

# ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ и ИНСТРУМЕНТЫ

## ТЕМА 1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Характеристики:

– твердость  $\left\{ \begin{array}{l} \text{HR} \left\{ \begin{array}{l} \text{HRA} \\ \text{HRC} \end{array} \right. \\ \text{HV} \end{array} \right.$

– прочность  $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\text{в}} \\ \sigma_{- \text{в}} \\ \sigma_{\text{и}} \end{array} \right.$

– термостойкость  $\theta_{\text{к}} \geq \theta_{\text{р}}$

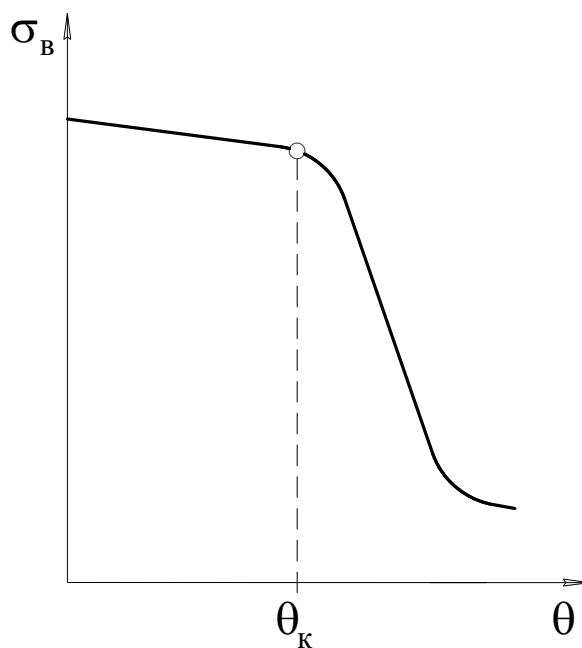


Рис. 1.1. О термостойкости материалов

– технологичность

– относительная стоимость  $p = \frac{Q}{V}$ , руб./см<sup>3</sup>

## УГЛЕРОДИСТЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

У
8
Г
А

**Таблица 1.1. Химический состав углеродистых инструментальных сталей**

Марка стали	Содержание элемента, %					
	углерод	кремний	марганец	сера	фосфор	хром, медь, никель
У8	0,76...0,83	0,17...0,33	0,17...0,33	до 0,028	до 0,030	до 0,2 каждого
У8Г			0,33...0,58			
У8ГА				до 0,018	до 0,025	
У10	0,96...1,03		0,17...0,33	до 0,028	до 0,030	
У12А	1,16...1,23			до 0,018	до 0,025	

HRC 62...64 |  $\sigma_{-B} \approx \sigma_H = 2,8...3,0 \text{ ГПа}$  |  $\theta_K = 200...250^\circ\text{C}$

## ЛЕГИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

9
Г
2
Ф

**Таблица 1.2. Химический состав легированных инструментальных сталей**

Марка стали	Содержание элемента, %					
	углерод	кремний	марганец	хром	вольфрам	ванадий
9ХС	0,85...0,95	1,2...1,6	0,3...0,6	0,9...1,2	–	–
ХВГ	0,90...1,05	0,1...0,4	0,8...1,1	0,9...1,2	1,2...1,6	–
11ХФ	1,05...1,15		0,4...0,7	0,4...0,7	–	0,1...0,3
В2Ф	1,05...1,22		0,1...0,4	–	1,6...2,0	
ХВ4Ф	1,25...1,45			0,4...0,7	3,5...4,3	

HRC 62...64 |  $\sigma_{-B} \approx \sigma_H = 3,0...3,2 \text{ ГПа}$  |  $\theta_K = 350...400^\circ\text{C}$

## БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

Р
9
М
4
К
8

**Таблица 1.3. Химический состав быстрорежущих сталей**

Марка стали	Содержание элемента, %					
	углерод	вольфрам	ванадий	кобальт	молибден	хром
P18	0,73...0,83	17,0...18,5	1,0...1,4	до 0,5	до 1,0	3,8...4,4
P12Ф3	0,95...1,05	12,0...13,0	2,5...3,0			
P9K10	0,90...1,00	9,0...10,5	2,0...2,6	9,0...10,5	4,8...5,3	3,8...4,4
P6M5	0,82...0,90	5,5...6,5	1,7...2,1	до 0,5		

HRC 64...66 |  $\sigma_{-B} \approx \sigma_{и} = 3,2...3,5 \text{ ГПа}$  |  $\theta_K = 600...620^\circ\text{C}$

## МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

### ОДНОКАРБИДНЫЕ СПЛАВЫ

В
К
10
М

**Таблица 1.4. Физико-механические свойства однокарбидных твердых сплавов**

Марка сплава	$\sigma_{и}$ , МПа	HRA
BK3	1176	89,5
BK6	1519	88,5
BK10	1764	87,0
BK20	2058	84,0

**Таблица 1.5. Влияние размера зерна WC на свойства твердого сплава BK6**

Марка сплава	Размер зерна, мкм	$\sigma_{и}$ , МПа	$\sigma_{-B}$ , МПа	HRA
BK6OM	1,3	1270	—	90,5
BK6M	1,6	1421	4910	90,0
BK6	2,0	1519	4390	88,5
BK6B	3,3	1660	3680	87,5

## ДВУХ- И ТРЕХКАРБИДНЫЕ СПЛАВЫ

<b>Т</b>	<b>5</b>	<b>К</b>	<b>10</b>
<b>ТТ</b>	<b>10</b>	<b>К</b>	<b>8</b>

**Таблица 1.6. Физико-механические свойства двух- и трехкарбидных сплавов**

Марка сплава	$\sigma_H$ , МПа	HRA	Марка сплава	$\sigma_H$ , МПа	HRA
T5K10	1421	88,5	ТТ7К12	1666	87,0
T14K8	1274	89,5	ТТ8К6	1323	90,5
T15K6	1176	90,0	ТТ10К8	1617	89,0
T30K4	980	92,0	ТТ20К9	1470	91,0

HRA 84...92 (HRC 72...76) |  $\sigma_B = 3,5...5,0$  ГПа |  $\sigma_H = 1,2...1,6$  ГПа

$\theta_K = 800...1000^\circ\text{C}$

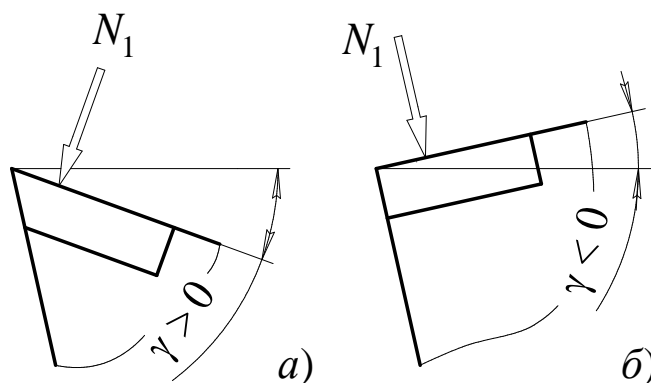


Рис. 1.2. Работа инструмента в условиях изгиба (а) и сжатия (б)

## БЕЗВОЛЬФРАМОВЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

**Таблица 1.7. Физико-механические свойства безвольфрамовых твердых сплавов**

Марка сплава	$\sigma_H$ , МПа	HRA
ТН-20	1050	90,0
КТН-16	1200	89,0
КТН-20	1550	90,0
КТН-30	1700	88,5

# НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## РЕЖУЩАЯ КЕРАМИКА

**Таблица 1.8. Состав и свойства режущей керамики**

Вид керамики	Марка	Содержание элементов	$\sigma_{\text{и}}$ , МПа	HRA
оксидная	ЦМ-332	99% $\text{Al}_2\text{O}_3$ + 1% MgO	300...350	91
	ВШ-75	$\text{Al}_2\text{O}_3$	250...300	92
оксикарбидная	В-3	60% $\text{Al}_2\text{O}_3$ + 40% TiC	600	94
	ВОК-63		650...700	
оксидонитридная	кортинит	70% $\text{Al}_2\text{O}_3$ + 30% TiN	640	92
нитридная	силинит-Р	$\text{Si}_3\text{N}_4$ + $\text{Y}_2\text{O}_3$ + TiC	700...800	94

HRA 91...94 (HRC 75...78) |  $\sigma_{\text{и}} = 250...800$  МПа |  $\theta_{\text{к}} \sim 1200^\circ\text{C}$

## ПРИРОДНЫЙ АЛМАЗ

HV 98000 |  $\sigma_{\text{в}} = 1960$  МПа |  $\sigma_{\text{и}} = 290$  МПа |  $\theta_{\text{к}} \sim 800^\circ\text{C}$

## СИНТЕТИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Таблица 1.9. Физико-механические характеристики синтетических СТВ**

Основа материала	Марка	$\sigma_{\text{в}}$ , ГПа	$\sigma_{\text{и}}$ , МПа	HV $\cdot 10^{-3}$	$\theta_{\text{к}}$ , $^\circ\text{C}$
синтетический алмаз	АСБ	0,4...0,6	780	49,0...88,2	600...770
	АСПК	0,4...0,8	500...1000	78,4...97,0	800...900
	АТП	0,3...0,4	800...850	49,0...51,0	680...730
кубический нитрид бора	Эльбор-Р	2,2...3,2	700...980	76,5...91,0	1070...1200
	Гексанит-Р	2,0...4,0	1200...1500	71,8...91,0	1000...1100
	Киборит	2,6...3,2	550...650	76,5...86,0	1300

## ТЕМА 2. ЕДИНАЯ ГЕОМЕТРИЯ РЕЖУЩЕГО ЛЕЗВИЯ

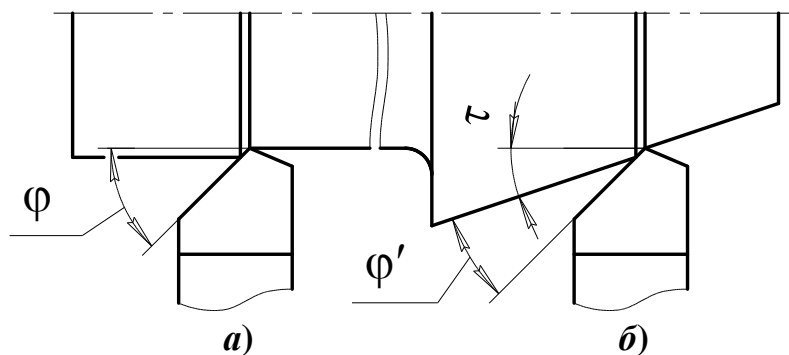


Рис. 2.1. Главный угол в плане токарного резца при обработке цилиндрической (а) и конической (б) поверхностей

Плоскости единой геометрии:

- основная плоскость  $P_v$
- плоскость резания  $P_n$
- главная секущая плоскость  $P_\tau$
- осевая секущая плоскость  $P_s$
- радиальная секущая плоскость  $P_r$
- нормальная секущая плоскость  $P_\lambda$

