

ФРЕЗЫ

Фрезы — один из самых распространенных видов инструмента. Обозначение фрез по ОКП приведены в табл. 9.1.

По назначению фрезы разделяются на фрезы для обработки плоскостей, уступов, фасонных поверхностей, пазов, прорезки, отрезки, нарезания резьбы и зубьев.

По способу крепления в каждой группе выделяют фрезы концевые, закрепляемые с помощью хвостовиков (их диаметр не превышает 80 мм), и фрезы насадные, закрепляемые на оправках или посадочных концах шпинделей станков (диаметр фрезы от 40 мм и более).

Наружный диаметр фрез (диаметр рабочей части) должен соответствовать стандартному ряду (табл. 9.2). Диаметр хвостовой части фрезы с цилиндрическим хвостовиком обычно принимается равным ее наружному диаметру. Диаметр хвостовой конической части и основные размеры хвостовиков с различного рода конусами для фрез приведены в гл. 6. Диаметр отверстий под оправки у насадных фрез с цилиндрическими или коническими отверстиями также выбирается в соответствии со стандартными размерами (см. гл. 6).

Материал рабочей (режущей) части фрез: цельных — быстрорежущие стали, твердые сплавы; насадных — быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамика, сверхтвердые синтетические материалы.

Фрезы из быстрорежущих сталей диаметром менее 12 мм — цельные (хвостовик и рабочая часть из быстрорежущих сталей).

Фрезы с быстрорежущей рабочей частью диаметром более 12 мм — сварные.

Фрезы цельные твердосплавные: цельнотвердосплавные — диаметром до 5 мм, с цельнотвердосплавной рабочей частью, соединяемой со стальным хвостовиком пайкой, клейкой или другими неразъемными способами, диаметром 5—22 мм. Фрезы с диаметром свыше 12 мм оснащаются твердосплавными пластинами, припаяемыми или приклеиваемыми к стальному корпусу.

Фрезы сборные оснащаются ножами цельными из быстрорежущих сталей или напайными с твердосплавными пластинами, напайными с режущими элементами из сверхтвердых материалов, соединенными с державками.

9.1. Обозначение фрез по ОКП

Группа 1800. Фрезы	
Подгруппа	Вид
1810 — фрезы из инструментальных сталей зуборезные и резьбовые	1811 — из инструментальных сталей зуборезные дисковые 1812 — из быстрорежущей стали зуборезные пальцевые 1813 — из быстрорежущей стали червячные мелко-модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем 1814 — из быстрорежущей стали червячные модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем 1815 — из быстрорежущей стали червячные под шевер, питчевые и другие специальные 1816 — из быстрорежущей стали червячные для шлицевых валов 1817 — из быстрорежущей стали червячные для нарезания зубьев звездочек и колес с зацеплением Новикова, червячных и конических 1818 — из быстрорежущей стали резьбовые 1819 — из быстрорежущей стали резьбовые специальные
1820 — фрезы из быстрорежущей стали концевые обдирочные, копирные, шпоночные для Т-образных и сегментных пазов	1821 — концевые с цилиндрическим хвостовиком 1822 — концевые с коническим хвостовиком 1823 — концевые с резьбовым хвостовиком 1824 — обдирочные с коническим хвостовиком 1825 — копирные с коническим хвостовиком 1826 — шпоночные с цилиндрическим хвостовиком 1827 — шпоночные с коническим хвостовиком 1828 — для Т-образных и сегментных пазов
1860 — ножи запасные к фрезам	1861 — трехсторонним и торцовым из быстрорежущей стали 1862 — трехсторонним с пластинками из твердого сплава 1864 — торцовым с пластинками из твердого сплава
1870 — пластинки твердосплавные механические закрепляемые	1871 — правильной трехгранной формы 1872 — неправильной трехгранной формы 1873 — квадратной формы 1874 — параллелограммной формы 1875 — ромбической формы 1876 — пятигранной формы 1877 — шестигранной формы 1878 — прямоугольной формы 1879 — круглой формы

Группа 1800 Фрезы	
Подгруппа	Вид
1830 — фрезы из быстрорежущей стали торцовые, цилиндрические, дисковые отрезные и прорезные	1831 — торцовые 1832 — цилиндрические 1833 — дисковые трехсторонние 1834 — дисковые пазовые 1835 — дисковые двусторонние 1836 — отрезные 1837 — прорезные
1840 — фрезы из быстрорежущей стали полукруглые и вогнутые угловые фасонные разных профилей и др.	1841 — полукруглые выпуклые и вогнутые 1842 — угловые 1843 — фасонные разных профилей
1850 — фрезы твердосплавные (кроме специальных и для станков с ЧПУ)	1851 — зуборезные цельные 1852 — концевые цельные 1853 — концевые и цилиндрические с припаянными пластинками и коронками 1854 — торцовые с припаянными пластинками 1855 — торцовые сборные с механическим креплением многогранных и круглых пластин 1856 — шпоночные, дисковые, прорезные и другие цельные фрезы 1857 — шпоночные с припаянными пластинками 1858 — дисковые трехсторонние, двусторонние, пазовые с припаянными пластинками
1880 — фрезы специальные	1881 — из быстрорежущей стали 1882 — твердосплавные
1890 — фрезы для станков с ЧПУ и автоматических линий	1891 — концевые из быстрорежущей стали 1892 — торцовые твердосплавные с припаянными пластинками 1893 — для Т-образных пазов твердосплавные с припаянными пластинками 1894 — концевые твердосплавные с припаянными пластинами 1895 — торцовые твердосплавные сборные с механическим креплением многогранных и круглых пластин

Фрезы сборные оснащаются неперетачиваемыми пластинами из минералокерамики, безвольфрамовых и вольфрамосодержащих твердых сплавов, сверхтвердых материалов.

Ножи и пластины закрепляются непосредственно на корпусах, либо на державках или подкладках (неперетачиваемые пластины).

Материал корпусов и хвостовиков: сталь 45; 40Х; 50Х; 40ХНМА, 50ХФА. Материал державок сборных фрез — сталь 45, 40Х, У8, 9ХС, 40ХГНМ.

Основные элементы фрез имеют следующую твердость:

рабочая часть цельных и ножи сборных быстрорежущих фрез 62—65 HRC_э или 63—67 HRC_э — для фрез из быстрорежущих сталей с повышенным содержанием кобальта (более 5 %) или ванадия более (3 %).

Корпуса концевых фрез цельных, сварных или напайных — 30—55 HRC_э. Державки сборных фрез — 45—62 HRC_э.

Корпуса сборных фрез при объемной закалке всего корпуса 35—50 HRC_э, в случае применения поверхностной закалки с помощью ТВЧ или лазерного нагрева участки корпусов, контактирующих с режущими элементами, державками или ножами, — 50—55 HRC_э, корпус 28—32 HRC_э.

9.1. Фрезы цельные

Фрезы цельные состоят из рабочей режущей части 1 (рис. 9.1) и корпуса 2 в виде хвостовика у концевого инструмента (рис. 9.1, а) или в виде втулочного или дискового тела у насадного инструмента (рис. 9.1, б, в). Рабочая часть может быть выполнена на цилиндрической поверхности 3 (цилиндрические фрезы), на торцевой поверхности 4 (торцовые фрезы), на торцевой и цилиндрической (двусторонние фрезы), на двух торцевых и заключенной между ними цилиндрической поверхностях (трехсторонние фрезы).

9.2. Наружный диаметр фрез (СТ СЭВ 201—75), мм

Ряд	
основной	дополнительный
1,60	1,80
2,00	2,24 *
2,50	2,80
3,15 *	3,55 *
4,00	4,50
5,00	5,60 *
6,30 *	7,10 *
8,00	9,00
10,00	11,2 *
12,5 *	14,0
16,0	18,0
20,0	22,4 *
25,0	28,0
31,5 *	35,5 *
40,0	45,0
50,0	56,0
63,0	71,0
80,0	90,0
100	112
125	140
160	180
200	224
250	280
315	355
400	450
500	560
630	

* Допускается округление диаметров фрез: основной ряд — до 3; 6; 12; 32; дополнительный — до 2,2; 3,5; 5,5; 7; 11; 22; 36.

Концевые фрезы выполняются торцово-цилиндрическими и имеют режущие участки как на торце, так и на цилиндре. Поверхности и режущие кромки зубьев: 5, 6 — передняя и задняя поверх-

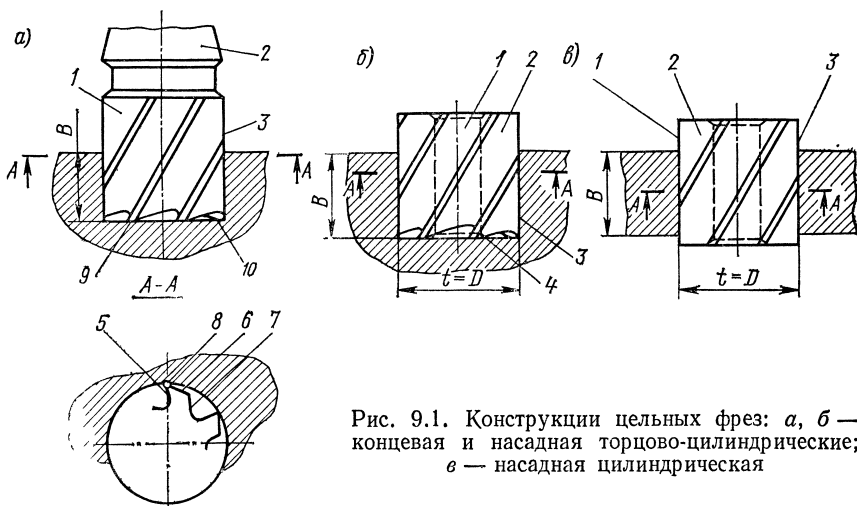


Рис. 9.1. Конструкции цельных фрез: а, б — концевая и насадная торцово-цилиндрические; в — насадная цилиндрическая

ности; 7 — спинка зуба; 8 — главная режущая кромка; 9 — торцовый зуб со вспомогательной режущей кромкой 10.

