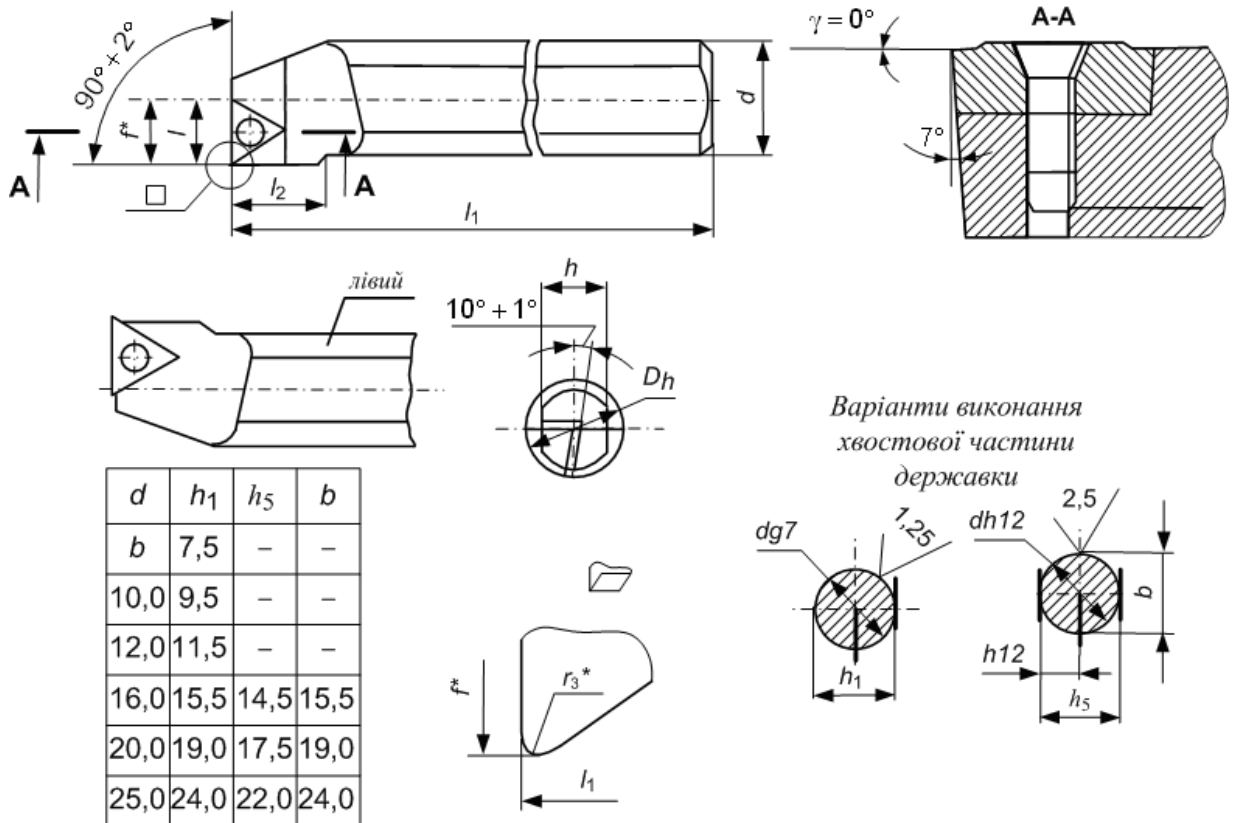


Рисунок 2.4 – Різець розточувальний із тригранною пластиною:

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  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  або  $90^\circ$ . Головка різця відповідно має кути в плані  $45^\circ$  або  $90^\circ$ .

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 ЧПУ та в автоматизованому виробництві. На рис. 2.5 наведено конструкцію чистової розточувальної головки та вставки до неї.

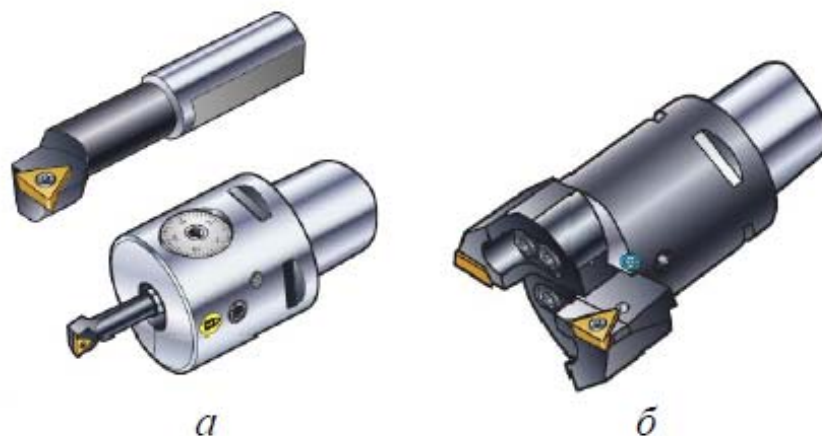


Рисунок 2.5 – Чистова розточувальна головка з різцем (а) і чорнова головка із двома різальними крайками (б)

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.

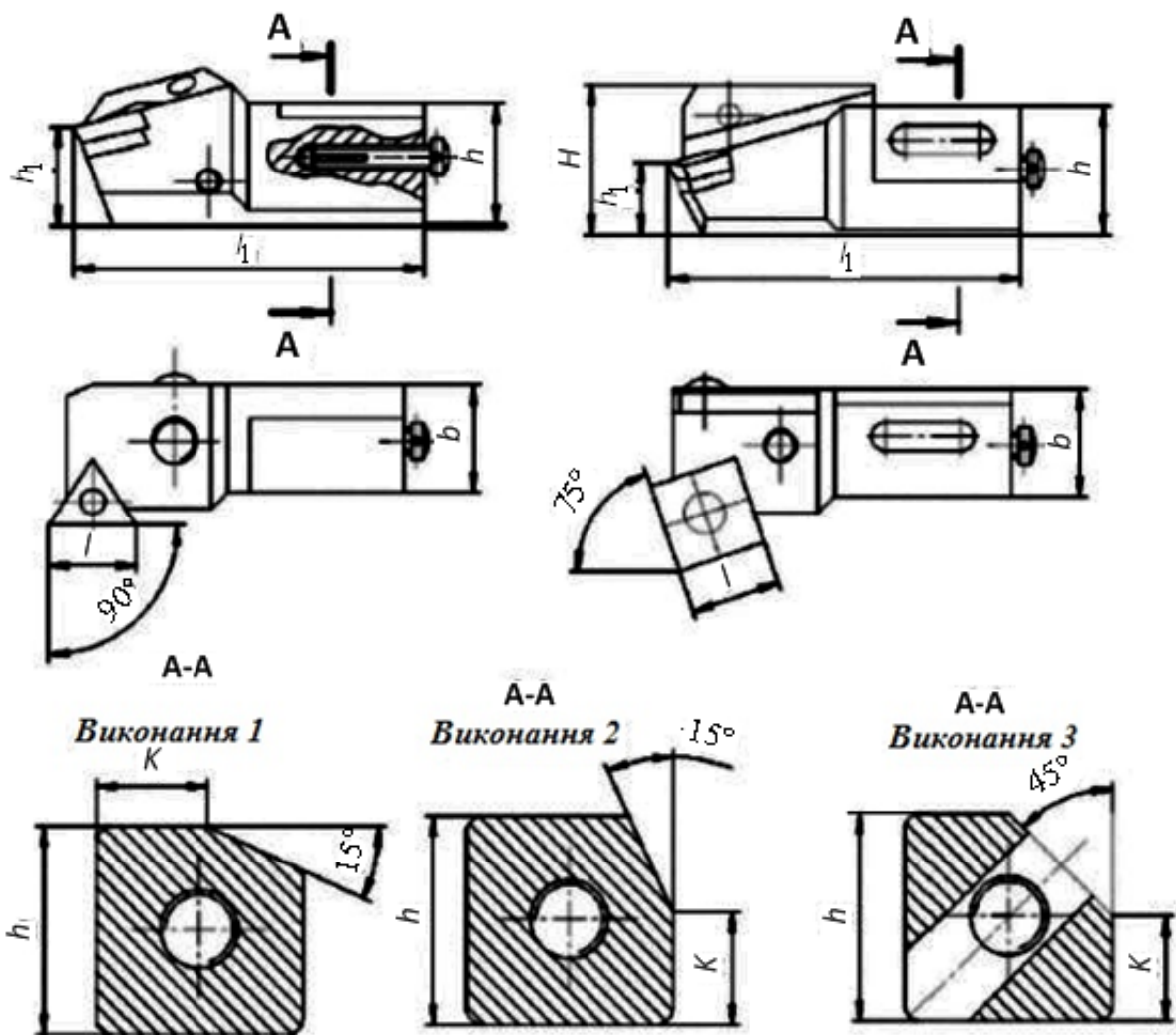
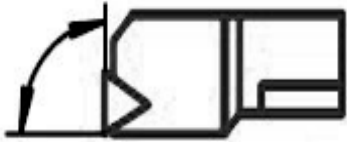
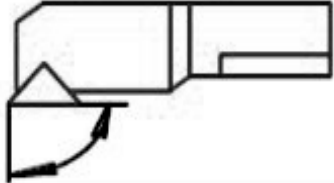
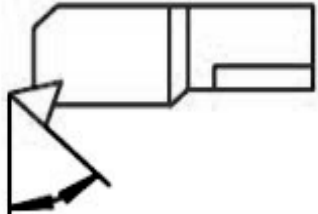
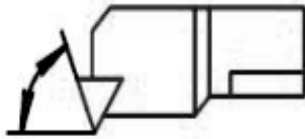
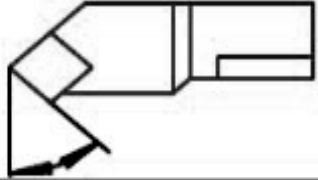

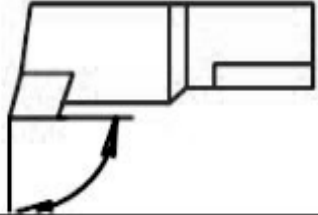
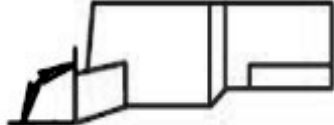






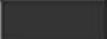




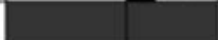


Рисунок 2.6 – Конструкція різцевих вставок



Таблиця 2.4 – Типи різцевих вставок, що серійно виготовляються

Тип вставки	Форма пластини	$\varphi^\circ$	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.

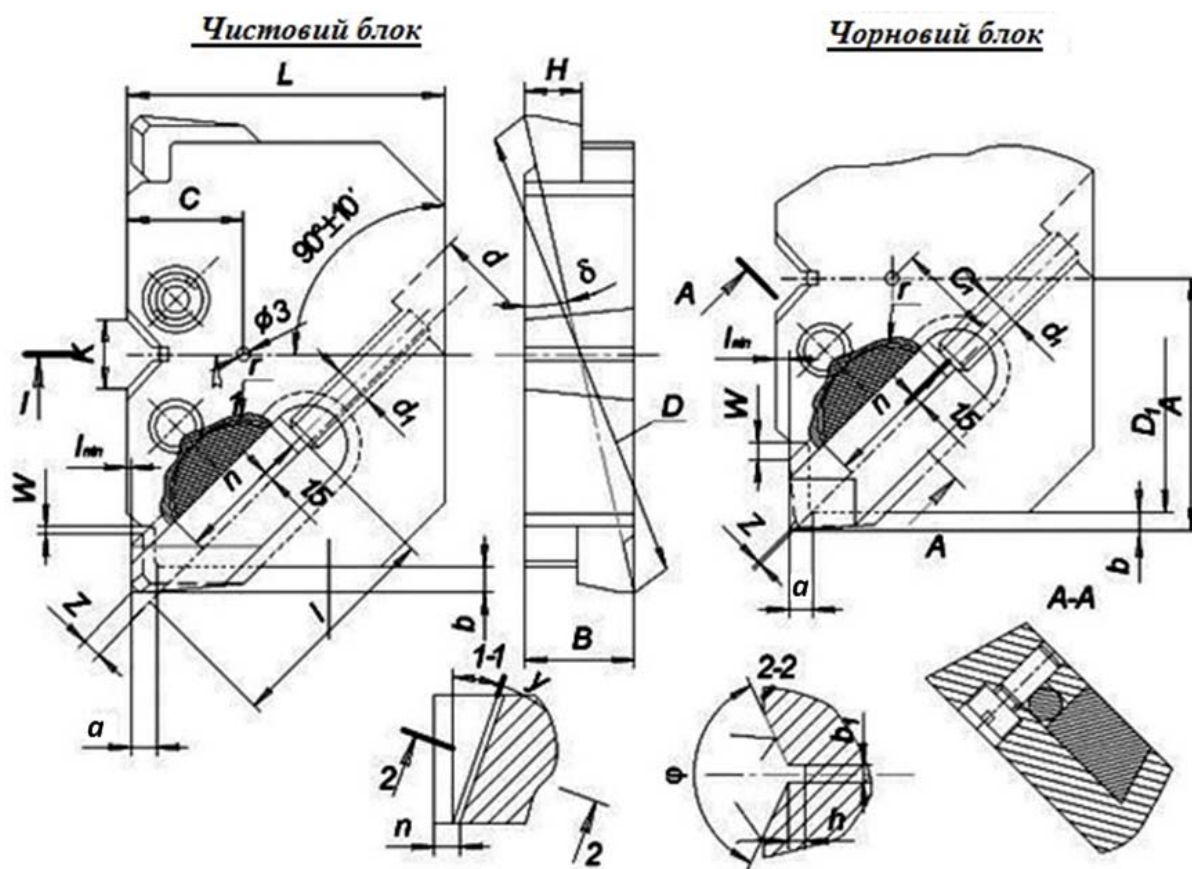


Рисунок 2.7 – Збірні дворізцеві пластинчасті розточувальні блоки

## 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, STFNR/L, SDUCR/L із задніми кутами й система із пластин CSKPR/L, CTFNR/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
<b>Чистова</b>	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
<b>Напівчистова</b>	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
<b>Чорнова</b>	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.

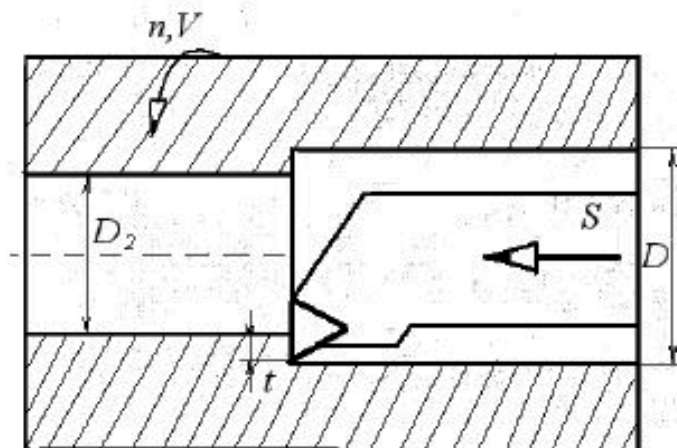


Рисунок 2.8 – Елементи режиму різання при розточуванні

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).

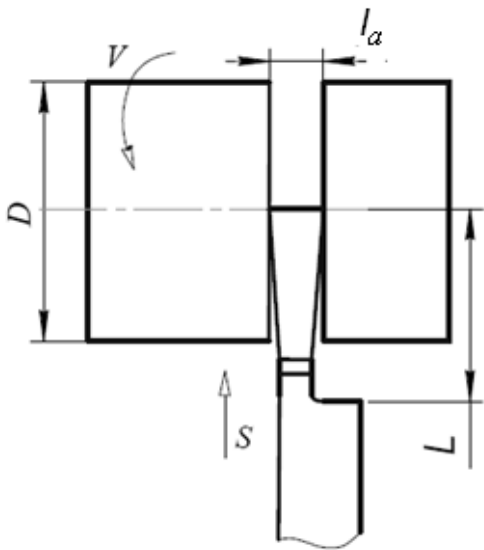


Рисунок 3.1 – Відрізання

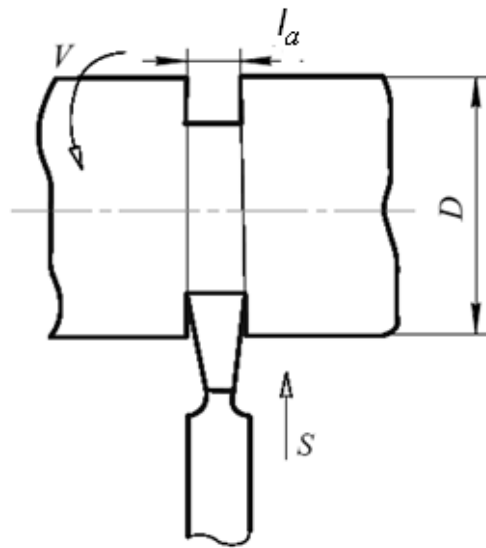
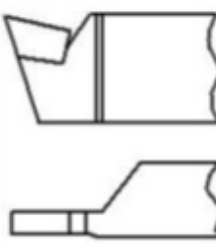
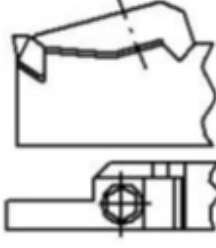
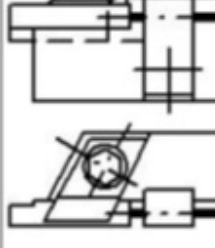
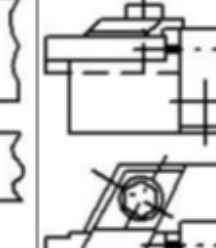
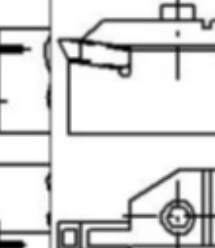


Рисунок 3.2 – Обробляння канавки

### 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.

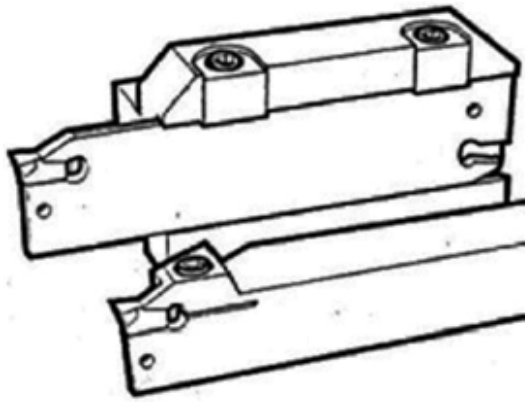


Рисунок 3.3 – Системи кріплення пластин:

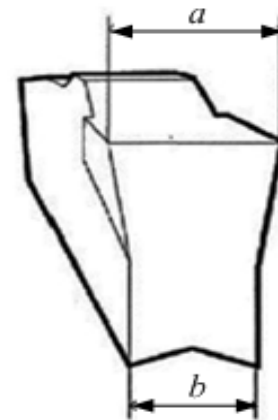


Рисунок 3.4 – Вибір ширини пластини

### 3. Головний кут у плані $\phi$ .

Різальні пластини залежно від головного кута в плані різняться за своїми властивостями. При використанні нейтральної  $N$  пластини з кутом у плані, що дорівнює  $90^\circ$ , 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).

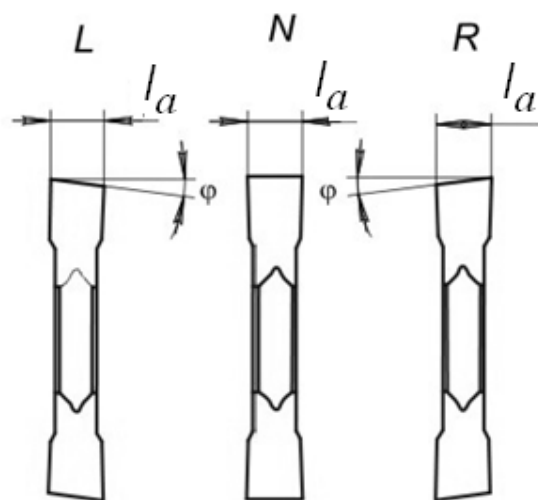


Рисунок 3.5 – Виконання пластин за головним кутом в плані



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 відрізання, 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 відрізання й оброблення 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 відрізання сталей, чавунів і переривчастім різанні.

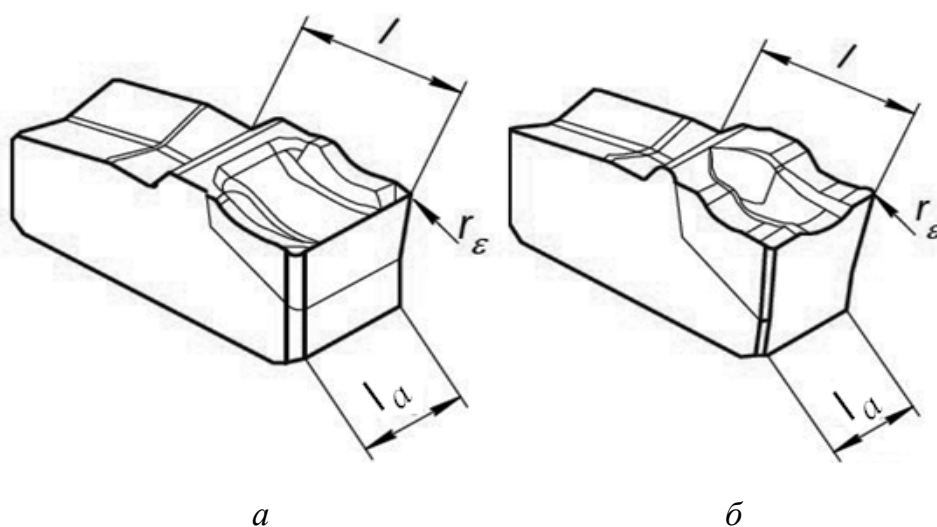


Рисунок 3.6 – Геометрія пластин: а – 4E; б – 5E

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  $0^\circ$  до  $20^\circ$ , 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.

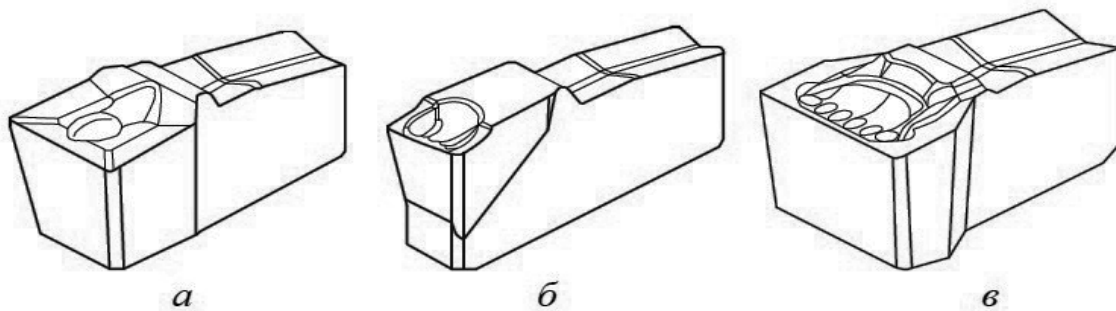


Рисунок 3.7 – Геометрія пластин: а – 4G; б – 5G; в – 6G

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 високосплавні	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 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 різання 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 $\sigma_B$ , МПа		Чавун $HB$	
	$\leq 800$	$> 800$	$\leq 180$	$> 180$
$\leq 3$	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 багатограними 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 багатограними 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).



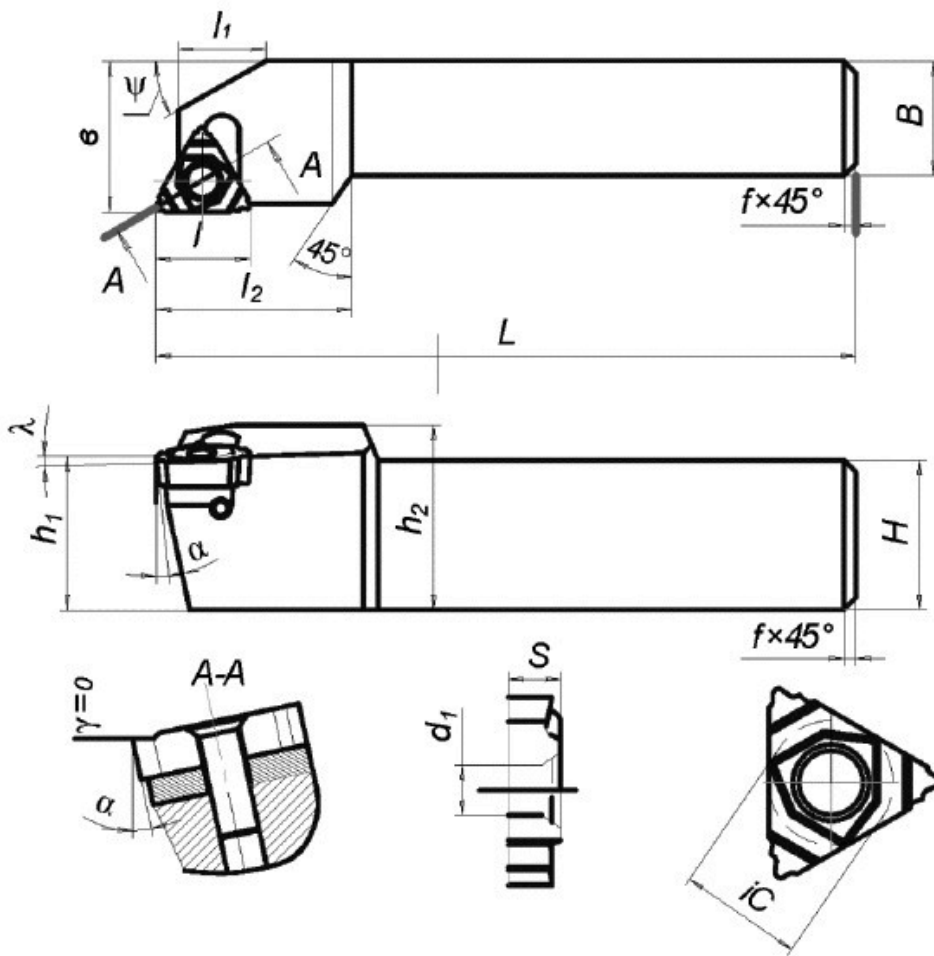


Рисунок 4.1 – Різбовий різець, оснащений змінною тригранною пластиною

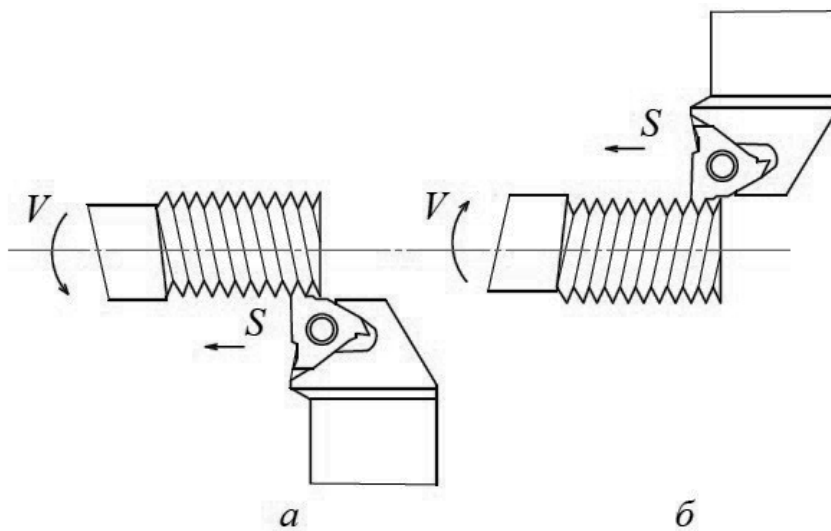


Рисунок 4.2 – Нарізання правої (а) і лівої (б) зовнішньої нарізі

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

- 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).

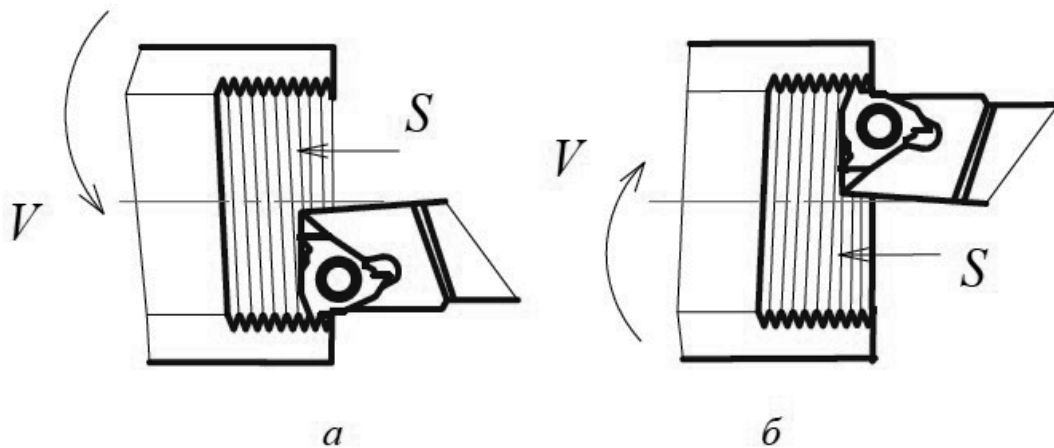


Рисунок 4.3 – Нарізання правої (а) і лівої (б) внутрішньої нарізи

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 нарізаня 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.