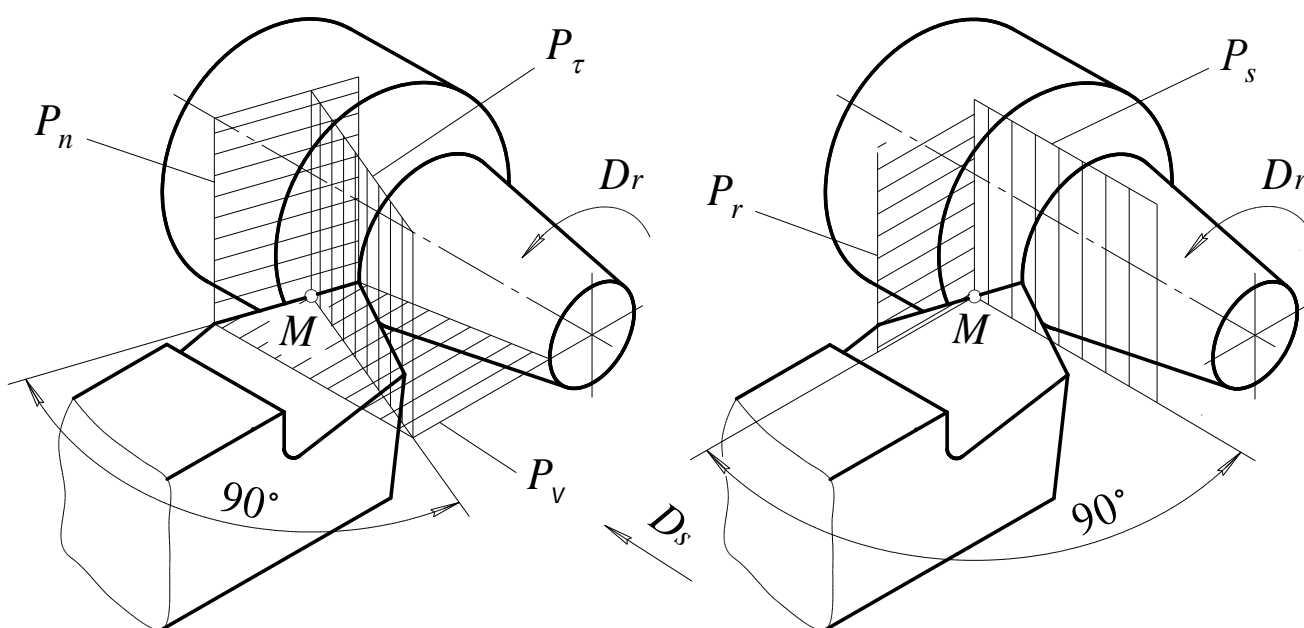


Рис. 2.2. Система плоскостей при резании

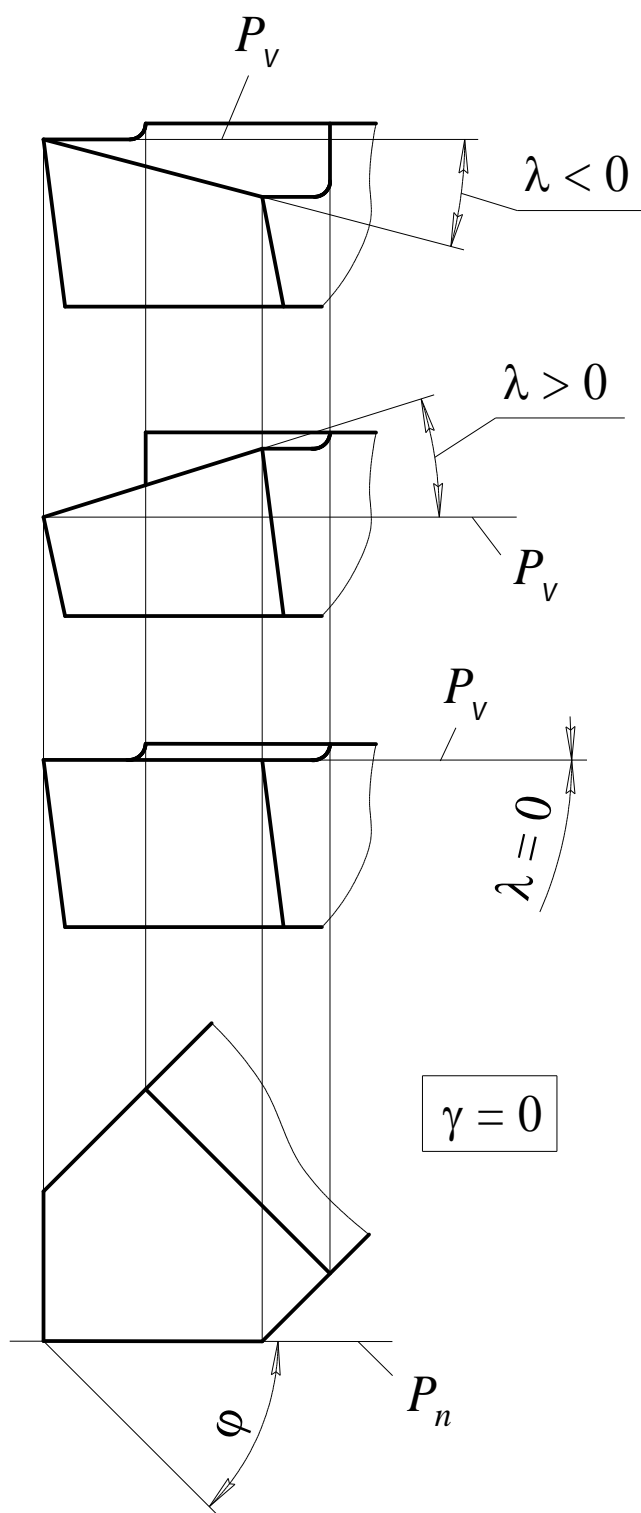


Рис. 2.3. Угол наклона главной режущей кромки

Направление схода стружки:

- при  $\lambda < 0 \rightarrow$  по направлению подачи инструмента
- при  $\lambda > 0 \rightarrow$  противоположно направлению подачи инструмента

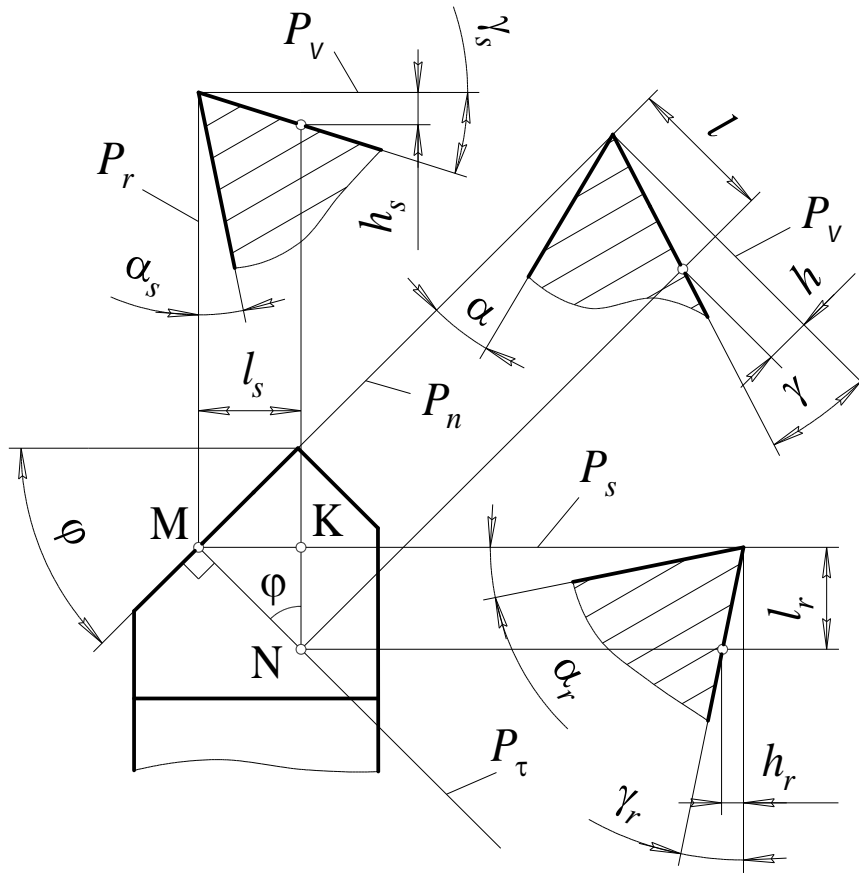


Рис. 2.4. К выводу формул единой геометрии

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h}{l}; \quad \operatorname{tg} \gamma_s = \frac{h_s}{l_s}; \quad \operatorname{tg} \gamma_r = \frac{h_r}{l_r}; \quad h = h_s + h_r \Rightarrow l \operatorname{tg} \gamma = l_s \operatorname{tg} \gamma_s + l_r \operatorname{tg} \gamma_r$$

Из  $\triangle MNK$   $l_s = l \sin \varphi$ ;  $l_r = l \cos \varphi$ , тогда

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_s \sin \varphi + \operatorname{tg} \gamma_r \cos \varphi \quad (2.1)$$

Из других геометрических соображений

$$\operatorname{tg} \gamma_s = \operatorname{tg} \gamma \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi \quad (2.2)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_r = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi \quad (2.3)$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \gamma_s \cos \varphi - \operatorname{tg} \gamma_r \sin \varphi \quad (2.4)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_s = \operatorname{ctg} \alpha \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi. \quad (2.5)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_r = \operatorname{ctg} \alpha \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi \quad (2.6)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_s \sin \varphi \quad (2.7)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_r \cos \varphi \quad (2.8)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_\lambda = \operatorname{tg} \gamma \cos \lambda \quad (2.9)$$

## ТЕМА 3. ИНСТРУМЕНТ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

### 3.1. РЕЗЦЫ

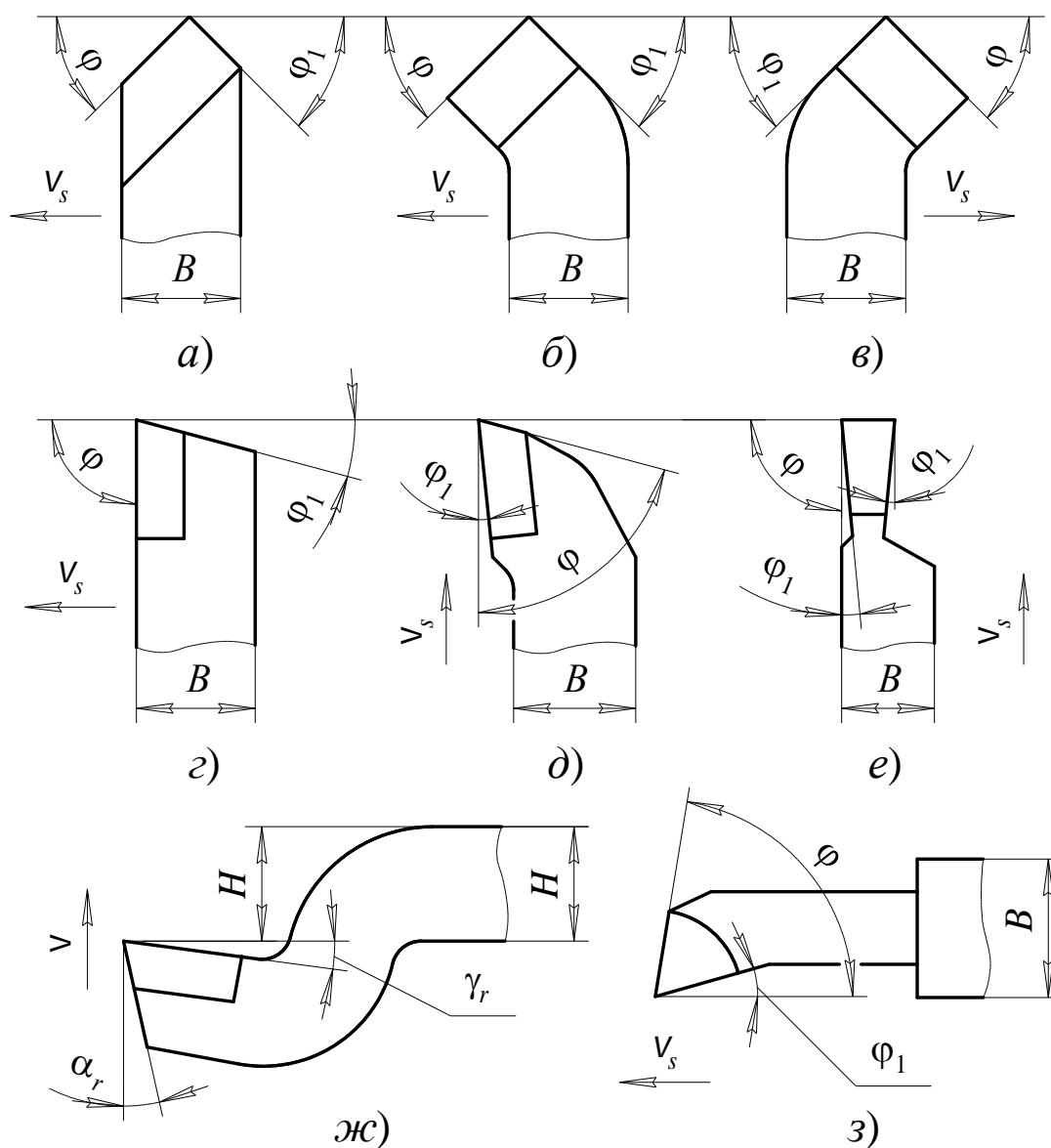


Рис. 3.1. Виды резцов

Таблица 3.1. Практически применяемые главные углы в плане резцов

Условия работы резца	$\phi$ , град.
Обработка с малой глубиной резания при особо жесткой технологической системе	10...30
Обработка при достаточно жесткой технологической системе	45
Обработка с ударами и при недостаточно жесткой технологической системе	60...75
Обработка длинных и тонких заготовок	80...90

### Целесообразные значения передних углов

– при обработке сталей

$$\gamma_{\text{ц}} = C_{\gamma} \left( \frac{\sigma_{\text{в}}}{1000} \right)^x \quad (3.1)$$

– при обработке чугунов

$$\gamma_{\text{ц}} = \frac{C_{\gamma}}{\text{HB}^x} \quad (3.2)$$

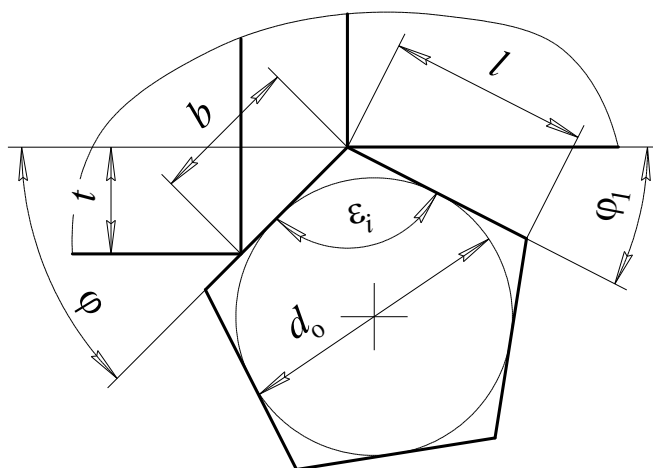
**Таблица 3.2. Коэффициенты в формулах (3.1) и (3.2)**

Инструментальный материал	Коэффициент	Обрабатываемый материал		
		Сталь		Чугун
		$\sigma_{\text{в}} \leq 800 \text{ МПа}$	$\sigma_{\text{в}} > 800 \text{ МПа}$	
Твердый сплав	$C_{\gamma}$	0,25	– 5,0	$2,5 \cdot 10^5$
	$x$	– 8,0	8,0	2,0
Быстрорежущая сталь	$C_{\gamma}$	11,0	не применяется	$6,5 \cdot 10^3$
	$x$	– 1,0		1,2

### Целесообразный задний угол

$$\alpha_{\text{ц}} = \frac{C_{\alpha}}{a^{0,3}} \quad (3.3)$$

$$C_{\alpha} = \begin{cases} 7,6 & \text{– при обработке сталей} \\ 5,4 & \text{– при обработке чугунов} \end{cases}$$



**Рис. 3.2. К выбору параметров сменных многогранных пластин**

$$\varepsilon_i = 180 \left( 1 - \frac{2}{i_{\text{rp}}} \right), \text{ град.} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_i = 180^\circ - \varphi - \varphi_1 \quad (3.5)$$

$$i_{\text{rp}} = \left[ \frac{360}{\varphi + \varphi_1} \right] \quad (3.6)$$

$$l > \frac{t}{\sin \varphi} \quad (3.7)$$

$$l = d_o \operatorname{tg} \left( \frac{180}{i_{\text{rp}}} \right)$$

$$d_o > \frac{t}{\sin \varphi} \operatorname{ctg} \left( \frac{180}{i_{\text{rp}}} \right) \quad (3.8)$$