Зубья фрез могут иметь различный профиль. Наиболее распространенные профили зубьев представлены на рис. 9.2, а—е. На

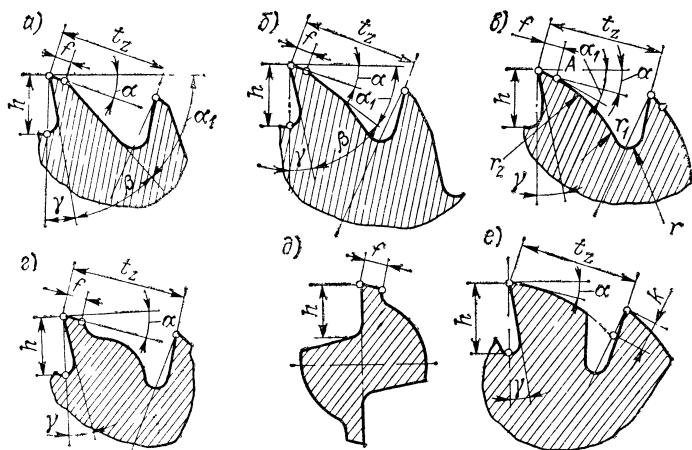


Рис. 9.2. Формы профилей зубьев

рис. 9.2, а — профиль торцовых зубьев цельных фрез для легких работ. Профиль с ломаной спинкой зуба (рис. 9.2, б) применяют для зубьев, работающих в тяжелых условиях. Этот профиль по

9.3. Рекомендуемые значения габаритных размеров, мм, и числа зубьев цельных фрез

Область применения	Вид фрезы										
	Дисковая, трехсторонняя			Цилиндрическая			Торцовая			Концевая	
	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>z</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>z</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>z</i>	<i>d</i>	<i>z</i>
1. Обработка хрупких материалов и обработка с малыми глубинами	—	—	—	40	16	8—10	40	16	12	2—4	4
	50	16	—	50	22	8—10	50	22	14	6—8	5
	63	22	16	63	27	10—12	63	27	16	10—18	6
	80	27	18	80	32	10—14	80	27	18	20—30	8
	100	32	20	100	40	14—18	100	32	20	32—40	10
	125	32	22	125	50	16—20	125	40	22	50	12
	160	40	26	160	50	16—22	160	40	24	63	14
	200	40	30	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Обработка сталей и обработка с увеличенными глубинами и подачами	—	—	—	40	16	6	40	16	8	2—6	3
	50	16	10	50	22	6	50	22	8	6—18	4
	63	22	10	63	27	8	63	27	10	20—30	5
	80	27	12	80	32	2	80	27	10	32—40	6
	100	32	14	100	40	10	100	32	12	50; 63	8
	125	32	16	125	50	10	125	40	14	—	—
	160	40	18	160	50	12	160	40	16	—	—
	200	40	20	—	—	—	200	50	20	—	—
3. Обработка легких сплавов	—	—	—	40	16	3	40	16	4	2—6	2
	50	16	4	50	22	4	50	22	5	8—20	3
	63	22	6	60	27	4	63	27	5	22—45	4
	80	22	6	80	32	4	80	27	6	50—63	5
	100	27	8	100	40	5	100	32	6	—	—
	125	32	8	125	50	6	125	40	8	—	—
	160	40	10	—	—	—	160	40	8	—	—
	200	40	10	—	—	—	200	50	10	—	—

размерам соответствует равнопрочному на изгиб профилю с параболической спинкой (рис. 9.2, в), ограниченному криволинейным (радиусным) участком с радиусом r у дна канавки и радиусным (близким к параболическому) участком спинки с радиусами r_1 и r_2 ($r_1 \approx 0,5h$, $r_2 \approx 2h$ у фрез с крупным зубом и $r \approx 1,5h$ у фрез с нормальным зубом). Профиль зуба, аналогичный профилю на рис. 9.2, в, но с ленточкой шириной f , представлен на рис. 9.2, г. Профиль технологичный, но требует более сложного инструмента для изготовления. Профили 9.2, в и г применяют для концевых фрез.

Для шпоночных фрез применяют профили, изображенные на рис. 9.2, з, д. Перечисленные профили (кроме последнего) относятся к острозаточенным (заточены передняя и задняя их поверхности).

На рис. 9.2, е показан профиль затылованного зуба. Спинка зуба затылуется по кривой (обычно по спирали Архимеда). Спад затылка K зависит от заднего угла α , диаметра фрезы и числа зубьев: $K = \pi (D/z) \operatorname{tg} \alpha$.

Ниже приведены значения K для различных отношений D/z при $\alpha = 10^\circ$.

D/z	2,2	3,1	4,0	4,9	5,8	6,7	7,6	8,5	9,4	11,2
K	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0

Изнашивание зубьев происходит по задним поверхностям, а их переточка осуществляется по передней плоской грани, что требует увеличенных съемов металла, но позволяет сохранить профиль. Поэтому затылованные зубья применяют только у фасонных фрез.

Размеры профиля зуба зависят от вида фрезы, ее наружного диаметра, числа зубьев.

Высота профиля $h = Kd/z$, где K равно: для концевых фрез 0,9—1,2; торцовых и цилиндрических с крупным зубом 1,2—1,5, с мелким зубом — 0,8—0,9, для дисковых дву- и трехсторонних 1,4—1,8.

Рекомендуемые значения габаритных размеров и числа зубьев фрез различных видов приведены в табл. 9.3.

Рекомендуемый профиль зубьев (см. рис. 9.2):

для дисковых трехсторонних фрез — область применения 1 — профиль а, область 2 — а или б, область 3 — б или в;

для цилиндрических фрез — область 1 — профиль а или б, область 2 — б или г, область 3 — б, в или г;

для торцовых фрез — область 1 — профиль а, области 2 и 3 — б или г;

для концевых фрез — профили б, в или г для всех областей.

Размеры профиля зубьев, мм, концевых фрез с $\gamma_N = 15^\circ$, $\alpha = 14^\circ$, $\omega = 30 \div 45^\circ$, соответствующего профилю 9.2, в приведены ниже:

d	3	4	5	6	8	10	14	20	25	45
При $z = 3$										
h	0,8	1,05	1,35	1,6	2,15	2,7	3,0	4,8	6,0	—
r_1	0,4	0,5	0,65	0,8	1,05	1,3	1,5	2,4	3,0	—
r_2	1,15	1,55	0,75	2,1	2,8	3,5	3,5	7,2	—	—
При $z = 4$										
h	0,65	0,95	1,2	1,4	2,0	2,4	3,0	3,6	4,5	7,0
r_1	0,25	0,35	0,45	0,55	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
r_2	1,3	1,75	2,25	2,7	3,6	4,5	—	7,2	9,0	14
При $z = 5$										
При $z = 6$										

Число зубьев фрез может быть определено из зависимостей: для торцовых фрез

$$z = \frac{0,6D}{(t_{\max} s_z \max)^{0,5}};$$

для цилиндрических, дисковых, пазовых и концевых фрез

$$z = \frac{0,2D}{(t_{\max} s_z \max)^{0,5}}.$$

Число зубьев у затылованных фрез для обеспечения наибольшего числа переточек корректируется с учетом обеспечения толщины зуба фрез $p = (0,8 \div 1,0) H$, где $H = h + K + r$ (h — высота профиля на обрабатываемом изделии; r — радиус дна канавки, $r = 1 \div 5$ мм).

При выборе числа зубьев необходимым условием является одновременное участие в работе не менее трех зубьев, что обеспечивает работу фрезы с небольшими ударными нагрузками.

Проверка этого условия осуществляется по формуле

$$z_p = \frac{z\psi}{360} + \frac{Bz \operatorname{tg} \omega}{\pi D} \geq 3,$$

где ψ — теоретический угол контакта между фрезой и поверхностью резания; B — ширина фрезерования; ω — угол наклона винтовых зубьев фрезы.

Снижению колебаний во время резания способствует и неравномерное размещение зубьев по окружности. Ниже приведены рекомендуемые значения центральных углов между соседними зубьями по окружности наружного диаметра:

Число зубьев	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	Φ_6	Φ_7	Φ_8
3	110	123	127	—	—	—	—	—
4	90	85	90	95	—	—	—	—
5	68	72	76	68	76	—	—	—
6	57	63	57	63	57	63	—	—
8	42	48	42	48	42	48	42	48

По периферии зубья располагаются параллельно оси ($\omega = 0$) или по винтовой линии ($\omega \neq 0$). Значения угла ω для различных видов фрез приведены ниже:

	ω°
Концевые быстрорежущие фрезы, фрезы с монокристаллической твердосплавной режущей частью	30—45
Концевые, оснащенные напайными пластинами из твердого сплава	(-5) — (+10)
Шпоночные цельные твердосплавные	20
Шпоночные, оснащенные напайными пластинами	0
Цилиндрические, торцово-цилиндрические фрезы	25—60
Дисковые дву- и трехсторонние фрезы	10—20

Фрезы концевые для обдирочных работ в целях разделения стружки имеют по длине зуба стружкоразделительные канавки, выполненные по винтовой линии с обеспечением перекрытия канавок одного зуба рабочим участком другого зуба.

Различные формы торцовых зубьев фрез приведены на рис. 9.3.

У концевых фрез общего назначения форма торцовых зубьев отличается переходным участком в виде фаски $s \times 45^\circ$ или ра-

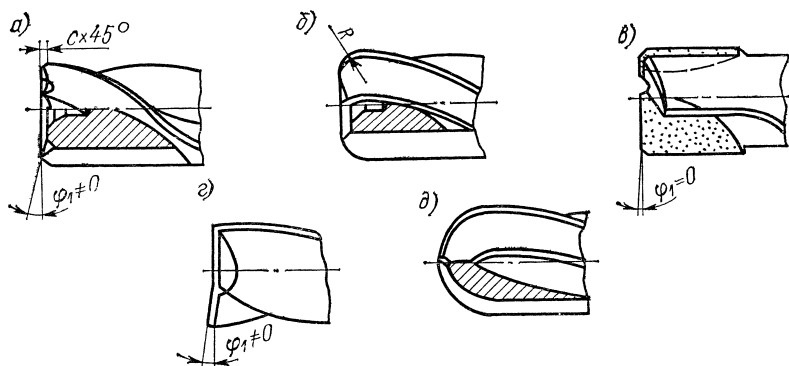
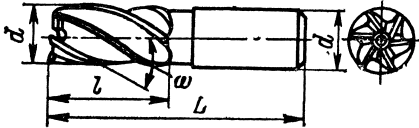
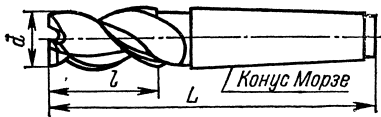
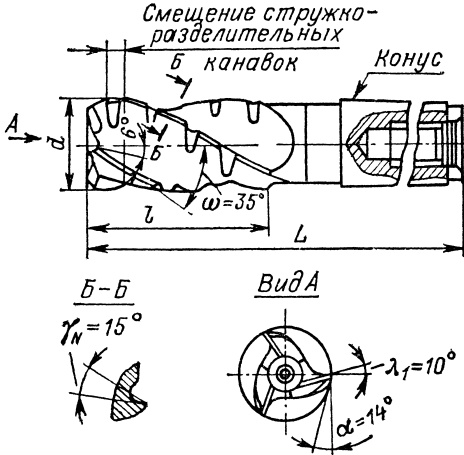


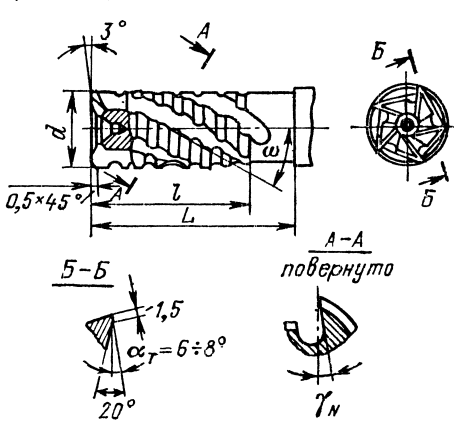
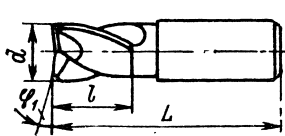
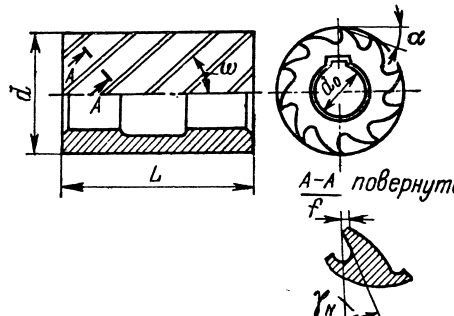
Рис. 9.3. Формы торцовых зубьев