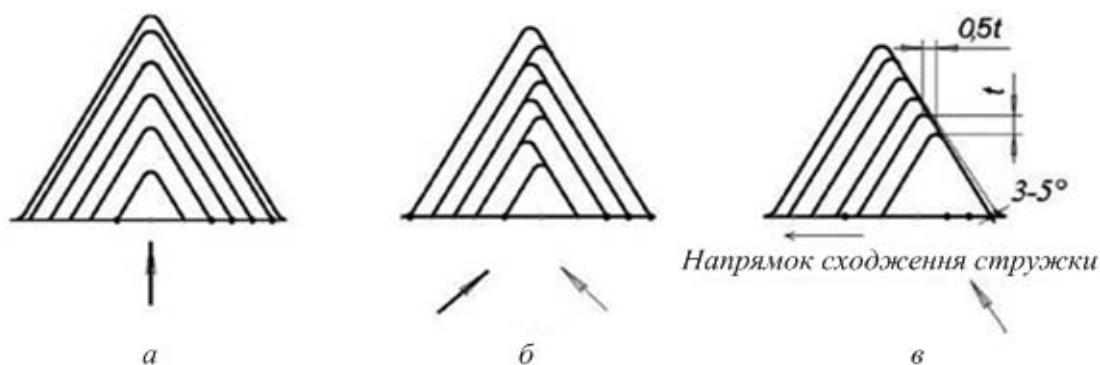


Рисунок 4.4 – Способи врізання пластин:  
*a* – радіальне; *б* – двостороннє бічне; *в* – одностороннє бічне

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 багатoverшинні (багатозубцеві) пластини (рис. 4.5 в).

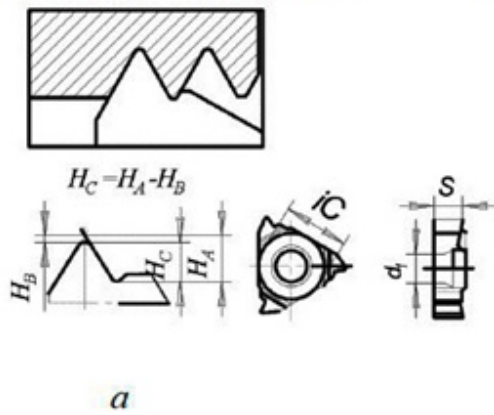
Вони мають два або більше зубців, що дозволяє зменшити кількість проходів, збільшити стійкість інструменту та продуктивність оброблення. Однак різці з повним профілем і багатозубцеві можуть нарізати різі тільки з однаковим кроком, у той час як V-образний профіль дозволяє нарізати різі з різними кроками. 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.

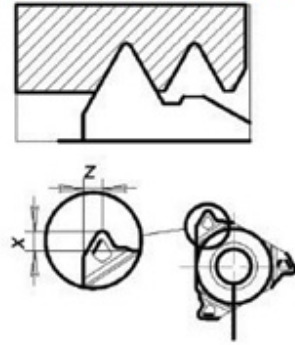
Для забезпечення достатньої величини задніх кутів при оброблянні кут нахилу різальної пластини  $\lambda$  повинен відповідати куту підйому гвинтової лінії  $\tau$  (рис. 4.7) і ухвалюється таким, що дорівнює:  $-2^\circ, -1^\circ, 0^\circ, +1^\circ, +2^\circ, +3^\circ, +4^\circ$ . Це досягається шляхом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

Пластини з повним профілем



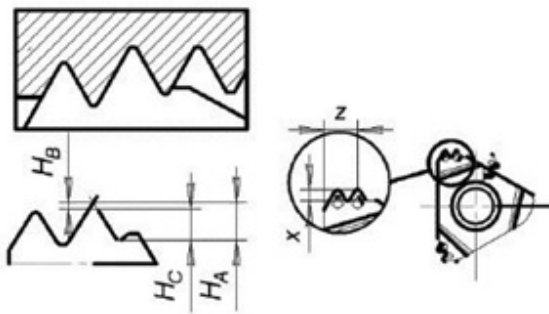
a

Пластини з неповним профілем



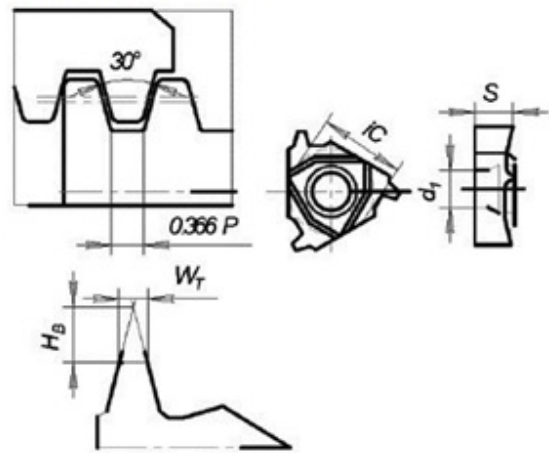
б

Багатозубцева пластина



в

Трапецеїдальна 30°



г

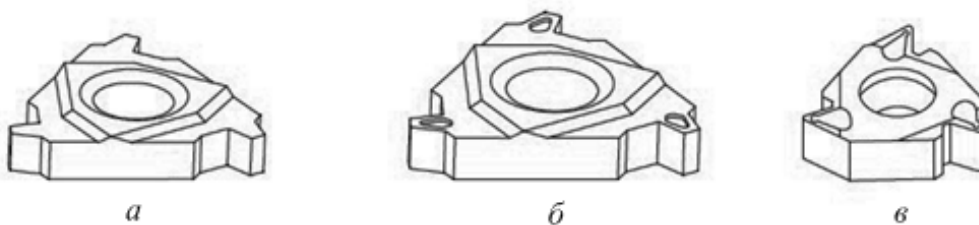


Рисунок 4.6 – Геометрія різбових пластин:  
a – геометрія F; б – стандартна геометрія; в – геометрія С

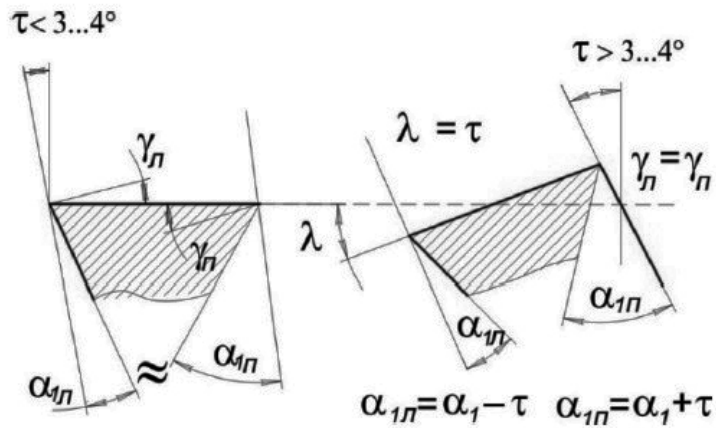


Рисунок 4.7 – Кути підйому різи та нахилу різальної пластини

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.

<b>16</b>	<b>E</b>	<b>R</b>	-	<b>150</b>	<b>MMO</b>	<b>1</b>														
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>VWO</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>VWO</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>VWO</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



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

Групи 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 різенарізанні

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

Остаточно 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;  $\Delta a_p$  – глибина врізання за прохід;  $a_p$  – загальна глибина врізання;  $\varphi$  – 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 нарізь 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 різанні:

- 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, використovanого 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 ЧПУ 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.

Спиральне 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 ЧПУ й оброблювальні центри.

Таблиця 5.1 – Области застосування різних свердл

Вид свердла	Діаметр отвору $D$ , мм	$l/D$ ( $l$ – глибина свердління)	Шорсткість $R_{a^*}$ 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  $80^\circ$  або  $84^\circ$ .

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

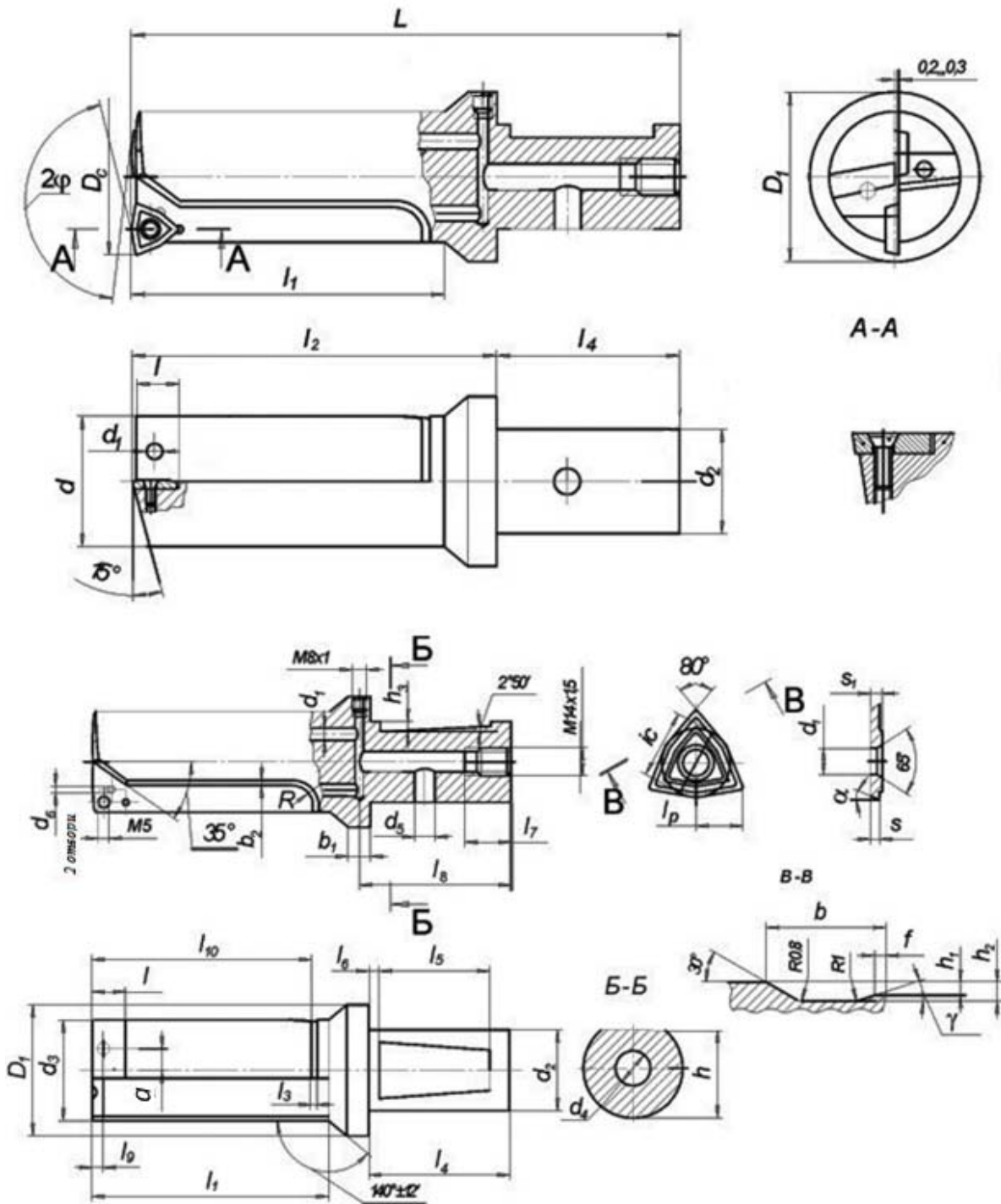


Рисунок 5.1 – Свердло з багатограними пластинами

## 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)	
<b>K</b>	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		
<b>N</b>	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			
<b>S</b>	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  $V_{ш.0}$  і подачі  $S_0$  для свердління матеріалів груп різання Р, М, К, N, S, Н 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 НВ.

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/мм<sup>2</sup>), 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 Р10.

Частота обертання шпинделя, об/хв, визначається як

$$n = \frac{1000V_{ш}}{\pi D},$$

де  $V_{ш}$  – дійсна швидкість різання,  $V_{ш} = V_{ш.0} K_{НВ}$ .

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;  $\eta$  – 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 <sup>2</sup>	Діапазон діаметрів свердління				Умови обробки	
				16... ...21	26... ...33	31... ...43	42... ...58	Важкі	Нормальні
П/г	Діапазон подач							$V_{\text{ш.0}}$	$V_{\text{ш.0}}$
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  $V_{\text{ш.о}} = 80 \dots 150$  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  $K_{\phi}$  для головного кута в плані  $90^\circ$  дорівнює 1,0. Ухвалюємо кут у плані свердла  $75^\circ$ , 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/мм<sup>2</sup> (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;  $\eta$  – 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.

Вибірання зенкера для інструментального оснащення операції зенкерування здійснюється покроково:

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

### 5.2.1. Вибірання 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.

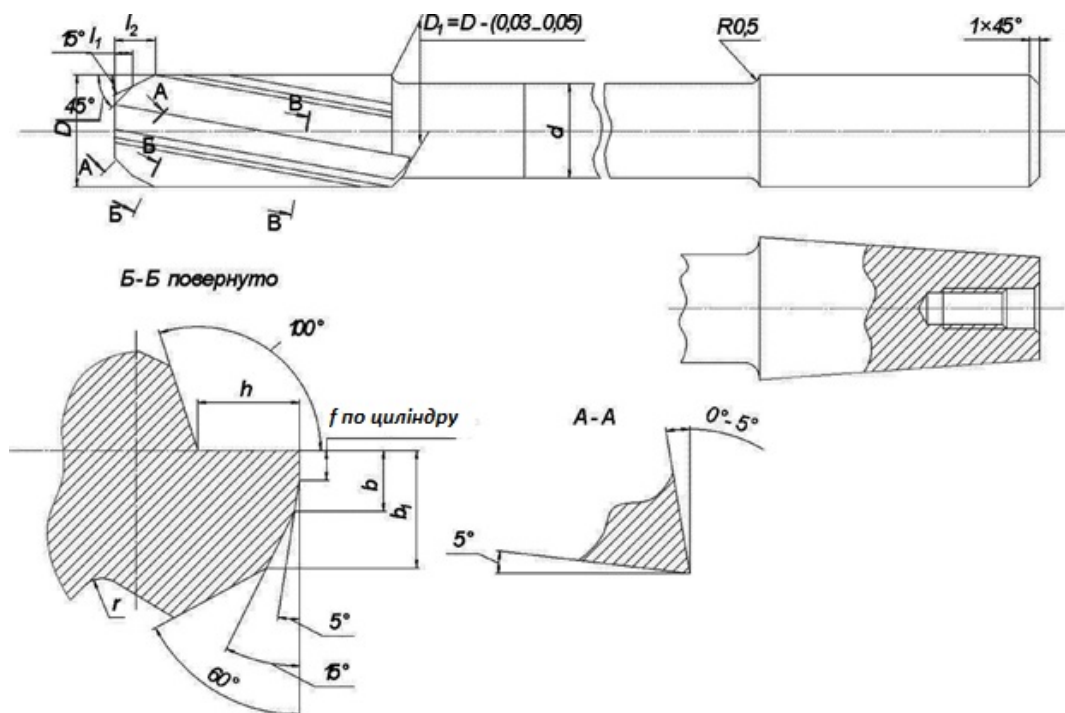


Рисунок 5.2 – Зенкер цільний твердосплавний

### 5.2.2. Вибірання геометрії й інструментального матеріалу зенкера

Геометрія різальної частини зенкера може бути визначена тими ж параметрами (кутами  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\phi$ ,  $\alpha$  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  $\omega$  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.

Вибирання інструментального матеріалу різальної пластини здійснюється залежно від оброблюваного матеріалу й умов обробляння (див. підрозд. 5.1.2).

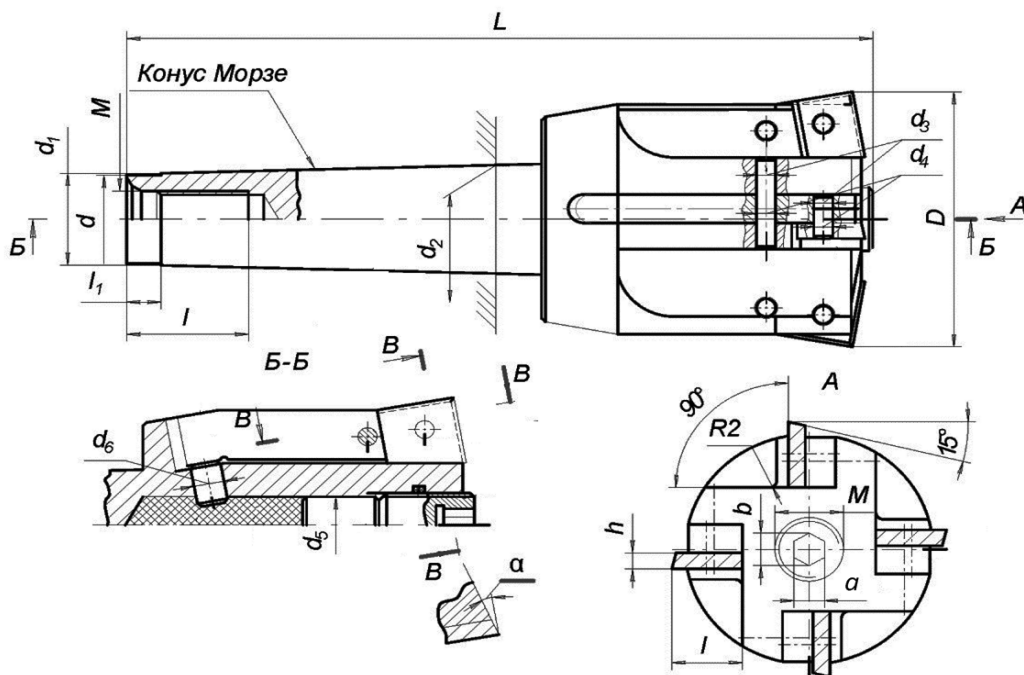


Рисунок 5.3 – Зенкер хвостовий, оснащений твердосплавними пластинами

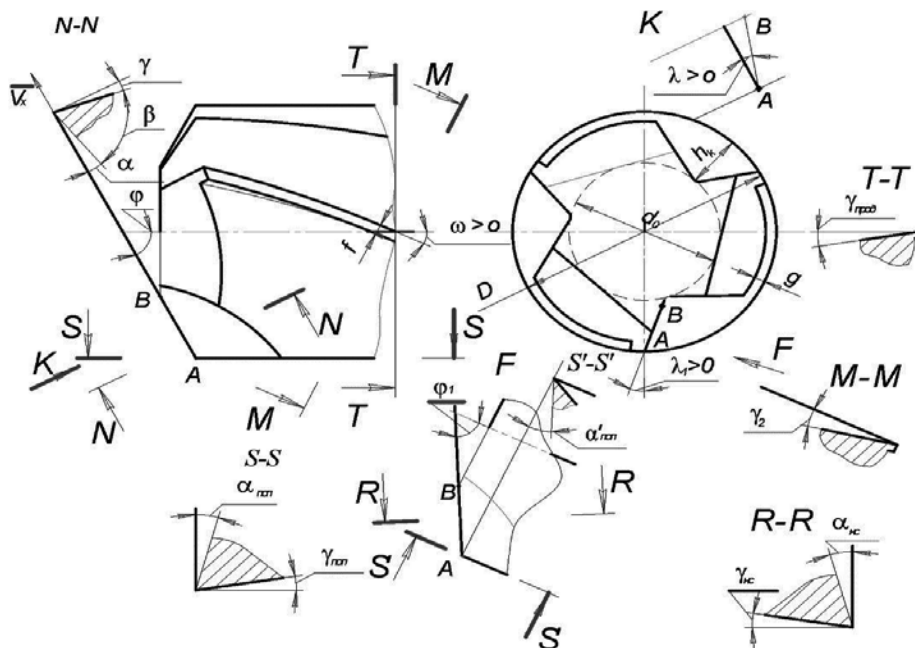


Рисунок 5.4 – Геометричні параметри зенкера

### 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, $D$ , 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).

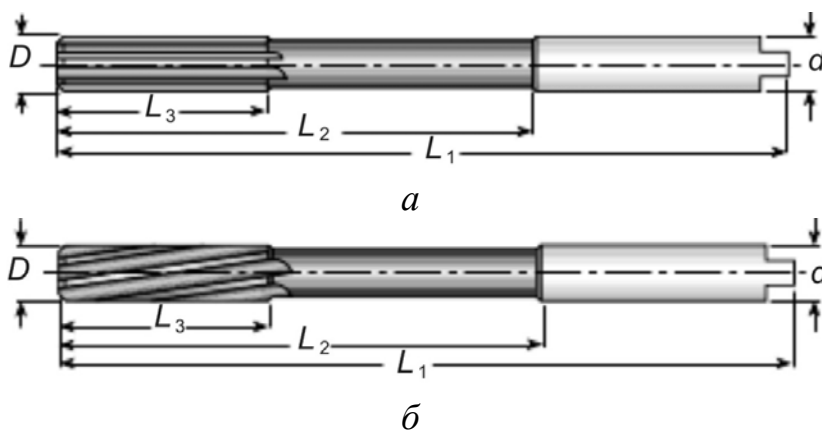


Рисунок 5.5 – Розвертка цільна твердосплавна з циліндричним хвостовиком із прямими канавками (а) і гвинтовими (б)

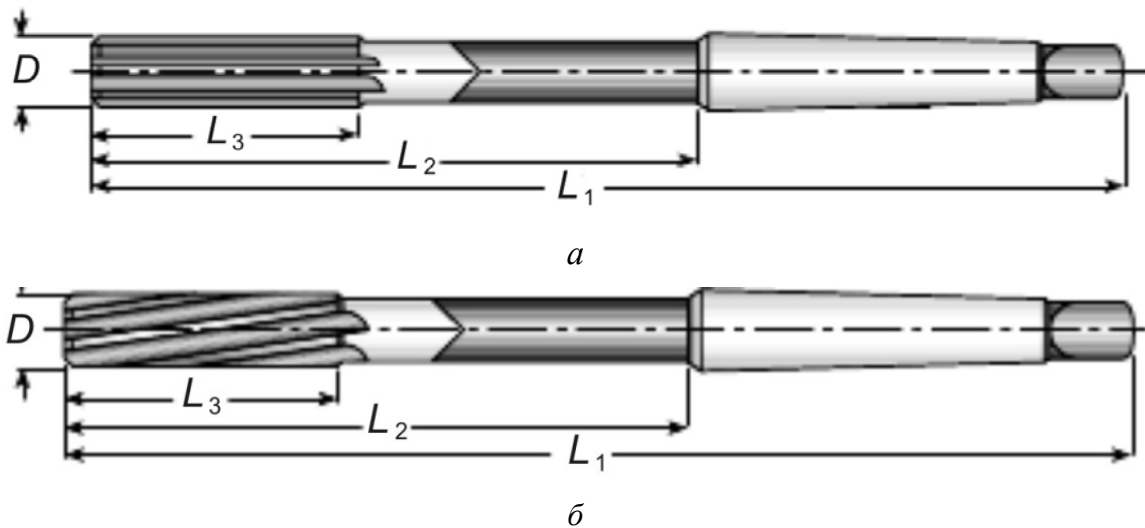


Рисунок 5.6 – Розвертка цільна твердосплавна з конічним хвостовиком із прямими канавками (а) та винтовими (б)

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).

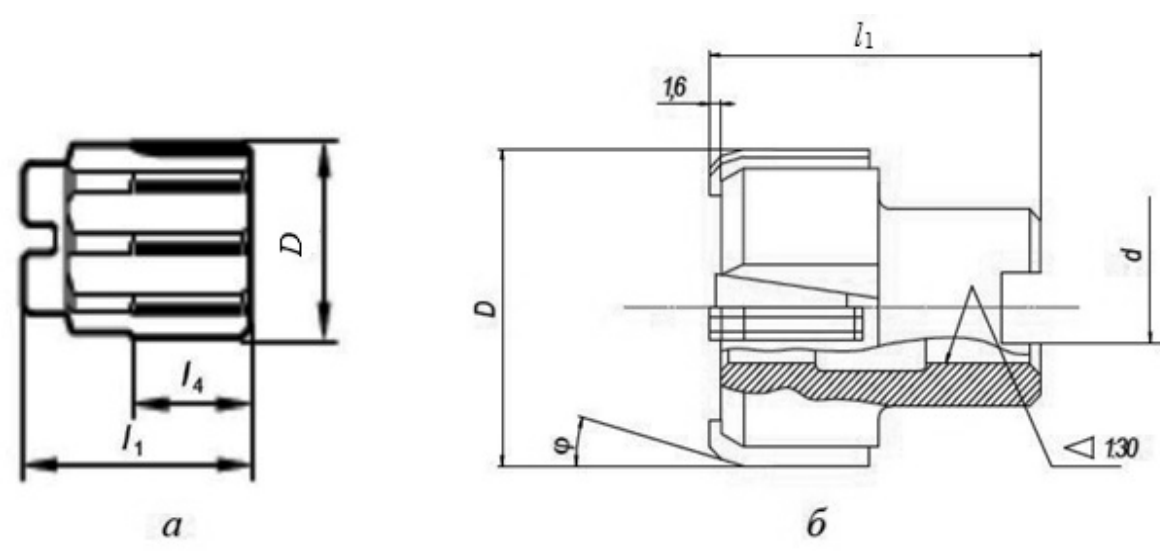


Рисунок 5.7 – Розвертка, оснащена твердим сплавом – насадна (а) і збірна (б)



### 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 ( $45^\circ$ ) 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.

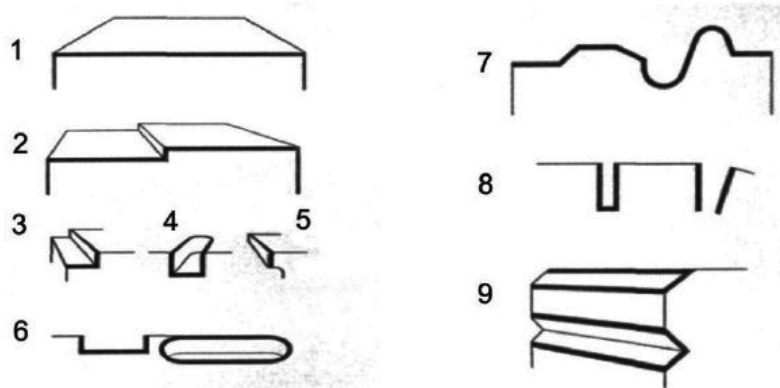


Рисунок 6.1 – Види поверхонь для фрезерування

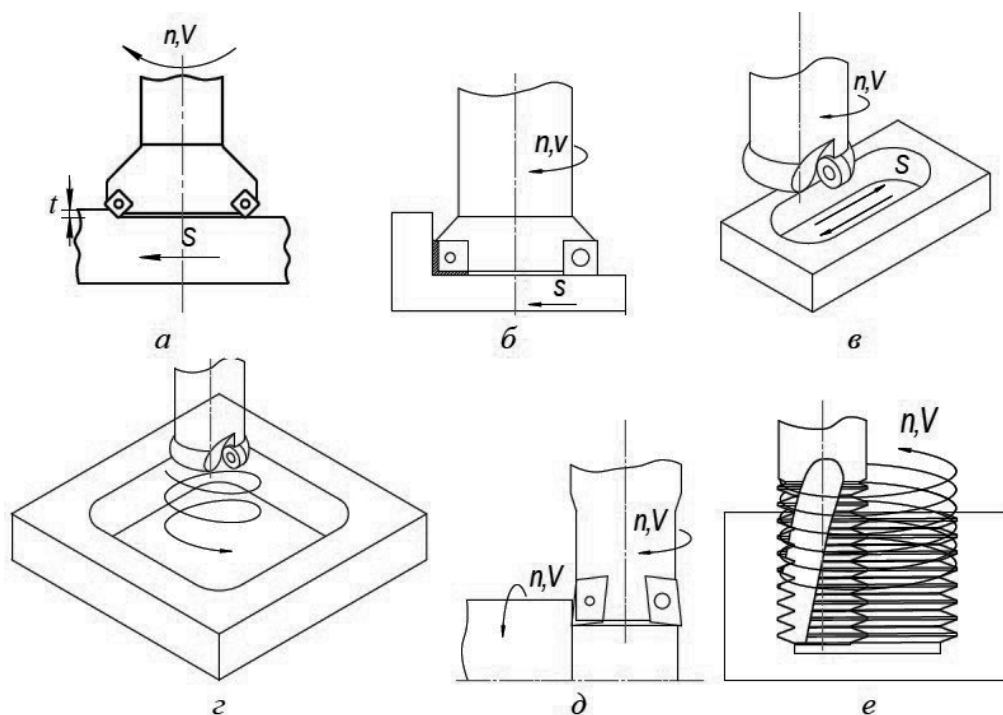


Рисунок 6.2 – Види фрезерних операцій:

*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.

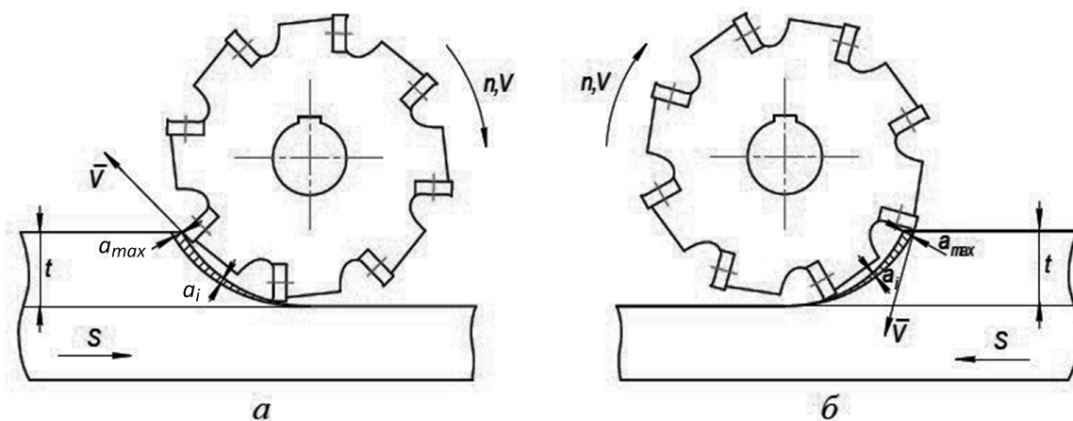


Рисунок 6.3 – Зустрічне (*a*) і попутне (*б*) фрезерування

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  $90^\circ$ .