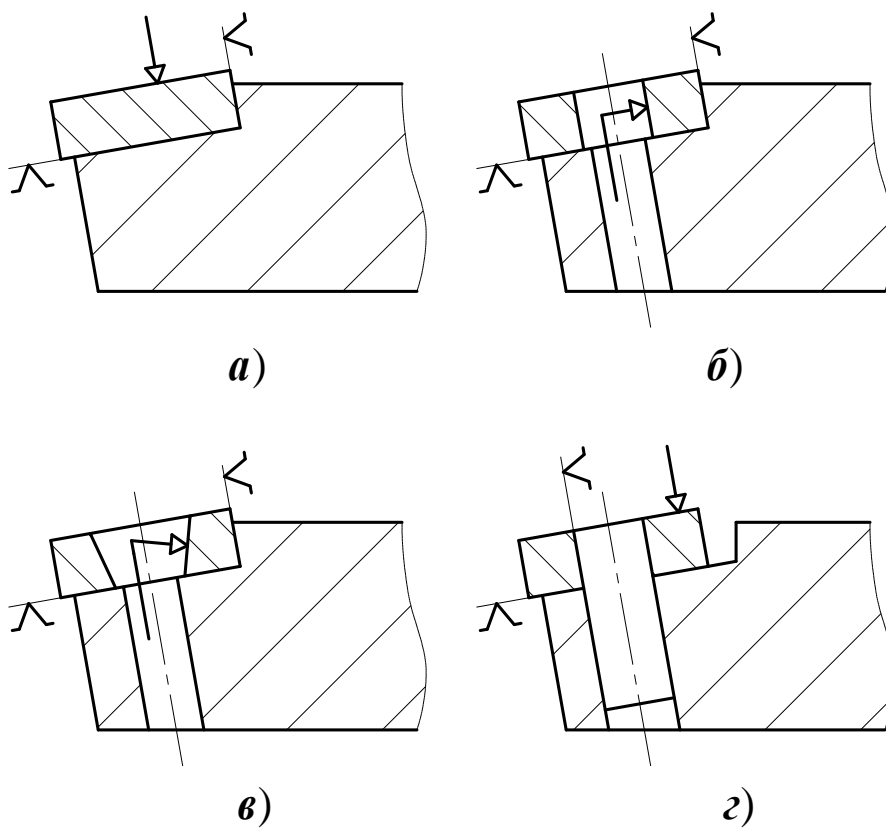


Рис. 3.3. Схемы установки сменных многогранных пластин

### 3.2. СВЁРЛА

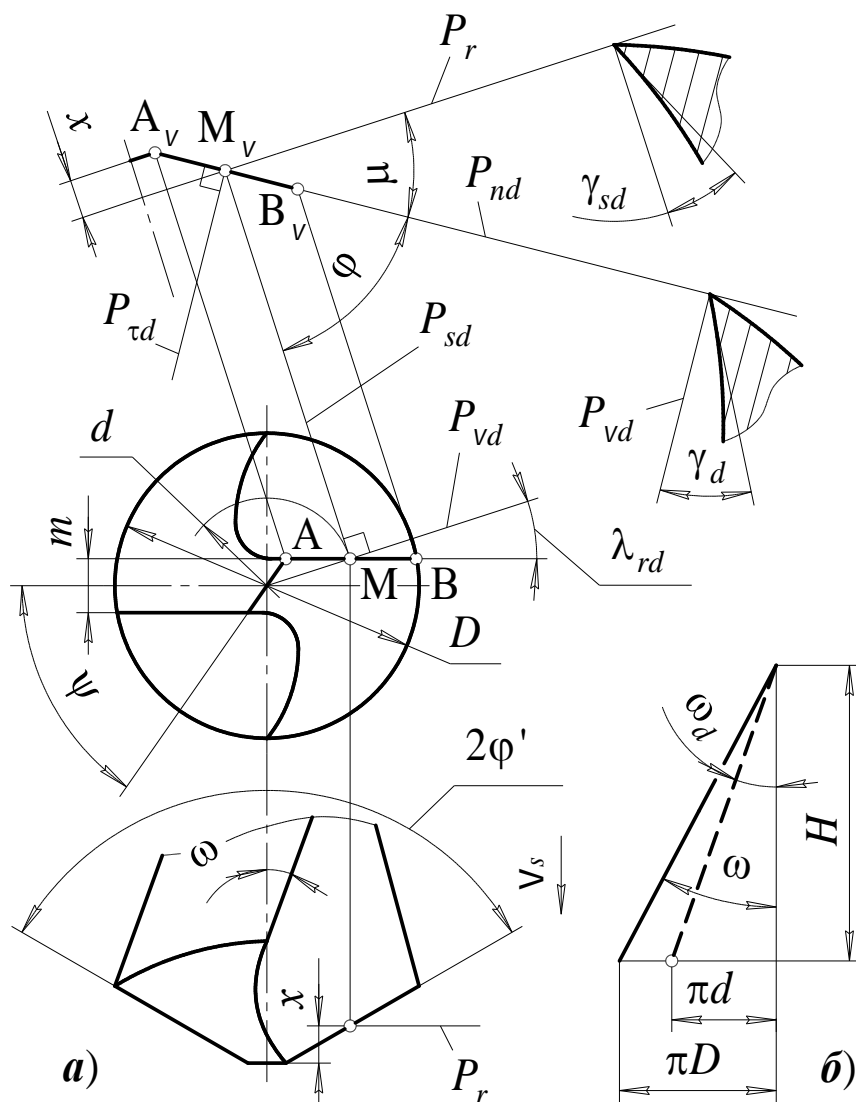


Рис. 3.4. К анализу углов спирального сверла

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{H}; \quad \operatorname{tg} \omega_d = \frac{\pi d}{H}$$

При  $\omega_d = \gamma_{sd}$

$$\operatorname{tg} \gamma_{sd} = \frac{d}{D} \operatorname{tg} \omega \quad (3.9)$$

Из единой геометрии лезвия (формула (2.2))

$$\operatorname{tg} \gamma_{sd} = \operatorname{tg} \gamma_d \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda_d \cos \varphi \Rightarrow$$

$$\operatorname{tg} \gamma_d = \frac{\operatorname{tg} \gamma_{sd}}{\sin \varphi} - \operatorname{tg} \lambda_d \operatorname{ctg} \varphi \quad (3.10)$$

$$\sin \lambda_{rd} = \frac{m}{d} \quad (3.11)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_{rd} = \frac{m/d}{\sqrt{1 - (m/d)^2}} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2}} \quad (3.12)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_d = \operatorname{tg} \lambda_{rd} \cos \mu = \operatorname{tg} \lambda_{rd} \cos(90^\circ - \varphi) = \operatorname{tg} \lambda_{rd} \sin \varphi \quad (3.13)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_d = \frac{d}{D} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi} - \frac{m \cos \varphi}{\sqrt{d^2 - m^2}} \quad (3.14)$$

$$d \in [d_{\pi}; D] \quad (3.15)$$

$$d_{\pi} = \frac{m}{\sin \psi} \quad (3.16)$$

**Пример.** Спиральное сверло диаметром 20 мм имеет угол заборного конуса  $90^\circ$ , угол подъема винтовой канавки  $30^\circ$  и перемычку толщиной 3 мм с углом наклона  $55^\circ$ . Каков перепад передних углов вдоль главной режущей кромки сверла?

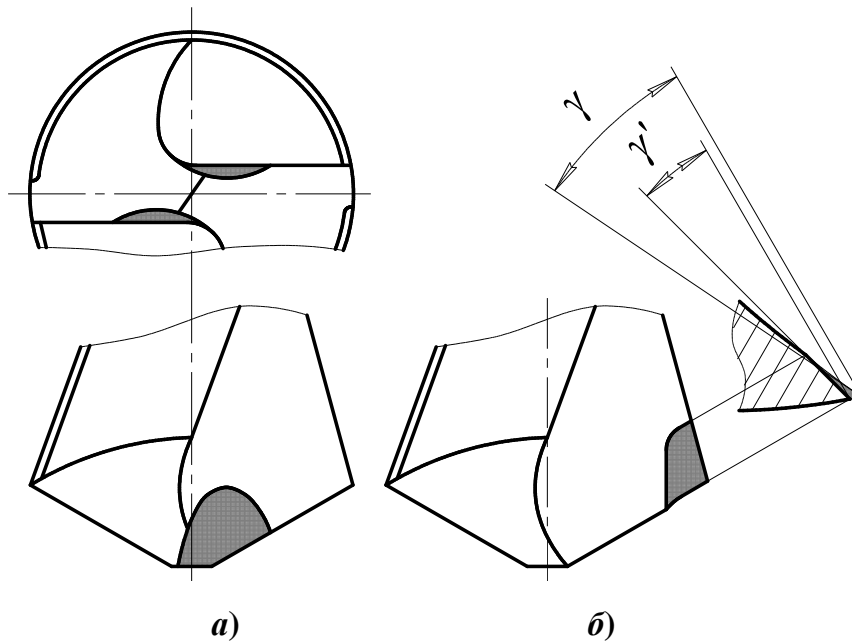


Рис. 3.5. Подточка сверла у перемычки (а) и на периферии (б)

$$\overline{\operatorname{grad} \gamma} = \frac{\gamma_D - \gamma_{d_{\pi}}}{l} \quad (3.17)$$

$$l \approx \frac{D}{2 \sin \varphi}$$

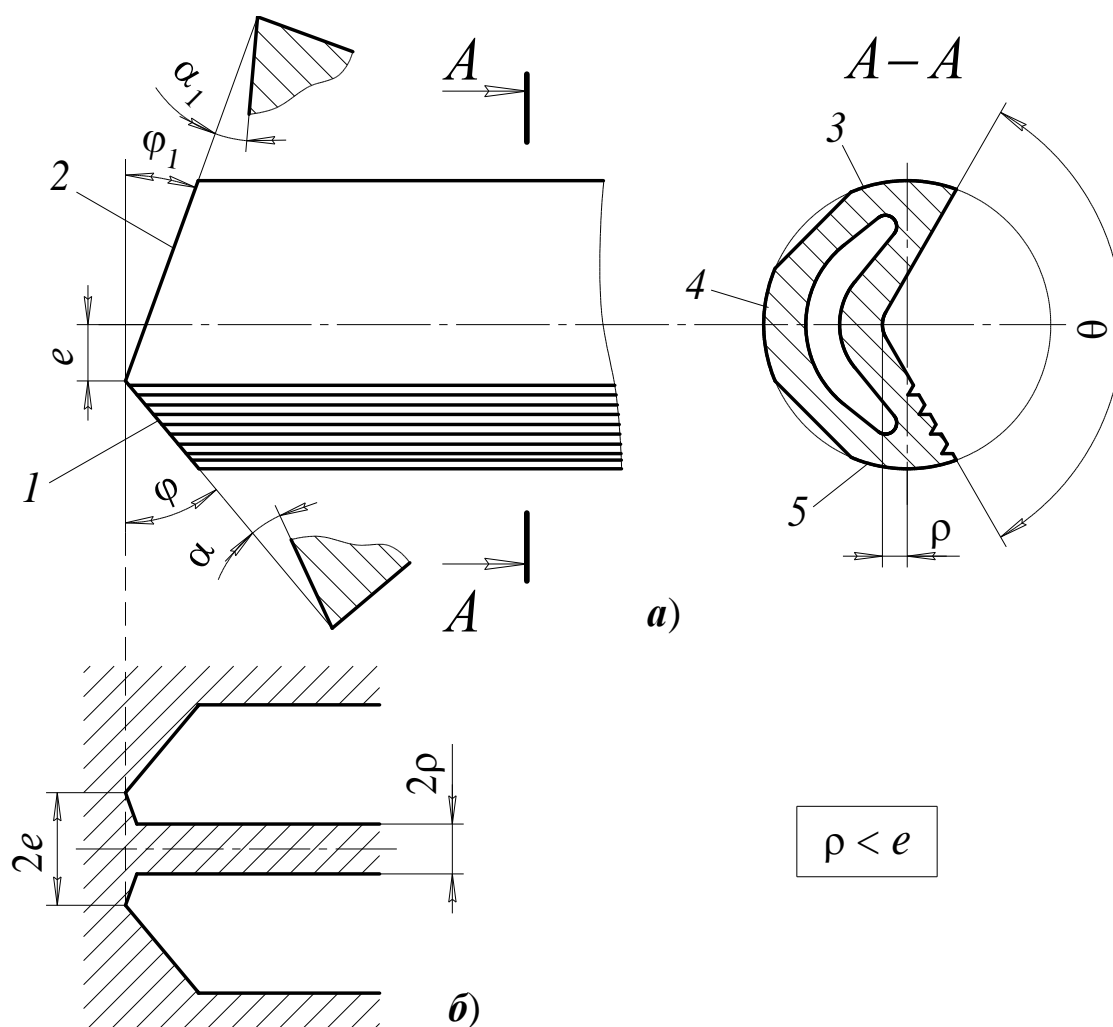
**Таблица 3.3. Угол подъема винтовой канавки и угол заборного конуса сверл, град.**

Обрабатываемый материал	$\omega$	$2\varphi$
Сталь конструкционная	20...35	116...120
Сталь коррозионно-стойкая, высоколегированная	15...25	125...150
Чугун средней твердости, бронза	20...30	90...100
Латунь, алюминиевые сплавы	30...45	130...140

$$\alpha_{sd} = \alpha_{so} - \arctg \frac{s_o}{\pi d} \quad (3.18)$$

**Таблица 3.4. Задний угол и угол наклона перемычки спиральных сверл, град.**

$D$ , мм	св. 2 до 3,5	св. 3,5 до 5	св. 5 до 7	св. 7 до 11	св. 11 до 18	св. 18
$\alpha_{sD}$	14	11	9		8	
$\psi$	47	48	49	50	52	55