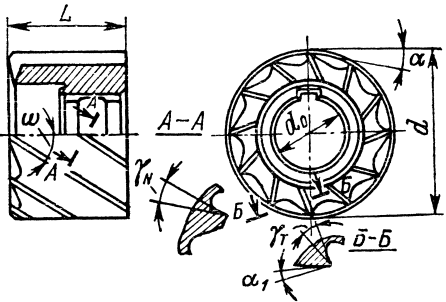
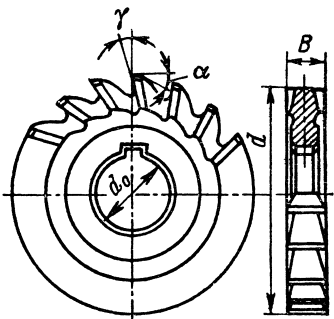
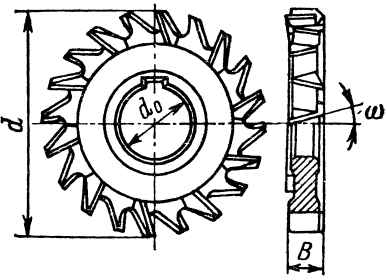
диуса R (рис. 9.3, а, б). Концевые фрезы для обработки глухих мерных пазов (шпоночные фрезы) должны работать и с осевой подачей (для врезания), в связи с чем они имеют по одному зубу, перекрывающему ось (рис. 9.3, в, г). Концевые фрезы для обработки фасонных поверхностей имеют торцовые зубья радиусной формы (рис. 9.3, д) без прямолинейного участка.

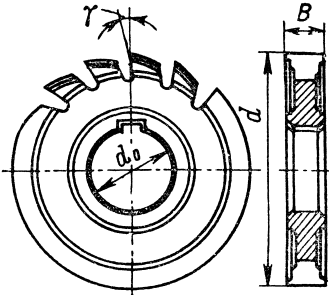
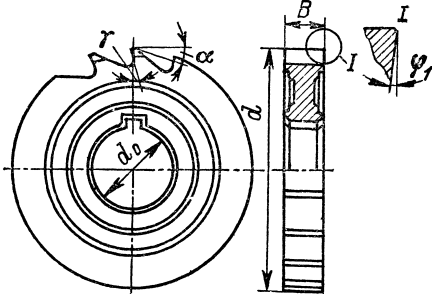
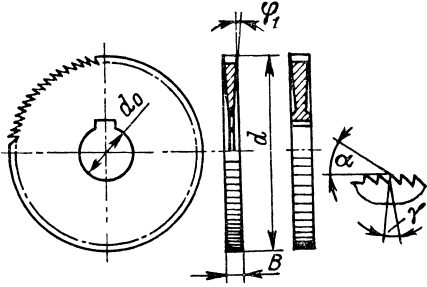
Основные типы и размеры стандартных и нормализованных цельных фрез приведены в табл. 9.4.

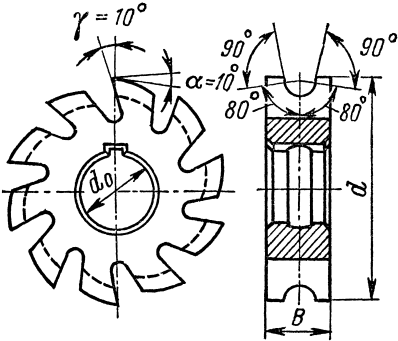
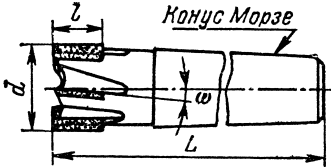
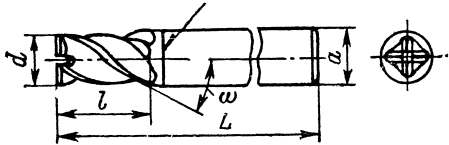
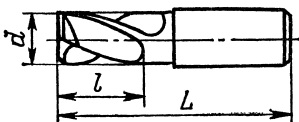
9.4. Основные типы и размеры цельных фрез

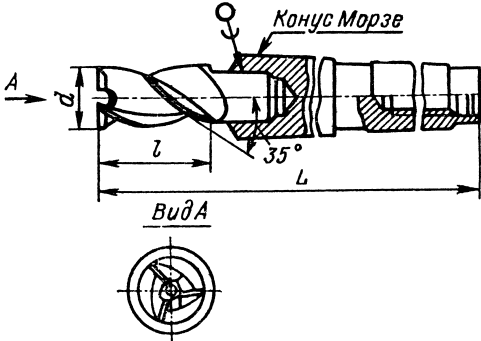
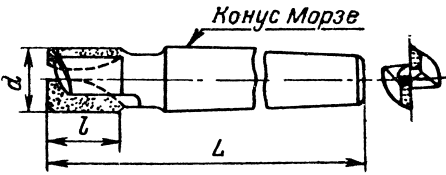
Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
<i>Фрезы из быстрорежущей стали</i> Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком (ГОСТ 17025—71*) Тип 1 (с нормальным зубом) — $d = 3 \div 20$ мм; $L = 36 \div 70$ мм; $l = 8 \div 45$ мм; $z = 4 \div 6$; $\omega = 30 \div 35^\circ$; тип 2 (с крупным зубом) — $d = 3 \div 12$ мм; $L = 36 \div 70$ мм; $l = 8 \div 25$ мм; $z = 3$; 4; $\omega = 35 \div 45^\circ$	
Фрезы концевые с коническим хвостовиком (ГОСТ 17026—71*) Тип 1 (с нормальным зубом), тип 2 (с крупным зубом) — $d = 14 \div 63$ мм; $L = 115 \div 245$ мм; $l = 32 \div 90$ мм; конус Морзе № 2—5. У фрез типа 1 $z = 4 \div 8$; $\omega = 30 \div 35^\circ$, у фрез типа 2 $z = 3 \div 5$; $\omega = 35 \div 45^\circ$	
Фрезы концевые обдирочные с коническим хвостовиком (ГОСТ 15086—69*) Тип 1 (с торцовыми зубьями) — $d = 25 \div 80$ мм; $L = 120 \div 445$ мм; $l = 50 \div 200$ мм; $z = 3 \div 7$; $\alpha = 14^\circ$; конус Морзе № 3—6 или метрический № 80; тип 2 (без торцовых зубьев) — $d = 25 \div 80$ мм; $L = 120 \div 445$ мм; $l = 50 \div 220$ мм; $z = 3 \div 7$; $\alpha = 14^\circ$; конус Морзе № 3—6 или метрический № 80	

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
Фрезы концевые обдирочные с затылованными зубьями и коническим хвостовиком (ГОСТ 4675—71*) Исполнение 1 (фреза без торцовых зубьев) — $d = 25 \div 80$ мм; $L = 150 \div 435$ мм; $l = 50 \div 224$ мм; $z = 5 \div 10$; $\gamma_N = 15^\circ$; $\omega = 30^\circ$; конус Морзе № 3—6; Исполнение 2 (фреза с торцовыми зубьями) — $d = 25 \div 80$ мм; $L = 150 \div 435$ мм; $l = 50 \div 224$ мм; $z = 5 \div 10$; $\gamma_N = 15^\circ$; $\omega = 30^\circ$; конус Морзе № 3—6	<i>Исполнение 2</i> 
Фрезы шпоночные (ГОСТ 9140—78*) Тип 1 (с цилиндрическим хвостовиком) — $d = 2 \div 20$ мм; $L = 28 \div 80$ мм; $l = 4 \div 32$ мм; $\gamma_N = 5^\circ$; $\alpha_N = 12^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; тип 2 (с коническим хвостовиком) — $d = 16 \div 25$ мм; $L = 105 \div 190$ мм; $l = 25 \div 63$ мм; $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 12 \div 14^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$	
Фрезы цилиндрические (ГОСТ 3752—71*) Тип 1 с мелким зубом — $d = 40 \div 100$ мм; $d_0 = 16 \div 40$ мм; $L = 40 \div 160$ мм; $z = 10 \div 18$; $\gamma_N = 15^\circ$; $\alpha = 16^\circ$; $\omega = 30 \div 35^\circ$; $f = 0,6 \div 0,8$ мм; тип 2 (с крупным зубом) — $d = 50 \div 100$ мм; $d_0 = 22 \div 40$ мм; $L = 50 \div 160$ мм; $z = 6 \div 12$; $\gamma_N = 15^\circ$; $\alpha = 16^\circ$; $\omega = 40^\circ$; $f = 1,2 \div 1,5$ мм	

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
Фрезы торцовые насадные (ГОСТ 9304—69*) Тип 1 (с мелким зубом) — $d = 40 \div 50$ мм (с креплением на продольной шпонке); $d = 63 \div 100$ мм (с креплением на торцевой шпонке); $d_0 = 16 \div 32$ мм; $L = 32 \div 50$ мм; $z = 10 \div 18$; $\gamma_N = 15^\circ$; $\gamma_T = 12^\circ$; $\alpha = 14^\circ$; $\alpha_1 = 8^\circ$; $\omega = 25 \div 40^\circ$	
Фрезы дисковые трехсторонние (ГОСТ 3755—78*) $d = 50 \div 100$ мм; $B = 5 \div 16$ мм; $d_0 = 16 \div 32$ мм; $z = 14 \div 20$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 20^\circ$	
Фрезы дисковые трехсторонние с разнонаправленными зубьями (ГОСТ 9474—73*) Тип 1 (с мелким зубом) — $d = 63 \div 125$ мм; $d_0 = 22 \div 32$ мм; $B = 6 \div 28$ мм; $z = 16 \div 22$; $\omega = 10^\circ$; $\gamma_N = 10^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; тип 2 (с нормальным зубом) — $d = 63 \div 125$ мм; $d_0 = 22 \div 32$ мм; $B = 6 \div 28$ мм; $z = 12 \div 18$; $\gamma_N = 10^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\omega = 15^\circ$	

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
Фрезы пазовые затылованные (ГОСТ 8543—71) $d = 50 \div 100$ мм; $d_0 = 16 \div 32$ мм; $B = 4 \div 16$ мм; $z = 12 \div 16$; $\gamma = 10^\circ$	
Фрезы дисковые пазовые (ГОСТ 3964—69*) $d = 50 \div 100$ мм; $B = 3 \div 16$ мм; $d_0 = 16 \div 32$ мм; $z = 14 \div 20$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 20^\circ$; $\varphi_1 = 1 \div 2^\circ$	
Фрезы прорезные (шлицевые) и отрезные (ГОСТ 2679—73*) Тип 1 (с мелким зубом) — $d = 20 \div 315$ мм; $d_0 = 5 \div 40$ мм; $B = 0,2 \div 6,0$ мм; $z = 32 \div 200$; $\gamma = 0 \div 10^\circ$; $\alpha = 20^\circ$; $\varphi_1 = 5 \div 30^\circ$; тип 2 (со средним зубом) — $d = 50 \div 315$; $d_0 = 13 \div 40$ мм; $B = 0,5 \div 6,0$ мм; $z = 24 \div 100$; $\gamma = 0 \div 10^\circ$; $\varphi_1 = 10 \div 30^\circ$; $\alpha = 20^\circ$; тип 3 (с крупным зубом) — $d = 50 \div 315$ мм; $d_0 = 13 \div 40$ мм; $B = 1,0 \div 6,0$ мм; $z = 16 \div 48$; $\gamma = 5 \div 10^\circ$; $\varphi_1 = 30' \div 1^\circ$; $\alpha = 20^\circ$	