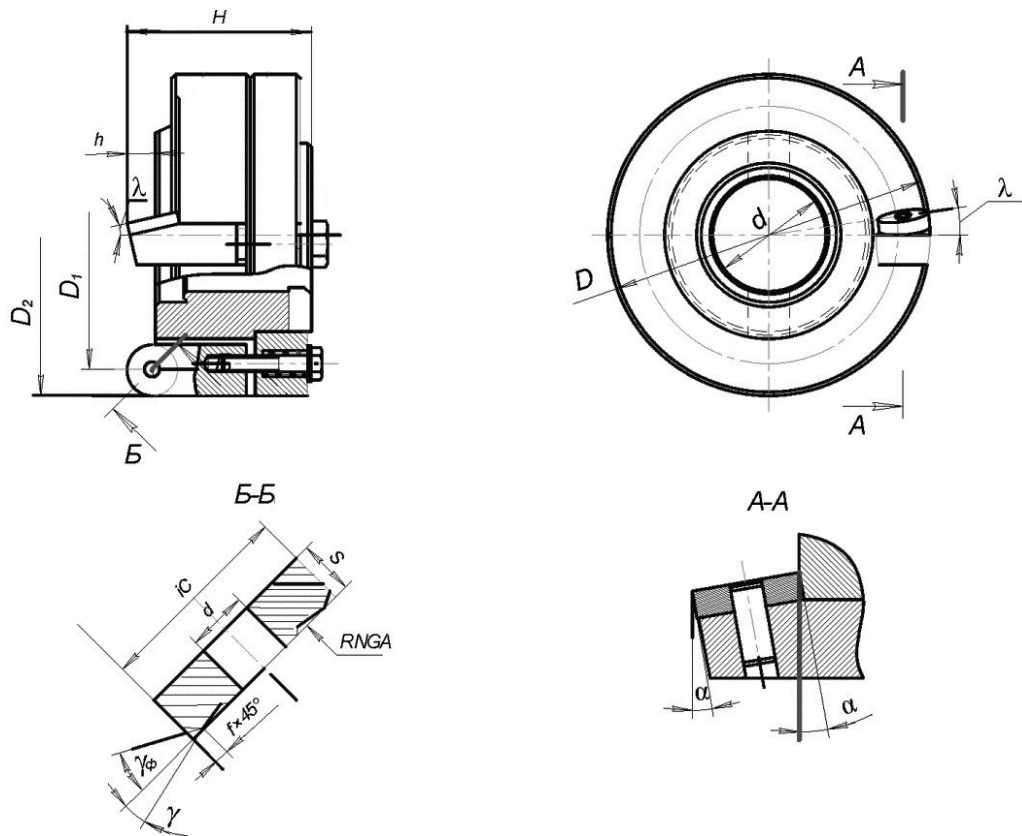


Рисунок 6.4 – Фреза торцева, оснащена твердосплавними ЗБП

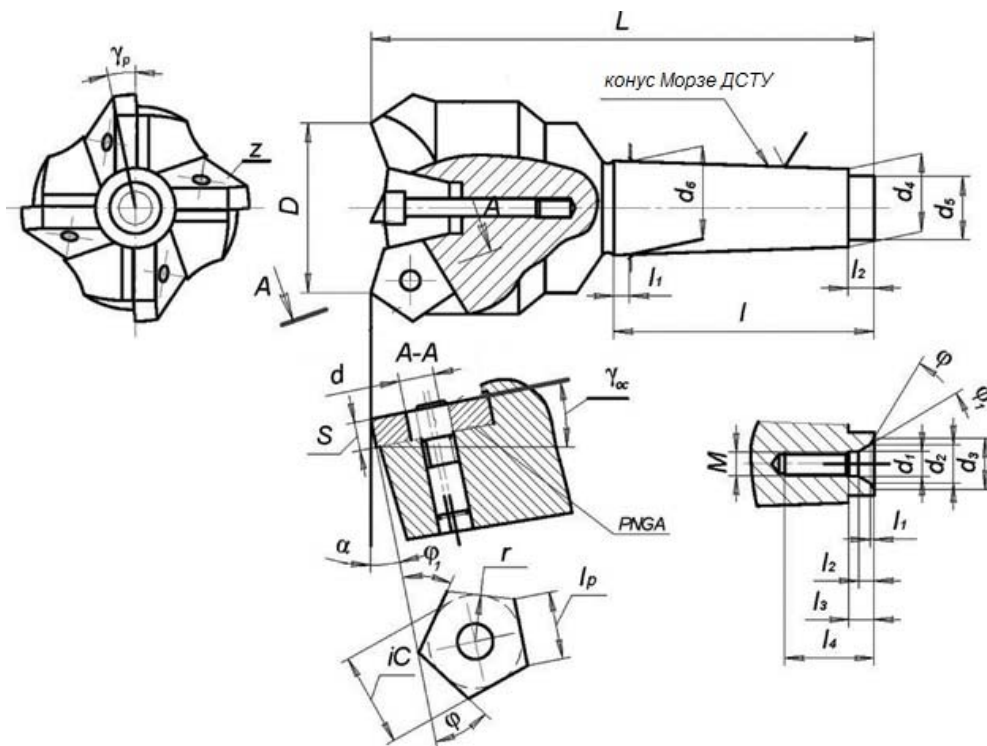


Рисунок 6.5 – Фреза кінцева, оснащена п'ятигранними твердосплавними пластинами

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  $180^\circ$ , 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:



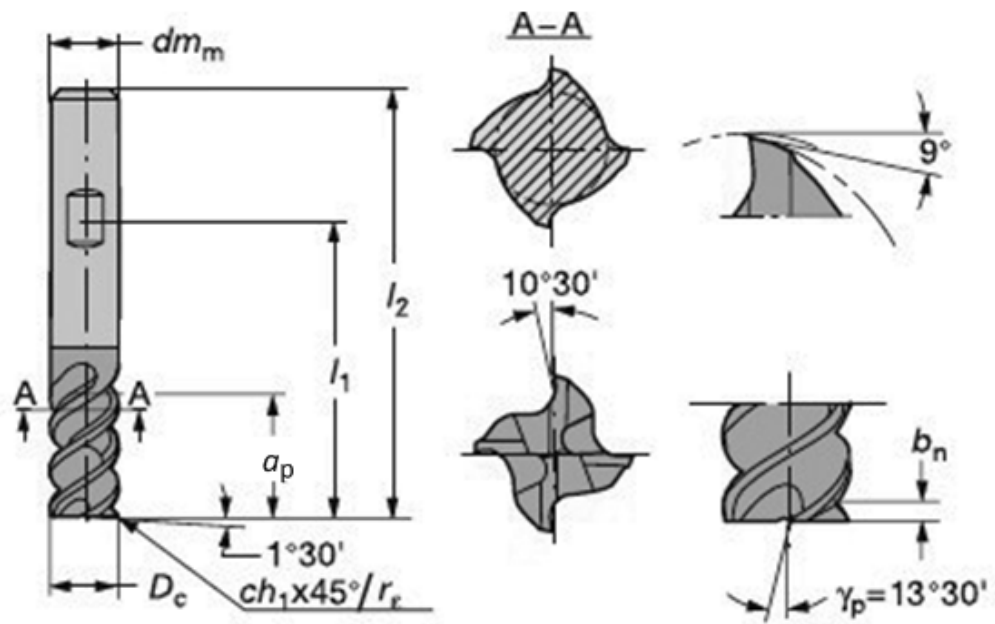
- вид оброблення (чистове, чорнове), вимоги відповідно до точності та шорсткості оброблюваної поверхні деталі;
- відповідність матеріалу оброблюваної заготовки певній групі різання з ISO;
- можливості устаткування: тип верстату, його потужність, можливості оброблювання, твердість і стійкість системи.

Таблиця 6.1 – Розміри кінцевих фрез із твердосплавними пластинами, мм

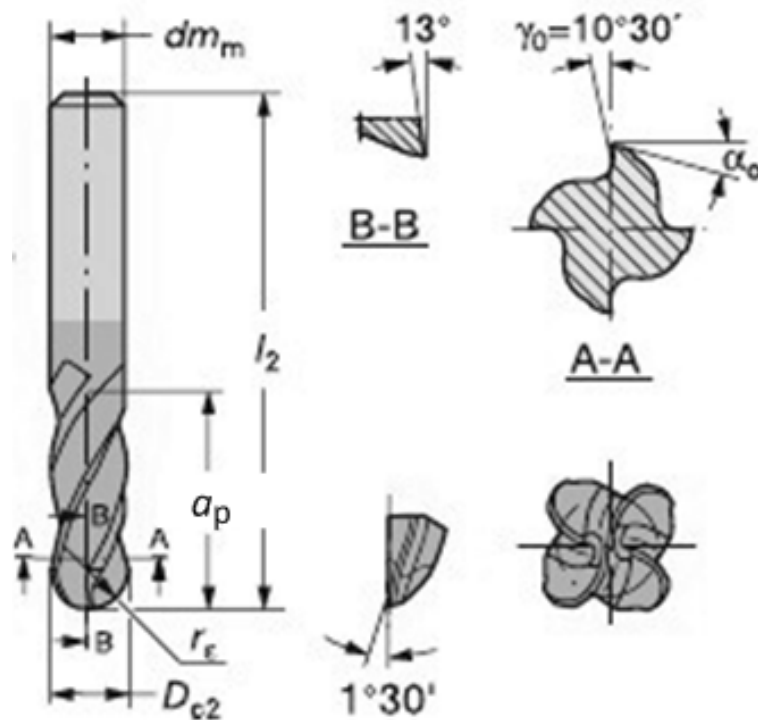
Тип	Виконання	D	L	l	l <sub>1</sub>	Кількість зубців, z	Хвостовик	
							Конус Морзе	d
1	1	12	94	25	8,5	1	2	—
	2		75				—	12
1	1	16	94	25	8,5	1	2	—
	2		75				—	16
1	1	20	116	30	11	2	3	—
	2		82				—	20
2	1	20	116	30	11	2	3	—
	2		82				—	20
1	1	25	124	38	16	2	3	—
	2		96				—	25
2	1	25	124	38	16	2	3	—
	2		96				—	25
1	1	32	124	48	16	3	3	—
	2		100				—	32
2	1	32	124	48	16	3	3	—
	2		100				—	32
1	1	40	157	48	16	3	4	—
	2		110				—	32
2	1	40	157	48	16	3	4	—
	2		110				—	32
1	1	50	157	48	16	3	4	—
	2		110				—	32
2		50	157	48	16	3	4	—

Таблиця 6.2 – Конструктивні розміри кінцевих фрез із плоским кінцем

Діаметр D <sub>c</sub> , мм	Кількість зубців	Розміри, мм					
		d <sub>m</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	b <sub>n</sub>	a <sub>p</sub>	f×45°
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:  
*a* – із плоским кінцем; *б* – зі сферичним кінцем

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

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				
		$d_m$	$r_c$	$l_2$	$\alpha^\circ$	$a_p$
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

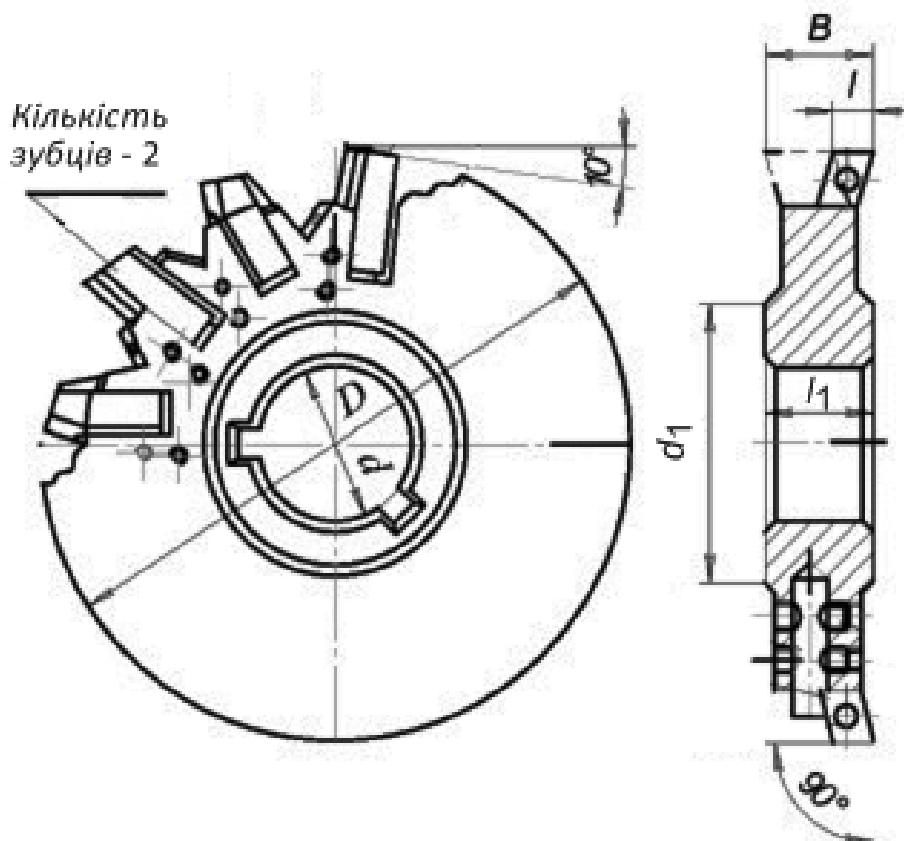


Рисунок 6.7 – Фреза дискова, оснащена ЗБП

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).

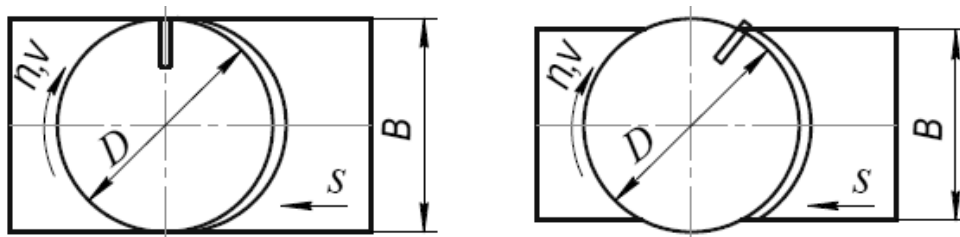


Рисунок 6.8 – Вибір діаметра фрези при торцевому фрезеруванні

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	12	32	47			12
	14	27	41			14
	18					18
125	12	40	55	2×4	6,3	12
	16					16
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					28
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	12,7	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  $\varphi$ , 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).

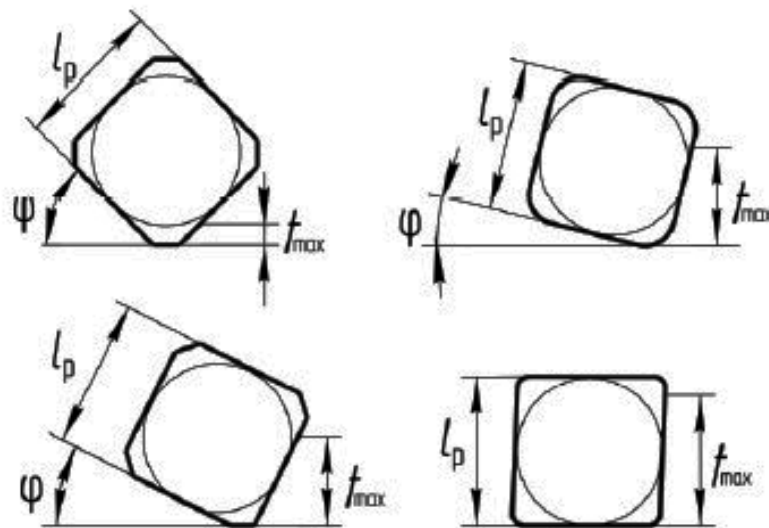


Рисунок 6.9 – Співвідношення розмірів пластин і глибини різання

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

пластини використовуються для оснащення торцевих і кінцевих фрез. Фрези з кутом в  $45^\circ$  використовуються для операцій загального призначення, вони універсальні, мають меншу схильність до вібрацій при великому вильоті інструменту. Мала товщина шару, що зрізується, дозволяє збільшувати хвилинну подачу, тобто підвищувати продуктивність процесу фрезерування. Основна область застосування фрез із кутом у плані  $90^\circ$  – 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 країки зі змінюваним головним кутом у плані. Кут у плані змінюється залежно від відношення глибини різання  $t$  до діаметра  $d$  різальної пластини від  $0^\circ$  до  $45^\circ$ . У цьому випадку глибина різання складе половину величини діаметра пластини й має максимальне значення (рис. 6.11).

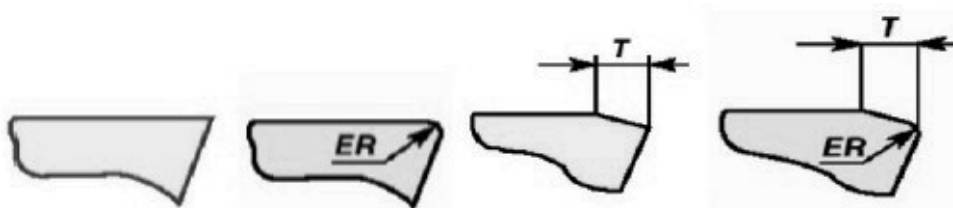


Рисунок 6.10 – Форми різальної крайки пластин

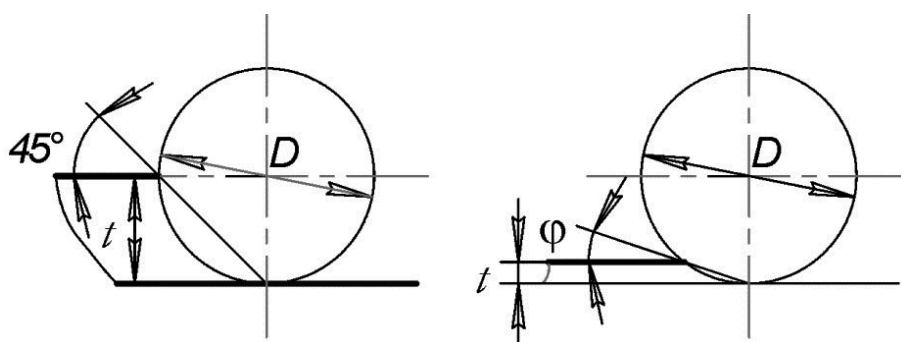


Рисунок 6.11 – Головний кут у плані у фрез, оснащених круглими пластинами

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  $\alpha$  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.

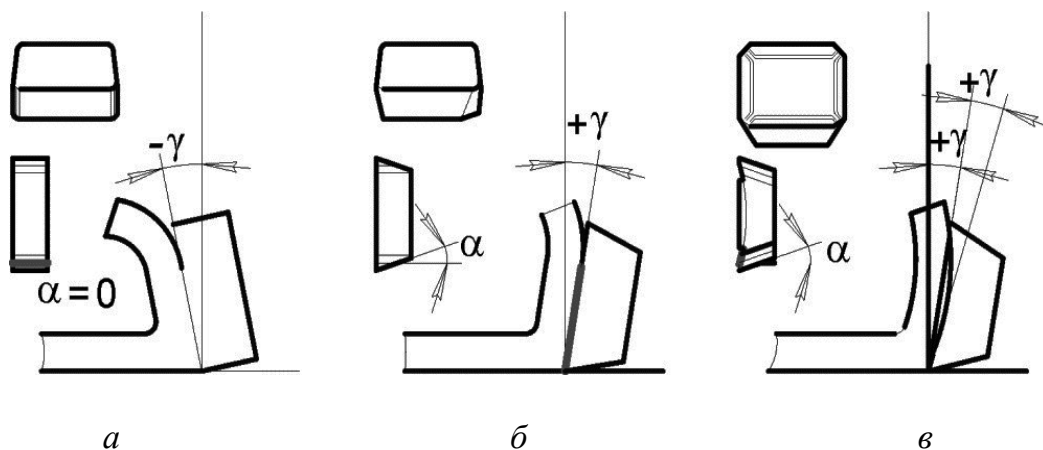


Рисунок 6.2 – Різні типи геометрії пластин фрез

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)	Kyocera (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- nametal (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 IC250 IC900 IC903 IC808 IC908 IC810 IC910 IC950	KCPM15 KC510M KC515M KC715M	M9315 M9325 M5315 8215 7205 7215 7010 T8315	FH7020 FH7030 MP6120 VP15TF	
					IC4100 IC5100 IC520M IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC903 IC808 IC908 IC810 IC910 IC950		KCPM15 KC610M KC620M KC643M KC633M KC625M KC635M KC522M KC525M KC527M KC715M KC720M KTPK20	M9315 M9325 M5315 8215 7205 7215 7010 7040 T8315	FH7020 FH7030 MP6120 MP6130 VP15TF UP20M VP20RT
	P20	TP20AM TP20AM HP10AM HP30AM	ACP100 ACP200 ACP300 ACZ310 ACZ325 ACZ330	JC730U JC8015 JC5015 JC5030 JC5040 JC5118	IC4100 IC5100 IC520M IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC903 IC808 IC908 IC810 IC910 IC950	KCPM15 KC610M KC620M KC643M KC633M KC625M KC635M KC522M KC525M KC527M KC715M KC720M KTPK20	M9315 M9325 M5315 8215 7205 7215 7010 7040 T8315	FH7020 FH7030 MP6120 MP6130 VP15TF UP20M VP20RT	T3130 T313W AH725 AH120 AH3035 AH9030 AH330 GH330
					IC4050 IC4100 IC5100 IC520M IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC808 IC908 IC810 IC830 IC928 IC910 IC950				KC643M KC633M KC625M KC635M KC525M KC530M KC537M KC610M KC620M KC720M KC725M KC730M KC735M KC927M
P30	TP20AM HP30AM	ACP200 ACP300 ACZ310 ACZ325 ACZ330	JC730U JC8015 JC5015 JC5030 JC5040 JC5118 JC8050	IC4050 IC4100 IC5100 IC520M IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC808 IC908 IC810 IC830 IC928 IC910 IC950	KC643M KC633M KC625M KC635M KC525M KC530M KC537M KC610M KC620M KC720M KC725M KC730M KC735M KC927M	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	
P40	TP20AM HP30AM	ACP300 ACZ330	JC5040 JC5118 JC8050	IC4050 IC520M IC250 IC300 IC328 IC330 IC900 IC830 IC928 IC950	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	
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 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	КЗТС (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 7230 7040 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 T40 A30 B20 T25		HF7 H10		
	M30	PM30 PT40	SM30		U10 U20 U40 A30 B35 T40		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)
	N30	TK25	H13A H10F	H25	B35 A30		HF7 H10		
S	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.

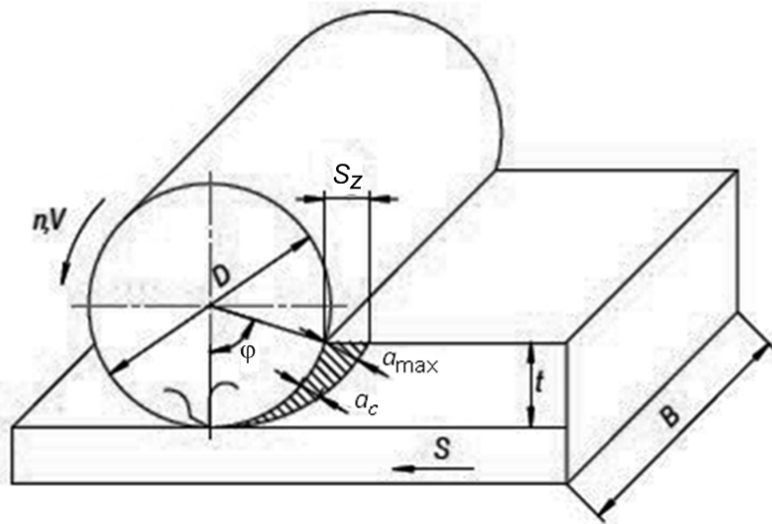


Рисунок 6.13 – Елементи режиму різання при фрезеруванні

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 а), 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.

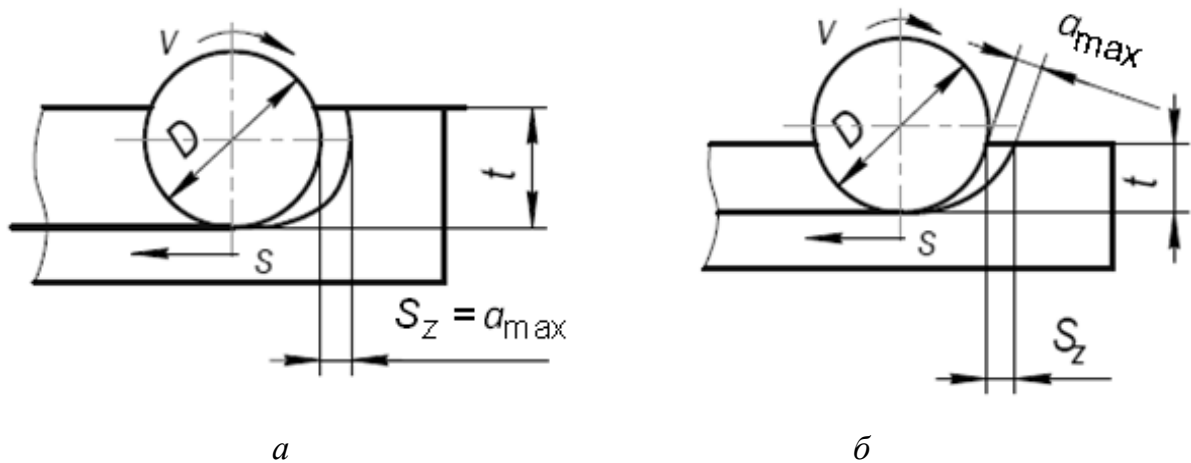


Рисунок 6.14 – Максимальна товщина стружки залежно від розташування фрези:  
а – центр фрези усередині заготовки; б – центр фрези поза заготовкою

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
ZDCW			0,12	0,12
ZPCW			0,15	0,15

Вихідними даними для призначення швидкості різання при фрезеруванні є:

- величина головного кута в плані  $\varphi$ ;
- 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, НН	Питома сила різання, Н/мм <sup>2</sup>	Марка твердих сплавів		
Гр.	П/г.						СМ30М		
		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;  $\eta$  – 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;  $\eta$  – 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/мм<sup>2</sup> (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  $R_a = 0,32 \dots 0,63$  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.

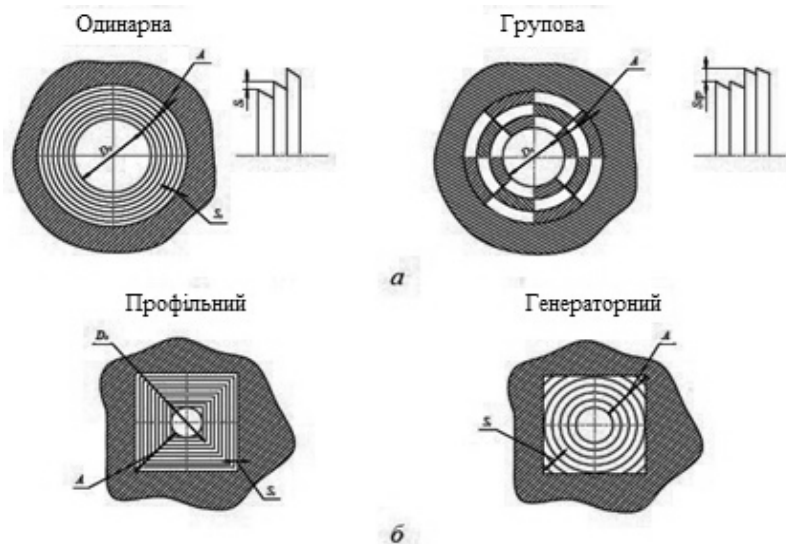


Рисунок 7.1 – Схеми різання (*a*) та методи утворення профілю (*б*) при протягуванні

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 кромek 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.