**Рис. 3.6. Рабочая часть сверла для глубокого сверления (а) и сечение отверстия, возникающее в процессе работы сверла (б)**

### 3.3. ЗЕНКЕРЫ

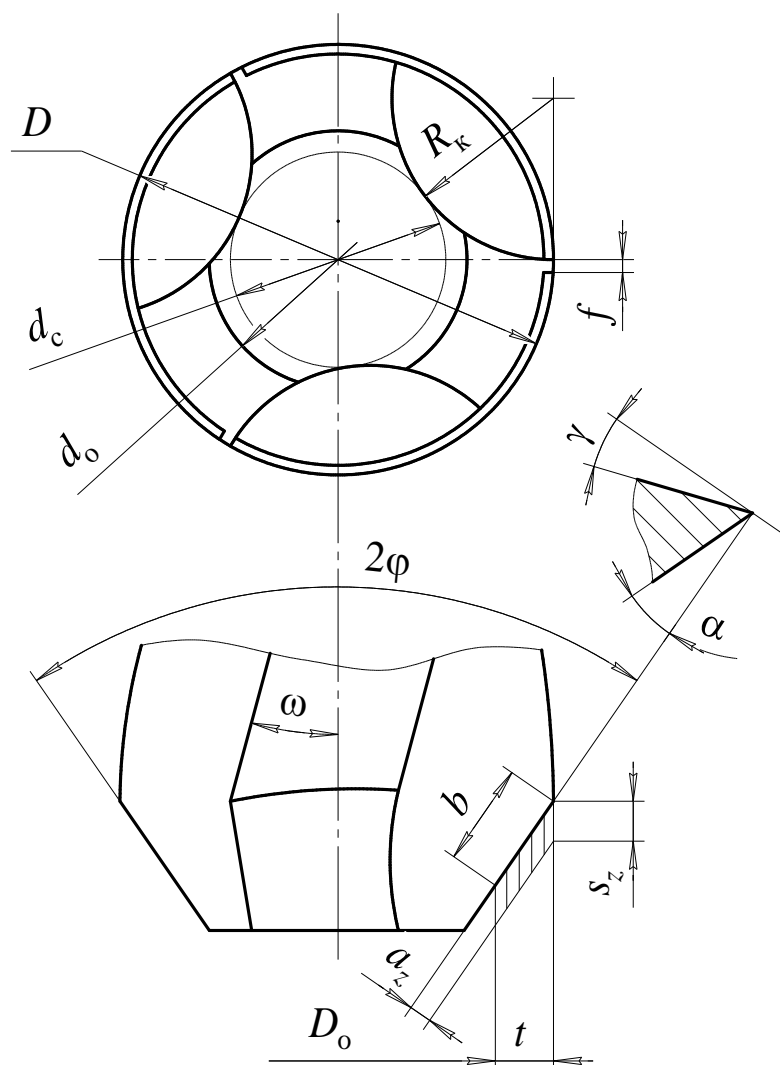


Рис. 3.7. Геометрические параметры трёхзубого зенкера

$$d_c \approx 0,5D; \quad d_o = D - (3...4)t$$

$$R_k = \frac{D^2 - d_c^2}{4d_c}$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi} - \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi \quad (3.19)$$

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \gamma \sin \varphi + \frac{1}{2} \operatorname{tg} \lambda \sin 2\varphi \quad (3.20)$$

$$\varphi = \begin{cases} 60^\circ & \text{— при обработке сквозных отверстий} \\ 90^\circ & \text{— при обработке глухих отверстий} \end{cases}$$

### 3.4. РАЗВЕРТКИ

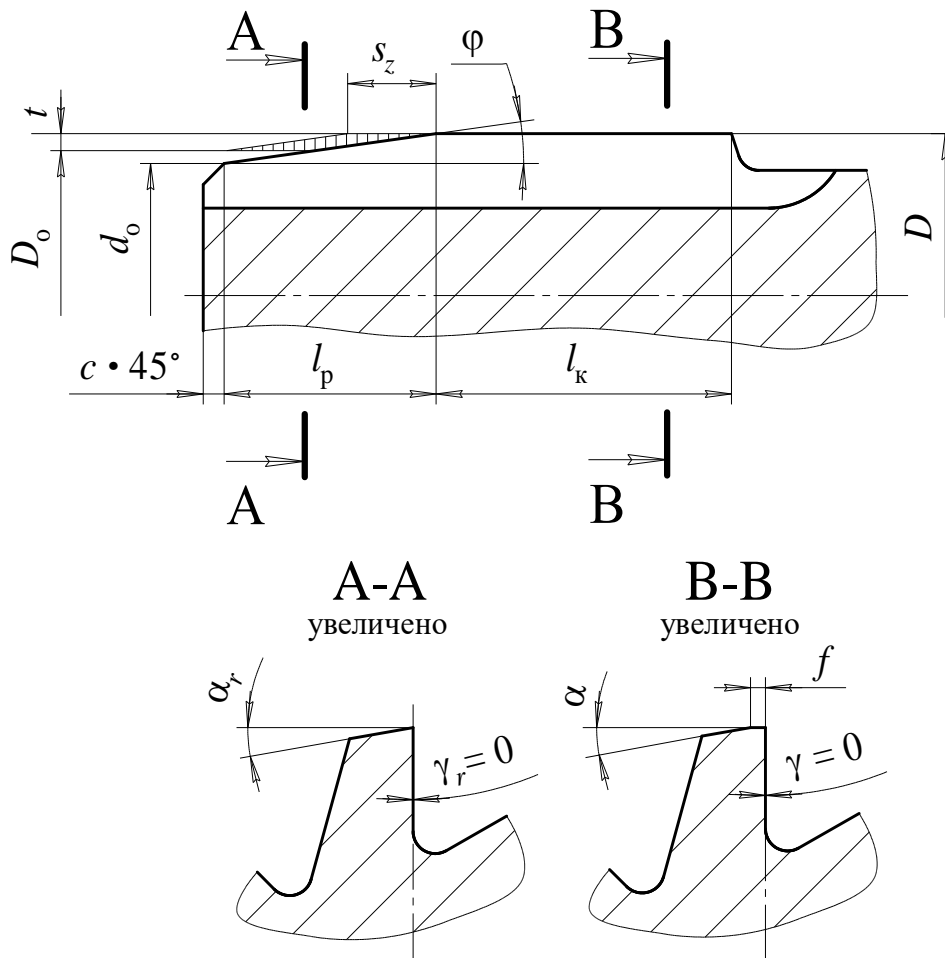


Рис. 3.8. Геометрия зуба цилиндрической развертки

$$d_o = D - 2l_p \operatorname{tg} \phi < D_o$$

$$z = [1,5\sqrt{D} + (2...4)] \quad (3.21)$$

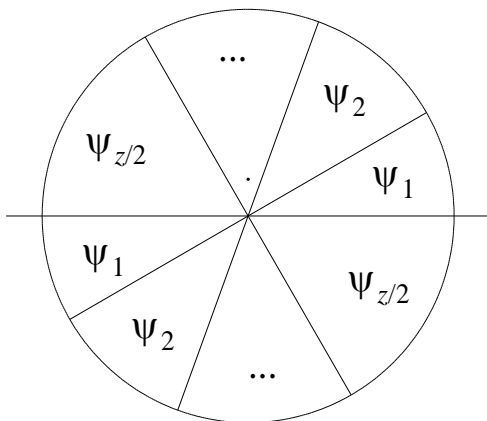


Рис. 3.9. Неравномерный шаг зубьев прямозубой развертки

$$\begin{cases} \psi_2 = \psi_1 + \Delta \\ \psi_3 = \psi_2 + \Delta = \psi_1 + 2\Delta \\ \dots \\ \psi_{z/2} = \psi_1 + \left(\frac{z}{2} - 1\right)\Delta \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^{z/2} \psi_i = \frac{\psi_1 + \psi_{z/2}}{2} \cdot \frac{z}{2} = 180^\circ$$

$$\psi_1 = \frac{360^\circ}{z} - \left(\frac{z}{2} - 1\right) \cdot \frac{\Delta}{2} \quad (3.22)$$

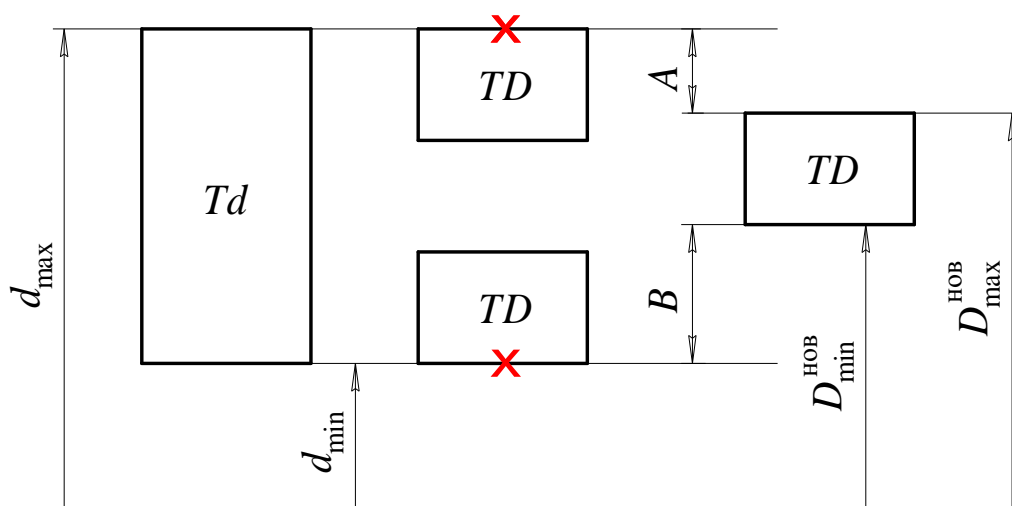


Рис. 3.10. Расположение поля допуска развертки

$$Td = d_{\max} - d_{\min}$$

$$TD \approx \frac{1}{3}Td$$

$$D_{\max}^{\text{HOB}} = d_{\max} - A \quad (3.23)$$

$A$  – величина ожидаемой разбивки

$$D_{\min}^{\text{HOB}} = d_{\min} + B \quad (3.24)$$

$B$  – запас на износ

$$B = \begin{cases} 0,6Td & \text{– для 6 качества точности;} \\ 0,55Td & \text{– для 7 качества точности;} \\ 0,45Td & \text{– для 8 и выше качеств.} \end{cases} \quad (3.25)$$

**Пример.** Какой наибольший диаметр калибрующей части должна иметь новая развертка для обработки цилиндрического отверстия диаметром  $20H8(^{+0,033})$ ?

Какая максимальная величина разбивки допустима для этой развертки?

## ТЕМА 4. СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, РАБОТАЮЩИЙ МЕТОДОМ КОПИРОВАНИЯ

### 4.1. ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ

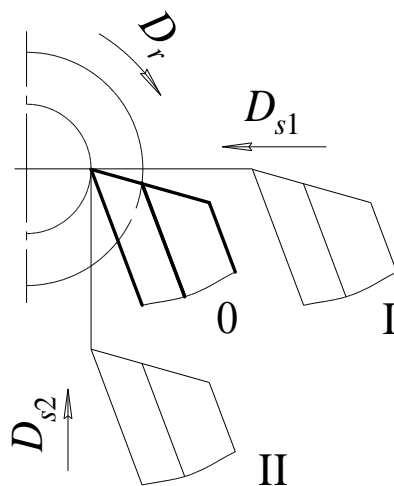


Рис. 4.1. Способы подачи фасонных резцов

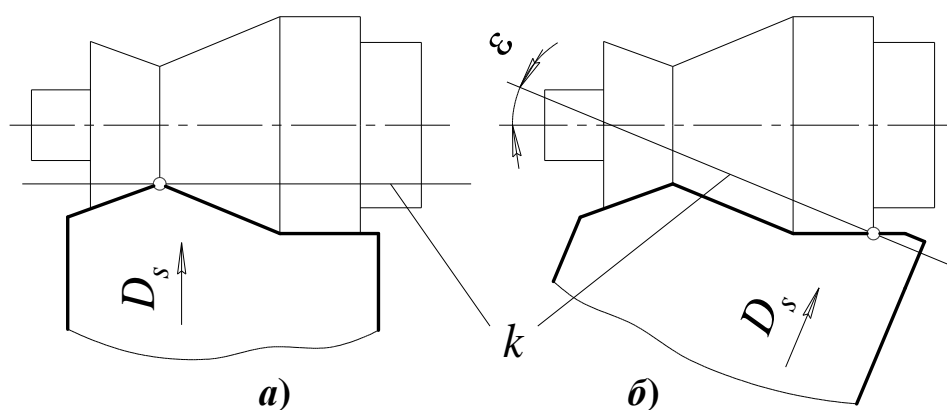


Рис. 4.2. Базовая линия при ортогональном (а) и неортогональном (б) врезании

Две задачи проектирования фасонных резцов:

1. Анализ переднего и заднего углов в различных точках профиля.
2. Расчет параметров профиля (профилирование) резца.