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
Фрезы полукруглые вогнутые и выпуклые (ГОСТ 9305—69*) Тип 1 (полукруглые вогнутые) — $d = 50 \div 160$ мм; $d_0 = 22 \div 40$ мм; $B = 7 \div 75$ мм; $z = 10 \div 14$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; тип 2 (полукруглые выпуклые) — $d = 50 \div 130$ мм; $d_0 = 22 \div 40$ мм; $B = 3,2 \div 50$ мм; $z = 10 \div 14$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 10^\circ$	
Фрезы твердосплавные Фрезы концевые с коническим хвостовиком, оснащенные прямыми пластинками $d = 14 \div 35$ мм; $L = 105 \div 150$ мм; $l = 16 \div 25$ мм; $z = 4 \div 6$; $\gamma_N = 0$; $\alpha = 15^\circ$; конус Морзе № 2—4	
Фрезы концевые (ГОСТ 18372—73*Е) Тип 1 (цельные) — $d = 3 \div 12$ мм; $L = 28 \div 60$ мм; $l = 8 \div 25$ мм; $z = 3 \div 5$; $\gamma_N = 5^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; $\omega = 30 \div 40^\circ$; тип 2 (со стальным хвостовиком) — $d = 5 \div 12$ мм; $L = 58 \div 103$ мм; $l = 24 \div 53$ мм; $z = 3 \div 5$; $\gamma_N = 5^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; $\omega = 30 \div 40^\circ$	
Фрезы шпоночные цельные (ГОСТ 16463—80Е) $d = 2,0 \div 12$ мм; $L = 25 \div 55$ мм; $l = 4 \div 20$ мм; $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\omega = 20^\circ$	

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
Фрезы концевые с коническим хвостовиком (ТУ 2-035-824—81) $d = 12 \div 22$ мм; $L = 130 \div 175$ мм; $l = 32 \div 55$ мм; конус Морзе № 3—4	
Фрезы шпоночные (ГОСТ 6396—78*) Тип 1 (с цилиндрическим хвостовиком) — $d = 8 \div 16$ мм; $L = 45 \div 70$ мм; $l = 12 \div 20$ мм; $\gamma = 5^\circ$; тип 2 (с коническим хвостовиком) — $d = 12 \div 25$ мм; $L = 80 \div 130$ мм; $l = 16 \div 25$ мм; $\gamma = 5^\circ$; конус Морзе № 1—4	

9.2. Фрезы сборные

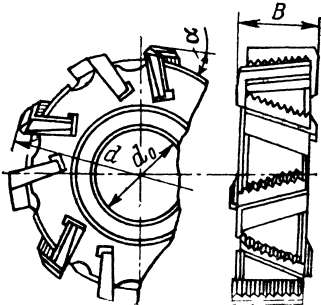
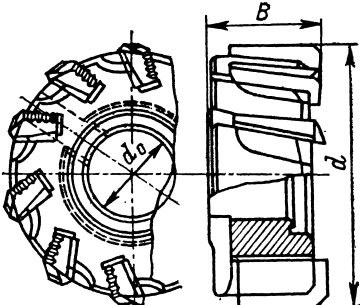
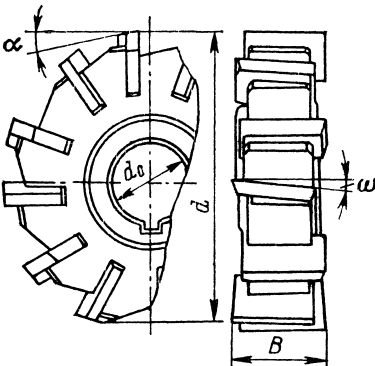
Основные типы и размеры сборных фрез стандартных и нормализованных конструкций приведены в табл. 9.5—9.6. Фрезы состоят из корпуса, режущих и крепежных элементов.

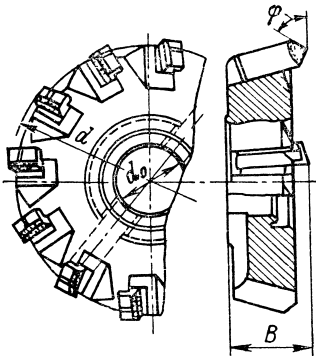
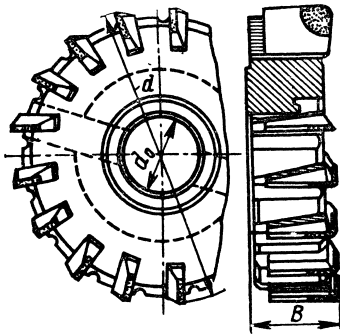
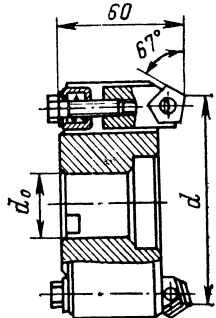
К режущим элементам относятся перетачиваемые в сборе или вне фрезы ножи (гладкие, рифленные или имеющие иную форму) цельные или оснащенные инструментальными материалами; пластины из различных инструментальных материалов (многогранной, круглой или специальной формы).

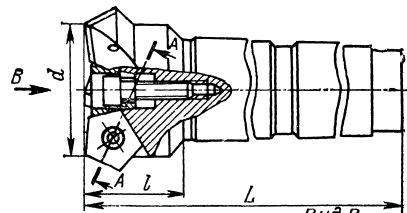
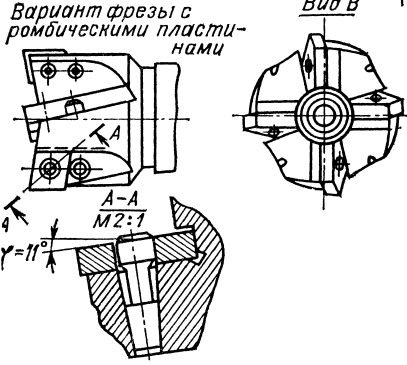
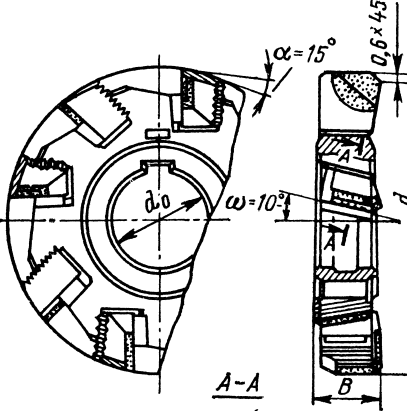
Отличительной особенностью фрез с перетачиваемыми ножами является возможность придания режущей части оптимальной по условиям эксплуатации геометрии и размеров. Точность взаимного расположения режущих элементов различных зубьев определяется качеством их заточки или установки.

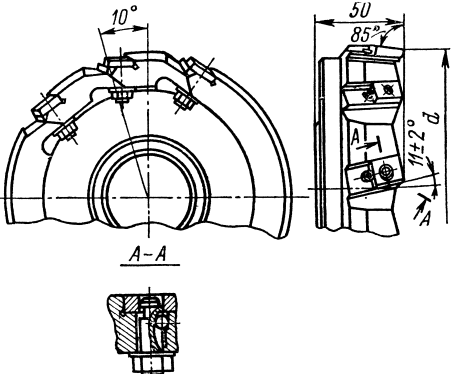
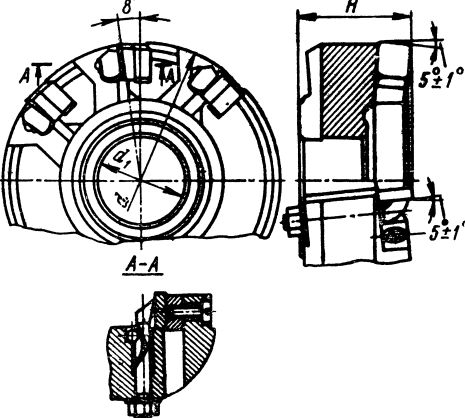
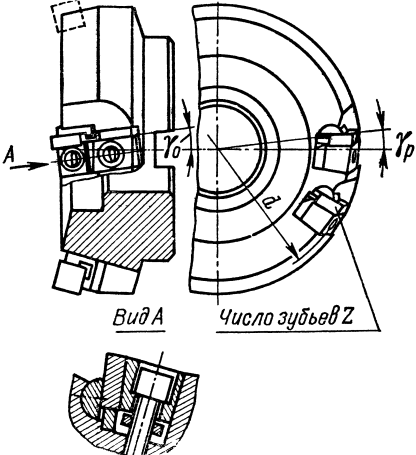
Отличительной особенностью фрез, оснащенных неперетачиваемыми пластинами, является фиксированное расположение режущих элементов относительно корпуса фрезы. Геометрические

9.5. Основные типы и размеры сборных фрез

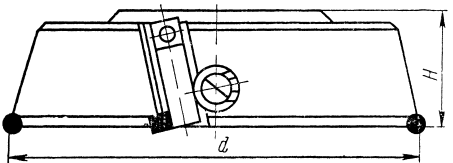
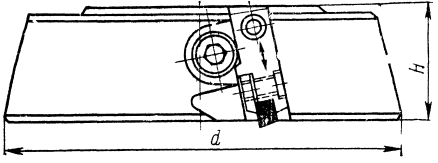
Наименование, тип и размеры	Эскиз
<i>Фрезы из быстрорежущей стали</i> Фрезы трехсторонние со вставными ножами (ГОСТ 1669—78*) $d = 80 \div 315$ мм; $d_0 = 27 \div 50$ мм; $z = 10 \div 30$; $B = 12 \div 50$ мм; $\gamma_N = 15^\circ$; $\alpha = 12^\circ$	
Фрезы торцовые насадные со вставными ножами (ГОСТ 1092—80) $d = 90 \div 250$ мм; $d_0 = 27 \div 50$ мм; $B = 36 \div 45$ мм; $z = 10 \div 26$	
Фрезы дисковые трехсторонние с впрессованными ножами $d = 100 \div 200$ мм; $d_0 = 32 \div 50$ мм; $B = 14 \div 40$ мм; $z = 14 \div 24$; $\alpha = 12^\circ$; $\omega = 5^\circ$	