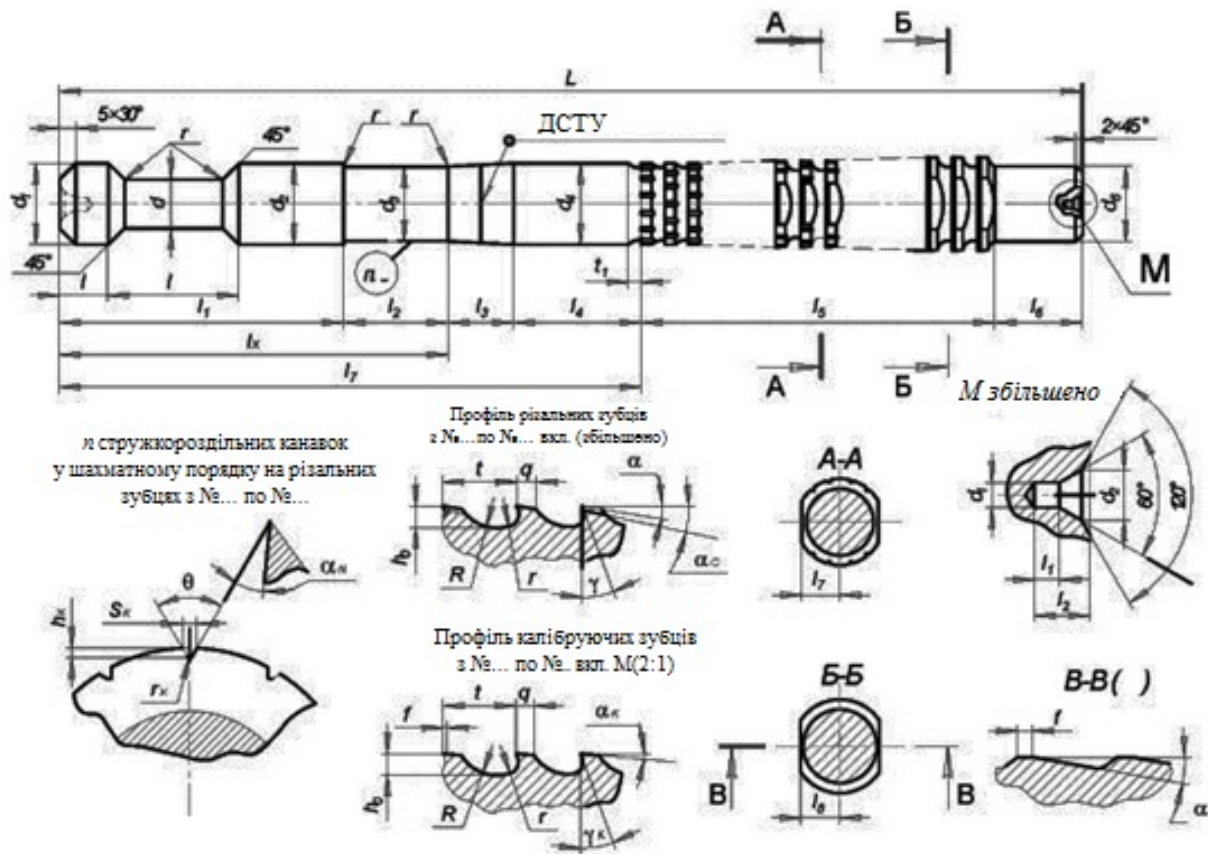


Рисунок 7.2 – Протяжка для оброблення отвору із двома площинами

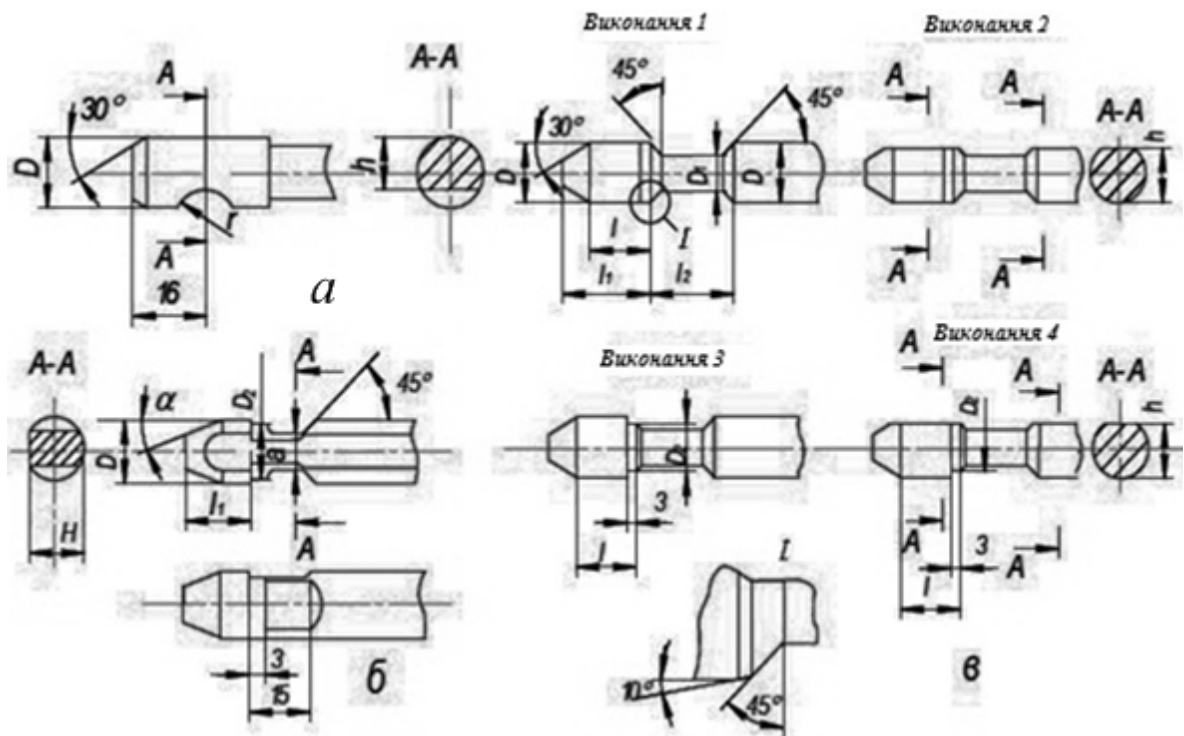


Рисунок 7.3 – Хвостовики для круглих протяжок

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						

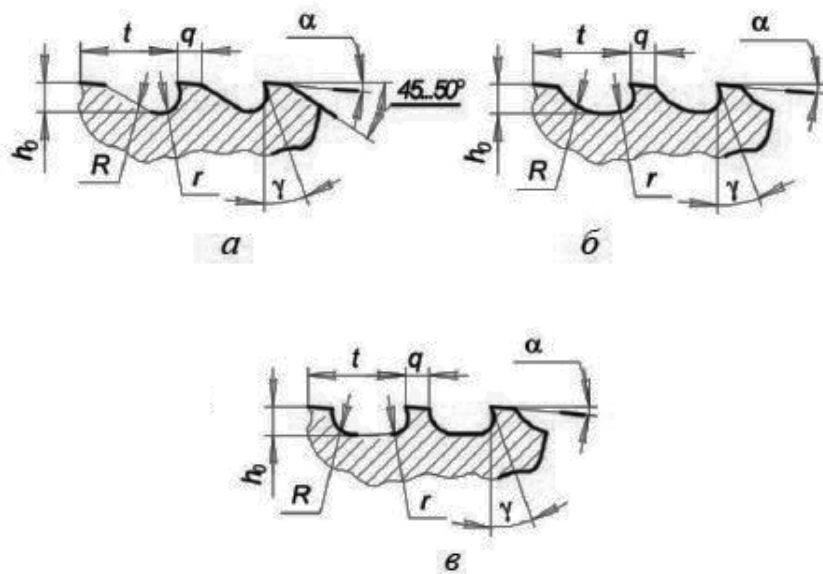


Рисунок 7.4 – Форми стружкових канавок протяжок:  
 а – із прямолінійною спинкою; б – із криволінійною спинкою;  
 в – з канавкою подовженої форми

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.



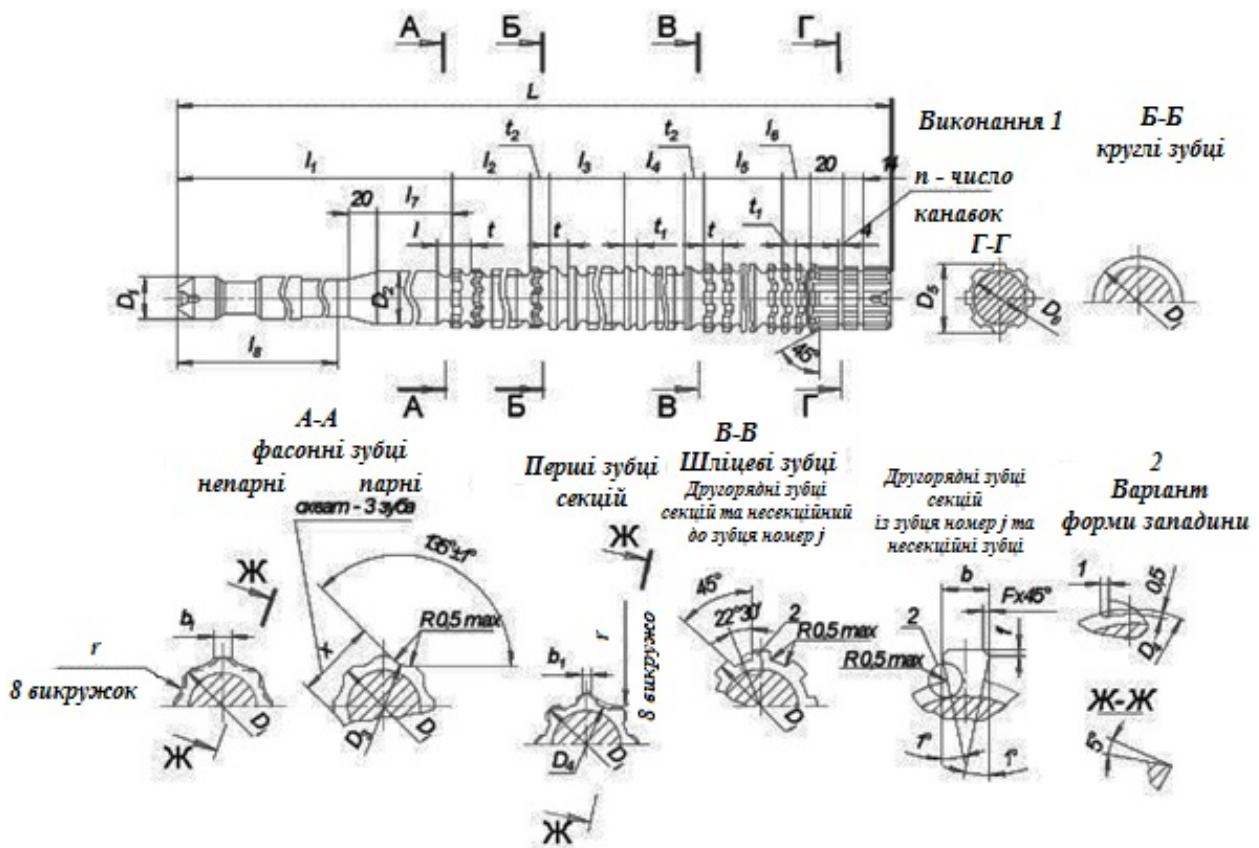


Рисунок 7.5 – Протяжка для 8-шліцевого отвору

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:  $D \times m$  ( $12 \times 1$ ;  $14 \times 1$ ;  $15 \times 1 \dots 90 \times 2,5$ ); 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).

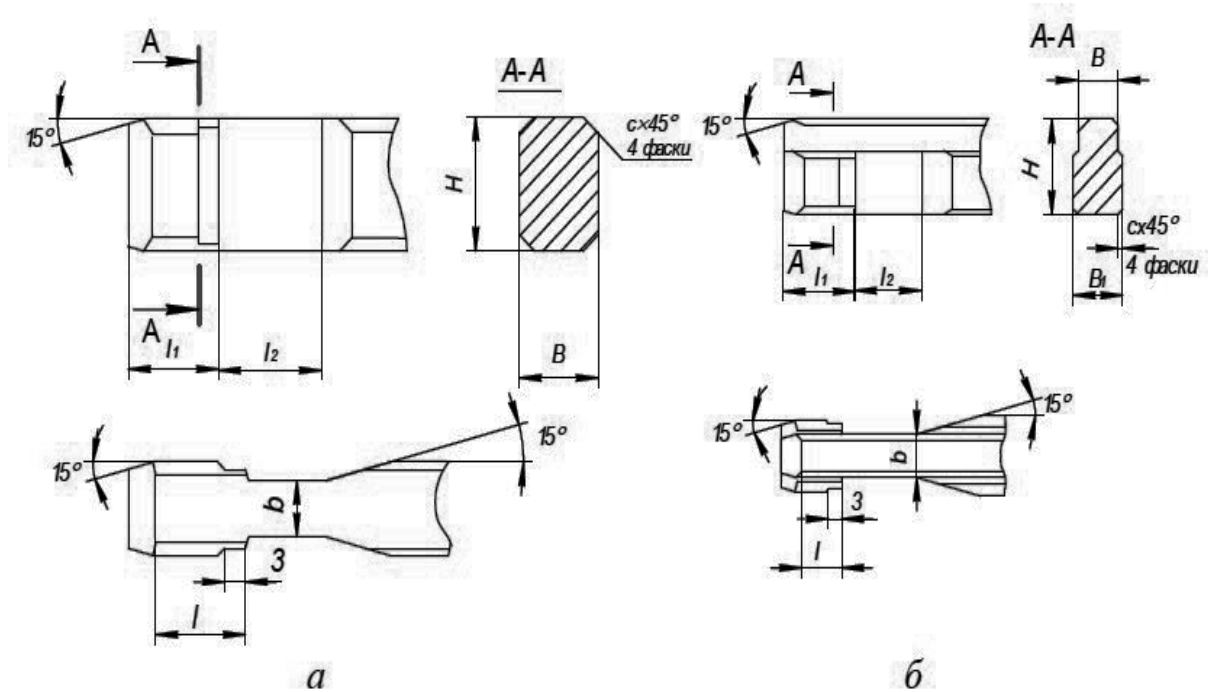


Рисунок 7.6 – Хвостовики плоскі: а – тип 1; б – тип 2

Таблиця 7.3 – Розміри плоских хвостовиків, мм

Тип 1																				
<b>B</b>	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25	28	32	36	40	45	50
<b>b</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
<b>H</b>	7	11	15	16	18	22	28	30	36	40	45	50	55	60						
<b>l</b>	14			17			20			28										
<b>l<sub>1</sub></b>	20			25			30			40										
<b>l<sub>2</sub></b>	16			18			22			28			36							

Тип 2									
<b>B</b>	2	2,5(3)		4	5	6	7	8	10
<b>B<sub>1</sub></b>	3	4		6	8	10		12	15
<b>b</b>	1,5	2,5		4	5	6	7	8	10
<b>H</b>	4	5	6	7	11	15	16	18	22
<b>l</b>	14								
<b>l<sub>1</sub></b>	20								
<b>l<sub>2</sub></b>	16								

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

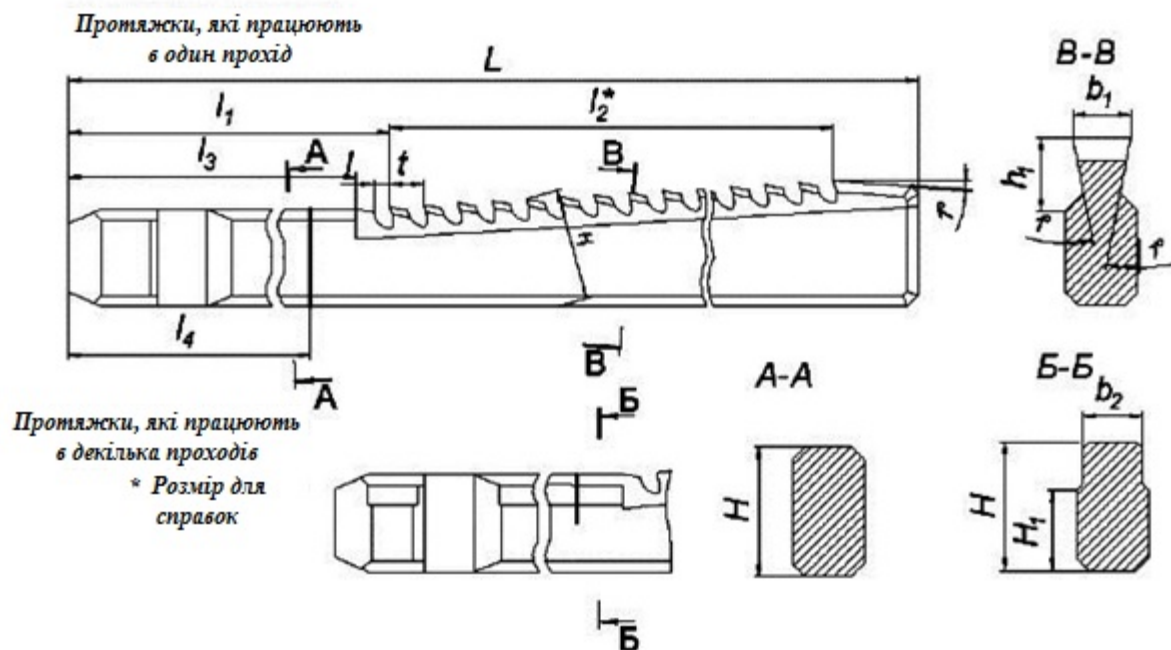


Рисунок 7.7 – Протяжка шпонкова

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 утворення 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.

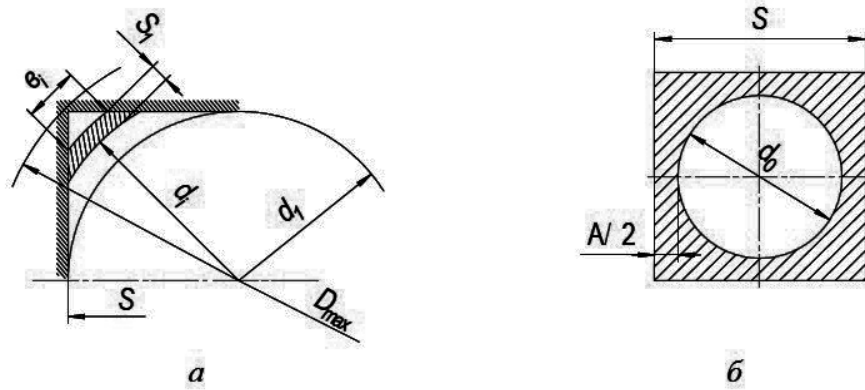


Рисунок 7.8 – Параметри профілю зубців гранованих протяжок

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.

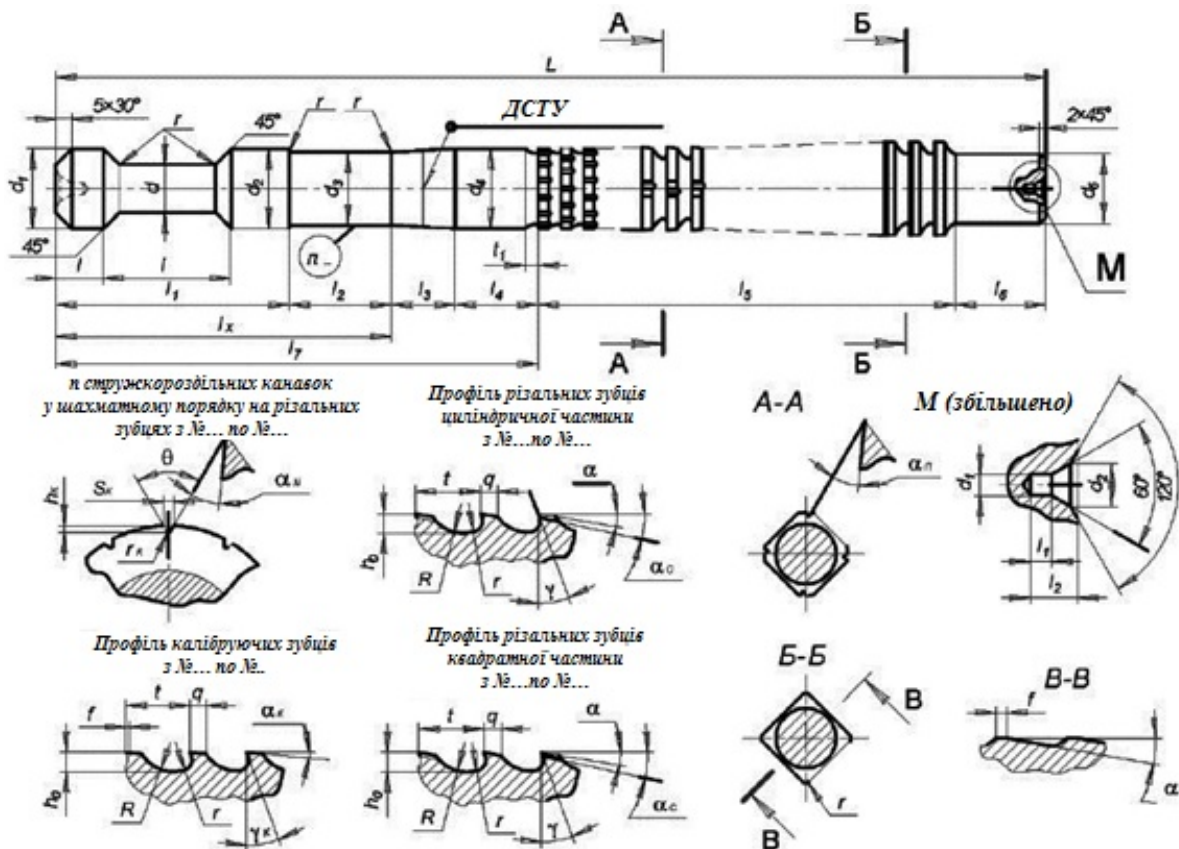


Рисунок 7.9 – Протяжка квадратна

### 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.

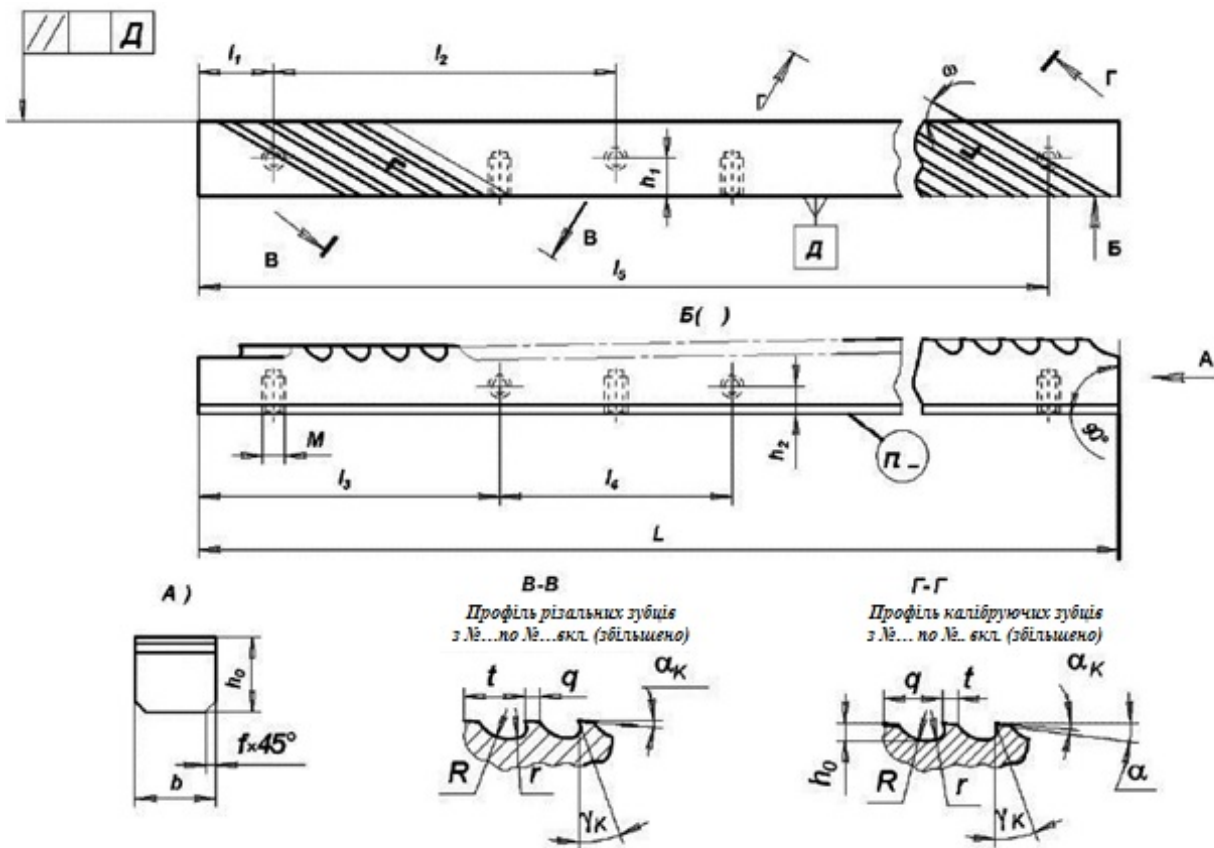


Рисунок 7.10 – Зовнішня протяжка

### 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 твёрдосплавних 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.

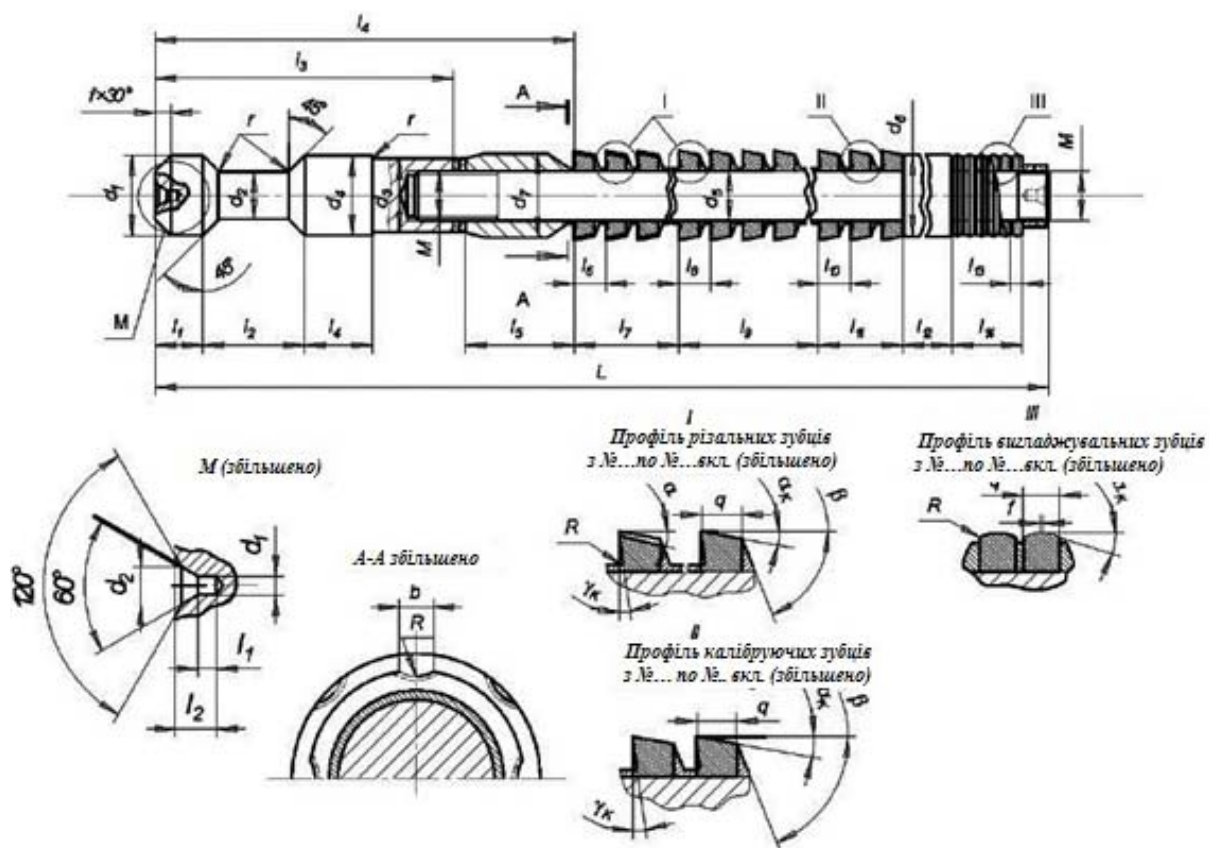


Рисунок 7.11 – Протяжка збірна твёрдосплавна

За останні роки розроблено конструкції твёрдосплавних 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.

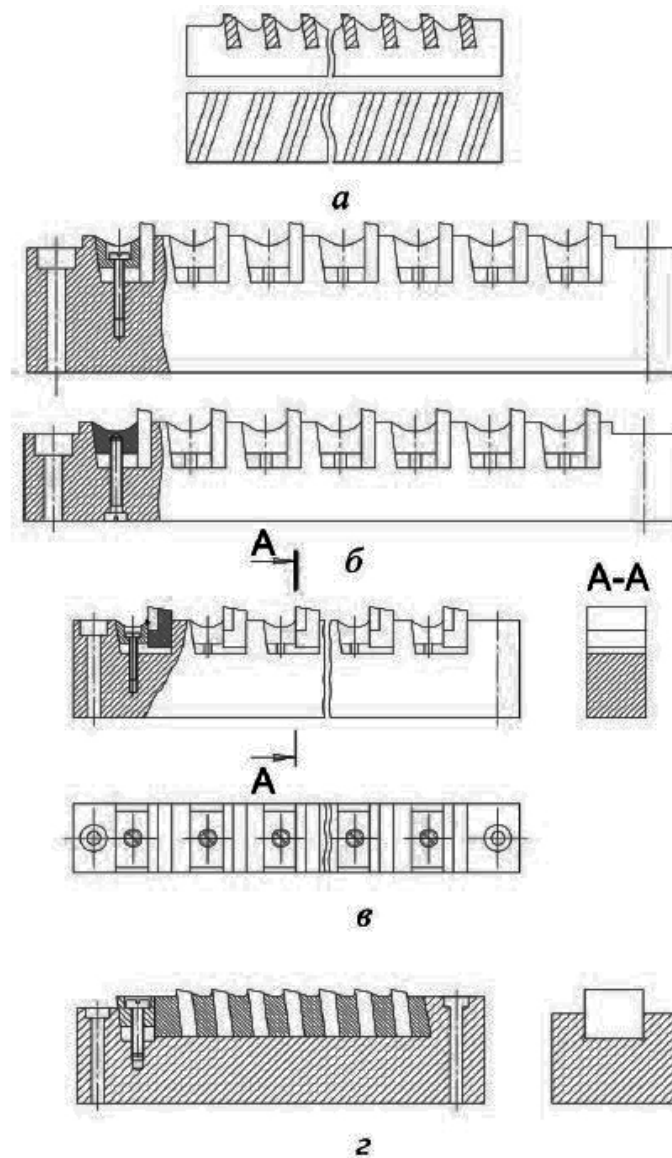


Рисунок 7.12 – Нероз'ємне з'єднання зубців протяжки з корпусом (*a*);  
рознімне з механічним кріпленням пластин твердого сплаву (*б*)  
рознімне з механічним кріпленням ножів із твердосплавними пластинами (*в*);  
з пакетним кріпленням зубців-пластин (*г*)

Таблиця 7.5 – Геометричні параметри протяжок з швидкорізальної сталі

Оброблюваний матеріал. Групи різання	Передні кути $\gamma^\circ$	
	Вид зубців	
	Чорнові та перехідні	Чистові та калібрувальні
Сталь вуглецева (підгрупа різання P01 зі змістом C < 0,3%), низьколегована, а також хромо-нікеле-молібденова (підгрупа різання P20 зі змістом менше ніж 5% легувальних елементів)	20	20
Сталь вуглецева (підгрупа різання P10 зі змістом C > 0,3%), та легувана (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		
		$\gamma^\circ$	$\gamma_\phi^\circ$	$\alpha^\circ$
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  $\gamma_\phi^\circ$  (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);  $\Sigma B_i$  – 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				Чавуні, 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  $\delta$  – 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 ЗУБОНАРИЗУВАННЯ

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.