Обозначения:

- параметры профиля изделия → строчными буквами ( $d, h, \varphi$ )
- параметры профиля инструмента → прописными буквами ( $D, H, \Phi$ )

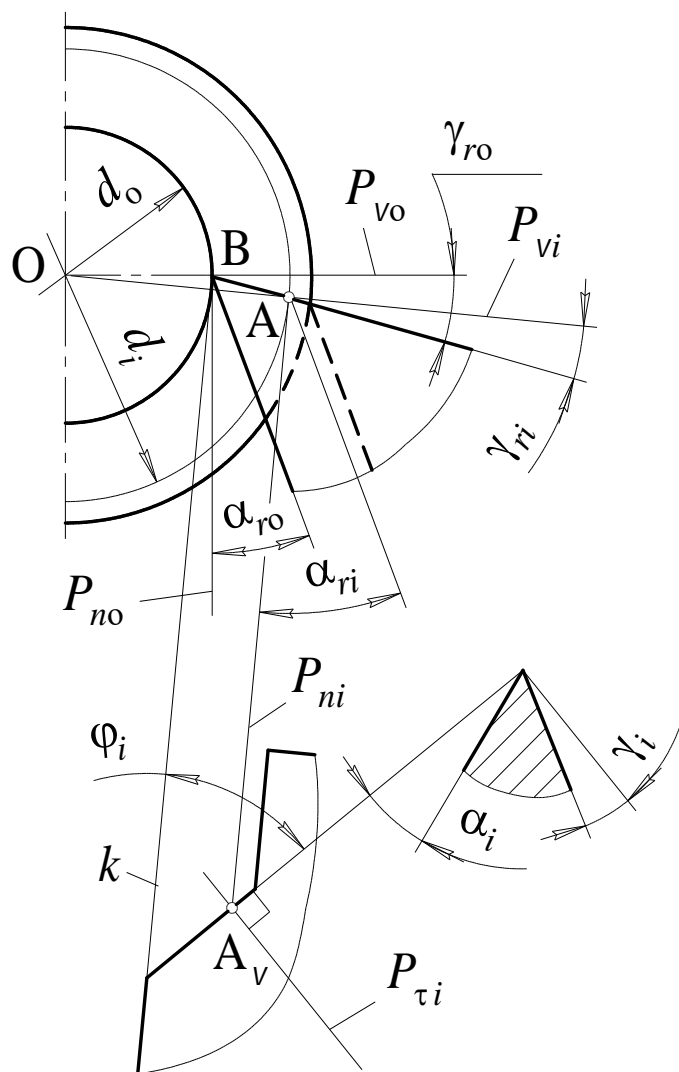


Рис. 4.3. К анализу углов фасонного резца

Из  $\triangle AOB$  по теореме синусов

$$\frac{d_o}{2 \sin \gamma_{ri}} = \frac{d_i}{2 \sin(180^\circ - \gamma_{ro})}$$

$$\sin \gamma_{ri} = \frac{d_o}{d_i} \sin \gamma_{ro} \quad (4.1)$$

$$\alpha_{ri} = \alpha_{ro} + (\gamma_{ro} - \gamma_{ri}) \quad (4.2)$$

При  $\gamma_{so} = 0$  и  $\lambda = 0$  из (2.1) и (2.6) получаем

$$\operatorname{tg} \gamma_i = \operatorname{tg} \gamma_{ri} \cos \varphi_i \quad (4.3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \operatorname{tg} \alpha_{ri} \cos \varphi_i \quad (4.4)$$

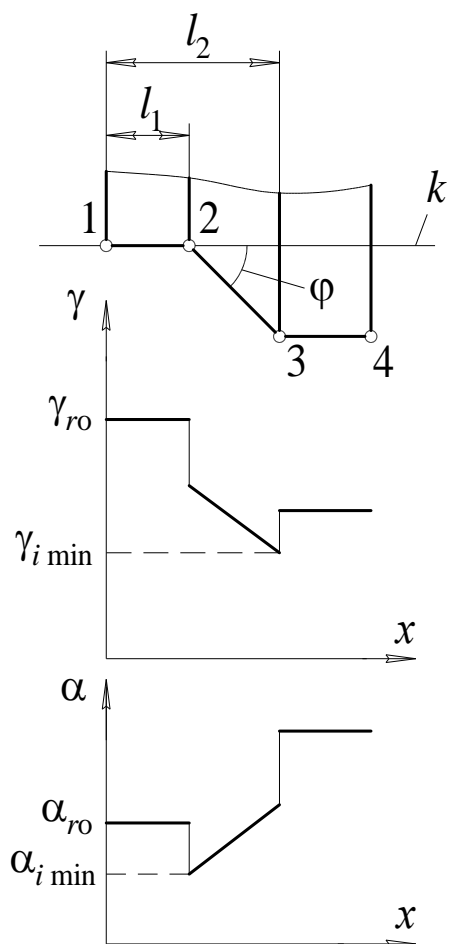


Рис. 4.4. Изменение углов вдоль профиля фасонного резца

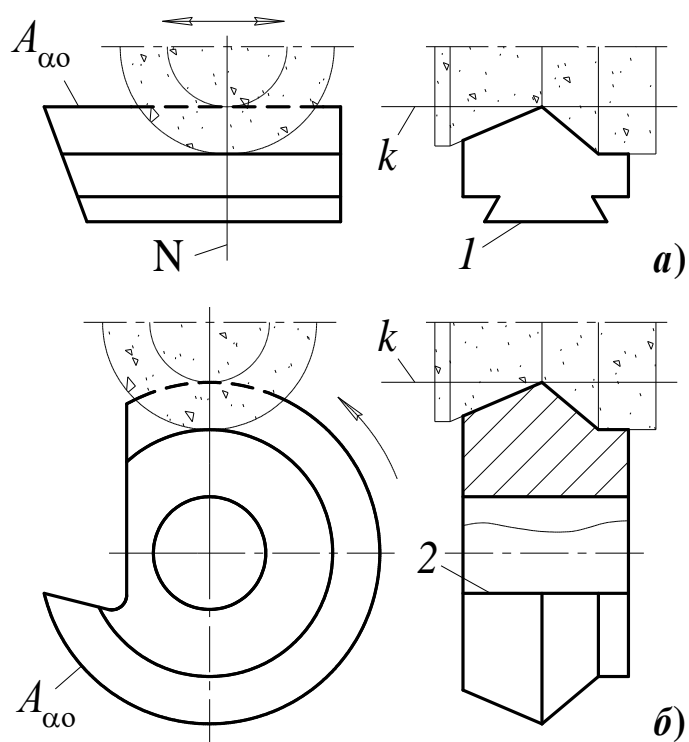


Рис. 4.5. Шлифование профиля призматического (а) и круглого (б) фасонного резца


$$H_{oi} = h_i \frac{\sin \theta}{\sin \eta}$$
$$\theta = \frac{180^\circ - (\gamma_{ro} - \gamma_{ri})}{2} = 90^\circ - \frac{\gamma_{ro} - \gamma_{ri}}{2}$$

$$\eta = 180^\circ - \gamma_{ro} - \theta = 90^\circ - \frac{\gamma_{ro} + \gamma_{ri}}{2}$$

$$H_{oi} = h_i \frac{\cos((\gamma_{ro} - \gamma_{ri})/2)}{\cos((\gamma_{ro} + \gamma_{ri})/2)} \quad (4.6)$$

$$B \triangle ABC$$

$$\angle BAC = 90^\circ - \gamma_{ro} - \alpha_{ro}$$

$$H_i = H_{oi} \sin(90^\circ - \gamma_{ro} - \alpha_{ro}) = H_{oi} \cos(\gamma_{ro} + \alpha_{ro}) \quad (4.7)$$

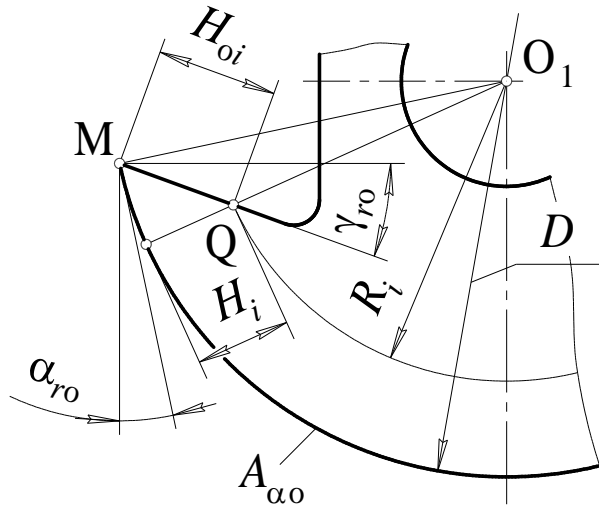


Рис. 4.7. К определению высоты шлифуемого профиля круглого резца

$$H_i = \frac{D}{2} - R_i \quad (4.8)$$

$$B \triangle QMO_1$$

$$\angle QMO_1 = \gamma_{ro} + \alpha_{ro}$$

По теореме косинусов

$$R_i = \sqrt{\frac{D^2}{4} + H_{oi}^2 - DH_{oi} \cos(\gamma_{ro} + \alpha_{ro})} \quad (4.9)$$

**Таблица 4.1. Наружный диаметр круглого фасонного резца, мм**

$d$	16	22	27	32	40
$D$	50	62	80	100	125

$$d = \begin{cases} (3,5...5)L^{0,7} & \text{при } L < 30 \text{ мм} \\ (2,5...3)L^{0,6} & \text{при } L \geq 30 \text{ мм} \end{cases}$$

$$H_i < h_i \leq H_{oi} \quad (4.10)$$

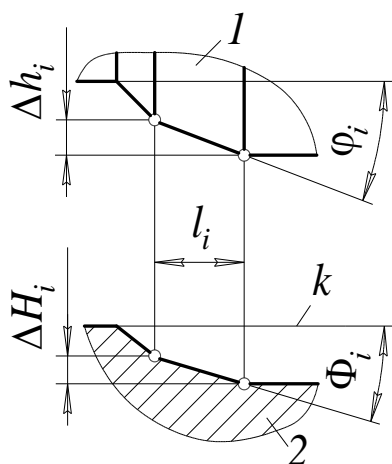


Рис. 4.8. Изменение углов профиля

$$\frac{\Delta h_i}{l_i} = \operatorname{tg} \varphi_i; \quad \frac{\Delta H_i}{l_i} = \operatorname{tg} \Phi_i$$

$$\operatorname{tg} \Phi_i = \frac{\Delta H_i}{\Delta h_i} \operatorname{tg} \varphi_i \quad (4.11)$$

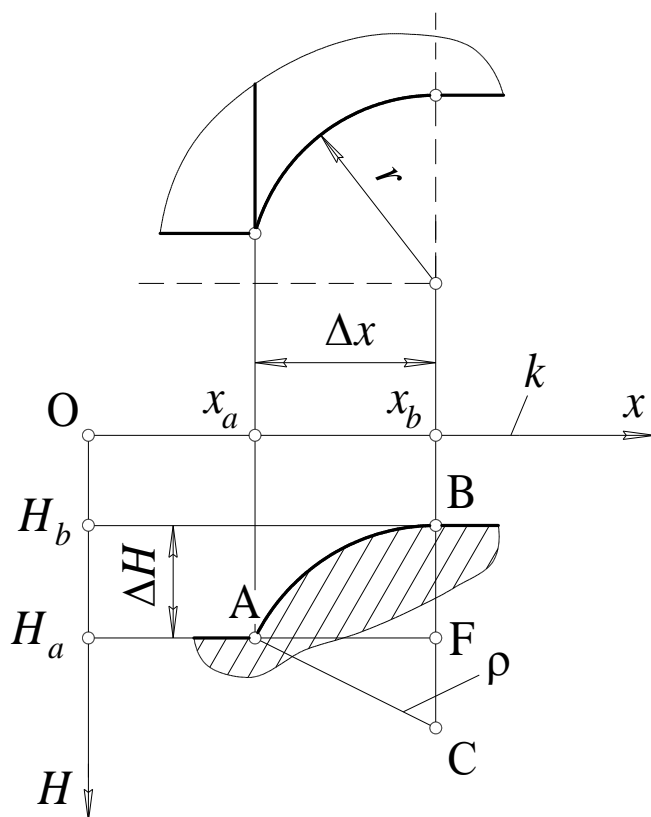


Рис. 4.9. К определению радиуса кругового участка на шлифуемом профиле фасонного резца (I вариант)

$$\Delta x = |x_a - x_b|$$

$$\Delta H = |H_a - H_b|$$

Из  $\Delta ACF$

$$\rho^2 = \Delta x^2 + (\rho - \Delta H)^2 = \Delta x^2 + \rho^2 - 2\rho \cdot \Delta H + \Delta H^2 \Rightarrow$$

$$\rho = \frac{\Delta x^2 + \Delta H^2}{2 \cdot \Delta H} \quad (4.12)$$

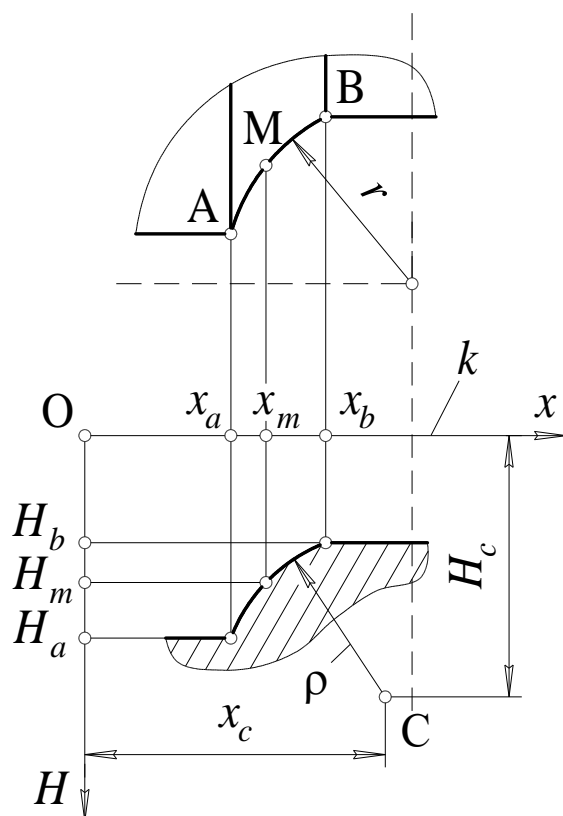


Рис. 4.10. К определению радиуса кругового участка на шлифуемом профиле фасонного резца (II вариант)

$$\left. \begin{aligned} (x_a - x_c)^2 + (H_a - H_c)^2 &= \rho^2 \\ (x_m - x_c)^2 + (H_m - H_c)^2 &= \rho^2 \\ (x_b - x_c)^2 + (H_b - H_c)^2 &= \rho^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow (x_c, H_c, \rho) \quad (4.13)$$

$$\left| \sqrt{(x_j - x_c)^2 + (H_j - H_c)^2} - \rho \right| \leq \delta \quad (4.14)$$