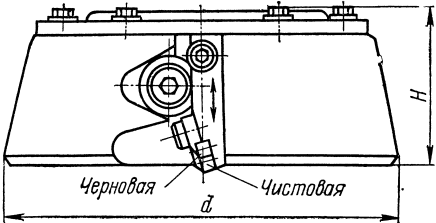
Наименование, тип и размеры	Эскиз
Фрезы торцовые насадные со вставными ножами (ГОСТ 24359—80*) $d = 100 \div 630$ мм; $d_0 = 32 \div \div 221,44$ мм; $B = 50 \div 85$ мм; $z = 8 \div 30$; $\varphi = 45; 60; 75; 90^\circ$; $\gamma = 5^\circ$	
Фрезы торцовые насадные со вставными ножами (мелкозубые) (ГОСТ 9473—80*) $d = 80 \div 250$ мм; $d_0 = 27 \div \div 50$ мм; $B = 34 \div 42$ мм; $z = = 30 \div 52$	
Фрезы торцовые насадные с механическим креплением пятитрапанных пластин (ГОСТ 22085—76*) $d = 100 \div 200$ мм; $d_0 = 32 \div \div 50$ мм; $z = 8 \div 12$	

Наименование, тип и размеры	Эскиз
<i>Фрезы твердосплавные</i> Фрезы концевые с коническим хвостовиком, с механическим креплением ромбических пластинок (ТУ 2-035-476—76) $d = 20 \div 50$ мм; $L = 120,5 \div 186,5$ мм; $z = 3 \div 5$; конус Морзе № 2—4 Фрезы концевые с коническим хвостовиком, с механическим креплением пятигранных пластинок (ТУ 2-035-476—76) $d = 40 \div 63$ мм; $L = 140,5 \div 190,5$ мм; $z = 4 \div 5$; конус Морзе 4	 <i>Вариант фрезы с ромбическими пластинами</i> <i>Вид В</i> 
Фрезы дисковые трехсторонние со вставными ножами (ГОСТ 5348—69*) $d = 100 \div 315$ мм; $d_0 = 27 \div 60$ мм; $B = 14 \div 40$ мм; $z = 8 \div 20$	 <i>A-A</i> $\gamma_n = 5^\circ$

Наименование, тип и размеры	Эскиз
Фрезы торцовые насадные с тангенциальным расположением квадратных твердосплавных пластин (ТУ 2-035-618—78) $d = 100 \div 200$ мм	
Фрезы торцовые насадные с механическим креплением квадратных или ромбических пластин из минералокерамики (ТУ 2-035-624—78) $d = 100 \div 200$ мм	
Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин (ГОСТ 26595—85) $d = 100 \div 500$ мм	

9.6. Основные типы фрез, оснащенных сверхтвёрдыми материалами

Наименование, размеры	Назначение инструмента	Эскиз
Фрезы торцовые насадные с механическим креплением прецизионных круглых пластин из композита 01, 05, 10Д (ТУ 2-035-757—80) Для фрез диаметром 100; 125; 160 и 200 мм, торцовое биение не более 0,03 мм, диаметром 250; 315 и 400 мм — не более 0,05 мм	Чистовая обработка деталей из сталей (пластины из композита 01, 10Д) и чугунов (пластины из композита 01, 05, 10Д) любой твердости на станках фрезерной, расточной и шлифовальной групп	
Фрезы торцовые насадные регулируемые с механическим креплением прецизионных круглых пластин из композита 05 и 10Д (ТУ 2-035-757—80) Для фрез диаметром 100; 125; 160 и 200 мм, торцовое биение не более 0,007 мм, диаметром 250; 315 и 400 мм — не более 0,01 мм	Чистовая обработка деталей из сталей (композит 10Д) и чугунов (композит 05, 10Д) любой твердости на станках фрезерной, расточной и шлифовальной групп с повышенными требованиями к шероховатости поверхности и производительности	

Наименование, размеры	Назначение инструмента	Эскиз
Фрезы торцовые насадные ступенчатые регулируемые с механическим креплением пластин круглой формы из композита 05 и 10Д (ТУ 2-035-757—80) Для фрез диаметром 200 и 250 мм, торцовое биение не более 0,007 мм, диаметром 315 и 400 мм — не более 0,01 (чистовая ступень)	Предварительная и окончательная обработка деталей из серых и высокопрочных чугунов, закаленных сталей (композит 10Д) любой твердости, в том числе по литейной корке и с отбелом, на фрезерных автоматах и полуавтоматах, на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, на продольно-фрезерных, вертикально-фрезерных, расточных станках взамен твердосплавных фрез	
Фрезы торцовые насадные со вставными ножами, оснащенными сверхтвердыми материалами, регулируемые, однорядные или ступенчатые (ТУ 2-035-918—83) $d = 80 \div 315$ мм; $d_0 = 27 \div 60$ мм (посадочный диаметр)	Чистовое фрезерование деталей из чугунов, закаленных сталей на фрезерных автоматах и полуавтоматах, станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, на координатно-расточных станках взамен твердосплавных фрез, на продольно-шлифовальных станках взамен шлифования. Расточка (чистовая) отверстий на станках с ЧПУ, обеспечивающих обход контура по окружности	См. рис. 9.8

9.7. Способы крепления сменных режущих пластин на сборных фрезях и их рекомендуемые области применения

Способ крепления пластин	
Непосредственно на корпусе фрезы	На корпусе посредством опорной пластины
Простые по конструкции фрезы. Фрезы концевые, пластины с отверстиями или без них, фрезы концевые и насадные с тангенциальным расположением пластин с отверстием, фрезы концевые и насадные с креплением пластин со стороны их опорной плоскости. Стойкость корпуса при нормальном износе пластин — до 50 комплектов пластин. При случайной поломке пластины корпус повреждается, при этом фреза может выйти из строя	Фрезы насадные с радиальным расположением пластин всех видов, особенно пластин из МК и СТМ. Стойкость корпуса — до 50 комплектов пластин. При поломке пластин опорная поверхность корпуса под пластину защищена от повреждений, однако упорная поверхность корпуса может быть повреждена, при этом фреза может выйти из строя
Способ крепления пластин	
В блоке, а блок — на корпусе	В блоке закрепляются через корпус
Фрезы насадные с пластинами всех видов и любым расположением	Фрезы насадные с радиально расположенными пластинами без отверстий
Блоки, регулируемые в осевом направлении или без регулирования. Стойкость корпуса — до 500 комплектов пластин. Повреждения корпуса при случайной поломке пластин исключены. Повышенная надежность фрез позволяет использовать их и в автоматизированном производстве	

параметры фрез при этом постоянны и определяются конструкцией фрезы. Точность взаимного расположения режущих кромок определяется точностью исполнения базовых поверхностей корпуса и точностью исполнения пластин. Последнее условие предъявляет определенные требования к пластинам, которые должны иметь степень точности Е или С. Пластинам можно придать некоторые дополнительные элементы: образование радиуса скругления главной режущей кромки (или придание переходу от передней к задней поверхности рационального очертания), создание стружколомающих уступов или иных элементов, покрытие режущих кромок различными одно- или многослойными покрытиями.

Классификация способов крепления пластин на фрезях и рекомендуемые области их применения приведены в табл. 9.7.

Число зубьев сборных фрез меньше, чем у цельных, и принимается равным (в зависимости от диаметра d фрезы и обрабатываемого материала):

d , мм	<40	50; 63	80	100—125	165	200	250	400
Сталь	3	4	5	6	8	8—10	12	12
Чугун	4	5	6	10	12	16	22	30

При известных условиях обработки число зубьев сборных фрез может быть определено по мощности станка и режимам резания: при обработке стали

$$z_{\max} = \frac{N_e d^{0,1}}{3,6 \cdot 10^{-5} B^{1,1} t_{\max}^{0,95} s_{z \max}^{0,8} n};$$

при обработке чугуна

$$z_{\max} = \frac{N_e d^{0,14}}{2,53 \cdot 10^{-5} B^{1,14} t_{\max}^{0,9} s_{z \max}^{0,7} n};$$

Расположение зубьев по диаметру — равномерное или неравномерное.

Ножи сборных фрез могут иметь различную высоту: быстрорежущие ножи с рифлением — 3,7—7,7 мм и более (в случае тяжелых работ), напайные твердосплавные — до 20 мм, ножи, оснащенные сверхтвердыми материалами, — до 10 мм по диаметру.

Напайные ножи, оснащенные твердым сплавом, и державки под многогранные неперетачиваемые пластины имеют призматическую форму. Высота ножа торцевой фрезы $H = 3,5 \div 5 \sqrt[3]{d}$ мм; меньшие значения — для фрез больших диаметров. Высота ножа цилиндрических и дисковых фрез $H = 10 \div 12$ мм. Ширина ножа (державки) $B = (1,1 \div 1,3) H$ мм.

Вылет ножа (державки) относительно корпуса h_n (при консольном его расположении) не должен превышать значений $h = l_n + + (3 \div 5)$ мм, где l_n — проекция режущей кромки напайной (или механически закрепляемой) пластины на плоскость, параллельную оси фрезы и перпендикулярную к основной плоскости ножа.

Корпуса фрез с бесконсольным закреплением ножей (например, рифленых) должны иметь карманы для размещения стружки. Вылет ножей при этом должен быть достаточным для возможности их заточки в сборе (обычно он не превышает 8—9 мм для дисковых и цилиндрических и 8—10 мм для торцевых фрез).

При необходимости съема повышенных припусков металла используют ступенчатые схемы расположения ножей или пластин (см. рис. 9.4, а—в). Ножи (пластины) при этом располагаются в несколько рядов (рис. 9.4, а $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$) каждый ряд — на своем диаметре, отличном от диаметра другого ряда на величину, превышающую удвоенную подачу на оборот числа зубьев ряда и на различной высоте, обеспечивающей разделение припуска на обработку между рядами в требуемом соотношении.

Иногда ножи каждого ряда имеют различные углы в плане ($\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3$); ножи, осуществляющие черновую обработку (работу по «корке») с углом, близким к $\varphi = 90^\circ$, ножи, располагающиеся на других уровнях — меньшие значения φ .

Для повышения стойкости фрез применяют «безвершинную» ступенчатую схему расположения ножей (рис. 9.4, б), когда вершины ножей 2-го и последующих рядов в работе не участвуют.

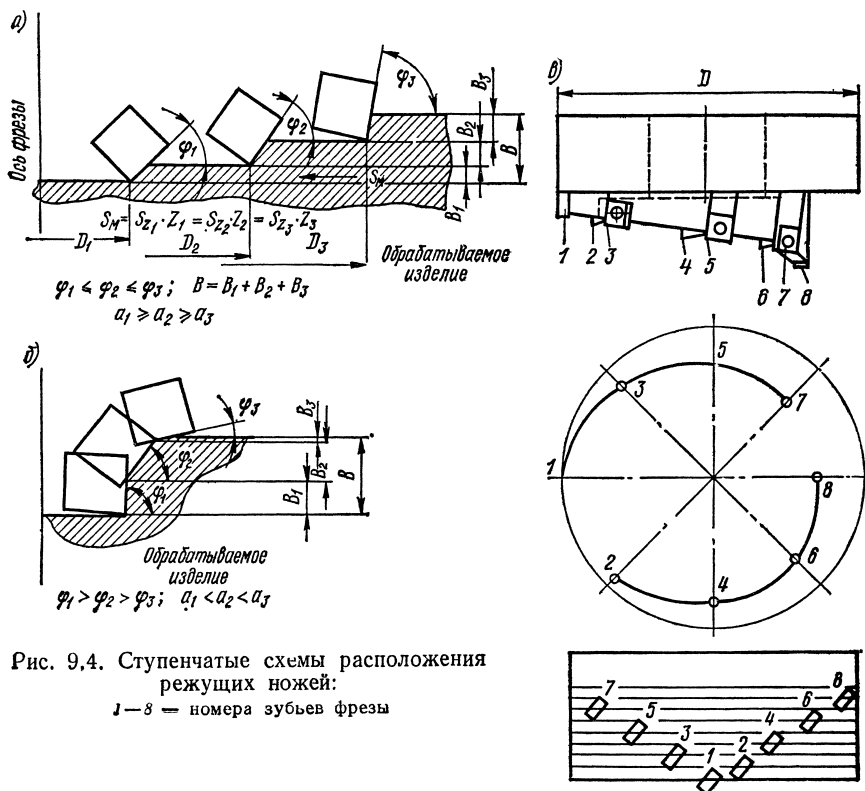


Рис. 9.4. Ступенчатые схемы расположения режущих ножей:

1—8 — номера зубьев фрезы

К многоступенчатым схемам обработки относятся схемы с расположением ножей по винтовой линии (рис. 9.4, в), когда каждый нож расположен на определенных радиусе и высоте, отличных от других ножей.