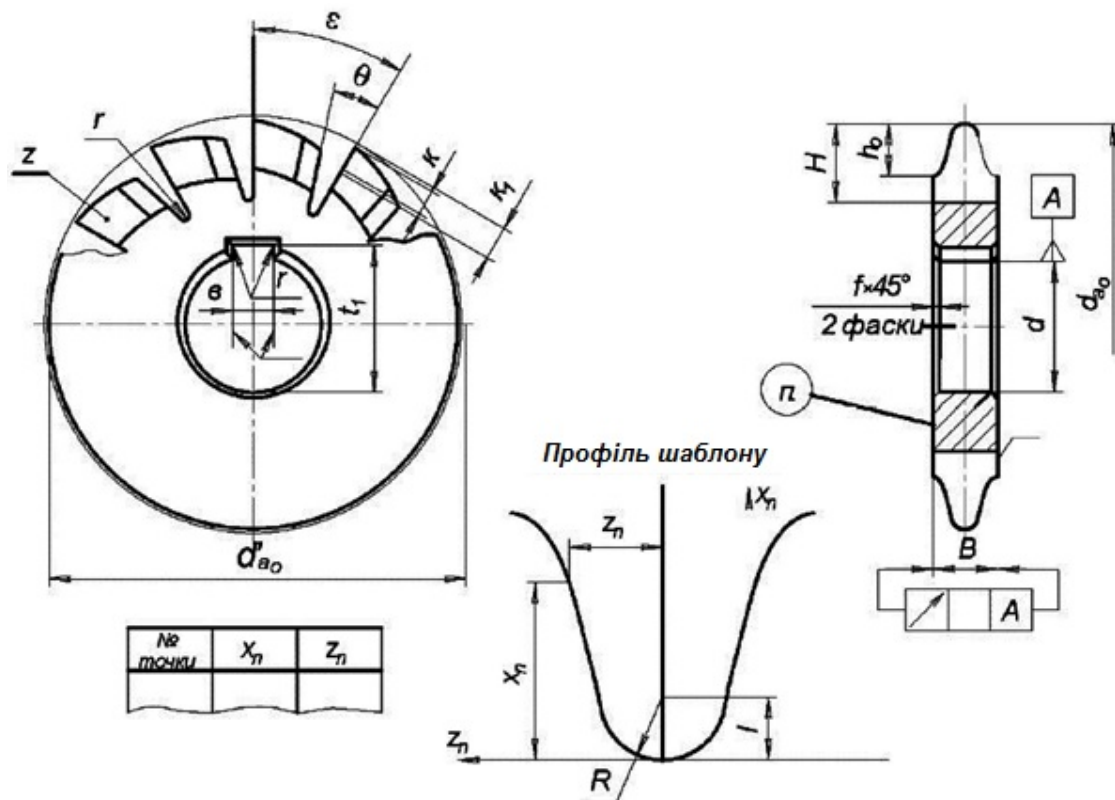


Рисунок 8.1 – Цільна дискова зуборізальна фреза

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

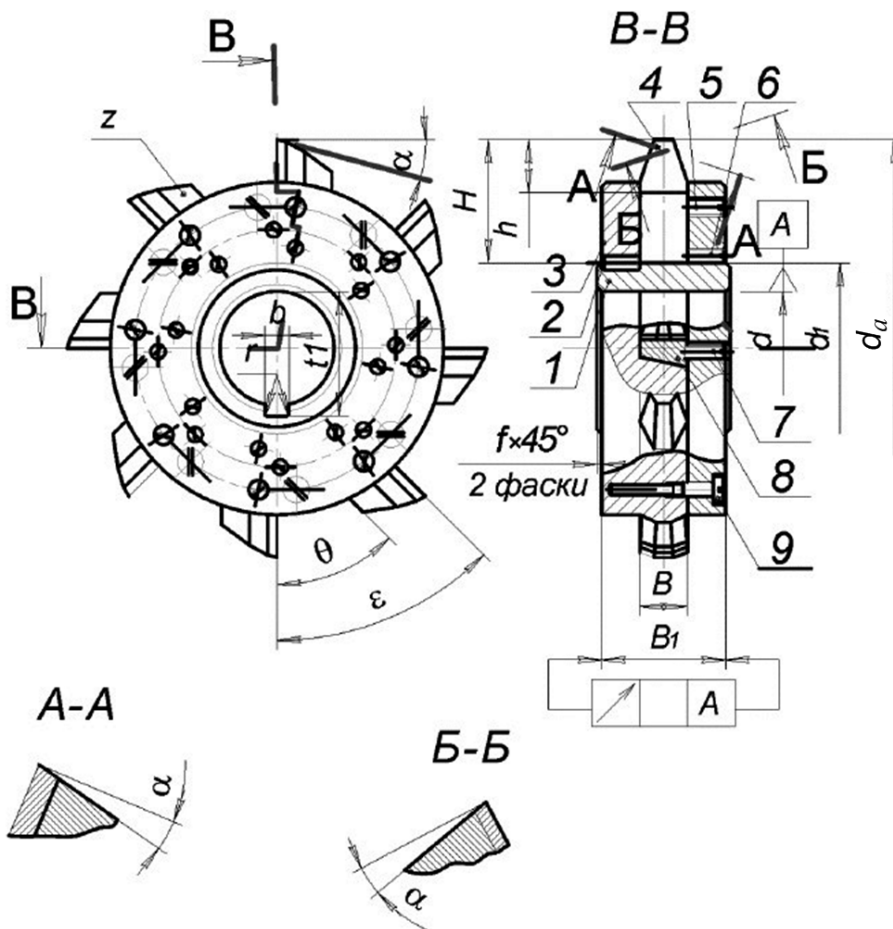


Рисунок 8.2 – Збірна твердосплавна дискова зуборізальна фреза



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	8	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.

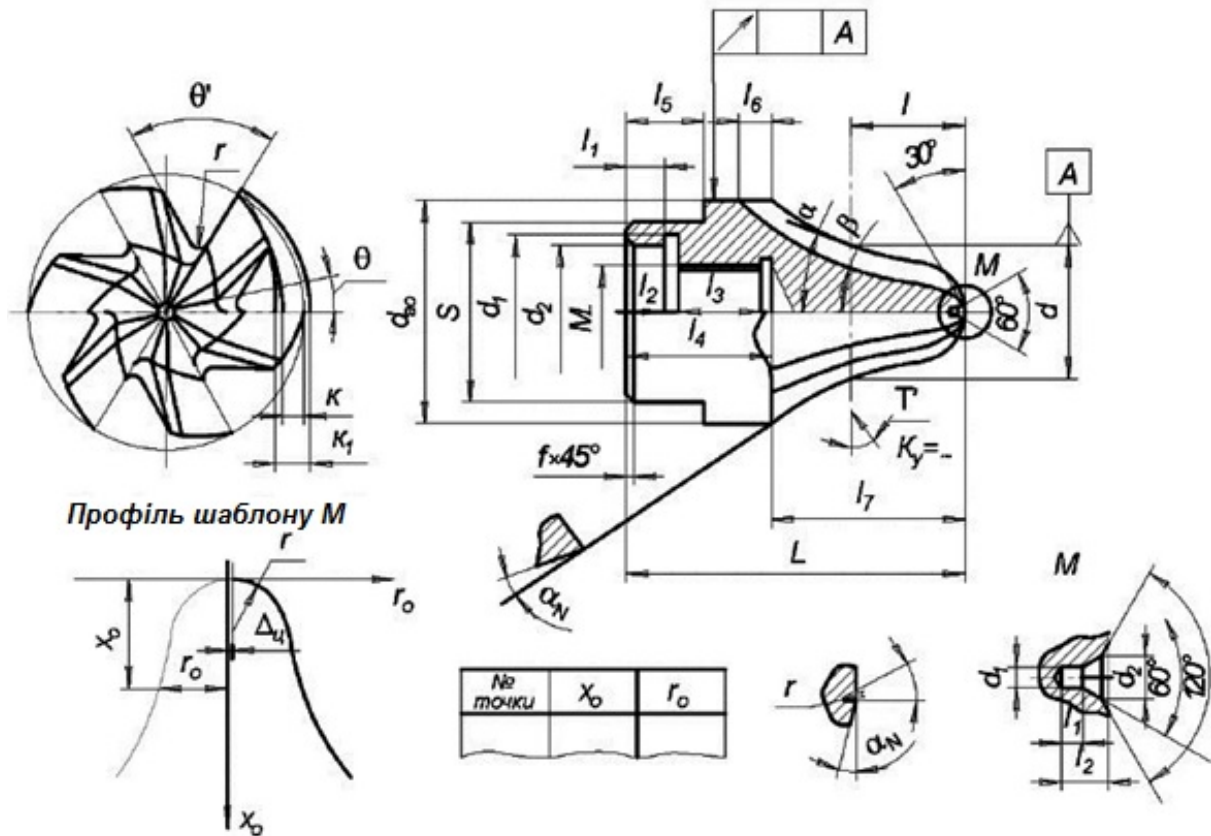


Рисунок 8.3 – Пальцева зуборізальна фреза

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	$\varphi$
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  $\alpha_0$  зубця ЧФ у нормальному перерізі дорівнює куту  $\alpha$  або небагато відрізняється від нього.

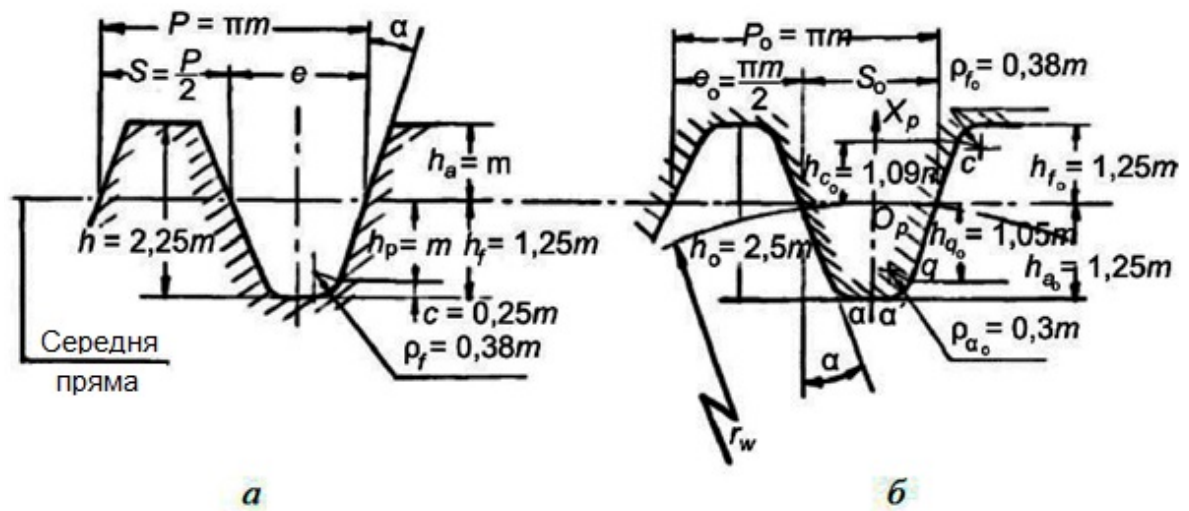


Рисунок 8.4 – Вихідний контур рейки: *a* – для зубчастих коліс; *б* – для інструментів

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.

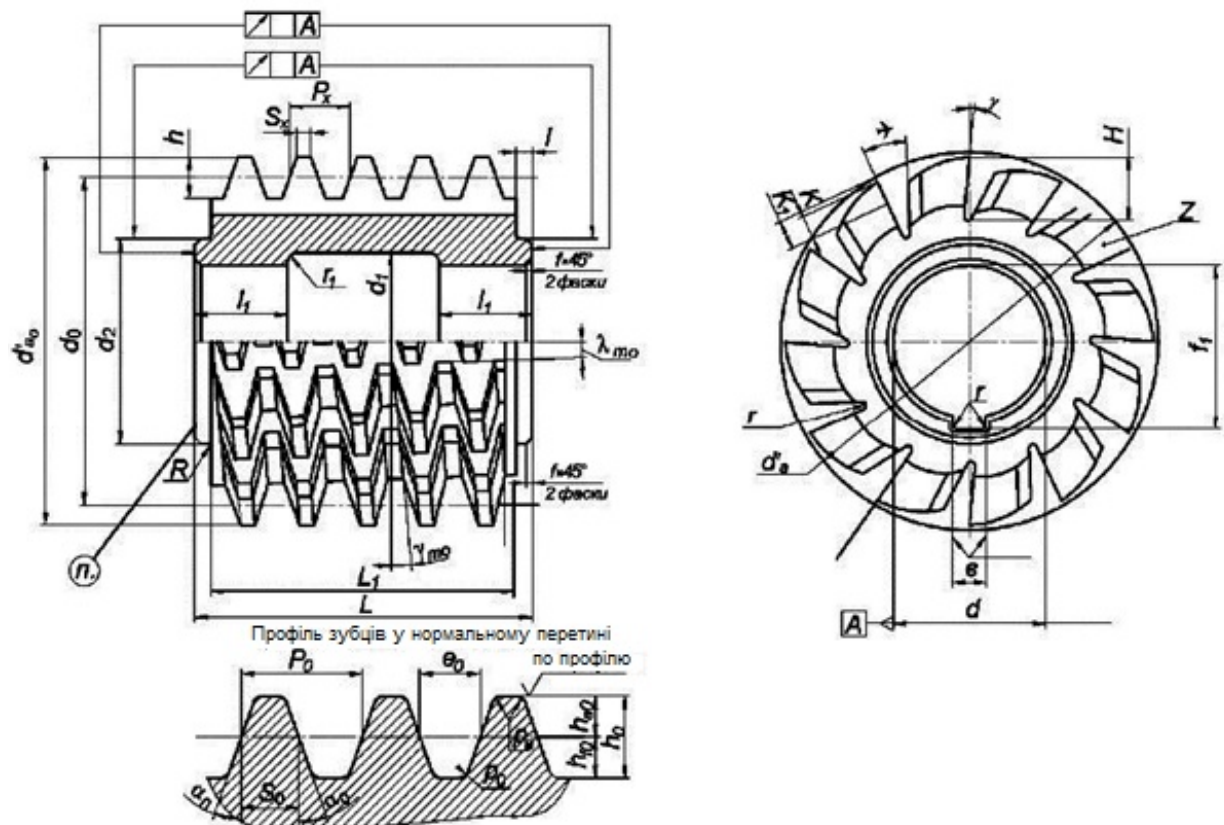


Рисунок 8.5 – Черв'ячна фреза для нарізування циліндричних зубчастих коліс

Вибирання 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.

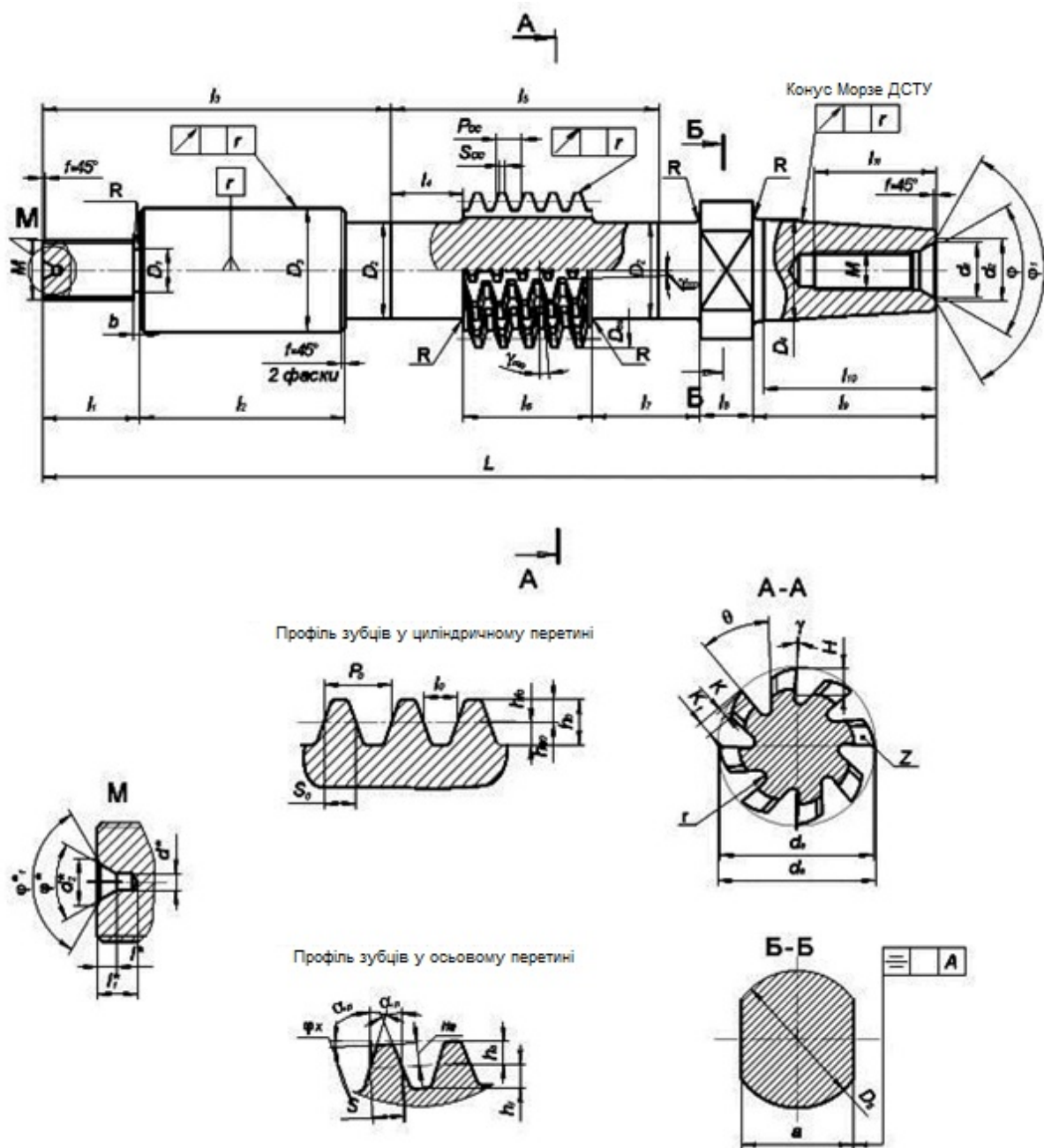
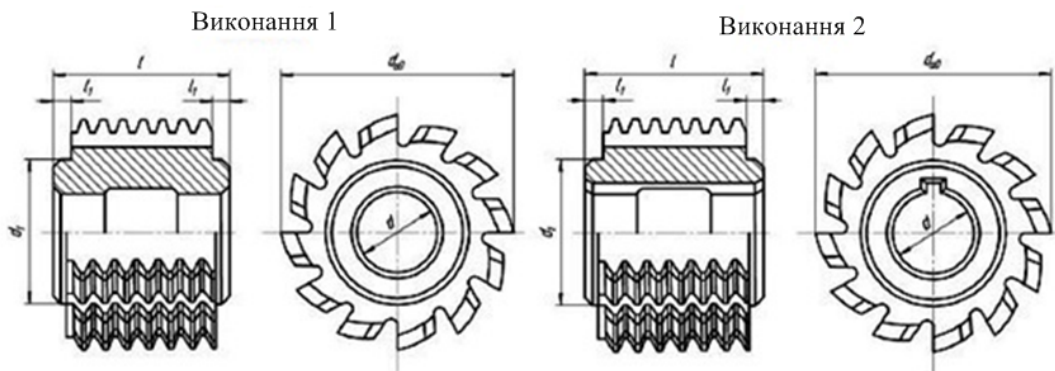


Рисунок 8.6 – Черв'ячна фреза для нарізування черв'ячних коліс

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
	$d_{\infty}$	$d$	$d_2$	$L$	$L_1$	$d_1$	$l_1$	
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	11	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).

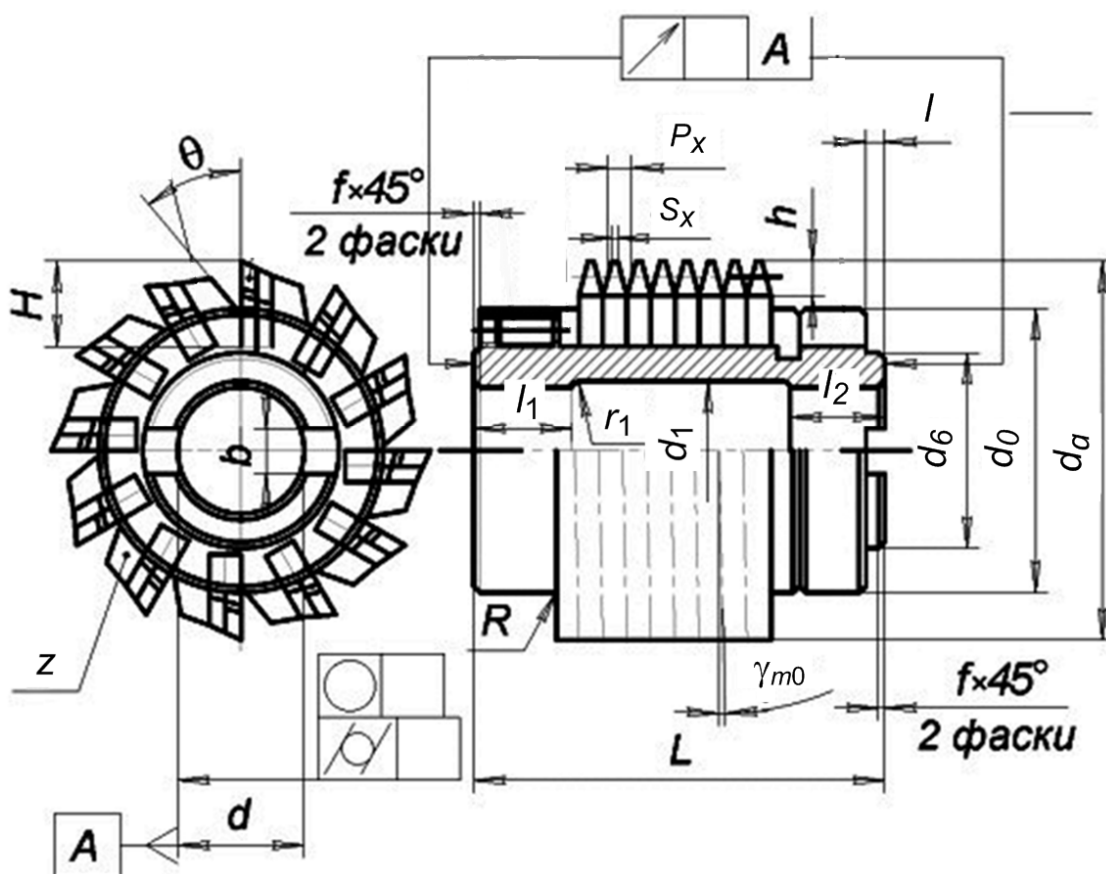


Рисунок .8.7 – Збірна твердосплавна черв'ячна зуборізальна фреза

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 AAA,	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

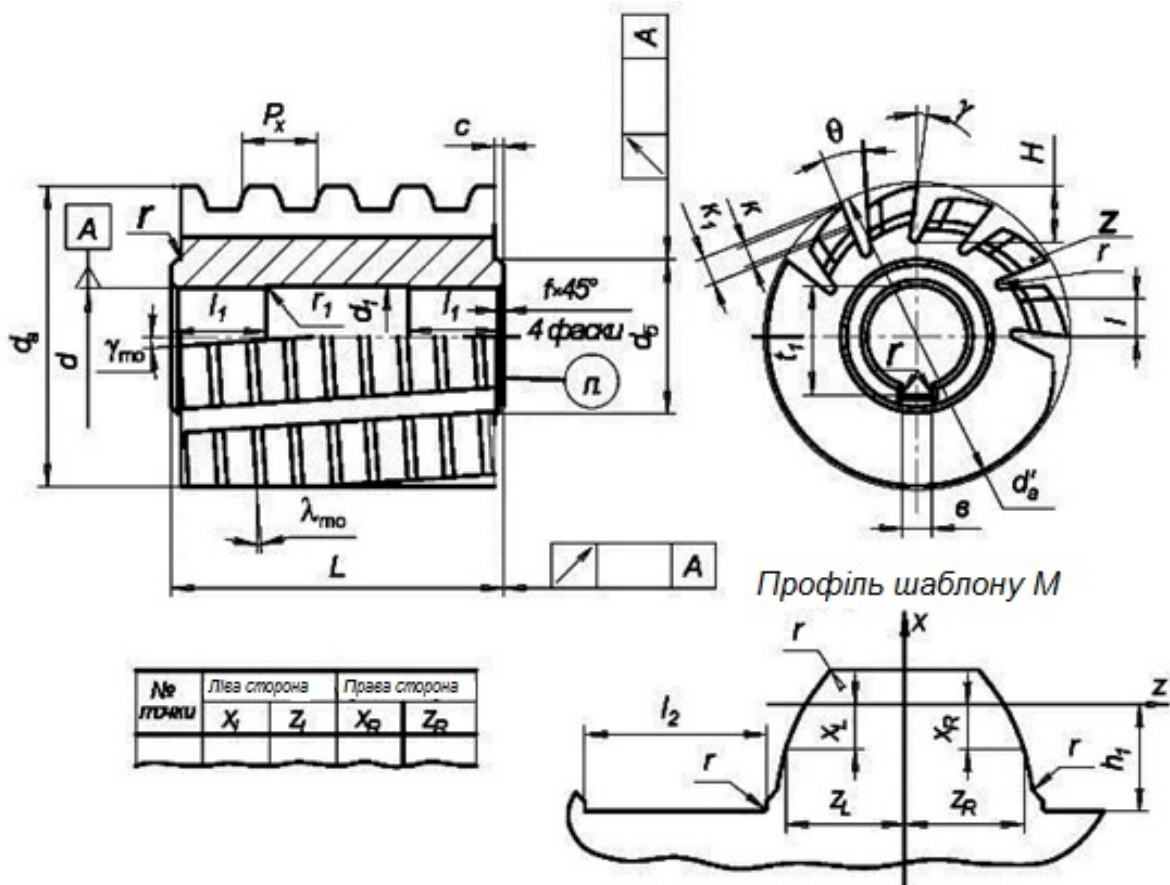


Рисунок 8.8 – Шліцьова фреза

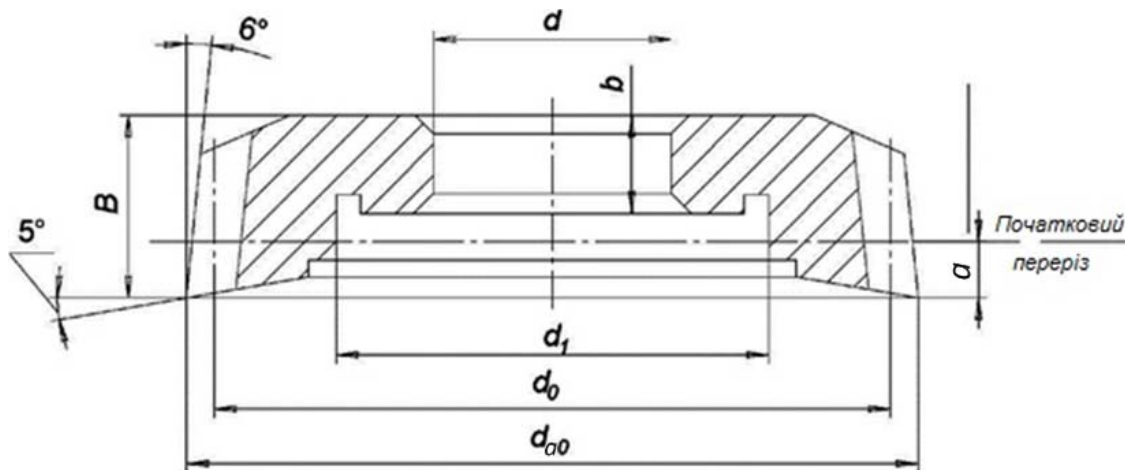
Таблиця 8.10 – Основні розміри черв'ячних фрез для шліцьових валів, мм

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.

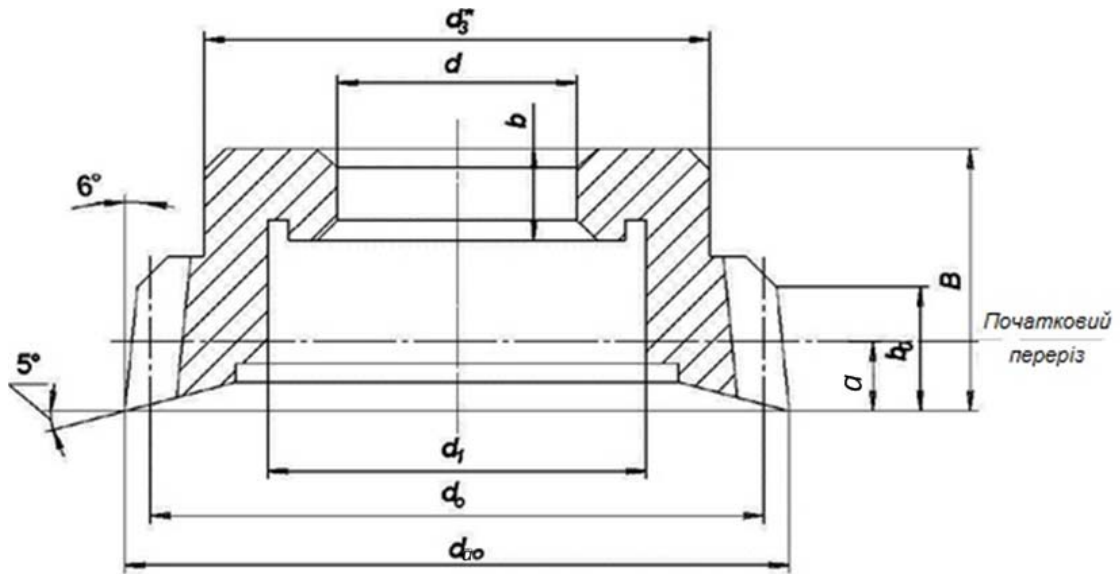
Конструктивні розміри чашкових довбачів типу 3 ( ДСТУ 9323-79) наведено в табл. 8.12.

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  $15^\circ$  і  $23^\circ$  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.