$\delta$  – поле допуска на изготовление профиля инструмента

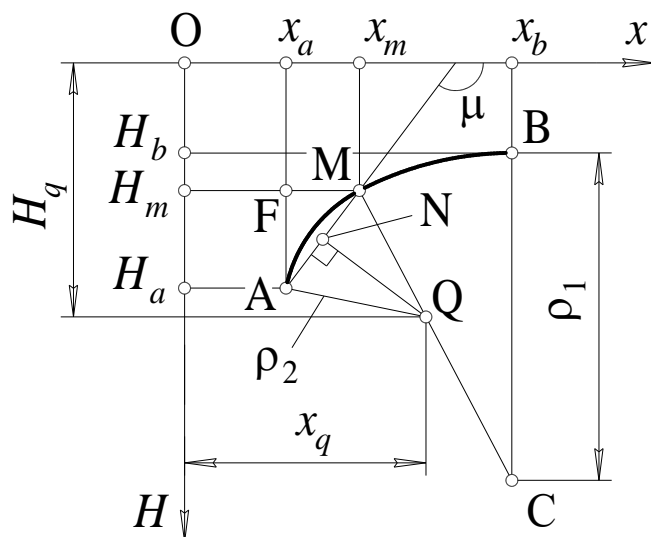


Рис. 4.11. Описание профиля дугами двух окружностей

$\rho_1$  – по формуле (4.12)

Центр дуги  $MB$  – в точке  $C(x_b, H_b + \rho_1)$ . Центр дуги  $AM$  – в точке  $Q \in CM$

Координаты точки  $N$  ( $AN = NM$ )

$$\left. \begin{aligned} x_n &= (x_a + x_m)/2 \\ H_n &= (H_a + H_m)/2 \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

Угловой коэффициент прямой  $AM$

$$k_1 = \operatorname{tg} \mu = \frac{H_a - H_m}{x_a - x_m} \quad (4.16)$$

Угловой коэффициент прямой  $NQ \perp AM$

$$k_2 = -\frac{1}{k_1} = \frac{x_m - x_a}{H_a - H_m} \quad (4.17)$$

Уравнение прямой  $NQ$ , проходящей через точку  $N$ ,

$$H = \frac{x_m - x_a}{H_a - H_m}(x - x_n) + H_n \quad (4.18)$$

Уравнение прямой  $CQM$ , проходящей через точки  $C$  и  $M$ ,

$$H = \frac{H_c - H_m}{x_c - x_m}(x - x_c) + H_c \quad (4.19)$$

Решая совместно (4.18) и (4.19), получим координаты точки  $Q(x_q, H_q)$ .

Радиус второй заменяющей дуги  $AM$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_q - x_a)^2 + (H_q - H_a)^2} \quad (4.20)$$

## Тангенциальные фасонные резцы

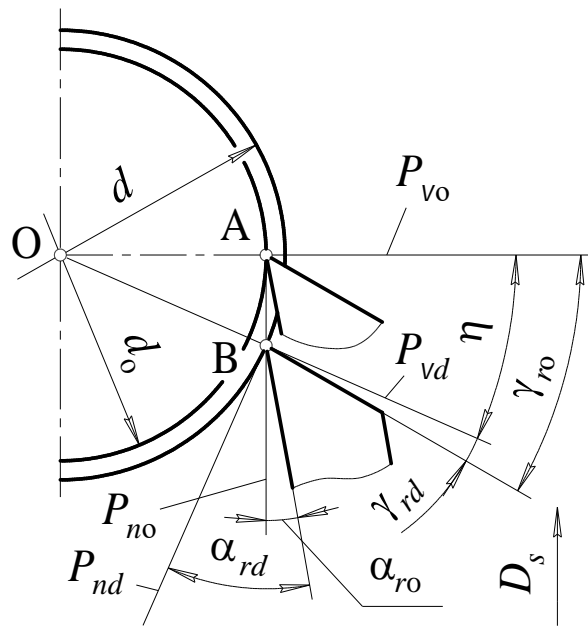


Рис. 4.12. Углы тангенциального резца

$$\eta = \arccos \frac{d_o}{d} \quad (4.21)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{rd} &= \gamma_{ro} - \eta \\ \alpha_{rd} &= \alpha_{ro} + \eta \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

Положив  $\eta_{\max} = \gamma_{ro}$ , из (4.21) получаем

$$d_{o \min} = d \cos \gamma_{ro}$$

Из (4.5)

$$h_{\max} = 0,5d(1 - \cos \gamma_{ro}) \quad (4.23)$$

**Пример 4.1.** Тангенциальным фасонным резцом из быстрорежущей стали, имеющим передний угол  $20^\circ$  в радиальной секущей плоскости, изготавливают профиль на заготовке с наружным диаметром 40 мм. Какую наибольшую высоту профиля можно выполнить этим резцом?

## Неортогональные фасонные резцы

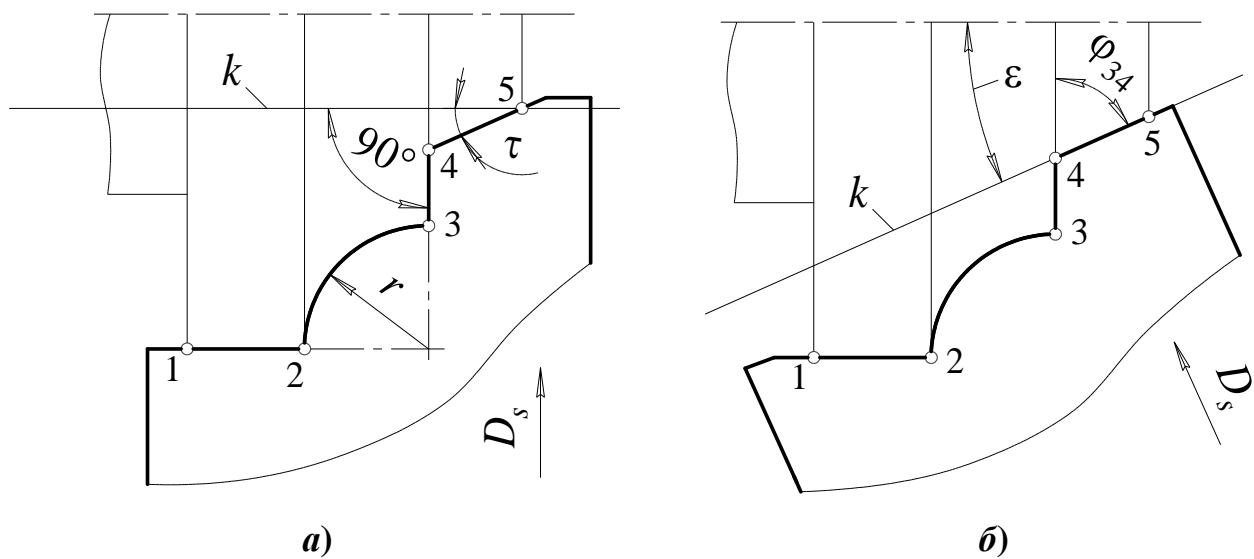


Рис. 4.13. Ортогональный (а) и неортогональный (б) фасонные резцы

$i$	$\varphi_i$
1	0
2	90
3	0
4	90
5	$\tau$

$i$	$\varphi_i$
1	$\varepsilon$
2	$90 - \varepsilon$
3	$\varepsilon$
4	$90 - \varepsilon$
5	0

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \operatorname{tg} \alpha_{ri} \cos \varphi_i$$

$$\varphi_i = 90^\circ \Rightarrow \alpha_i = 0$$

## Особенности конструкции круглых фасонных резцов

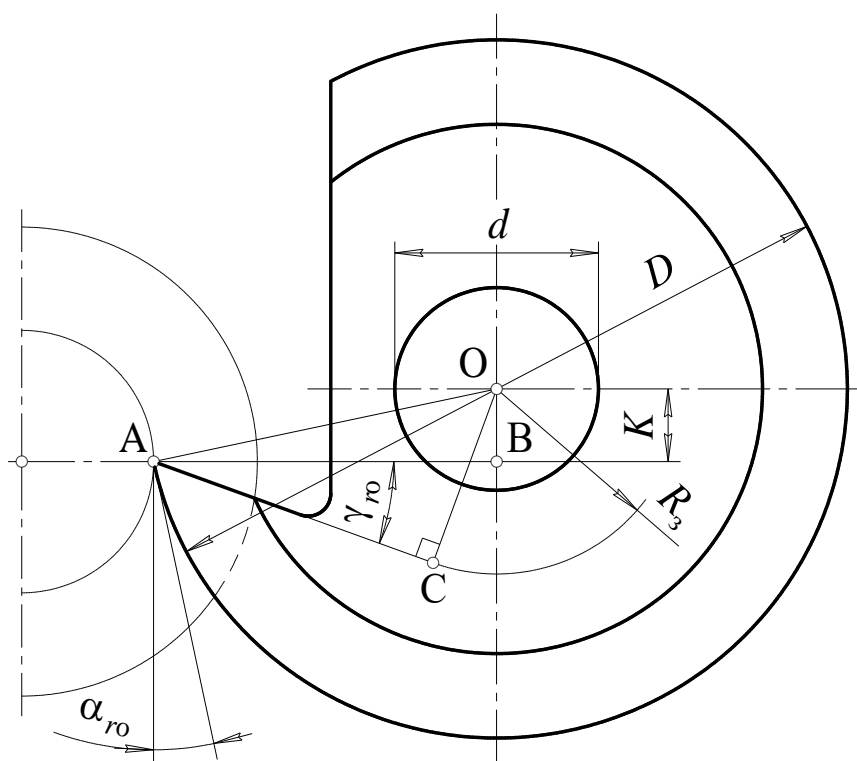


Рис. 4.14. Круглый фасонный резец

Из  $\triangle OAB$

$$K = 0,5D \sin \alpha_{ro} \quad (4.24)$$

Из  $\triangle OAC$

$$R_3 = 0,5D \sin(\gamma_{ro} + \alpha_{ro}) \quad (4.25)$$

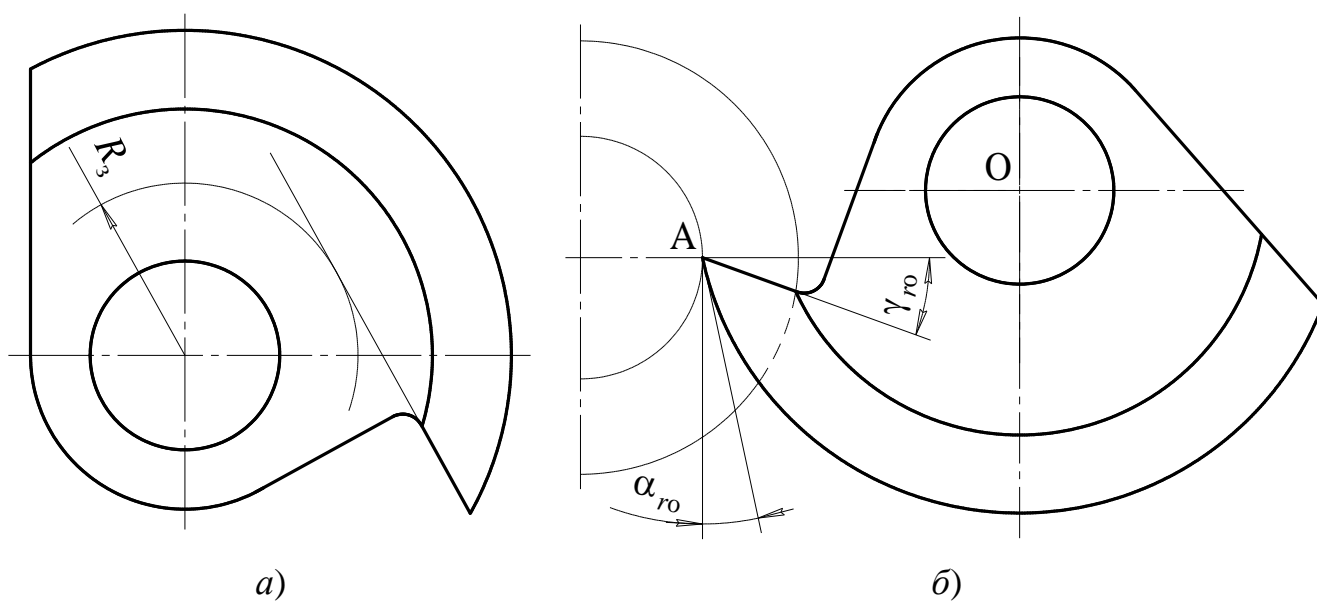


Рис. 4.15. Заточка (а) и установка (б) заточенного круглого резца

## 4.2. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ

### 4.2.1. Краткие сведения о резьбах

Основные параметры резьбы:

- наружный диаметр  $d$
- шаг  $p$
- число заходов  $k$
- угол профиля  $2\varepsilon$

Таблица 4.2. Угол профиля стандартных резьб

Резьба	$2\varepsilon$ , град.
Метрическая	60
Трубная	55
Упорная	33
Трапецеидальная	30

Высота теоретического профиля симметричных резьб (метрической, трубной, трапецеидальной)

$$h = \frac{1}{2} p \operatorname{ctg} \varepsilon \quad (4.26)$$

Средний и наружный диаметры резьб связаны соотношением:

- у метрической резьбы

$$d_{\text{ср}} = d - \frac{3}{4} h$$

- у трапецеидальной резьбы

$$d_{\text{ср}} = d - \frac{1}{2} p$$

Угол подъема винтовой линии резьбы на среднем диаметре

$$\tau = \operatorname{arctg} \frac{pk}{\pi d_{\text{ср}}}$$

#### 4.2.2. Стержневые резьбовые резцы

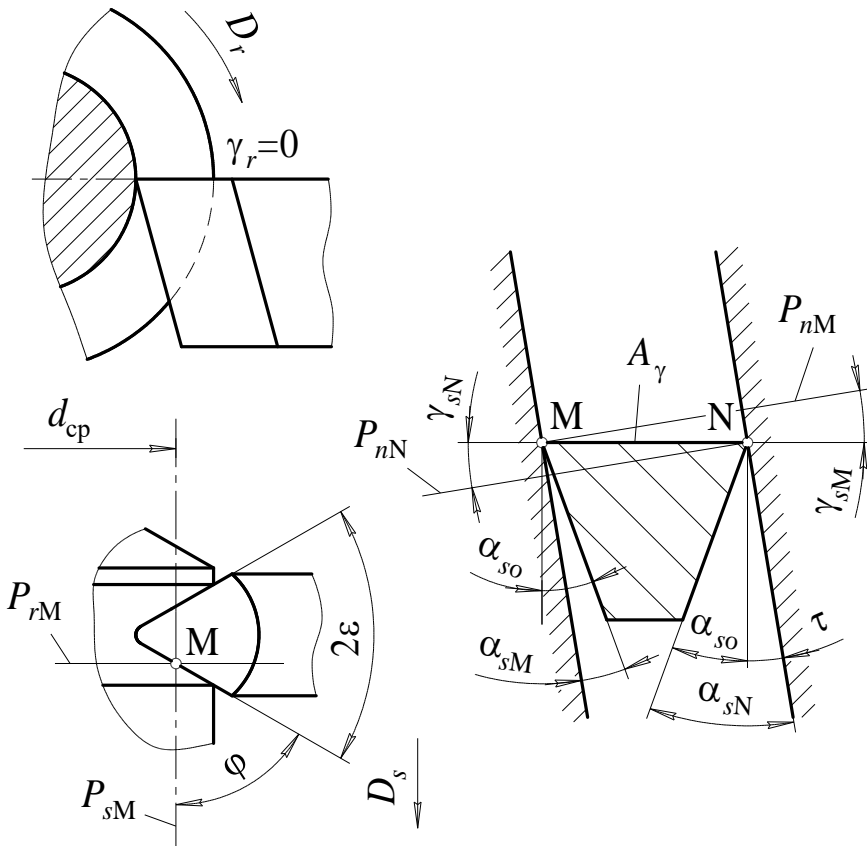


Рис. 4.16. Резьбовый резец I типа

У резца I типа

$$\gamma_{sM} > 0$$

$$\gamma_{sN} < 0$$

$$\alpha_{sM} = \alpha_{s0} - \tau$$

$$\alpha_{sN} = \alpha_{s0} + \tau$$

У резца II типа

$$\gamma_{sM} = \gamma_{sN} = 0$$

$$\alpha_{sM} = \alpha_{sN} = \alpha_{s0}$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \operatorname{tg} \varepsilon \cos \tau$$

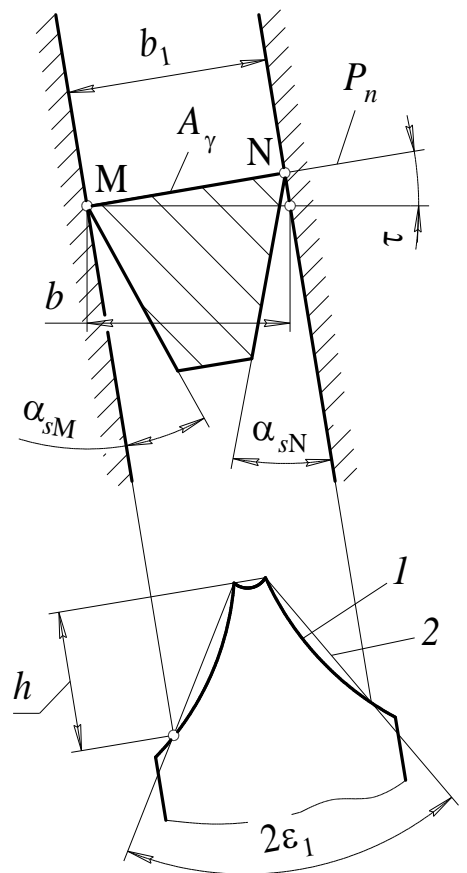
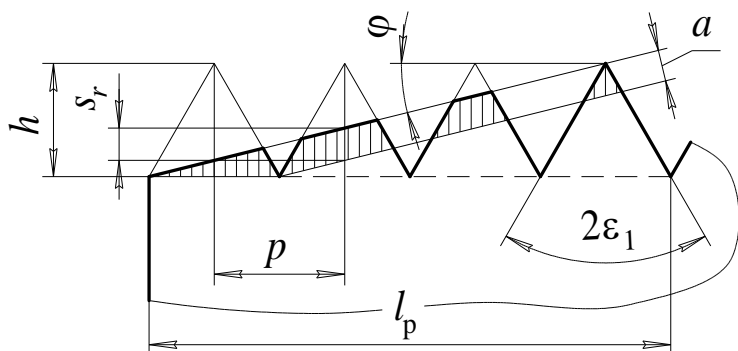


Рис. 4.17. Резьбовый резец II типа

### 4.2.3. Резьбовые гребёнки



$$s_r = p \operatorname{tg} \varphi \quad (4.27)$$

$$a = p \sin \varphi \quad (4.28)$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{h}{H} \operatorname{tg} \varepsilon \quad (4.29)$$

Рис. 4.18. Режущая часть резьбовой гребёнки

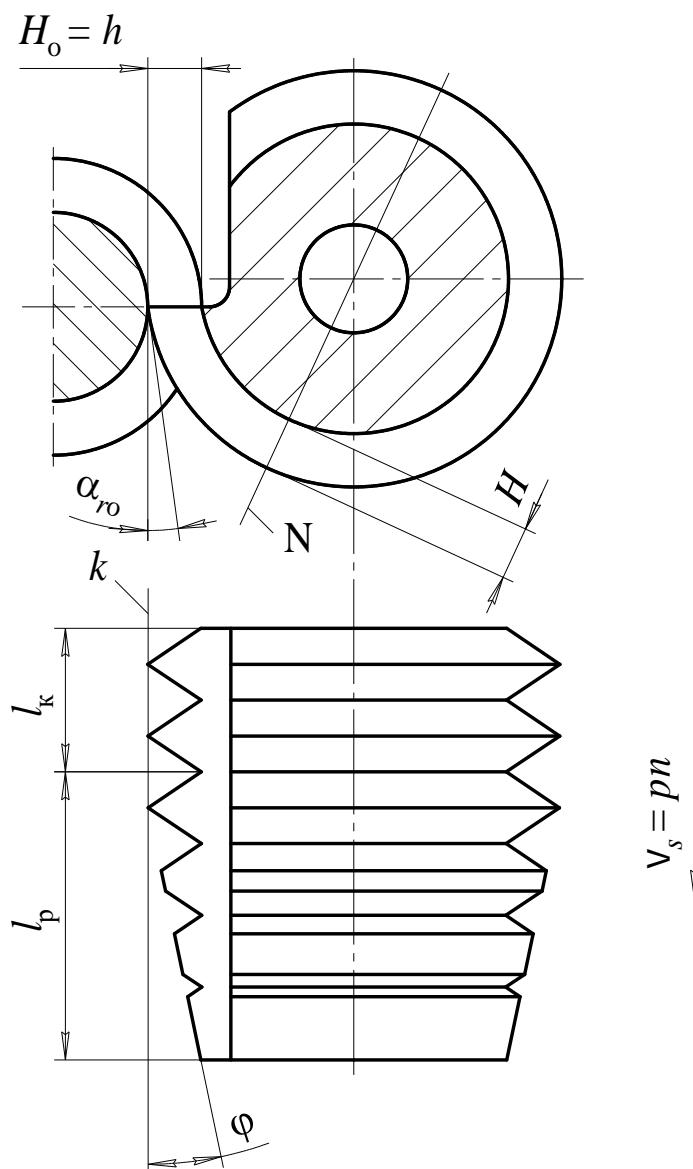


Рис. 4.19. Круглая резьбовая гребёнка

#### 4.2.4. Метчики

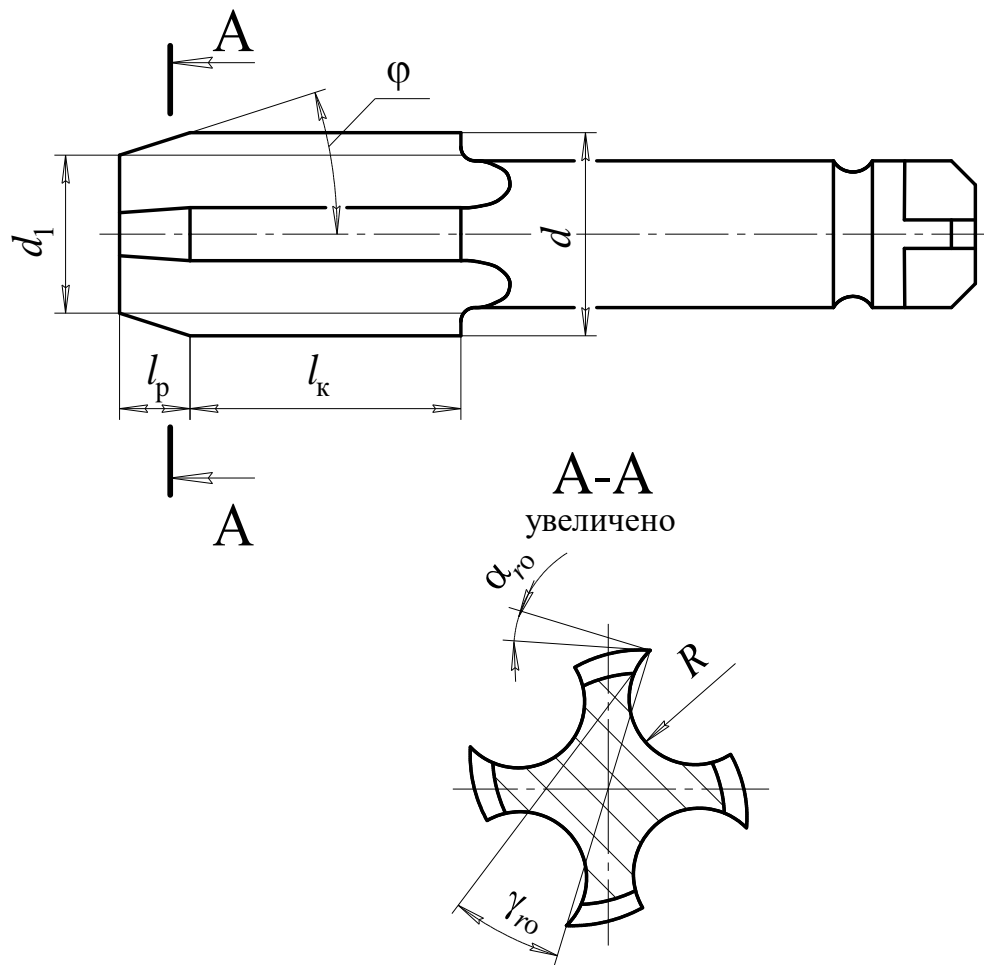


Рис. 4.20. Геометрические параметры метчика с прямыми канавками

$$s_z = \frac{p}{z} \operatorname{tg} \varphi \quad (4.30)$$

$$a_z = \frac{p}{z} \sin \varphi \quad (4.31)$$

Схемы снятия припуска комплектом метчиков:

- генераторная
- профильная

$$\beta_i = \frac{F_i}{F} \quad (4.32)$$

$$\sum_1^n \beta_i = 1,$$

$n$  – число метчиков в комплекте

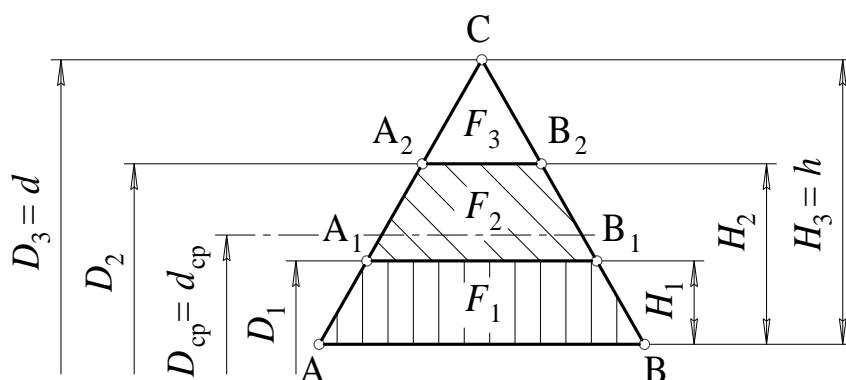


Рис. 4.21. Генераторная схема снятия припуска

Из  $\triangle A_1B_1C$  и  $\triangle ABC$

$$\frac{(h - H_1)^2}{h^2} = \frac{F - F_1}{F} = 1 - \frac{F_1}{F} = 1 - \beta_1$$

$$H_1 = h(1 - \sqrt{1 - \beta_1}) \quad (4.33)$$

Из  $\triangle A_2B_2C$  и  $\triangle ABC$

$$\frac{(h - H_2)^2}{h^2} = \frac{F - (F_1 + F_2)}{F} = 1 - (\beta_1 + \beta_2)$$

$$H_2 = h(1 - \sqrt{1 - (\beta_1 + \beta_2)}) \quad (4.34)$$

Для генераторной схемы

$$H_i = h \left( 1 - \sqrt{1 - \sum_1^i \beta_i} \right) \quad (4.35)$$

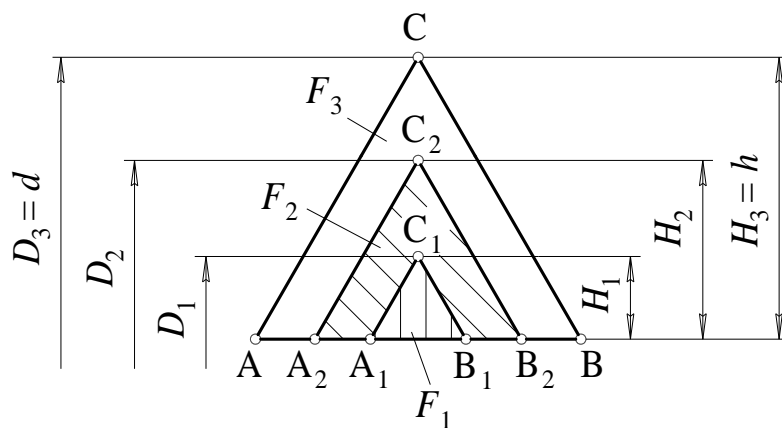


Рис. 4.22. Профильная схема снятия припуска

Из  $\Delta A_1B_1C$  и  $\Delta ABC$

$$\frac{H_1^2}{h^2} = \frac{F_1}{F} = \beta_1$$

$$H_1 = h\sqrt{\beta_1} \quad (4.36)$$

Из  $\Delta A_2B_2C$  и  $\Delta ABC$

$$\frac{H_2^2}{h^2} = \frac{F_1 + F_2}{F} = \beta_1 + \beta_2$$

$$H_2 = h\sqrt{\beta_1 + \beta_2} \quad (4.37)$$

Для профильной схемы

$$H_i = h\sqrt{\sum_1^i \beta_i} \quad (4.38)$$

$$D_i = d - 2(h - H_i) \quad (4.39)$$

**Пример 4.2.** Для нарезания резьбы  $M16 \times 1,5$  предполагается использовать комплект из 3-х метчиков, работающих по генераторной схеме. Первый метчик должен снять 50% припуска, а второй – 35%.