Стойкость фрез, качество обработанной поверхности во многом определяется точностью взаимного расположения ножей (пластин).

Для обеспечения регулирования положения ножей (пластин) в осевом и радиальном направлениях в конструкцию фрез иногда вводятся соответствующие регулировочные элементы, позволяющие обеспечить взаимное расположение ножей с точностью до 0,001 мм. Такие требования по точности предъявляются к фрезам

для чистовой обработки, в особенности оснащенных сверхтвердыми материалами. Эти фрезы, обеспечивающие съем до 0,4—0,5 мм на одну ступень (при многоступенчатой схеме обработки съем соответственно увеличивается) позволяют получать поверхность с параметром шероховатости $R_a \leq 0,63$ мкм и допускаемым отклонением от плоскостности не более 0,01 мм на 1 м длины. Стойкость ножей фрез при этом достигает 200—300 мин.

9.3. Некоторые конструкции специальных фрез

Фрезы концевые, оснащенные твердосплавными сегментными пластинами для обработки вязких материалов (рис. 9.5), отличаются формой пластин и их расположением, что позволяет обрабатывать

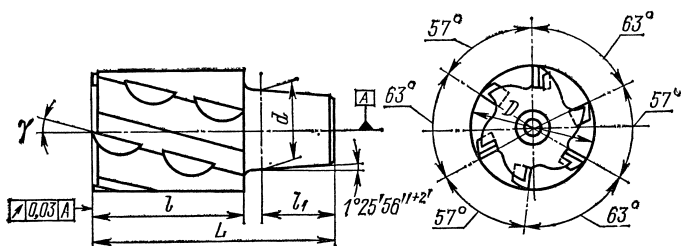


Рис. 9.5. Фреза концевая, оснащенная твердосплавными сегментными пластинами

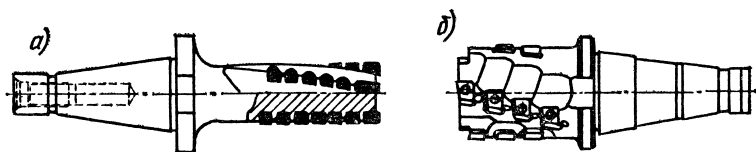


Рис. 9.6. Фрезы твердосплавные для обдирочных работ

гнезда под пластины даже на универсальном оборудовании. По сравнению с фрезами с напайными винтовыми твердосплавными пластинами они обеспечивают обработку поверхностей большей высоты, допускают большее число переточек, а по сравнению с зарубежными конструкциями более технологичны в изготовлении.

Фрезы концевые диаметром до 63 мм обдирочные с шахматным расположением напайных твердосплавных пластин (рис. 9.6, а) выпускаются рядом зарубежных фирм. Конструкция фрезы с тангенциальным расположением пластин, выпускаемой фирмой «Хертель» (Hertel, ФРГ), представлена на рис. 9.6, б.

Фрезы торцовые насадные с механическим креплением твердосплавных пластин в блоках представлены на рис. 9.7. Пластины 2 могут крепиться прямо к блоку 4, размещенному в пазах корпуса 1, винтом 3 (рис. 9.7, а). Фрезы с таким креплением пластин

отличаются универсальностью, так как позволяют на базе одного корпуса получать фрезы для различных работ путем замены блоков с пластинами одной формы на другую. Подобные фрезы выпускает фирма «Планзее» (*Planzee*, Австрия).

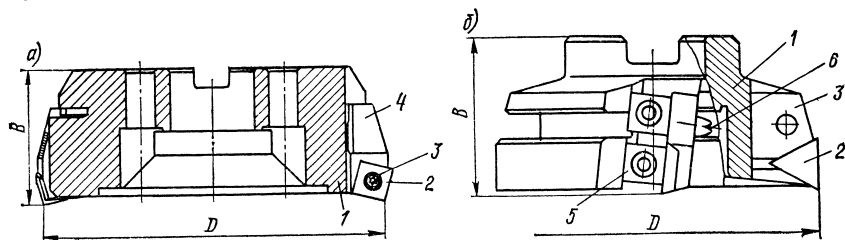


Рис. 9.7. Фрезы торцовые насадные, блочные

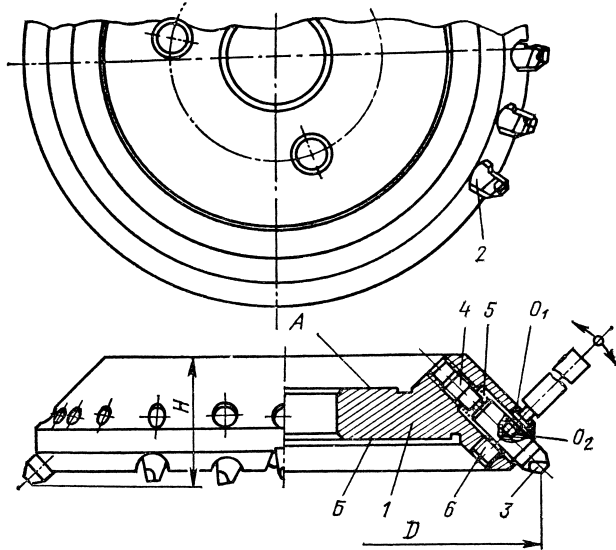


Рис. 9.8. Фреза насадная ступенчатая регулируемая со вставными ножами из сверхтвердых материалов (А, Б — опорные торцы; O_1 , O_2 — оси отверстий в корпусе и ноже):

1 — корпус; 2 — ножи; 3 — режущий элемент; 4 — упорный винт; 5 — пружина; 6 — крепежный винт

Крепление пластин 2, установленных в блоке 3, но закрепляемых клином 5 через корпус 1, показано на рис. 9.7, б. Эти фрезы отличаются наличием регулировки в осевом направлении блока 3 с помощью эксцентрика 6. Выпускаются по ОСТ 23.5.396—81.

Фрезы торцовые, оснащенные напайными ножами из сверхтвердых материалов (эльбора-Р, гексаниа-Р и др.), — регулируемые (рис. 9.8). Диаметр фрез 80—315 мм. Они отличаются материалом режущей части, наличием регулировки положения но-

жей цилиндрической формы вдоль их оси, обеспечивают возможность чистовой (взамен шлифования) обработки хрупких материалов (ножи, оснащаемые режущими элементами из кубического нитрида бора) или алюминия и сплавов на его основе (ножи, оснащенные алмазными поликристаллическими режущими элементами

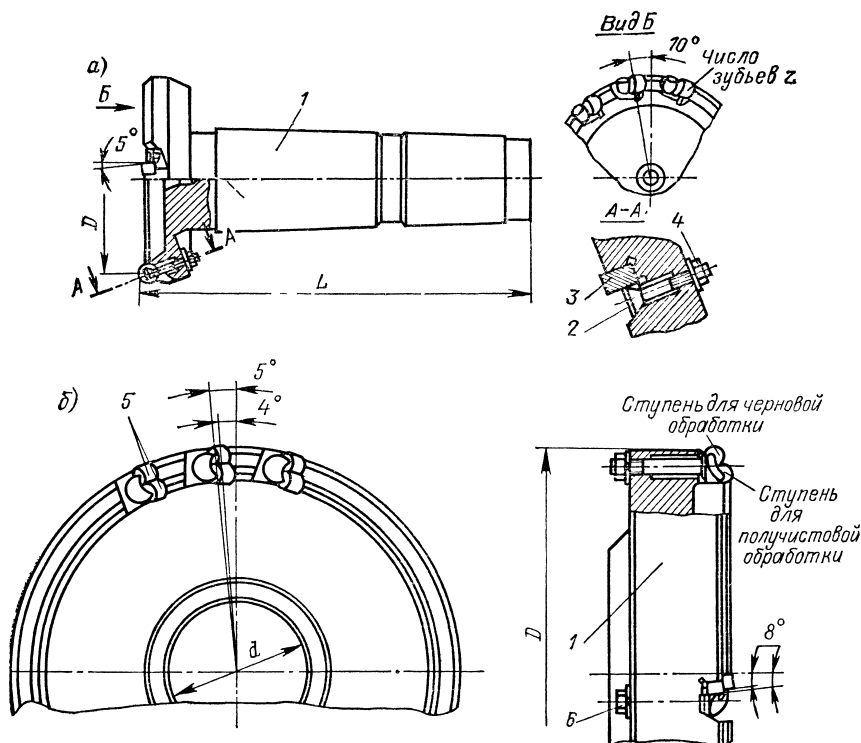


Рис. 9.9. Фрезы торцовые с механическим креплением круглых пластин из композита: а — концевая; б — насадная двухступенчатая:

1 — корпус; 2 — крепежный винт; 3 — режущая пластина; 4 — гайка; 5 — режущая пластина; 6 — узел крепления

типа карбонада и т. п.). При ступенчатом (до 6 ступеней) расположении ножей обеспечивается съем припуска до 2,5 мм, при однорядном расположении — до 0,5 мм.

Фрезы торцовые с механическим креплением круглых пластин из композита 05 (рис. 9.9, а, б) имеют диаметр от 40 до 400 мм (фрезы диаметром до 80 мм концевые, свыше 80 — насадные). Пластины высокой степени точности диаметром 7,0 мм высотой 4,76 мм. Имеют одно- или двухрядное расположение. Припуск, снимаемый фрезами с однорядным расположением пластин, — до 2,5 мм, с двухрядным — до 5 мм.

Разновидности фрез с механическим креплением прецизионных круглых пластин из композита были приведены в табл. 9.6.

Фрезы торцовые насадные с регулируемым расположением ножей фирмы «Планзее» (Австрия) оснащены механически закрепляемыми пластинами из амборита, алмаза поликристаллического (рис. 9.10). Наличие конструктивных элементов, регулирующих положение ножей вдоль оси фрезы, позволяет при чистовой обработке за счет снижения торцового биения ножей повысить качество обработанной поверхности.