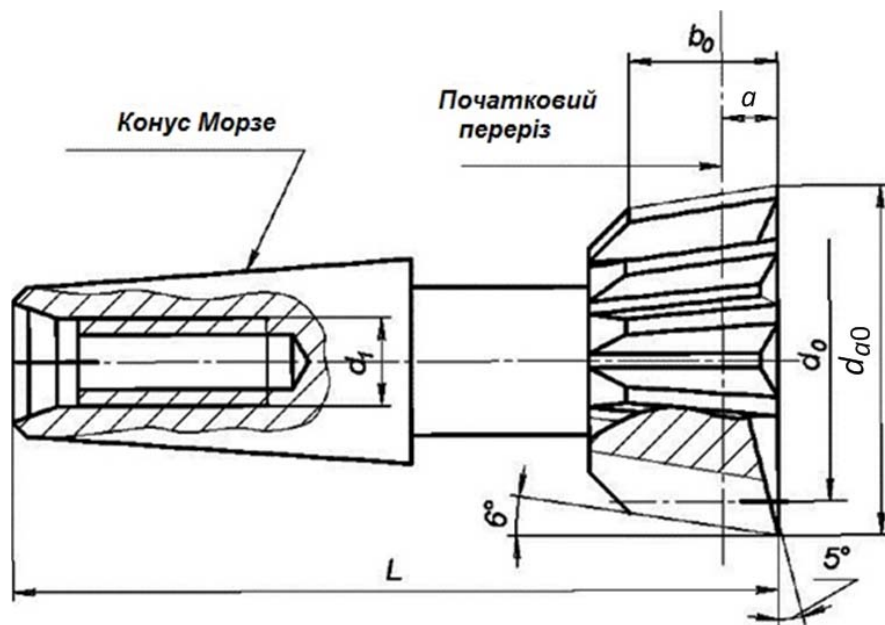
4. Дискові косозубі класів точності А та В з номінальним діаметром до  $200$  мм із кутами нахилу зубів  $\beta = 15^\circ$  і  $23^\circ$  і  $m = 1 \dots 7$  мм для нарізування косозубих зубчастих коліс. Конструктивні розміри косозубих довбачів типу 2 (ДСТУ 9323-79) наведено в табл. 8.15.

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

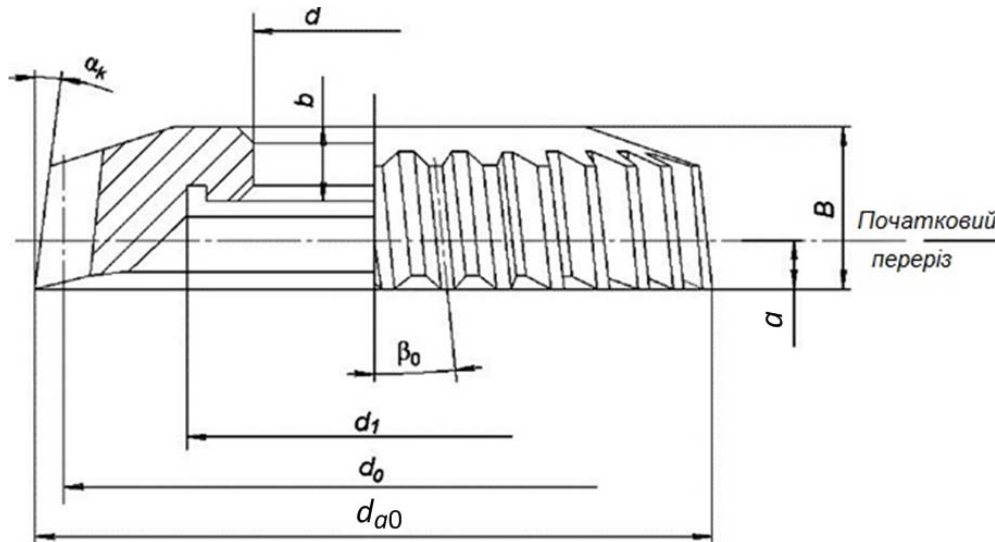


Модуль, мм	$d_0$	$z_0$	$d_{a0}$	$d_1$	$a$	$b_0$	$L$
1,0...3,0	25	9...26	28,41...34,44	M10	0,29...1,4	10...15	80
1,0...4,0	38	10...38	41,06...50,0	M12	0...2,66	12...17	100

Таблиця 8.14 – Основні розміри хвостових довбачів типу 5, мм

Модуль, мм	$d_0$	$z_0$	Кут нахилу зубця $\beta^\circ$	$d_{a0}$	$b_0$	$L$
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 $\beta^\circ$	$d_{a0}$	$b$	$B$
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.

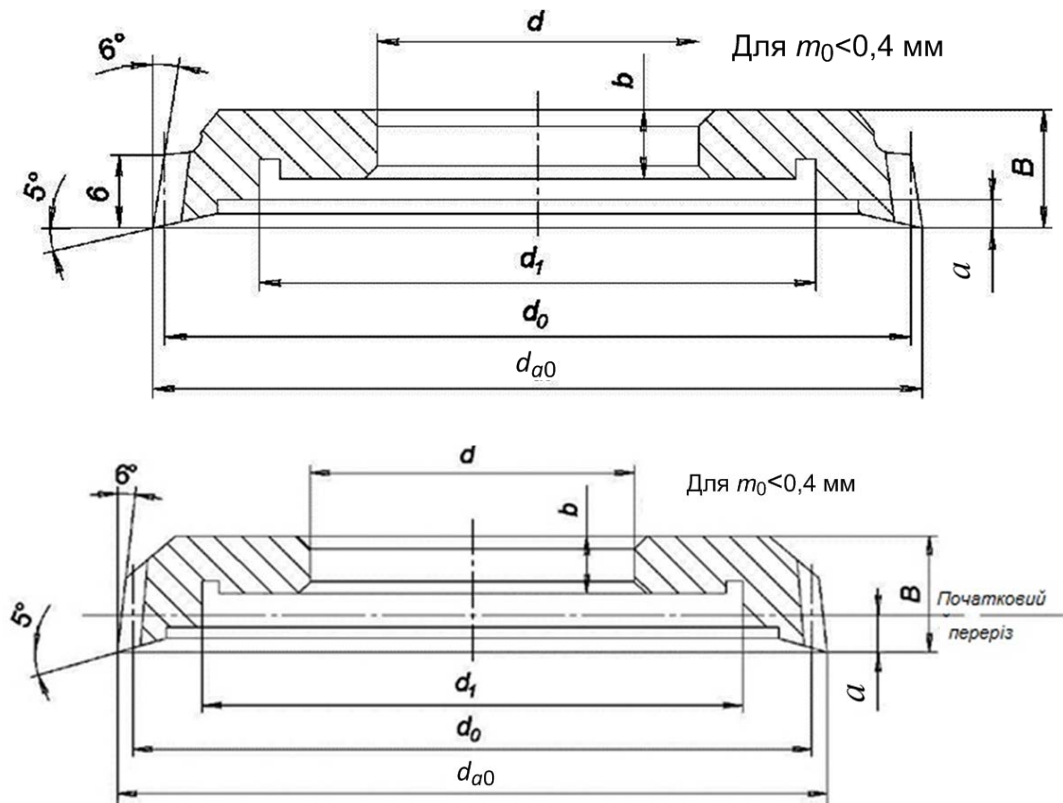
5. Довбачі дрібномодульні ( $m = 0,1...0,9$ ) випускаються трьох класів точності й двох типів: дискові прямозубі з  $d_0 = 40$  і  $63$  мм, класів точності AA, A та B (ДСТУ 10059-80); хвостові прямозубі з  $d_0 = 12, 16$  і  $25$  мм класів точності A та B (ДСТУ 10059-80 E).

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.

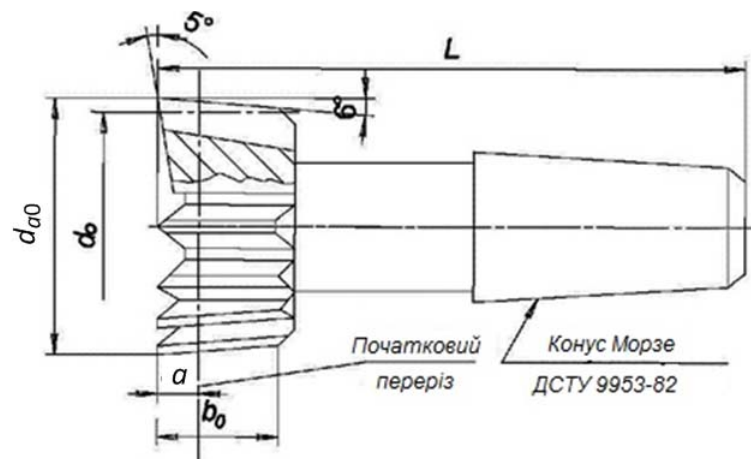
Довбачі, оснащені твердим сплавом, ефективно застосовувати при оброблянні деталей із загартованих сталей і матеріалів з підвищеною твердістю з використанням інструментального матеріалу – твердий сплав груп застосовності P20, P30, P40, M10, M20, H10.

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

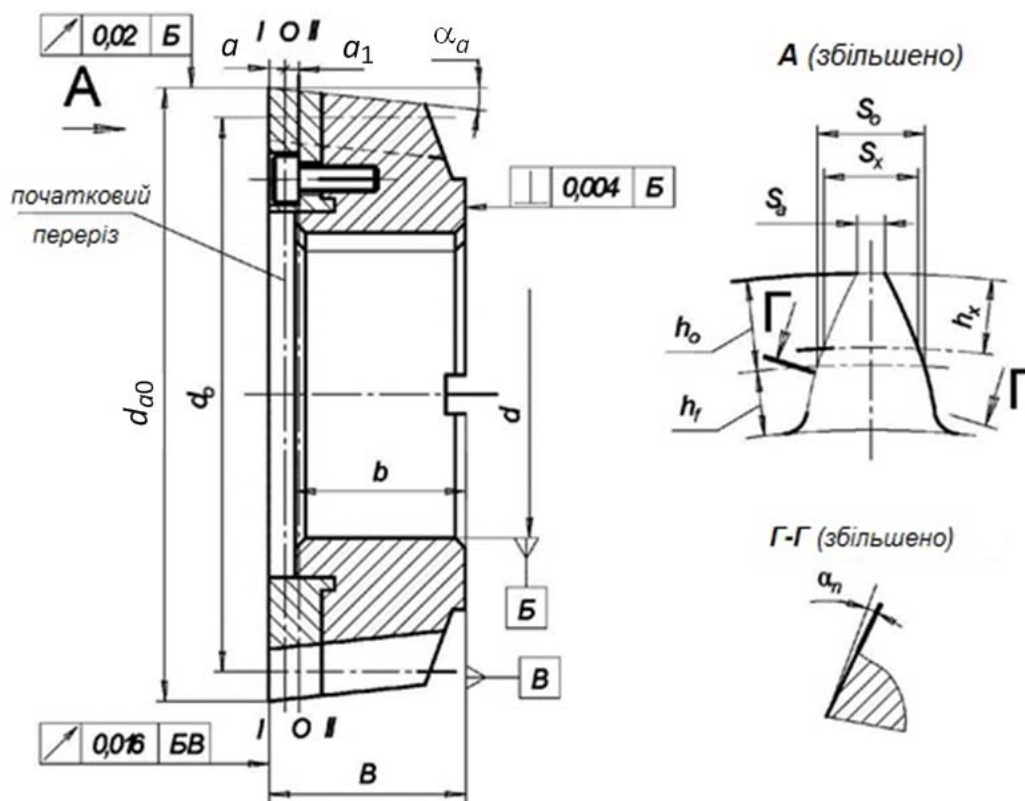
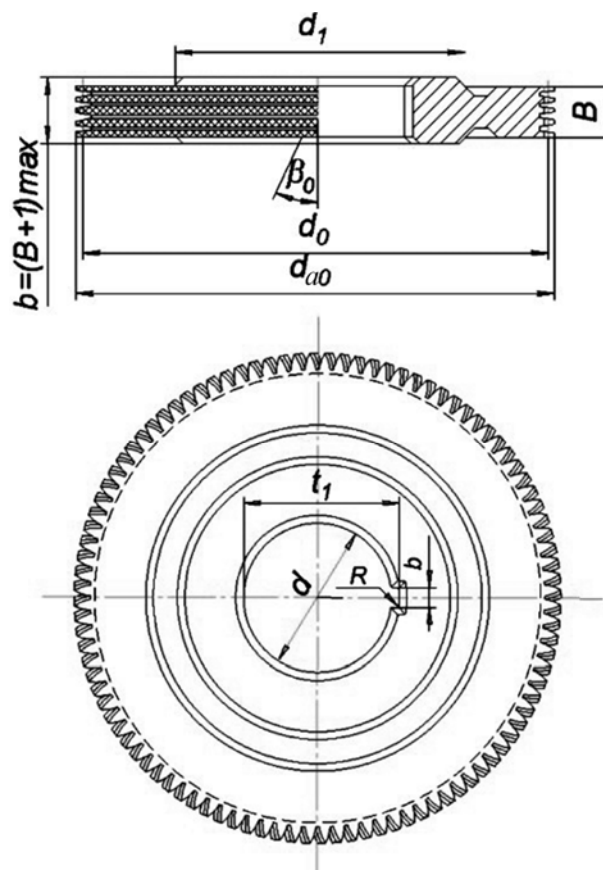


Рисунок 8.10 – Збірний твердосплавний дисковий довбач

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  $15^\circ$  (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  $15^\circ$  (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).

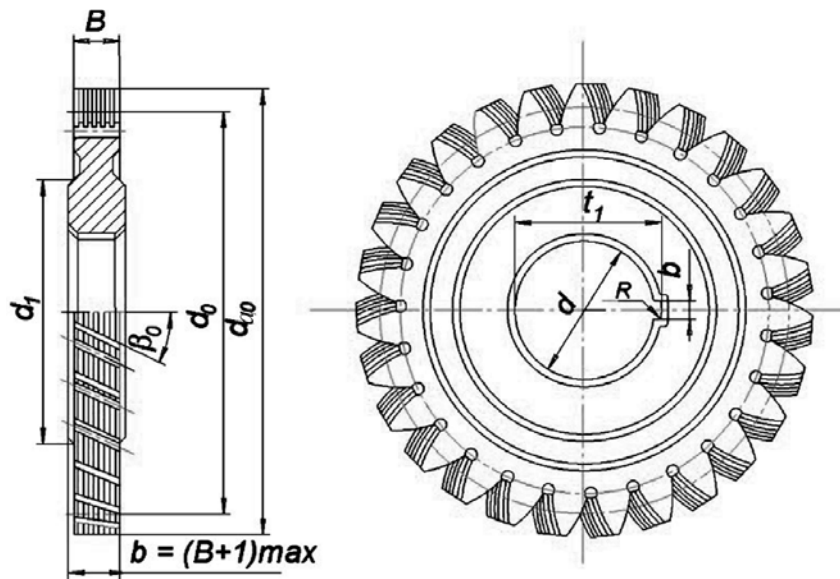
Таблиця 8.18 – Основні розміри дискових шеверів типу 1, мм



Модуль, мм	$d_0$	$z_0$	$d$	$d_{a0}$	$d_1$	$t_1$	$\beta_0$	$B$
1,0...1,5	85	58...86	31,75	87,79...91,64	60	34,6	$10^\circ$	14,86
1,25...1,75	180	100...115	63,5	149,25...187,23	110	67,5	$5^\circ, 15^\circ$	20

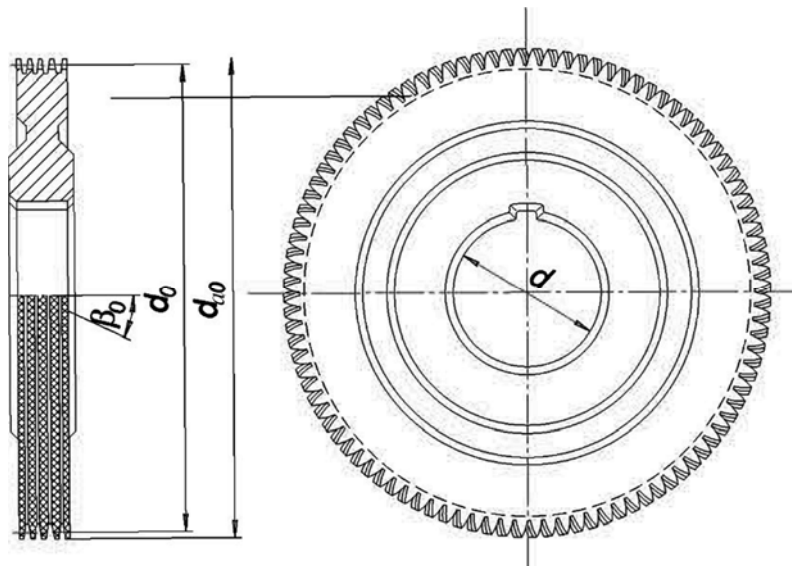


Таблиця 8.19 – Основні розміри дискових шеверів типу 2, мм



Модуль, мм	$d_0$	$z_0$	$d$	$d_{a0}$	$d_1$	$t_1$	$\beta_0$	$B$
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

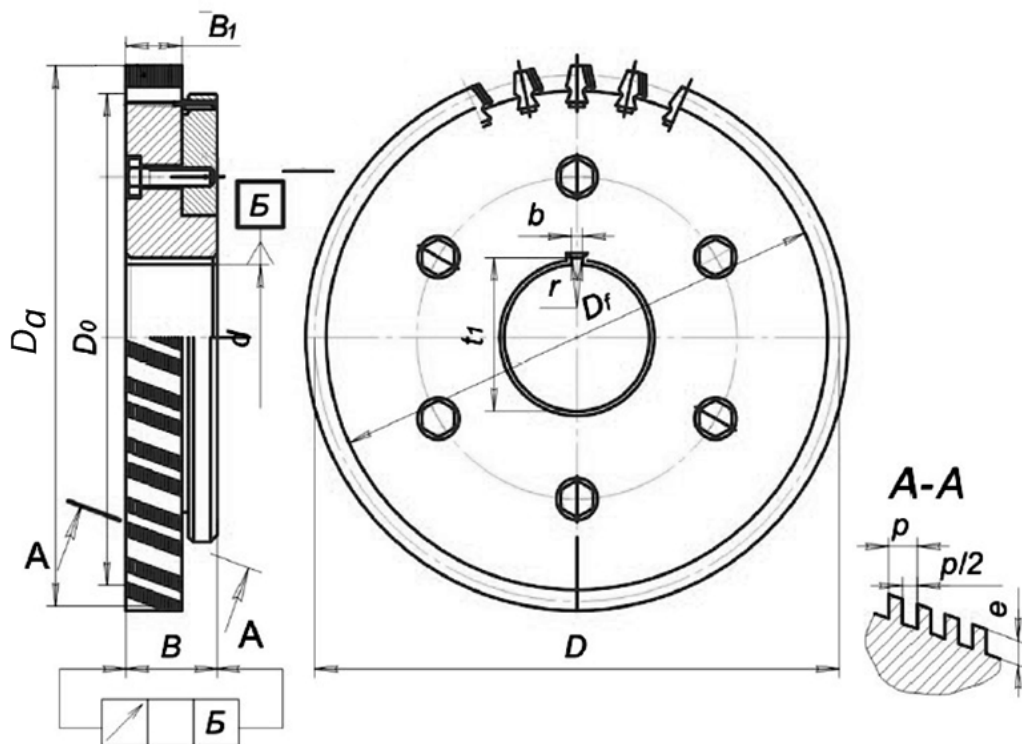


Рисунок 8.12 – Збірний твердосплавний шевер

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);

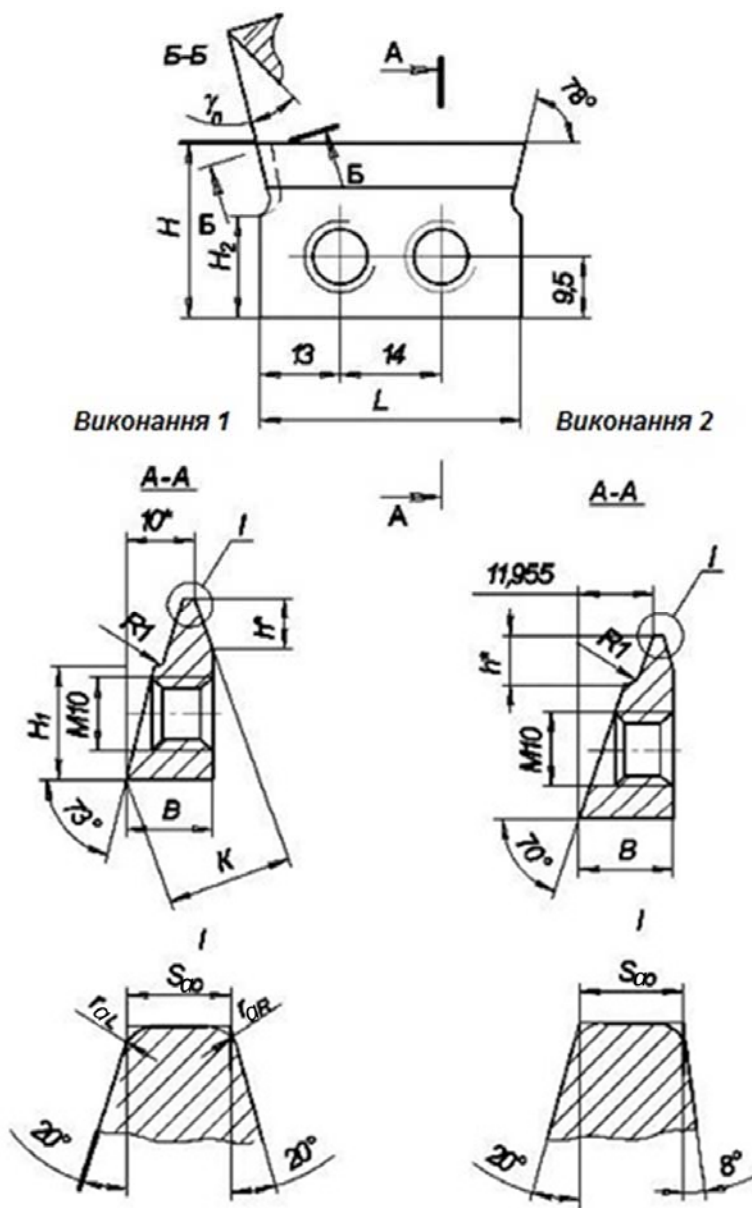


Рисунок 8.13 – Зубостругальний різець типу 1

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);

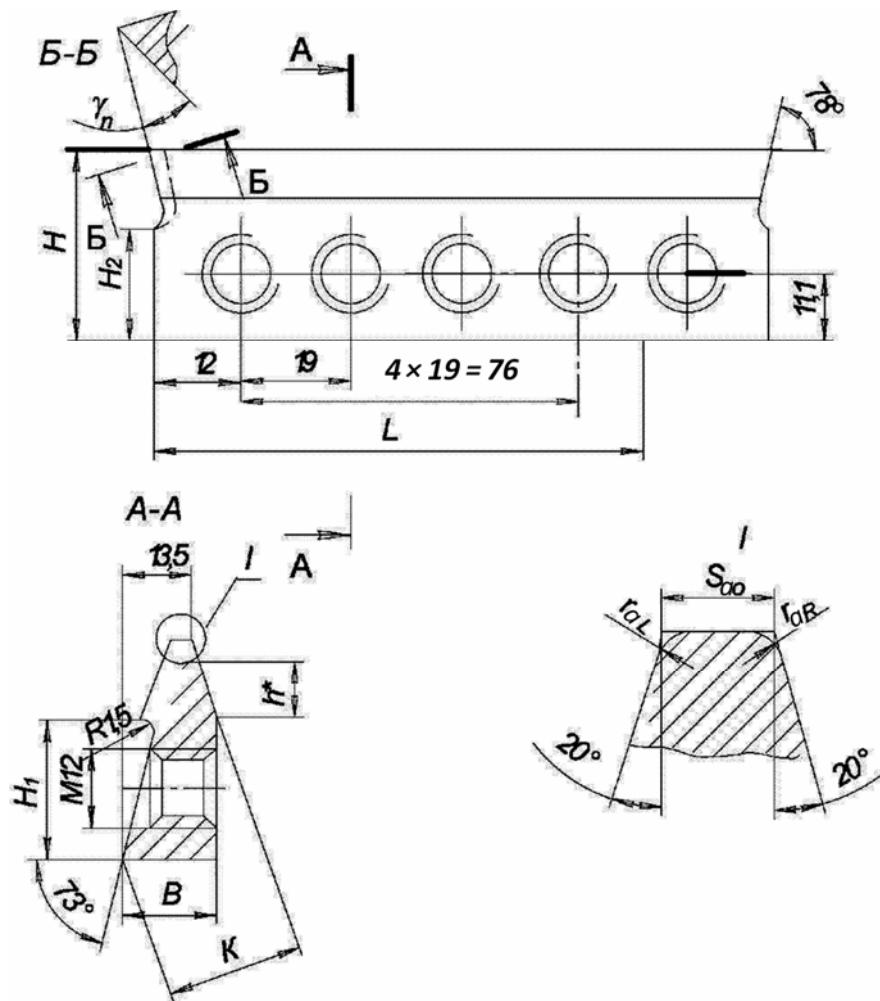


Рисунок 8.14 – Зубофугальний різець типу 2

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		23	28	
1,5...1,75	17,03	4,2	0,6	0,45			
2,0...2,25	17,43	5,3	0,8	26		0,60	0,18
2,5...2,75	17,86	6,5	1,0			0,75	
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);

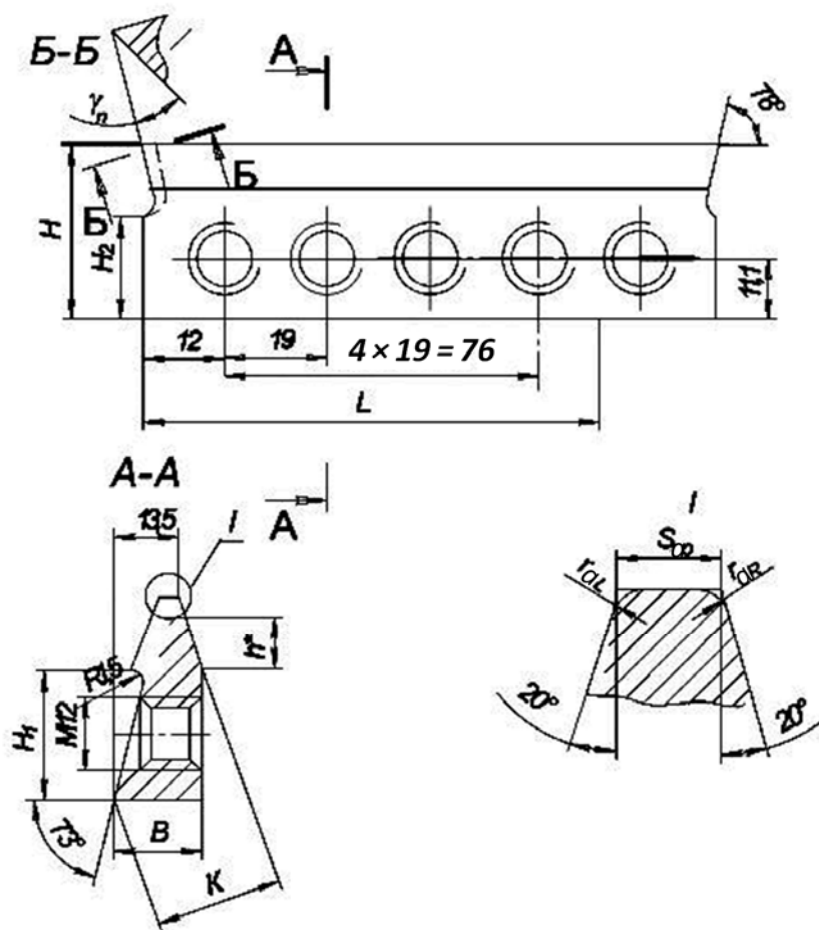


Рисунок 8.15 – Зубостругальний різець типу 3

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	0,45
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

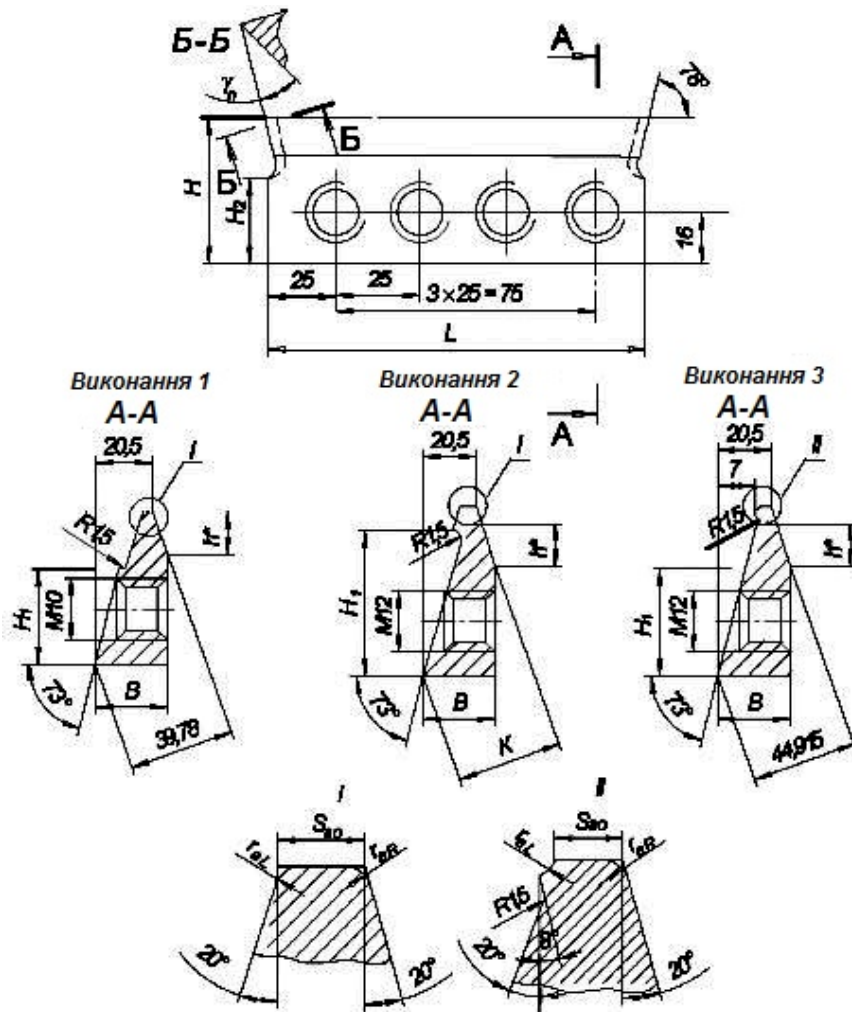


Рисунок 8.16 – Зубостругальний різець типу 4

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:

$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>	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:

$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>	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 $S_s$ , 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:

$\sigma_b$ , кг/мм <sup>2</sup>	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, HB			
		< 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  $T_{\text{хв}}$ , хв, при довбанні однієї деталі визначається за формулою

$$T_{\text{м}} = \frac{\pi z m i}{S_{\text{кр}} n} + \frac{h}{S_{\text{р}} n},$$

де  $z$  – кількість зубів нарізованого колеса;  $n$  – кількість подвійних ходів довбача, хв;  $h$  – висота зуба, що нарізується;  $i$  – кількість проходів;  $S_{\text{кр}}$  – кругова подача;  $S_{\text{р}}$  – 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 $\Delta$ , 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 $\Delta$ , 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  $S_{\text{п}}$  (величина переміщення оброблюваного колеса за один його оберт, мм/об), радіальною  $S_{\text{р}}$  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  $15^\circ$ , 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;  $\beta$  – 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;  $S_{\Pi}$  – поздовжня подача;  $n$  – частота обертання шевера;  $K$  – кількість ходів,  $K = 1,37\Delta / S_p + 2$ ;  $S_p$  – радіальна подача;  $\Delta$  – 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 $S_{\Pi}$ , 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,  $L_{p.x} = b + (6 \dots 9)$ , 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  $T_{\Phi}$  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  $\alpha$ -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 (B<sub>4</sub>C) 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 (АС) 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 (АР) одержують за тих самих умов, що й синтетичний алмазний порошок. Синтез алмазного порошку, його спікання в блоки щільністю 3,2...3,45 г/см<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	Мікротвердість, ГПа	Теплостійкість, °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
хромотитаністий	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 високоточних 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		Carborundum (США)
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					
<b>M63</b>	<b>63...50</b>	<b>F 230</b>	<b>53 ± 3,0</b>	<b>P240</b>	<b>58,5 ± 2,0</b>
<b>M50</b>	<b>50...40</b>	<b>F 240</b>	<b>44,5 ± 2,0</b>	<b>P320</b>	<b>46,5 ± 1,5</b>
<b>M40</b>	<b>40...28</b>	<b>F 280</b>	<b>36,5 ± 1,5</b>	<b>P400</b>	<b>35 ± 1,5</b>
<b>M28</b>	<b>28...20</b>	<b>F 360</b>	<b>22,8 ± 1,5</b>	<b>P800</b>	<b>25,8 ± 1,0</b>
<b>M20</b>	<b>20...14</b>	<b>F 400</b>	<b>17,3 ± 1,0</b>	<b>P1000</b>	<b>18,3 ± 1,0</b>
<b>M14</b>	<b>14...10</b>	<b>F 500</b>	<b>12,8 ± 1,0</b>	<b>P1200</b>	<b>13,5 ± 1,0</b>
<b>M10</b>	<b>10...7</b>	<b>F 600</b>	<b>9,3 ± 1,0</b>	–	–
<b>M7</b>	<b>7...5</b>	<b>F 800</b>	<b>6,5 ± 1,0</b>	–	–
<b>M5</b>	<b>5...3</b>	<b>F 1000</b>	<b>4,5 ± 0,8</b>	–	–

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		
<b>2500/1600</b>	<b>2500/2000</b>	<b>315/250</b>	<b>60/40</b>	<b>0,7/0,3</b>
<b>1600/1000</b>	<b>2000/1600</b>	<b>250/200</b>	<b>40/28</b>	<b>0,5/0,1</b>
<b>1000/630</b>	<b>1600/1250</b>	<b>200/160</b>	<b>28/20</b>	<b>0,3/0</b>
<b>630/400</b>	<b>1250/1000</b>	<b>160/125</b>	<b>20/14</b>	<b>0,1/0</b>
<b>400/250</b>	<b>1000/800</b>	<b>125/100</b>	<b>14/10</b>	
<b>250/160</b>	<b>800/630</b>	<b>100/80</b>	<b>10/7</b>	
<b>160/100</b>	<b>630/500</b>	<b>80/63</b>	<b>7/5</b>	
<b>100/63</b>	<b>500/400</b>	<b>63/50</b>	<b>5/3</b>	
<b>63/40</b>	<b>400/315</b>	<b>50/40</b>	<b>3/2</b>	
			<b>2/1</b>	
			<b>1/0</b>	

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	ISO 565	FERA
Зернистість, мкм (вузький діапазон)	Розміри ячей сит, мкм	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	FEPA
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.

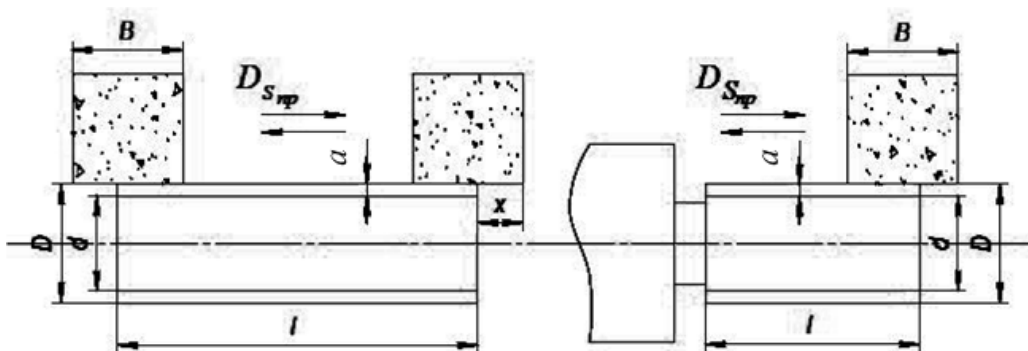


Рисунок 9.1 – Зовнішнє кругле шліфування методом поздовжньої подачі

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.

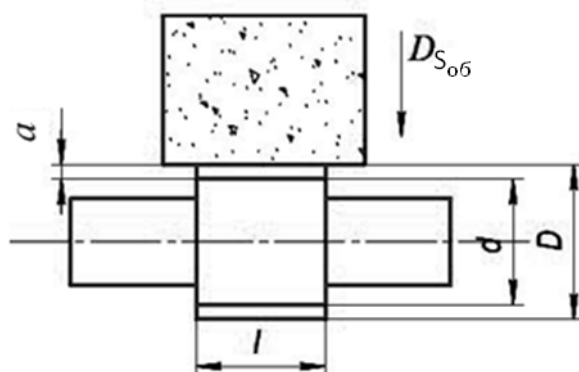


Рисунок 9.2 – Зовнішнє кругле шліфування методом радіальної подачі

Внутрішнє шліфування здійснюється з поздовжньою та радіальною подачами (рис. 9.3).

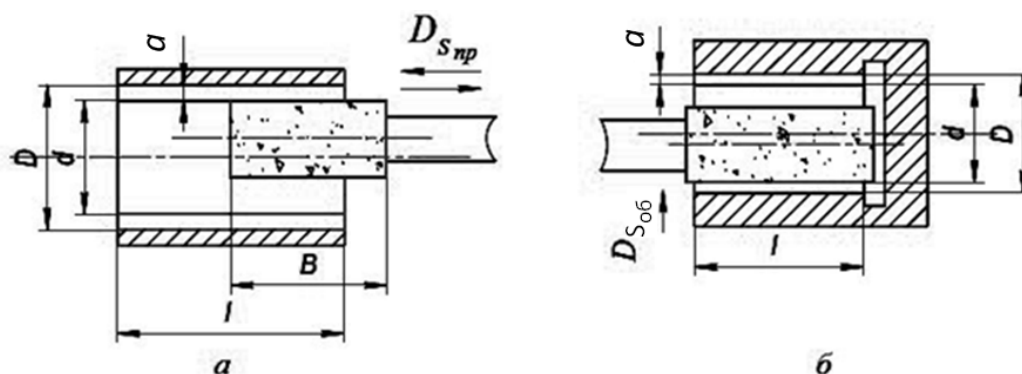


Рисунок 9.3 – Внутрішнє кругле шліфування методами поздовжньої (а) і радіальної (б) подачі

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.

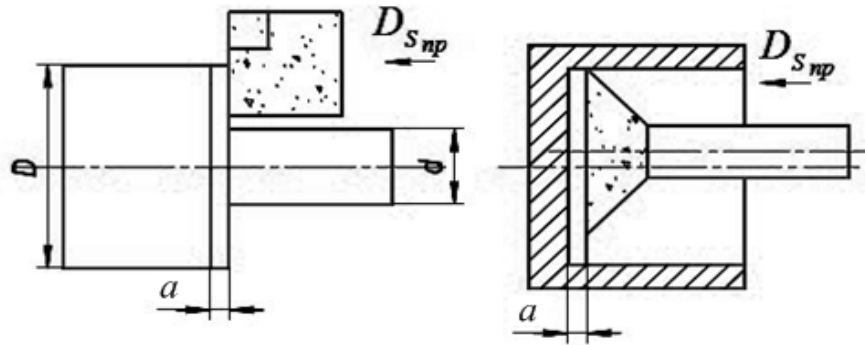


Рисунок 9.4 – Зовнішнє та внутрішнє шліфування торців методом врізання

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.

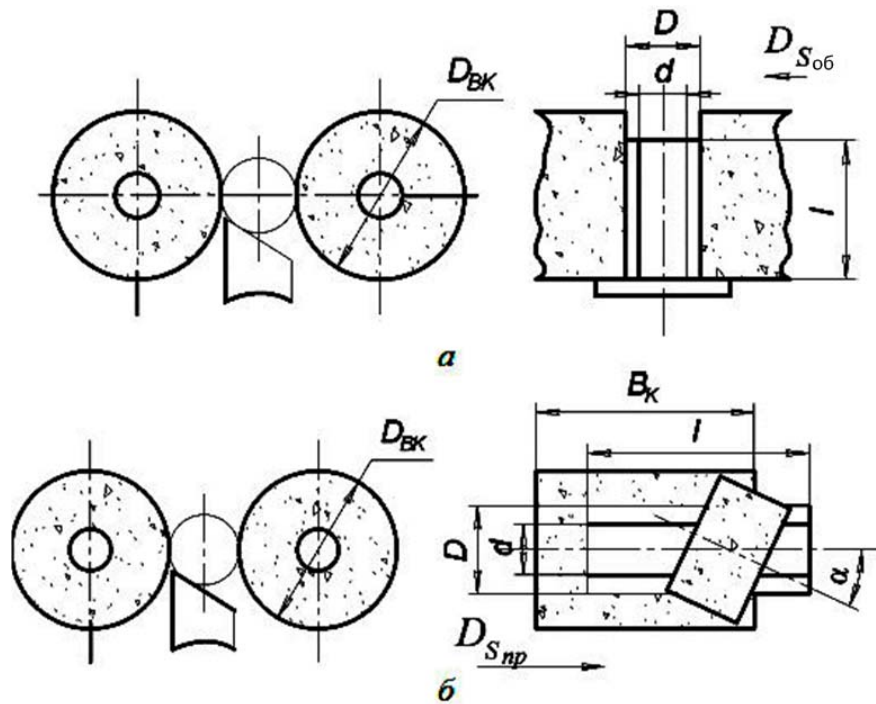


Рисунок 9.5 – Безцентрове зовнішнє шліфування методами радіальної (а) і поздовжньої (б) подачі

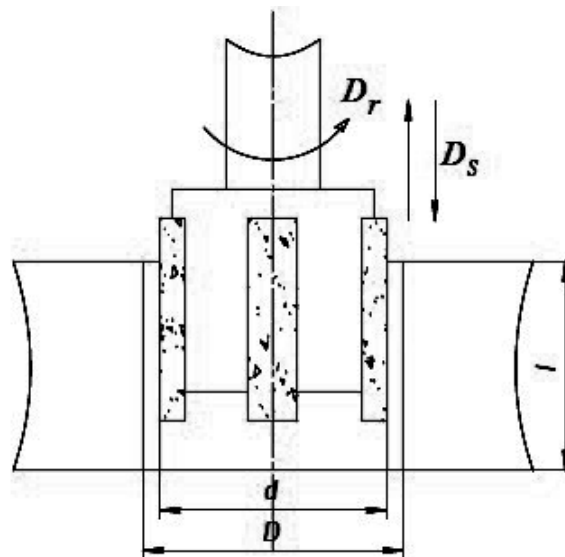


Рисунок 9.6 – Хонінгування отворів

Верстати для плоского шліфування мають обертовий рух столу з оброблюваною заготовкою або зворотно-поступальне відносне переміщення круга й виробу.

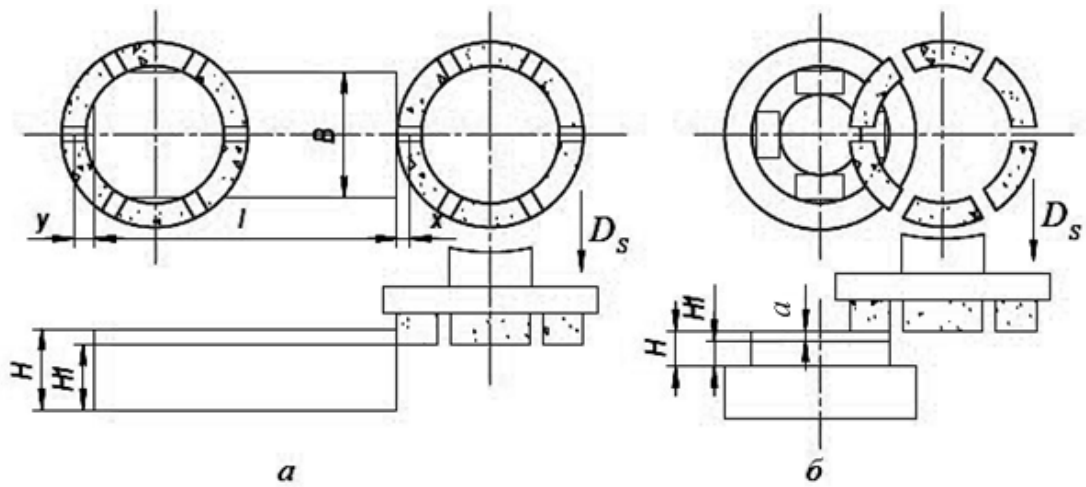


Рисунок 9.7 – Плоске шліфування торцем круга на верстатах із прямокутним столом (а) та з круглим столом (б)

Шліфування торцем круга здійснюється декількома способами:

- з нахилом (до  $4^\circ$ ) осі шліфувального інструмента до напрямку поздовжньої подачі столу;
- без нахилу круга.

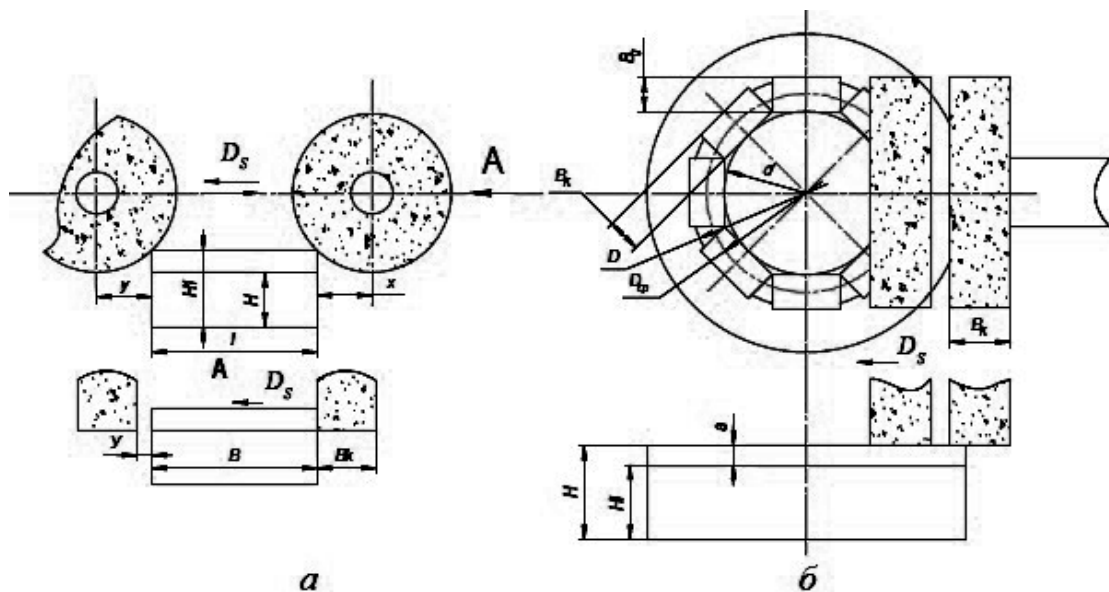


Рисунок 9.8 – Плоске шліфування периферією круга на верстатах із прямокутним столом (а) та з круглим столом (б)

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 осевого перерізу яких відповідає профілю різі, яка нарізується.

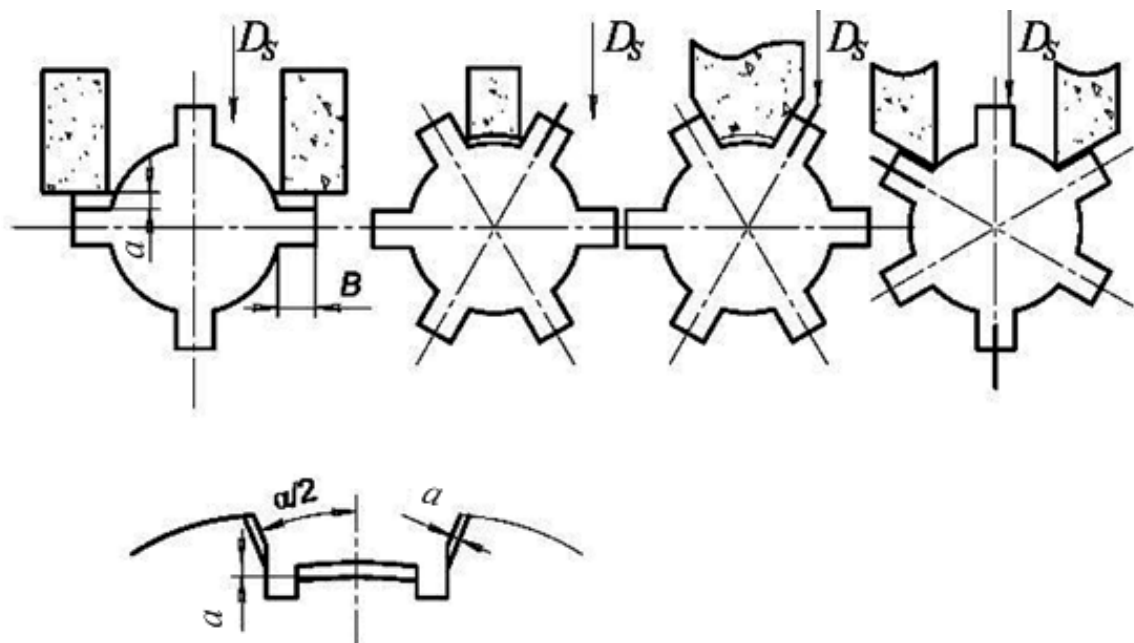


Рисунок 9.9 – Шліфування шліцьових валів

Шліфування одонитковим кругом реалізується при обертанні виробу й осевій 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.

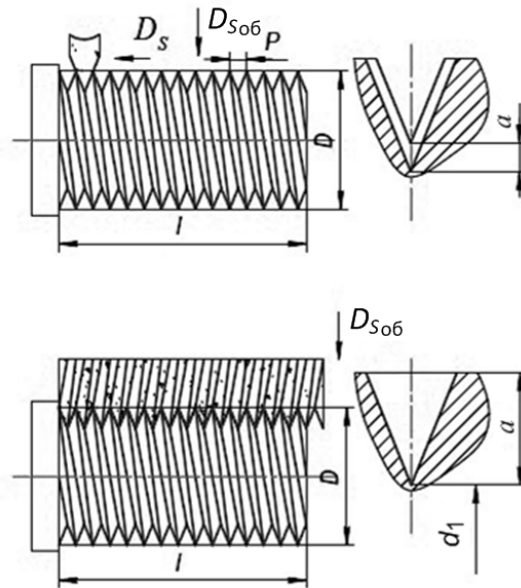


Рисунок 9.10 – Шліфування нарізі

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.

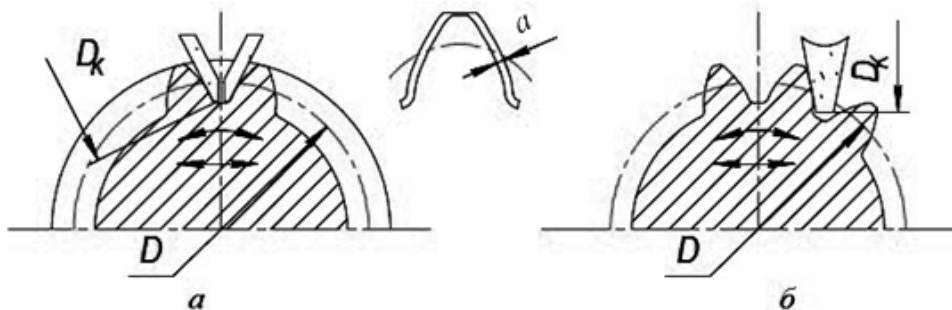


Рисунок 9.11 – Шліфування зубів методом обкатування

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.

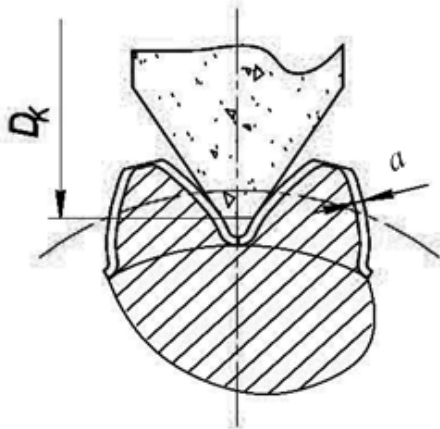


Рисунок 9.12 – Шліфування зубів методом копіювання

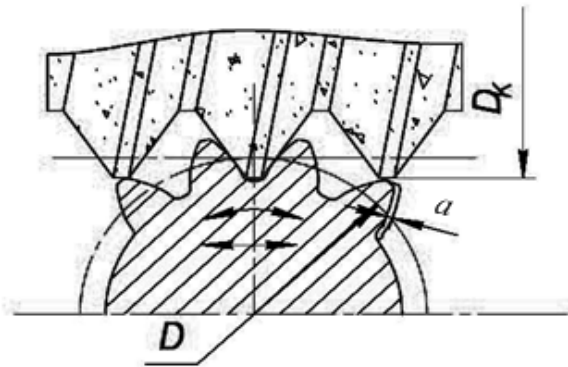


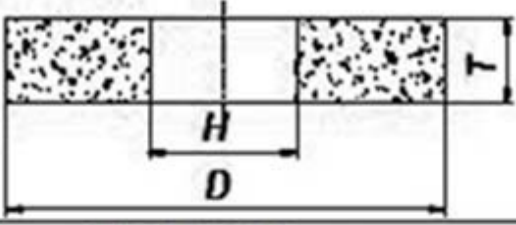
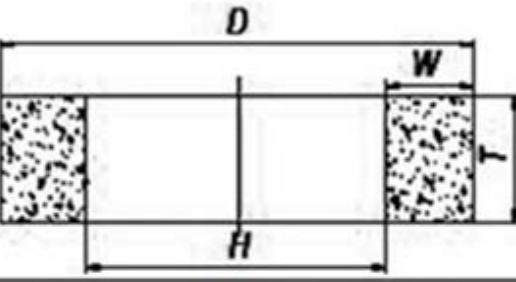
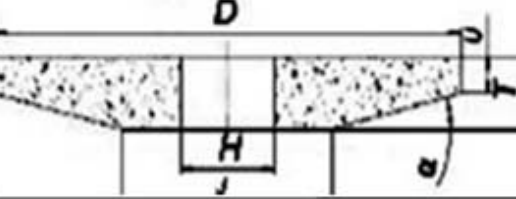
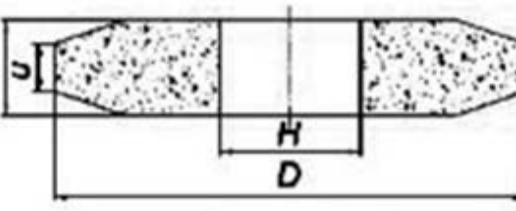
Рисунок 9.13 – Шліфування методом копіювання

### 9.3. Вибір форми та розмірів абразивних інструментів

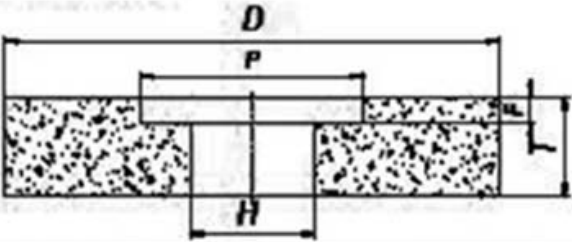
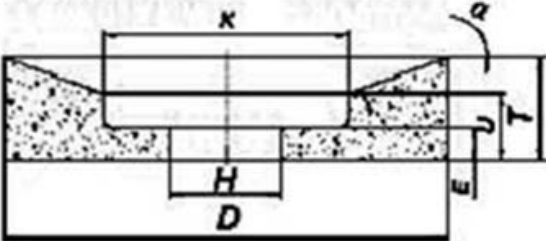
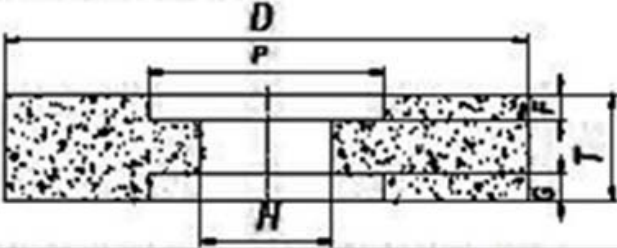
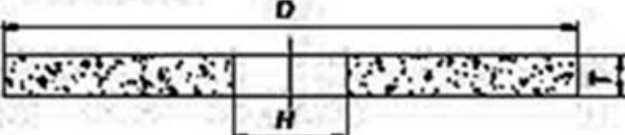
Тип і геометричні розміри абразивних інструментів визначаються верстатом і характером рухів інструментів, а також формою та розмірами оброблюваних поверхонь. Основні форми та розміри абразивних шліфувальних кругів на керамічній (К), бакелітовій (Б) або вулканітовій (В) зв'язках за ДСТУ 2424-83 (у ред. 1996 р.) і області їх використання наведено в табл. 9.9.

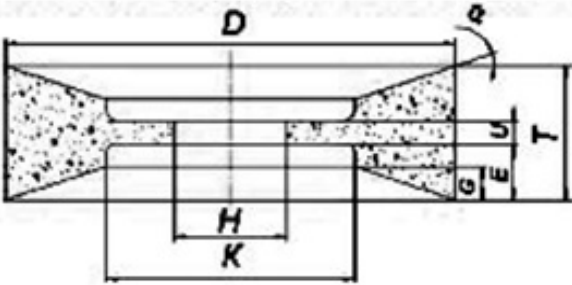
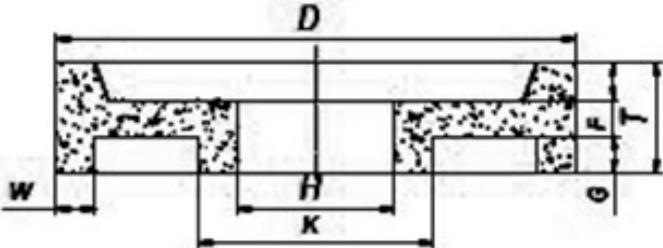
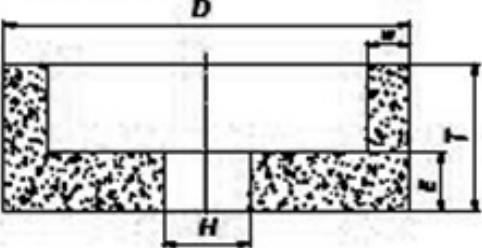
Відрізнні круги за ДСТУ 21963-82 випускаються на бакелітовій та вулканітовій зв'язках. Гранично припустима швидкість цих кругів становить 50 і 60 м/с відповідно (див. табл. 9.9).