Какие номинальные наружные диаметры должны иметь метчики комплекта?

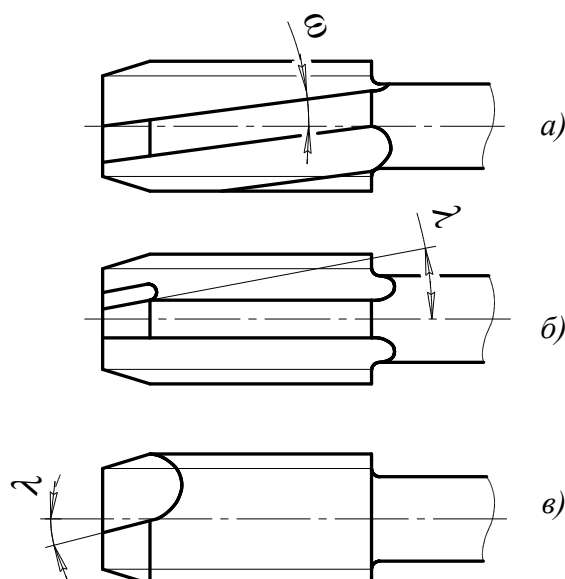


Рис. 4.23. Виды канавок метчиков

### 4.3. ПРОТЯЖКИ

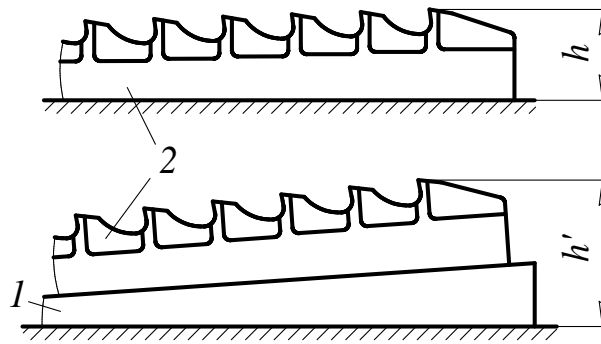


Рис. 4.24. Регулировка протяжки

Части протяжки:

- хвостовик
- передняя направляющая
- режущие зубья
- калибрующие зубья
- задняя направляющая

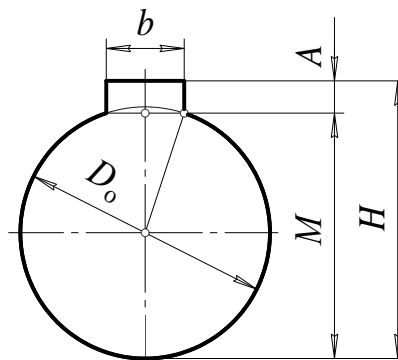


Рис. 4.25. К расчету припуска под протягивание паза

$$A = (D_{\max} - D_{o \min}) / 2 \quad (4.40)$$

$$A = H_{\max} - M_{\min} \quad (4.41)$$

$$M = (D_o + \sqrt{D_o^2 - b^2}) / 2$$

$$M_{\min} = (D_{o \min} + \sqrt{D_{o \min}^2 - b_{\max}^2}) / 2 \quad (4.42)$$

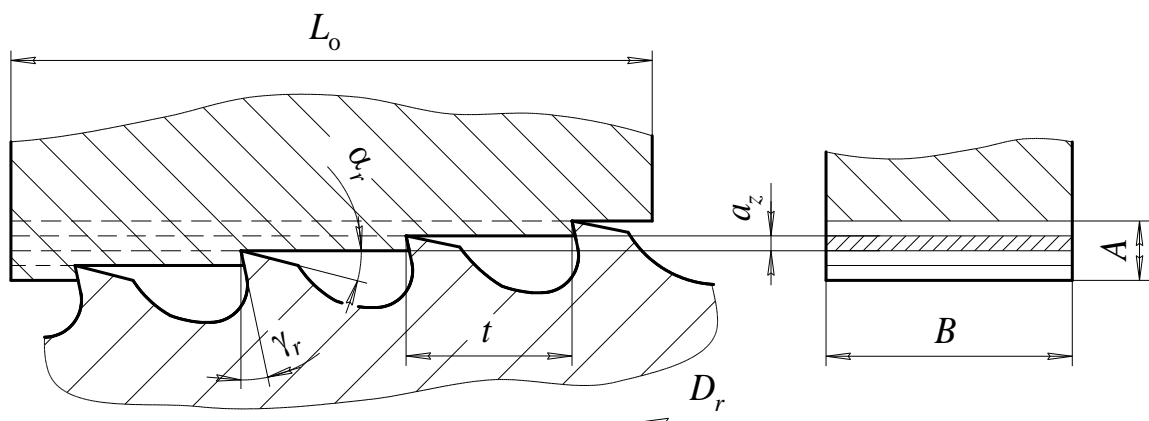


Рис. 4.26. Одинарная схема резания при протягивании

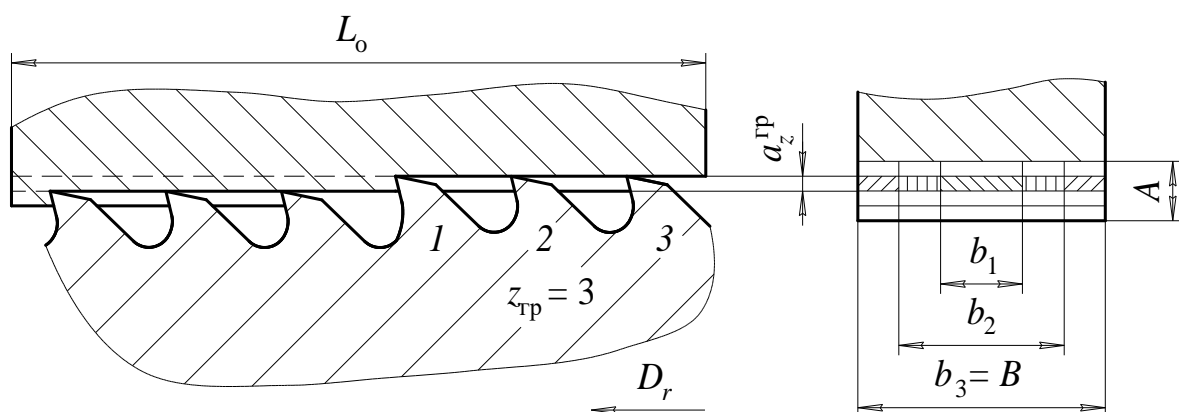


Рис. 4.27. Групповая схема резания при протягивании

$$z' = 1 \div 4$$

$$a'_z \leq 0,5a_z \quad (4.43)$$

### Баланс припуска

– при одинарной схеме резания

$$A = a_z(z - 1) + a'_z z' \quad (4.44)$$

$$z = \frac{A - a'_z z'}{a_z} + 1 \quad (4.45)$$

– при групповой схеме резания

$$A = m a_{гр} + a'_z z' \quad (4.46)$$

$$z = \frac{A - a'_z z'}{a_{гр}} z_{гр} + 1. \quad (4.47)$$

**Пример 4.3.** Круглая протяжка одинарной схемы резания имеет подъем черновых зубьев 0,048 мм и предназначена для обработки отверстия  $\varnothing 32^{+0,025}$  в заготовке с предварительно изготовленным отверстием  $\varnothing 30,5 \pm 0,1$ .

Какое минимальное число режущих зубьев имеет протяжка?

Из (4.40):  $A = 0,8125$  мм.

Разделим  $A$  на  $a_z$ , чтобы найти число черновых зубьев, снимающих припуск (без учета первого зуба):  $[A/a_z] = [16,927] \Rightarrow z - 1 = 16; z = 17$ .

Из (4.44):  $a'_z z' = A - a_z(z - 1) = 0,0445$  мм.

Нельзя ограничиться одним чистовым зубом (принять  $z' = 1$ ). В этом случае получится, что  $a'_z = 0,0445 > 0,5a_z = 0,024$ , т.е. не будет выполняться условие (4.43).

Условие (4.43) выполняется при  $z' \geq 2$ , следовательно, минимальное число режущих зубьев протяжки  $z_p = z + z' = 19$ .

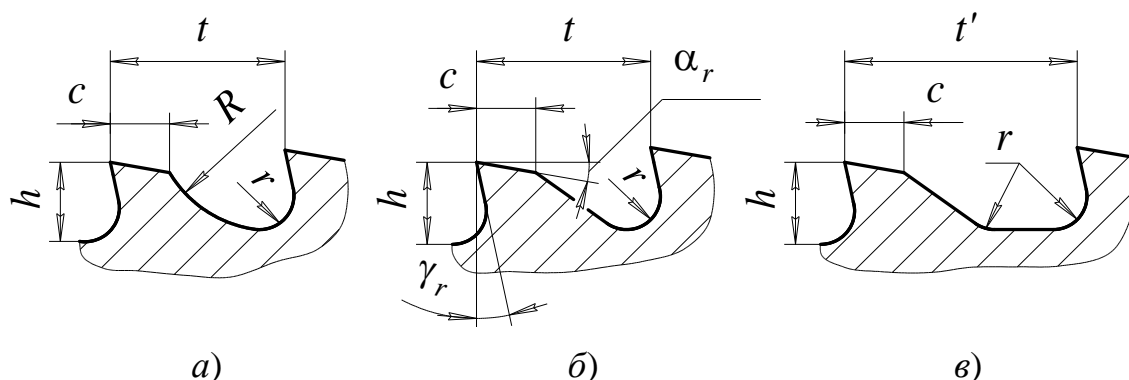


Рис. 4.28. Стружечные канавки протяжек

Таблица 4.3. Стандартные параметры стружечных канавок, мм

$t$	$h$	$c$	$r$	$R$	$F_k, \text{мм}^2$	$t$	$h$	$c$	$r$	$R$	$F_k, \text{мм}^2$
8	2,5	3	1,25	5	4,91	14	3	4	1,5	10	7,07
	3		1,5		7,07		4		2		12,57
10	4		2	7	12,57		5		2,5		19,63
							6		3		28,27

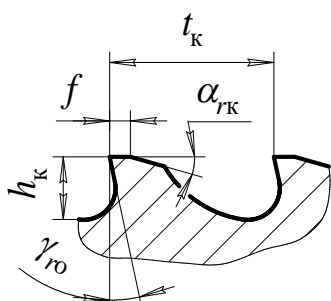


Рис. 4.29. Калибрующий зуб протяжки

Таблица 4.4. Количество калибрующих зубьев протяжек

Квалитет точности	6	7	8	9	10	св. 10
$z_k$	8	7	6	5	4	2÷3

$$t_k \approx \frac{2}{3}t$$

### Усилие протягивания

$$P_{\tau} = \sum_{i=1}^q P_{zi}, \text{ Н} \quad (4.48)$$

$$q = \left[ \frac{L_0}{t} + 1 \right] \quad (4.49)$$

$$P_{zi} = b_i p_z, \text{ Н} \quad (4.50)$$

$$p_z = C_p \sigma_B a^{0,85} K_{\gamma}, \text{ Н/мм} \quad (4.51)$$

$$C_p = \begin{cases} 2,0 & \text{— алюминий и медные сплавы} \\ 2,6 & \text{— чугун} \\ 3,3 & \text{— углеродистые стали} \\ 4,3 & \text{— легированные стали} \end{cases}$$

$$K_{\gamma} = \frac{90 - \gamma_{ro}}{75} \quad (4.52)$$

### Технические ограничения

— по помещаемости стружки в стружечной канавке

$$a \leq \frac{F_k}{KL_0} \quad (4.53)$$

$$K = \begin{cases} 2,0...2,5 & \text{— чугун и медные сплавы} \\ 3,5...4,0 & \text{— сталь и алюминий} \end{cases}$$

— по прочности режущей части протяжки

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{P_{\tau}}{F_1} \leq [\sigma_{\text{и}}], \text{ МПа} \quad (4.54)$$

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (D_0 - 2h)^2, \text{ мм}^2 \quad (4.55)$$

— по прочности хвостовой части протяжки

$$\sigma_{\text{х}} = \frac{P_{\tau}}{F_{\text{х}}} \leq [\sigma_{\text{х}}], \text{ МПа} \quad (4.56)$$

— по предельной длине протяжки

$$L_{\text{max}} \leq \psi D, \text{ мм} \quad (4.57)$$