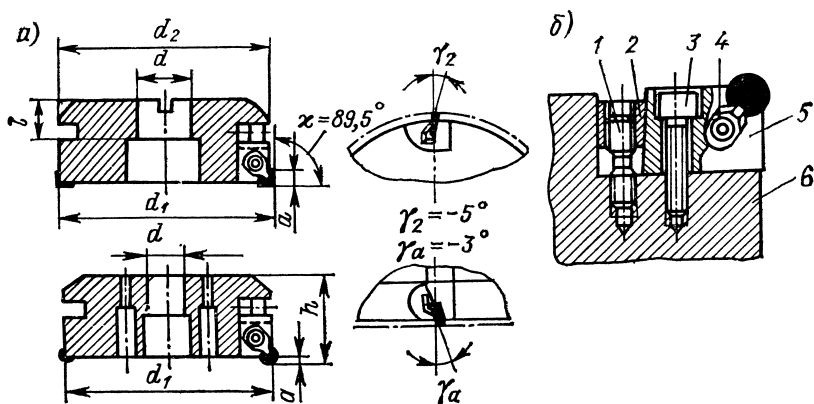


Рис. 9.10. Фреза торцовая насадная, регулируемая фирмы «Планзее» (Австрия): 1 — дифференциальный винт; 2 — клин; 3 — винт; 4 — прихват; 5 — пластина; 6 — корпус

9.4. Геометрические параметры режущей части фрез

Геометрические параметры фрез приведены на рис. 9.11 и в табл. 9.8—9.11.

Угол наклона режущих кромок λ у цилиндрических и концевых фрез совпадает с углом ω . Для торцовых фрез значения λ определяют в зависимости от условий обработки. При $\lambda > 0$ первыми вступают в работу участки режущей кромки, удаленные от вершины. При $\lambda < 0$ первыми вступают в работу и заканчивают ее участки в зоне вершины. Это используется иногда при работе «по корке», вершина ножа в этом случае начинает обработку материала за пределами «корки» в глубине припуска, что повышает стойкость фрезы.

Рекомендуемые значения λ для несимметричного 5° и $(+10) — (+15)$ для симметричного фрезерования $10—15^\circ$. Главный угол в плане ϕ принимается равным $30, 45, 60, 75$ или 90° (стандартный ряд).

Для некоторых условий обработки (особенно во фрезах с механическим креплением режущих элементов) угол ϕ может принимать значения $35, 42, 57, 87, 88^\circ$ (у торцовых фрез).

При наличии переходных режущих кромок их наклон под углом ϕ_0 в 2 раза меньше угла ϕ . Длина переходной режущей

кромки у концевых фрез ($\varphi = 90^\circ$, $\varphi_0 = 45^\circ$) 0,3—1,5 мм (0,3 мм — у фрез шпоночных, диаметром до 6—10 мм, у фрез Т-образных диаметром до 20 мм).

Вспомогательный угол в плане φ_1 для стандартных фрез концевых с торцовыми зубьями — 0—6° (0 — у шпоночных фрез, оснащенных твердым сплавом), торцовых — $\geq 10^\circ$. У фрез, предназначенных для обработки мерных пазов, $\varphi_1 = \arctg (\Delta B/h_1)$,

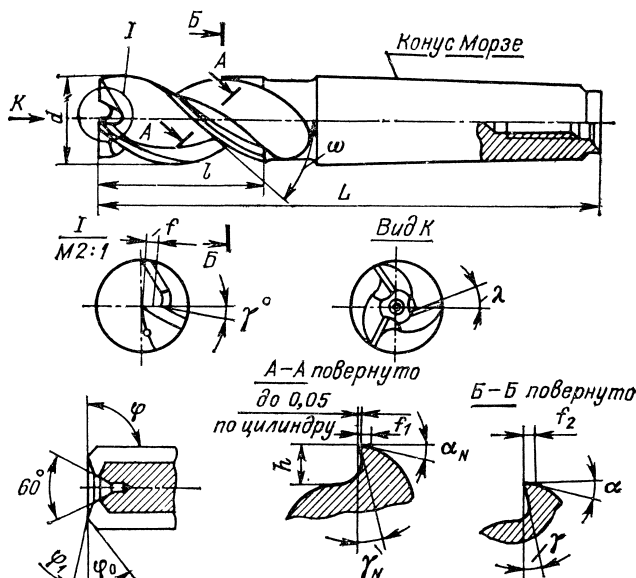


Рис. 9.11. Геометрические параметры фрез

9.8. Значения переднего угла γ , °, для фрез из быстрорежущих сталей

Обрабатываемый материал	Тип фрезы			
	Концевые, торцовые, цилиндрические, дисковые	Дисковые пазовые	Фасонные и угловые	
			черновые	чистовые
Сталь:				
<600	20	5—10	5	10
600—1000	15	5—10	5	5
>1000	10	5—10	10	—
Чугун:				
<150 НВ	15	5—10	15	5
150—220 НВ	10	5—10	10	5
>220 НВ	5	5—10	10	5
Сплавы:				
медные	10	5—10	10	5
алюминиевые	25	25	—	—
жаропрочные	10—15	10—15	5	—
Пластмассы	6—10	8—10	—	—

где ΔB — уменьшение ширины фрезы B (допустимое); h_1 — величина стачивания по диаметру.

Точность взаимного расположения зубьев определяется их радиальным и торцовым биением. У стандартных фрез регламентируются допуск радиального биения двух смежных ($\delta_{см}$) и двух противоположных ($\delta_{п}$) зубьев и допуск торцового биения.

Для цельных фрез $\delta_{см} = 0,02 \div 0,06$ мм; для сборных $\delta_{см} = 0,05 \div 0,15$ мм; $\delta_{п} = 0,04 \div 0,06$ — для цельных и $\delta_{п} \leq 0,1$ мм — для сборных фрез.

Допуск торцового биения для цельных фрез — 0,02—0,04 мм, для сборных—0,05—0,1 мм. У фрез, оснащенных сверхтвердыми материалами и минералокерамикой, требования к допустимому биению ужесточаются и достигают 0,005 мм по торцовому и 0,01мм по радиальному биениям.

9.9. Значения задних углов α и α_1 , °, фрез из быстрорежущих сталей

Тип фрезы	α	α_1
Концевые	14	8
Торцовые и цилиндрические:		
цельные	16	8
со вставными ножами	12	8
Дисковые дву- и трехсторон-		
ние:		
цельные	20	6
со вставными ножами	16	6
Фасонные и угловые незаты-	16	8
лованные		
Фасонные с затылованным	12	—
зубом		

9.10. Рекомендуемые значения геометрических параметров фрез, оснащенных пластинками твердого сплава

Обрабатываемый материал	Угол, °						
	γ	$\alpha \begin{matrix} s \approx 0,25 \\ \text{мм/зуб} \end{matrix}$	$\alpha \begin{matrix} s \approx 0,25 \\ \text{мм/зуб} \end{matrix}$	φ	φ_0	φ_1	λ
Сталь с σ_B , МПа: <800	—5 +5	12—16	6—8	15—60	0,5φ	5	12—15
Св. 800	—10	12—16	6—8	15—60	0,5φ	5	12—15
Чугун:							
серый >200 НВ	5	12—15	6—8	15—60	0,5φ	5	12—15
ковкий	7	6—8	6—8	60	0,5φ		12—15
Сплавы жаропроч- ные и коррозионно- стойкие	8	10	10	30—60		10	0

Примечания: 1. r — радиус при вершине, мм. 2. Малые (15—30°) углы в плане следует применять при обработке на жестких станках.

Примечания: 1. r — радиус при вершине, мм. 2. Малые (15—30°) углы в плане следует применять при обработке на жестких станках.

9.11. Рекомендуемые значения углов γ_p , γ_o , φ торцовых фрез, оснащенных многогранными пластинами

Вид фрезы	Угол, °		
	γ_p	γ_o	φ
С отрицательными передними углами	0—(—14)	(—6)—(—11)	45—90
С положительными передними углами	0—16	2—16	42—90
Для обработки алюминия и алюминиевых сплавов	10—15	15—18	45—90
С отрицательными радиальными и положительными осевыми передними углами	0—(—20)	2—20	42—90

Ошибка торцового (вдоль оси) расположения зубьев торцовых фрез влияет на качество обработанной поверхности, а ошибка в радиальном расположении торцовых фрез — на стойкость.

Параметр шероховатости передних и задних поверхностей быстрорежущих фрез $R_a \leq 0,63$ мкм, твердосплавных и фрез из сверхтвердых материалов $R_a \leq 0,32$ мкм.

9.5. Режимы резания, силы и мощность при фрезеровании

Процесс фрезерования характеризуется переменной толщиной срезаемого слоя (рис. 9.12, а, б), ударными нагрузками, возникающими при врезании зубьев.

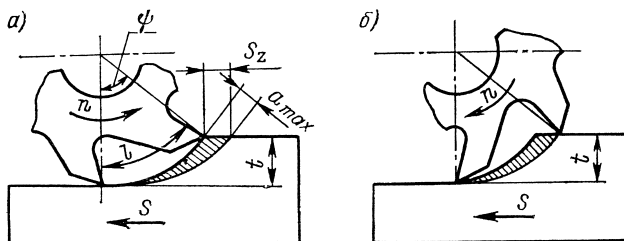


Рис. 9.12. Схемы фрезерования: а — против подачи; б — попутное

Схемы фрезерования: встречная (рис. 9.12, а) когда вращение зубьев направлено против направления подачи; попутная (рис. 9.12, б), когда направление вращения совпадает с направлением подачи. Толщина срезаемого слоя по второй схеме изменяется от максимальной до 0, по первой — от 0 до максимальной

**9.12. Ориентировочные режимы обработки
цельными фрезами различных материалов**

Обрабатываемый материал	Скорость резания, м/мин					
	Материал режущей части					
	Быстрорежущая сталь			Твердый сплав		
	$R_a = 25$ мкм	$R_a = 12,5$ мкм	$R_a = 6,3-3,2$ мкм	$R_a = 2,5$ мкм	$R_a = 12,5$ мкм	$R_a = 6,3-3,2$ мкм
Сталь с $\sigma_B = 600$ МПа	16	20	25	100	120	150
Стальное литье с $\sigma_B \leq 800$ МПа	10	12	18	50	63	100
Сталь с $\sigma_B \leq 1100$ МПа	8	10	16	40	50	63
Серый чугун: ≤ 180 НВ ≥ 180 НВ	16	20	25	50	80	100
Бронза, латунь	40	50	63	100	120	160
Алюминий	120	180	250	300	400	500
Алюминиевые легированные сплавы	80	120	160	160	200	300
Цинковые сплавы	60	80	120	100	160	200
Обрабатываемый материал	s_z , мм/зуб					
	Вид фрезы					
	Торцово-цилиндрические	Дисковые	Концевые $d = 10 \div 40$ мм	Фасонные затылованные		
Сталь с $\sigma_B = 600$ МПа	0,1—0,2	0,06—0,08	0,016—0,08	0,04—0,06		
Стальное литье с $\sigma_B \leq 800$ МПа	0,08—0,16	0,05—0,06	0,012—0,06	0,03—0,05		
Сталь с $\sigma_B \leq 1100$ МПа	0,05—0,1	0,04—0,05	0,01—0,04	0,02—0,04		
Серый чугун: ≤ 180 НВ ≥ 180 НВ	0,16—0,25	0,07—0,1	0,02—0,1	0,05—0,08		
Бронза, латунь	0,2—0,3	0,07—0,09	0,016—0,07	0,04—0,08		
Алюминий	0,16—0,2	0,06—0,08	0,018—0,09	0,04—0,07		
Алюминиевые легированные сплавы	0,1—0,16	0,05—0,06	0,016—0,08	0,03—0,06		
Цинковые сплавы	0,2—0,3	0,06—0,08	0,016—0,08	0,04—0,08		