Таблиця 9.9 – Типи, розміри й області застосування абразивних кругів

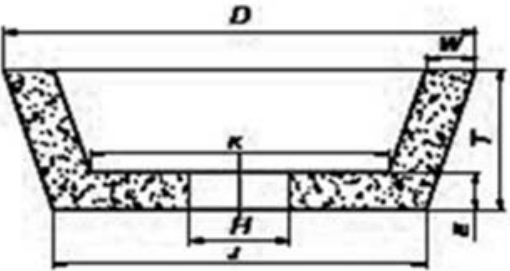
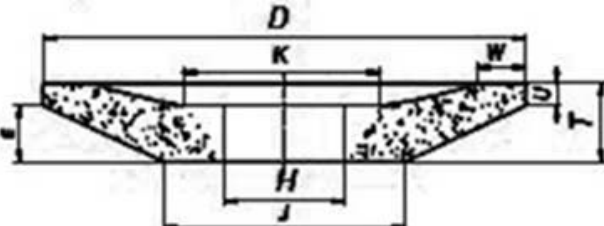
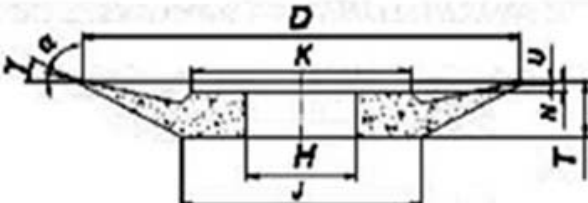
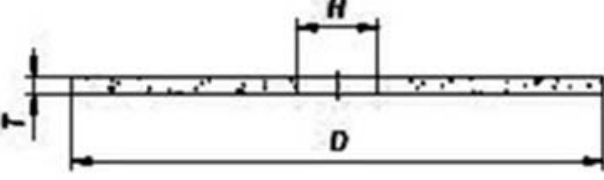
Тип, маркування та розміри круга	Область використання
<p style="text-align: center;">Плоскі</p> <p>З прямим профілем, тип 1 (ПП), 1 D-T-H  <math>D=3 \dots 1060</math> мм, <math>T=6 \dots 200</math> мм,  <math>H=1 \dots 305</math> мм</p> 	<p>Для усіх видів обробл. торцем та периферією круга від обдирної до заточки інструментів. різе-, шліцьо-, зубошліфування</p>
<p>Кільцеві, тип 2 (К), 2 D-T-W-H  <math>D=200 \dots 600</math> мм, <math>T=63 \dots 160</math> мм,  <math>H=76 \dots 480</math> 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  <math>D=63 \dots 500</math> мм, <math>T=6 \dots 40</math> мм, <math>H=10 \dots 203</math> мм,  <math>\alpha=10^\circ \dots 45^\circ</math></p> 	
<p>З двостороннім конічним профілем, тип 4 (2П), 4 D-T-H  <math>D=250 \dots 500</math> мм, <math>T=8 \dots 32</math> мм, <math>H=76 \dots 203</math> мм,  <math>\alpha=40^\circ; 60^\circ</math></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  <math>D=10 \dots 600</math> мм, <math>T=13 \dots 100</math> мм, <math>H=3 \dots 305</math> 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 конічною виточкою, тип 23 (ПВК), 23 D-T-H  <math>D=300 \dots 750</math> мм, <math>T=50 \dots 80</math> мм, <math>H=127 \dots 305</math> мм, <math>\alpha=10^\circ, 15^\circ, 20^\circ</math></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  <math>D=100 \dots 900</math> мм, <math>T=25 \dots 250</math> мм, <math>H=32 \dots 305</math> 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  <math>D=50 \dots 500</math> мм, <math>T=0,6 \dots 5</math> мм, <math>H=16 \dots 32</math> мм</p> 	<p>Відрізування та прорізування</p>

Тип, маркування та розміри круга	Область використання
<b>Плоскі</b>	
<p>З прямим профілем та двосторонньою конічною виточкою, тип 26 (ПВДК), 26 D-T-H  <math>D=750</math> мм, <math>T=80</math> мм, <math>H=305</math> мм, <math>\alpha=5^\circ</math></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  <math>D=150 \dots 300</math> мм, <math>T=8 \dots 20</math> мм, <math>H=32 \dots 127</math> мм</p> 	<p>Для всіх видів шліфування торцем та периферією круга, а також для шліфування калібрових скоб</p>
<b>Чашкові</b>	
<p>Циліндричні, тип 6 (ЧЦ), 6 D-T-W-H  <math>D=40 \dots 300</math> мм, <math>T=25 \dots 100</math> мм, <math>H=13 \dots 127</math> мм</p> 	<p>Для плоского та внутрішнього шліфування, заточка та доводка інструментів</p>



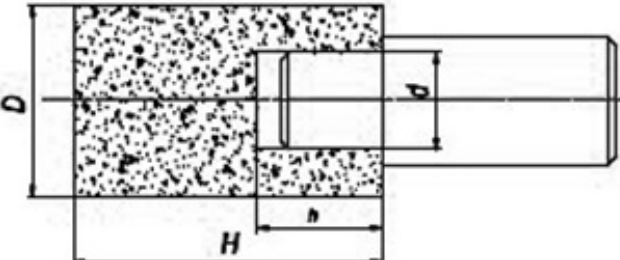
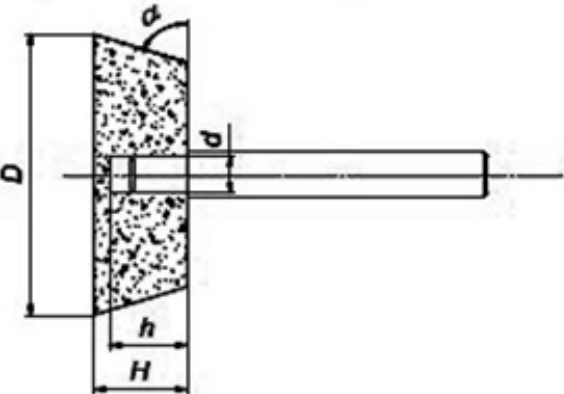
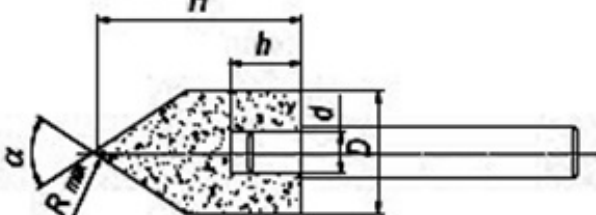
Тип, маркування та розміри круга	Область використання
<b>Плоскі</b>	
<p>Конічні, тип 11 (ЧК), 11 <i>D-T-W-H</i>  <math>\alpha = 50^\circ \dots 80^\circ</math>, <math>D = 50 \dots 300</math> мм, <math>T = 25 \dots 100</math> мм,  <math>H = 13 \dots 150</math> мм</p> 	<p>Для плоского та внутрішнього шліфування, заточування та доведення інструментів, зубошліфування</p>
<b>Тарільчасті</b>	
<p>Тип 12, (Т), 12 <i>D-T-W-H</i>  <math>D = 80 \dots 250</math> мм, <math>T = 8 \dots 25</math> мм, <math>H = 13 \dots 32</math> мм,  <math>\alpha = 15^\circ, 25^\circ</math></p> 	<p>Оброблення зубів, заточування та доведення передніх поверхонь багатолезових інструментів</p>
<p>Тип 14, (1Т), 14 <i>D-T-W-H</i>  <math>D = 100 \dots 350</math> мм, <math>T = 10 \dots 40</math> мм, <math>H = 20 \dots 127</math> мм,  <math>\alpha = 7^\circ, 10^\circ</math>; <math>\gamma = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ</math></p> 	
<b>Відрізні</b>	
<p>Тип 1, без зміцнювальних елементів  <math>D = 50 \dots 500</math> мм, <math>T = 0,6 \dots 5</math> мм, <math>H = 10 \dots 75</math> мм</p> 	<p>Відрізання та прорізання різних сталей та сплавів, неметалічних виробів</p>

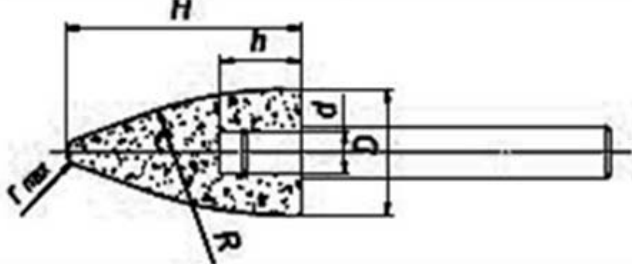
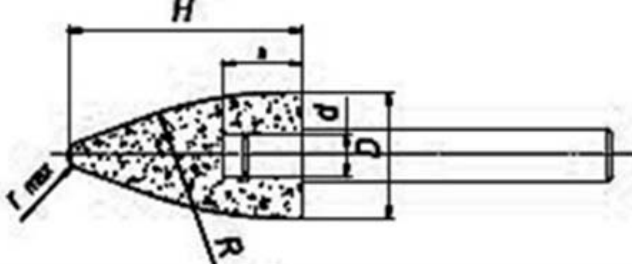
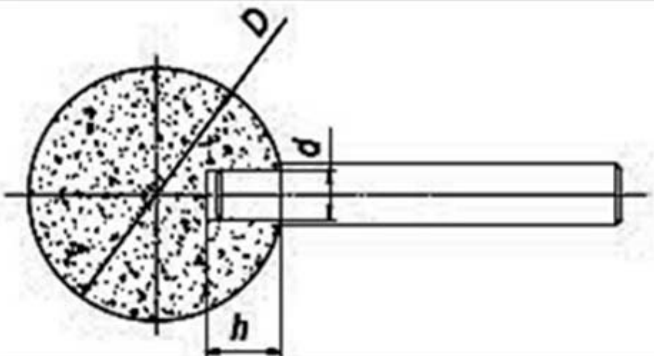
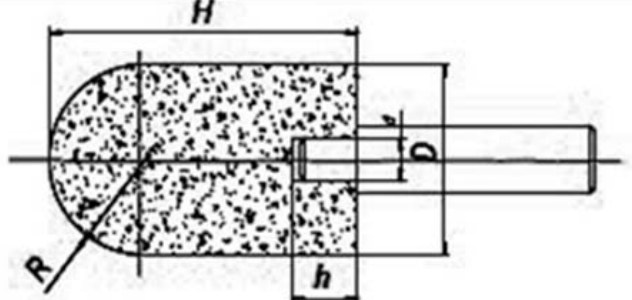
Тип, маркування та розміри круга	Область використання
Плоскі	
Тип 1, зі зміцнюючими елементами $D= 50 \dots 1500$ мм, $T= 1,5 \dots 12$ мм, $H= 10 \dots 150$ мм	Обдирні роботи, відрізання та прорізання, зачищення зварних швів
	

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

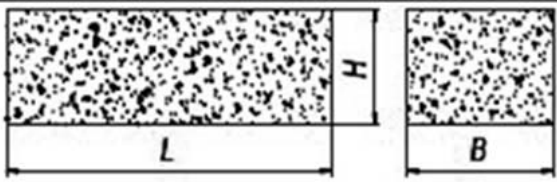
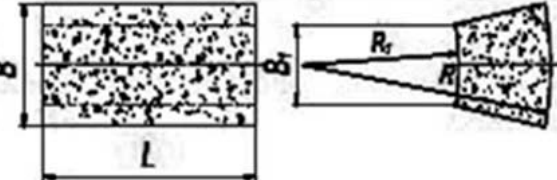
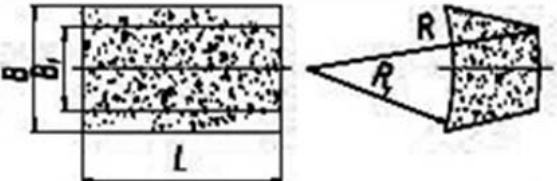
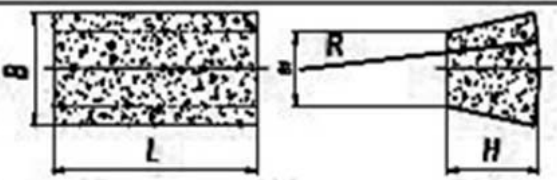

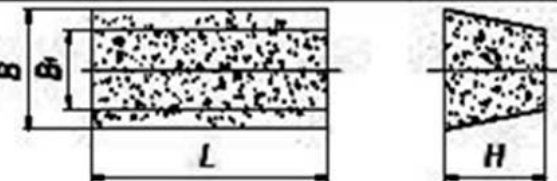
Тип, найменування, основні розміри	Приклад
Циліндричні, <i>AW</i> $D= 3 \dots 40$ мм, $H= 6 \dots 60$ мм, $\alpha= 1 \dots 13$ мм	
Кутові, <i>DW</i> $D= 12 \dots 40$ мм, $H= 6 \dots 10$ мм, $\alpha= 1 \dots 13$ мм, $\alpha = 75^\circ$	
Конічні, <i>EW</i> $D= 10 \dots 32$ мм, $H= 25 \dots 50$ мм, $\alpha= 3 \dots 6$ 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

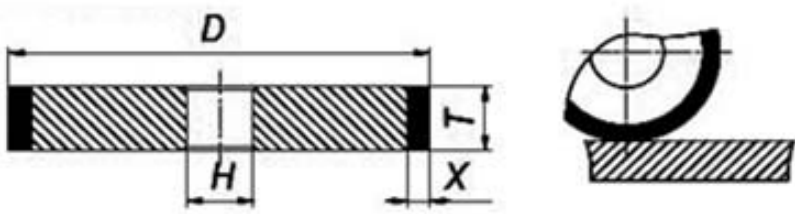
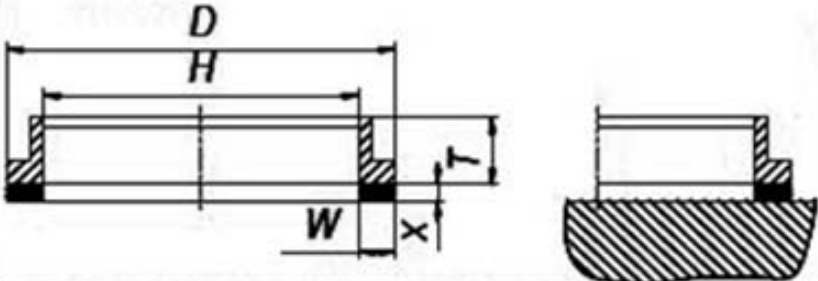
Тип, найменування, основні розміри	Приклад
Прямокутні, 1П $B=40 \dots 180$ мм, $H=20 \dots 63$ мм, $L=80 \dots 250$ мм	
Опукло-вгнуті, 1С $B=60 \dots 150$ мм, $L=75 \dots 200$ мм, $R=85 \dots 300$ мм, $B_1=40 \dots 110$ мм, $R_1=60 \dots 250$ мм	
Вгнуто-опуклі, 2С $B=80 \dots 95$ мм, $L=125 \dots 175$ 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	

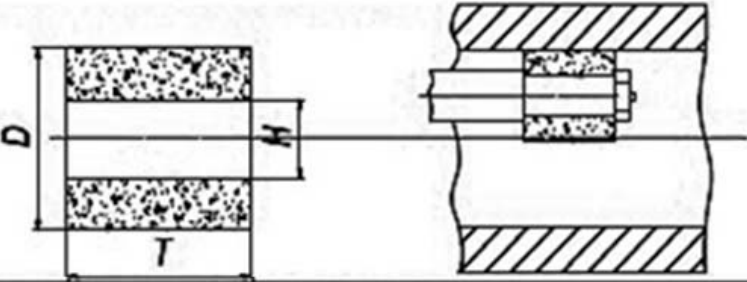
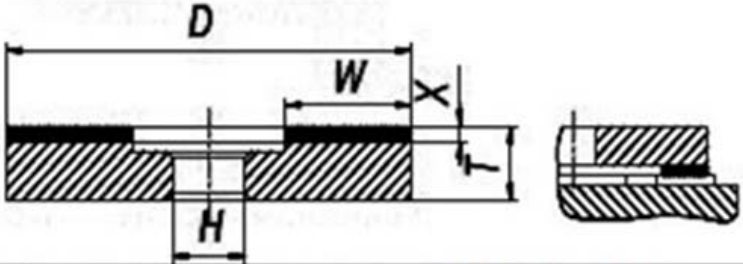
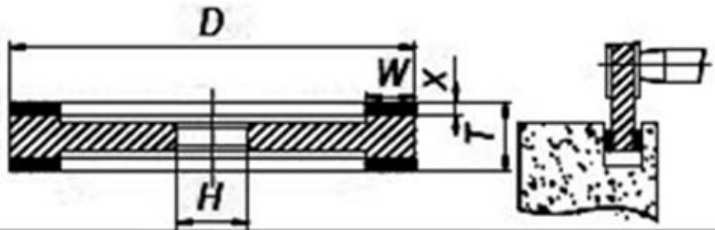
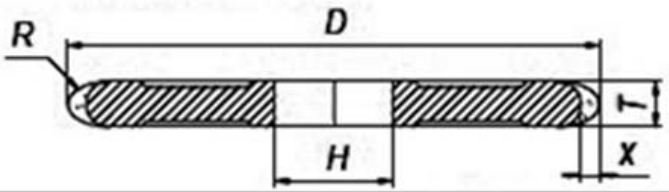
Таблиця 9.12 – Типи й розміри шліфувальних брусків

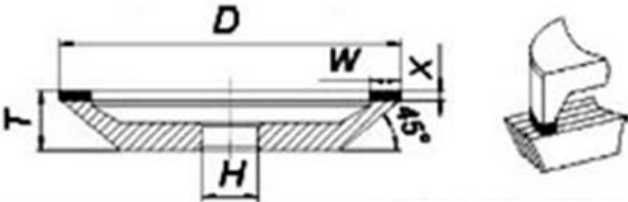
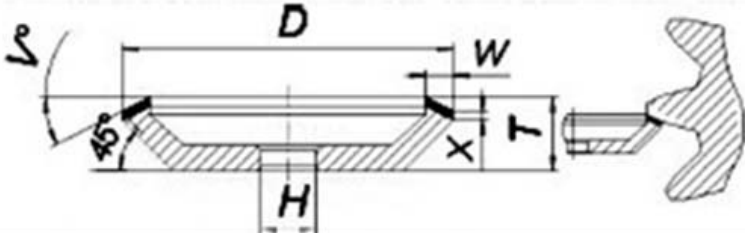
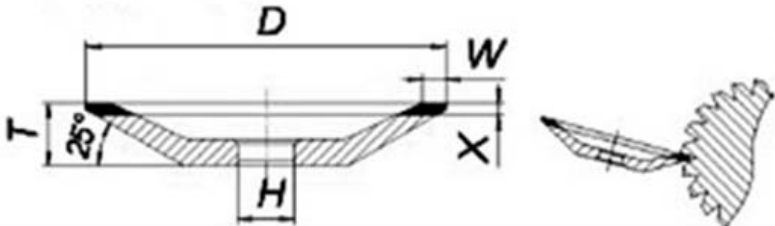
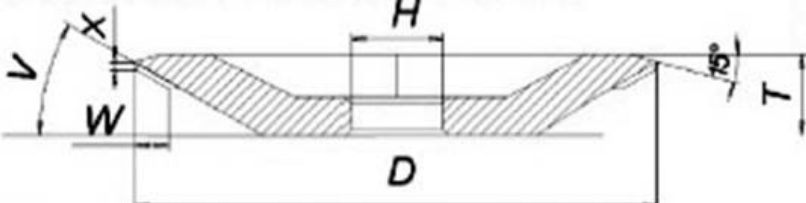
Тип, найменування, основні розміри, мм		
<p>Квадратні, БКв</p>  <p><math>B=4 \dots 45</math> мм, <math>L=16 \dots 200</math> мм</p>	<p>Круглі, БКр</p>  <p><math>D=6 \dots 16</math> мм, <math>L=100 \dots 150</math> мм</p>	<p>Напівкруглі, БПкр</p>  <p><math>D=13 \dots 20</math> мм, <math>L=50 \dots 200</math> мм</p>

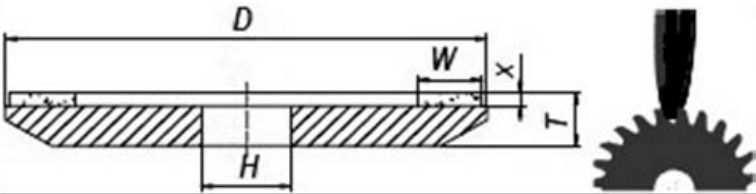
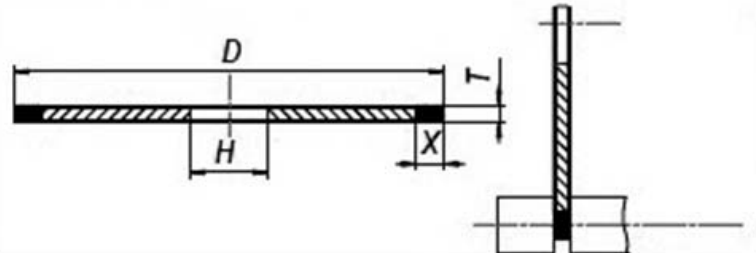
Тип, найменування, основні розміри, мм		
<p>Прямокутні, БП</p>  <p><math>B = 2 \dots 80</math> мм, <math>H = 3 \dots 25</math> мм, <math>L = 15 \dots 200</math> мм</p>	<p>Трикутні, БТ</p>  <p><math>B = 6 \dots 16</math> мм, <math>L = 100 \dots 150</math> мм</p>	<p>Вгнуті, Л2БС</p>  <p><math>B = 25 \dots 100</math> мм, <math>L = 5 \dots 13</math> мм, <math>H = 5 \dots 16</math> мм, <math>h = 3 \dots 6</math> 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><math>D = 16 \dots 500</math> мм, <math>T = 2 \dots 80</math> мм, <math>H = 6 \dots 203</math> мм, <math>X = 2 \dots 6</math> мм</p> 	<p>Обробл. циліндричних, конічних та плоских поверхонь, отворів, торців, виступів, пазів, шлиць. Заточування та доведення твердосплавного інструменту</p>
<p>Кільцевий по ДСТУ 17006-80, тип 2A2</p> <p>2A2 D-T-W-X-H</p> <p><math>D = 5 \dots 280</math> мм, <math>T = 8 \dots 20</math> мм, <math>X = 3 \dots 5</math> мм, <math>W = 2 \dots 6</math> 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,  A8 <math>D-T-H</math>  <math>D=6 \dots 14</math> мм, <math>T=4 \dots 12</math> мм, <math>H=2 \dots 4</math> мм</p> 	<p>Внутрішнє шліфування  циліндричних поверхонь  деталей із твердого сплаву,  скла, кераміки та  важкооброблюваних  матеріалів</p>
<p>З виточкою по ДСТУ 16170-91, тип 6A2,  6A2 <math>D-T-W-X-H</math>  <math>D=50 \dots 300</math> мм, <math>T=22, 33</math> мм, <math>H=16 \dots 76</math> мм, <math>X=2 \dots 6</math> мм  <math>W=3 \dots 40</math> мм</p> 	<p>Заточування та доведення  твердосплавного  інструменту, плоске  шліфування скла та інших  неметалевих матеріалів</p>
<p>З двосторонньою виточкою по ДСТУ 16171-91, тип 9A3,  9A3 <math>D-T-W-X-H</math>  <math>D=100 \dots 250</math> мм, <math>T=10 \dots 37</math> мм, <math>H=20 \dots 127</math> мм,  <math>X=2 \dots 6</math> мм, <math>W=3 \dots 20</math> мм</p> 	<p>Те ж саме</p>
<p>З напівкругло-опуклим профілем по ДСТУ 16180-91, тип 1FF1,  1FF1 <math>D-R-T-X-H</math>  <math>D=50 \dots 250</math> мм, <math>T=2 \dots 30</math> мм, <math>H=16 \dots 51</math> мм, <math>R=1 \dots 15</math> мм, <math>X=2 \dots 6</math> мм</p> 	<p>Обробл. канавок  інструментів та  шліфування фасонного  профілю</p>

Тип, маркування та розміри круга	Область використання
<b>Чашкові</b>	
<p>Конічний з кутом <math>45^\circ</math> по ДСТУ 16172-90, тип 12A2-45°,                      12A2-45° <i>D-T-W-X-H</i> <math>D=50 \dots 250</math> мм, <math>T=20 \dots 52</math> мм,  <math>H=16 \dots 76</math> мм, <math>X=2 \dots 6</math> мм, <math>W=2 \dots 20</math> мм</p> 	<p>Заточування та доведення багатолезового твердосплавного інструменту з прямим та гвинтовим зубом по передній поверхні</p>
<b>Тарільчасті</b>	
<p>З кутом <math>45^\circ</math> по ДСТУ 16174-91, тип 12V5-45°,                      12V5-45° <i>D-T-W-X-V-H</i>  <math>D=50 \dots 250</math> мм, <math>T=20 \dots 40</math> мм, <math>H=16 \dots 51</math> мм,  <math>X=3 \dots 5</math> мм, <math>W=3 \dots 6</math> мм, <math>V=15^\circ, 25^\circ</math></p> 	<p>Заточування та доведення багатолезового твердосплавного інструменту з прямим та гвинтовим зубом по передній та задній поверхням</p>
<p>З кутом <math>25^\circ</math> по ДСТУ 16176-82, тип 12R4,                      12R4 <i>D-T-W-X-H</i>  <math>D=125 \dots 300</math> мм, <math>T=6 \dots 16</math> мм, <math>H=16 \dots 51</math> мм,  <math>X=1,5; 2; 3</math> мм, <math>W=4 \dots 40</math> мм</p> 	<p>Заточування та доведення передньої поверхні зубців твердосплавного інструменту (розгортки, фрези, протяжки, довбачі, черв'ячні фрези та ін.)</p>
<p>З кутом <math>15^\circ</math> або <math>25^\circ</math> по ДСТУ 16174-82, тип 12D9,                      12D9 <i>D-T-W-X-V-H</i>  <math>D=125 \dots 300</math> мм, <math>T=11 \dots 25</math> мм, <math>H=31 \dots 75</math> мм,  <math>X=2; 3</math> мм, <math>W=4 \dots 40</math> мм, <math>V=15^\circ, 25^\circ</math></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> <math>D= 100 \dots 150</math> мм, <math>T= 10, 12</math> мм, <math>X= 1 \dots 3</math> мм, <math>W= 3 \dots 8</math> мм, <math>H= 20 \dots 31,75</math> 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> <math>D= 50 \dots 400</math> мм, <math>T= 0,15 \dots 0,22</math> мм <math>H= 6 \dots 75</math> мм, <math>X= 2,5 \dots 10</math> мм</p> 	<p>Різання 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, тальк, 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	Правлення абразивних інструментів, оброблення підшипникових кульок, безцентрове шліфування, прорізання вузьких канавок
Надзвичайно тверда	HT1; HT2	

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  $1 \text{ см}^3$  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.

Вибирання 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
Кругле 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 Напівчистове Остаточне	АС6200/160 (100/80) 4 М2-01
0,63...0,32		АС6 80/63 (50/40) 4 М2-01
0,32...0,16		АСМ40/28 (20/14) 4 М2-01(Б2-01)
Оброблюваний матеріал: сталь загартована (H01, H10, H20)		
1,25...0,63	Попереднє Остаточне	АС6200/160 (100/80) 4 М2-01
0,63...0,16		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 ACM40/28 (20/14) 4 M2-01(B2-01)
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 ACM40/28 (20/14) 4 M2-01(B2-01)

Таблиця 9.23 – Характеристика кругів при різешліфуванні

Крок різи, 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 різи, 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 стола 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 стола,  $L_{p.x} = 2[l + (0,2 \dots 0,4) B]$ ;  $l$  – 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 (K01, K10)					
		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	$S_{плп}$ , мм/хід	$t$ , 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/хід, 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
Попереднє до та після термічної обробки	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/хв				
	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  $V_{\text{п}}$ , 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 $V_n$ , 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 *a*) 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 <i>h</i> , мм	Швидкість столу, м/хв	Кількість проходів			
	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 <i>h</i> , мм	Глибина <i>t</i> , 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		0,02		1,33					
	Чорнове	0,20	0,075		4,7					
	Н/чистове		0,04		4,7					
	Чистове		0,02		1,33					
	Чорнове	0,25	0,07		4,7					
	Н/чистове		0,04		4,7					
7 і більше	Чистове		0,02		1,33					
	Чорнове	0,30	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.



## 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. и др.] – Пермь : Изд-во перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 280 с.
3. Равська Н. С. Металорізальні інструменти : підручник / Равська Н.С. – Житомир : ЖДТУ, 2016. – 612 с.
4. Режущий инструмент / Под ред. Кирсанова С. В. М. : Машиностроение, 2005. – 528 с.
5. Технология производства режущего инструмента : учебное пособие / [Звягольский Ю.С., Солоненко В.Г. и др.] – [2-е изд., перераб.] – М. : КНОРУС, 2012. – 336 с.

### 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 «Кировоградский завод твердых сплавов». – Кировград, 2014. – 30 с.
7. Межгосударственные стандарты : каталог «Сменные пластины Sandvik-МКТС. Точение, резьбонарезание, фрезерование, сверление» ; ООО «Sandvik». – М., 2013. – 97 с.

## Електронні ресурси

1. Библиотека инструментальщика [Електронний ресурс] – Сайт стандартів на металорізальний інструмент. – Режим доступу : <http://www.info.instrumentmr.ru>
2. Библиотека машиностроителя [Електронний ресурс] – Ресурс, що містить технічну літературу, книги, довідники з галузей машинобудування. – Режим доступу : <http://lib-bkm.ru>
3. Інформаційний технічний портал [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.tehnoarticles.ru>
4. Заточка режущего инструмента [Електронний 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)

$\rho$  – густина, г/см<sup>3</sup>

$\sigma_{вр}$  – границя міцності при згинанні, МПа

$\sigma_{ст}$  – границя міцності на стиск, МПа

$\alpha$  – 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. Вибір типу й розміру різцеутримувача .....	8
1.3. Вибір 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. Вибір типу розточувального інструмента.....	66
2.2. Вибір форми, розміру та геометрії різальної пластини .....	75
2.3. Матеріал різальної пластини та режими різання.....	76
РОЗДІЛ 3. ВІДРІЗАННЯ. ОБРОБЛЕННЯ КАНАВОК.....	78
3.1. Вибір інструменту .....	78
3.2. Вибір геометрії пластин і матеріалу інструменту .....	81
3.3. Призначення режимів різання при відрізанні та при обробленні канавок.....	86
РОЗДІЛ 4. НАРІЗАННЯ РІЗИ .....	88
4.1. Вибір системи кріплення різальної пластини та типу тримача .....	88
4.2. Вибір способу врізання .....	90
4.3. Вибір типу, розміру, геометрії пластини й інструментального матеріалу .....	91
4.4. Призначення кількості проходів, глибини врізання за прохід і швидкості різання при різенарізанні .....	97
РОЗДІЛ 5. ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ .....	101
5.1. Свердління .....	101
5.2. Зенкерування .....	113
5.3. Розвірчування .....	118
5.3.1. Вибір типу розвертки.....	119
5.3.2. Вибір 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 обробляння деталей абразивними інструментами .....	222
9.3. Вибірання форми та розмірів абразивних інструментів .....	229
9.4. Вибірання характеристики абразивних інструментів.....	240
	269

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
ЛІТЕРАТУРА .....	266

Навчальне видання

ОСТРОВЕРХ Євген Володимирович

ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

ОБРОБЛЯННЯ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

Навчальний посібник

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

Українською мовою

Відповідальний за випуск *Г.К. Крижний*

Роботу до видання рекомендував *О.М. Шелковий*

В авторській редакції

Комп'ютерний набір та верстка В.О. Склепус

План 2019 р., поз. 7.

Підп. до друку 2019 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.  
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 15,8. Наклад 50 прим. Зам. №  
Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК 3657 від 24.12.2009 р.

---

Друкарня НТУ «ХП», Харків, вул. Кирпичова, 2