9.13. Скорость резания при работе торцовыми фрезами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Материал инструмента												
		Т15К6			Т14К8			Т5К10			ВК8			
		s_z , мм/зуб												
		0,2	0,1	0,05	0,25	0,1	0,05	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	
Углеродистая сталь с мас- совой долей углерода, %: 0,15 0,35 0,70	125 150 250	160 120 100	220 150 130	300 210 160	140 100 60	200 150 110	250 190 150	100 90 70	140 120 100	180 150 120	— — —	— — —	— — —	
Легированная сталь	150—200 200—250 250—300 300—400	120 — — —	150 120 100 90	180 160 140 120	110 — — —	130 110 90 80	160 150 130 110	80 70 60 50	110 90 80 65	130 110 100 80	— — — —	— — — —	— — — —	
	Стальное литье: нелегированное низколегированное высоколегированное	150 150—200 160—200	— — —	140 100 —	180 140 —	110 90 —	140 110 —	160 140 —	80 60 50	100 80 60	120 100 80	— — —	— — —	— — —
	Коррозионно-стойкая сталь: ферритная, мартенсит- ная аустенитная	120—220 150—180	— —	140 —	180 —	120 —	130 —	150 —	100 80	130 100	160 120	60 50	80 70	100 90
	Ковкий чугун: стружка надлома сливная стружка	110—145 220—250	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	60 50	80 60	100 70
Серый чугун: низкопрочный высокопрочный	180 250	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	60 50	90 70	120 90	

**9.14. Режимы резания при работе торцовыми фрезами,
оснащенными напайными ножами из эльбора Р
и других сверхтвердых материалов**

Обрабатываемый материал	Режимы резания	
	v , м/мин	s_z , мм/зуб
Углеродистая и легированная сталь: 35—50 HRC ₉	120—180	0,02—0,04
>50 HRC ₉	80—120	0,01—0,04
Серый чугун	400—500	0,04—0,08
Отбеленный чугун	200—300	0,02—0,04

Примечание. Глубина фрезерования — 0,5 мм, ширина фрезерования — $(0,4 \div 0,8) D$ (D — диаметр фрезы).

(толщины среза, равной 0, при попутном фрезеровании необходимо избегать, наименьшая толщина среза при врезании должна быть больше радиуса скругления режущих кромок, т. е. более 12—50 мкм). В работе обычно участвует несколько зубьев, что влияет на силы и мощность при резании.

При фрезеровании цилиндрическими фрезами толщина срезаемого слоя, мм, равна $a_{\max} = 2s_z \sqrt{t/D - t^2/D^2}$; наибольшая площадь среза $f = Ba_{\max}$; средняя толщина среза $a_{\text{ср}} = s_z \sqrt{t/D}$; средняя площадь среза каждым зубом $f_{\text{ср}} = Ba_{\text{ср}}$.

В общем случае с учетом одновременной работы нескольких зубьев средняя площадь срезаемого слоя, мм²

$$f_{\text{ср}} = \frac{Bts_z z}{\pi d}.$$

Режимы фрезерования, силы резания и мощность определяются по нормативам [192—195].

Ориентировочные значения режимов резания можно выбирать из условий: глубина резания (t — при цилиндрическом или B при торцовом фрезеровании) определяется максимально возможной. Подача на зуб s_z , мм/зуб, определяется материалом режущей части, условиями обработки. При черновом фрезеровании — прочностью зуба (табл. 9.12), а при чистовом фрезеровании — требованиями к качеству обработанной поверхности:

$$s_z = \frac{C_s H_{\text{ск}}^{x_s} D^{z_s}}{t_s^{y_s}},$$

где $H_{\text{ск}}$ — среднеквадратическая высота микронеровностей.

При торцовом фрезеровании конструкционных сталей $x_s = 1,25$ (y_s и $z_s = 0$).

9.15. Ориентировочные режимы обработки фрезами со вставными ножами

Обрабатываемый материал	Скорость резания, м/мин	Подача s_z , мм/зуб
Сталь с $\sigma_B \leq 600$ МПа	90—120—160	0,1—0,16—0,28
Стальное литье $\sigma_B \leq 800$ МПа	80—100—140	0,1—0,16—0,25
Сталь $\sigma_B \leq 1100$ МПа	70—90—120	0,1—0,16—0,2
Серый чугун:		
≤ 180 НВ	50—63—80	0,16—0,2—0,36
> 180 НВ	40—50—63	0,1—0,16—0,25
Алюминий	500—630—800	0,08—0,16—0,2
Алюминиевые легированные сплавы	300—360—400	0,1—0,2—0,25
Цинковые сплавы	80—120—160	0,1—0,12—0,16

При фрезеровании стали 45 $x_s = 0,83$; $y_s = 0,07$; $z_s = 0,64$.
Режимы резания фрезами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин приведены в табл. 9.13,

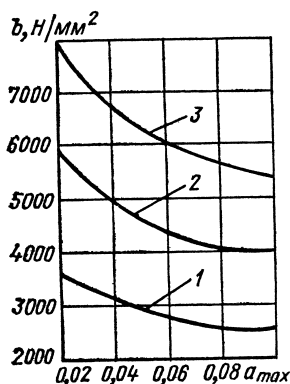


Рис. 9.13. Зависимость удельной силы резания от твердости обрабатываемого материала и толщины срезаемого слоя при работе торцовыми фрезами, оснащенными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава:

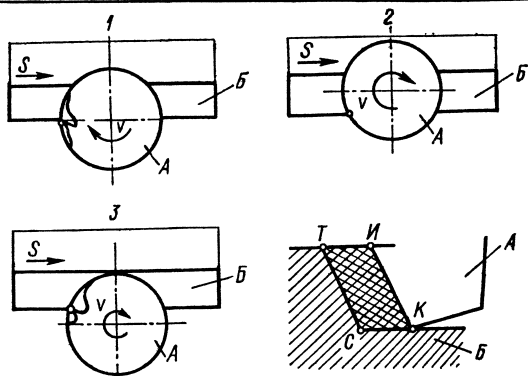
1 — сталь твердостью ≤ 150 НВ; 2 — сталь твердостью < 220 НВ; 3 — сталь твердостью > 220 НВ

фрезами торцовыми, оснащенными напайными ножами из эльбора-Р (тексанита-Р) — в табл. 9.14, цельными фрезами и фрезами со вставными ножами — в табл. 9.15.

Рациональные значения стойкости фрез, мин, $T = (1 \div 3) D$, где D — диаметр фрезы, мм (наибольшие значения для фрез минимального диаметра).

Характер фрезерования торцовыми фрезами во многом зависит от правильного расположения фрезы A и обрабатываемой заготовки B . При этом в зависимости от переднего угла зубьев γ_p

9.16. Участки контакта режущих кромок торцовых фрез при их врезании



Номер сочетания	Знак переднего угла		Номер схемы фрезерования	Вид контакта		
	γ_p	γ_o		в точке	по линии	по плоскости
I	0	0	1	—	—	ТСКИ
			2	—	КИ	—
			3	—	СТ	—
II	+	+	1	С	—	—
			2	С (К)	(СК)	—
			3	С	—	—
III	—	+	1	К	—	—
			2	К	—	—
			3	К (С)	(СК)	—
IV	+	—	1	Т	—	—
			2	Т (И)	(ТИ)	—
			3	Т	—	—
V	—	—	1	И	—	—
			2	И	—	—
			3	И (Т)	(ИТ)	—

Примечание. В скобках приведен вид контакта, который может быть получен при определенном сочетании величин γ_p и γ_o .

9.17. Значения удельного объема снятого металла q_N при работе цилиндрическими, дисковыми и концевыми сборными фрезами [73]

Обрабатываемый материал	$t=0,02 \div 0,03$ мм			$t=0,05 \div 0,07$ мм			$t=0,12 \div 0,15$ мм		
	s_z , мм/зуб								
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
Конструкционная сталь	6	7	8,5	7	8,5	11	8	9,5	12
Легированная сталь:									
отожженная	4,5	5,5	6,5	5,5	6,5	8	6	7	9
улучшенная	3	3,8	4,5	3,8	4,5	5,5	4	4,8	6
Чугун средней твердости	10,5	12,5	15	12,5	15	18	13,5	16,5	20
Медь, бронза, цинк	14,5	17,5	21	17,5	21	25	19	23	28
Легкие сплавы	28	34	38	34	38	45	36	42	50

9.18. Значения удельного объема снятого металла q_N при работе сборными торцовыми фрезами [73]

Обрабатываемый материал	Фрезерование					
	симметричное			несимметричное		
	s_z , мм/зуб					
	0 1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4
Конструкционная сталь	9,5	11,5	13,5	8,5	10	12
Легированная сталь:						
отожженная	7,5	9,5	11,5	6,5	8	10
улучшенная	5	6,5	8	4,5	6	7,5
Чугун	18,5	22,5	26,5	16,5	20	24
Легкие сплавы	45	52	60	40	48	50

Пр и м е ч а н и е. Значения q_N определены при фрезеровании с $t = 0,5D$ и фрезой с углом $\varphi = 60^\circ$. Для фрез с углом $\varphi = 90^\circ$ табличные значения необходимо увеличить на 5 %, с углом $\varphi = 30^\circ$ — снизить на 15 %.

9.19. Возможные неполадки при работе твердосплавными фрезами и меры по их устранению

Рекомендуемые меры	Возможные неполадки							
	Интенсивный износ по задней грани	Интенсивный износ по лунке	Зазубривание режущих кромок	Поломка режущей части	Налипание стружки	Вибрации	Ухудшение качества поверхности	Пакетирование стружки
Увеличить скорость резания			+		+		+	
Уменьшить скорость резания	+	+						

Рекомендуемые меры	Возможные неполадки							
	Интенсивный износ по задней грани	Интенсивный износ по лунке	Заусушивание режущих кромок	Поломка режущей части	Налипание стружки	Вибрации	Ухудшение качества поверхности	Пакетирование стружки
Увеличить подачу	+				+			
Уменьшить подачу		+		+		+	+	
Выбрать марку сплава с более высокой твердостью	+	+			+			
Выбрать более прочную марку сплава			+	+				
Уменьшить число зубьев								+
Уменьшить биение зубьев				+			+	
Увеличить пространство для стружки				+				+
Пересмотреть передние углы		+	+		+	+		
Довести или переточить лезвие под требуемый угол	+		+	+				
Повысить жесткость оснастки станка и фрезы			+	+		+		

и γ_0 (радиального и осевого) изменяется положение точек контакта зубьев фрезы с заготовкой (табл. 9.16).

Окружная сила резания, Н, равна $P_z = \rho f_{\text{ср}}$, где ρ — удельная сила резания, МПа, см. рис. 9.13.

Эффективная мощность, кВт, равна $N_s = P_z v / (1020 \cdot 60)$ или $N_s = t B s_{\text{min}} / 1000 q_N$, где q_N — удельный объем снятого металла (табл. 9.17, 9.18).

Стойкость и силы резания зависят также от условий обработки. В табл. 9.19 приведены рекомендации по устранению преждевременного выхода из строя режущих кромок фрез.