

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю

Директор ИК

Захарова А.А.

« _____ » _____ 2014 г.

РАСЧЁТ РЕЖИМОВ, СИЛ И МОЩНОСТИ РЕЗАНИЯ

Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине
«Резание материалов и режущий инструмент»
для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Машиностроение»

Томск 2014

УДК 621.9.01:681.5

Расчёт режимов, сил и мощности резания.

Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».- Томск: Изд. ТПУ, 2014.-12 с.

Составители

доц. В.Н. Козлов

Рецензент

доц., канд. техн. наук В.Ф. Скворцов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

«_____» _____ 2014 г.

Зав. кафедрой
доц., канд. техн. наук

А.Ю. Арляпов

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ о выборе режимов резания

Справочные данные по назначению режимов резания разработаны с использованием официальных изданий по режимам резания инструментами из быстрорежущей стали и из твердого сплава. Они рассчитаны на применение инструментов с оптимальными значениями геометрических параметров режущей части. Окончательная заточка выполняется: инструментов из твердого сплава – алмазными кругами, а из быстрорежущей стали – кругами из эльбора (кубический нитрид бора).

При назначении режимов резания учитывается характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования.

Элементы режима резания обычно устанавливаются в следующем порядке.

Глубина резания t : при черновой (предварительной) обработке глубина резания назначается по возможности максимальной, равной всему припуску на обработку или большей части его; при чистовой (окончательной) обработке – в зависимости от требований точности размеров, потому что с увеличением t сила резания увеличивается, в том числе и её радиальная составляющая P_y , что вызывает увеличение упругой деформации системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь) и уменьшение точности обработки.

Подача s : при черновой обработке назначается максимально возможная подача, исходя из жесткости и прочности системы СПИД, мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки и других ограничивающих факторов, в том числе и требуемой шероховатости обработанной поверхности; при чистовой обработке – в зависимости от требуемой степени точности обработки (калитета) и шероховатости обработанной поверхности.

Скорость резания v рассчитывается по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, которые имеют общий вид

$$v_{table} = \frac{C_v}{T^m \times t^x \times s^y} \quad (1)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени, содержащихся в этих формулах, так же как и периода стойкости T инструмента, применяемого для данного вида обработки, указаны в таблицах для каждого вида обработки. Вычисленная с использованием табличных данных скорость резания v_{table} (v_t) учитывает конкретные значения глубины резания: подачи s и стойкости T и действительна при определенных табличных значениях ряда других факторов. Поэтому для получения действительного значения скорости резания с учетом конкретных значений упомянутых факторов вводится поправочный коэффициент K_v . Тогда действительная скорость резания $v = v_t K_v$, где K_v – произведение ряда коэффициентов. Важнейшими из них, общими для различных видов обработки, являются:

K_{mv} – коэффициент, учитывающий прочность или твердость обрабатываемого материала (табл. 1);

K_{sv} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (табл. 5);

K_{tv} – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента, его марку, если она отличается от указанных в общей таблице условий (табл. 6).

1. Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{mv} = K_g \left(\frac{750}{\sigma_u} \right)^{n_v}$
Серый чугун	$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v}$
Ковкий чугун	$K_{mv} = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_v}$

Примечания: 1. σ_u и HB – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания. σ_u – предел прочности обрабатываемого материала на растяжение (для стали); HB – твёрдость обрабатываемого материала (для чугуна).

2. Коэффициент K_g , характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени n_v см. в табл. 2.

2. Значения коэффициента K_g и показатели степени n_v в формуле для расчета коэффициента обрабатываемости K_{mv} , приведенные в табл. 1

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_g для материала инструмента		Показатели степени n_v , при обработке					
			резцами		сверлами, зенкерами, развертками		фрезами	
	из HSS	из CC	из HSS	из CC	из HSS	из CC	из HSS	из CC
Сталь:								
углеродистая ($C < 0,6\%$), σ_u (σ_b), МПа:								
<450	1,0	1,0	-1,0		-0,9		-0,9	
450-550	1,0	1,0	1,75		-0,9		-0,9	
>550	1,0	1,0	1,75		0,9		0,9	
повышенной и высокой обрабатываемости резанием	1,2	1,1	1,75		1,05			
хромистая	0,85	0,95	1,75		0,9		1,45	
углеродистая ($C > 0,6\%$), хромоникелевая, хромомолибденованадиевая	0,8	0,9	1,5		0,9		1,35	
хромомарганцовистая, хромокремнистая, хромокремнемарганцовистая, хромоникельмолибденовая, хромомолибденоалюминиевая	0,7	0,8	1,25	1,0	0,9	1,0	1,35	1,0
хромованадиевая	0,85	0,8	1,25		0,9			
марганцовистая	0,75	0,9	1,25				1,0	
хромоникельвольфрамовая, хромомолибденовая	0,8	0,85	1,25					
хромоалюминиевая	0,75	0,8	1,25					
хромоникельванадиевая	0,75	0,85	1,25					
быстрорежущие	0,6	0,7	1,25					
Чугун:								
серый			1,7	1,25	1,3	1,3	0,95	1,25
ковкий			1,7	1,25	1,3	1,3	0,85	1,25

Примечания: HSS – быстрорежущая сталь; CC – твёрдый сплав.

3. Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов на скорость резания

Марка стали или сплава	σ_u (σ_b), МПа	Усредненное значение коэффициента K_{mv}	Марка стали или сплава	σ_u (σ_b), МПа	Усредненное значение коэффициента K_{mv}
12X18H9T	550	1,0	ХН60ВТ	750	0,48
13X11H2B2MФ	1100-1460	0,8-0,3	ХН77ТЮ	850-1000	0,40
14X17H2	800-1300	1,0-0,75	ХН77ТЮР		0,26
13X14H3B2ФР	700-120	0,5-0,4	ХН35ВТ	950	0,50
37X12H8Г8МФБ	---	0,95-0,72	ХН70ВМТЮ	1000-1250	0,25
45X14H14B2М	700	1,06	ХН55ВМТКЮ	1000-1250	0,25
10X11H20ТЗР	720-800	0,85	ХН65ВМТЮ	900-1000	0,20
12X21H5Т	820-10000	0,65	ХН35ВТЮ	900-950	0,22
20X23H18	600-620	0,80	ВТ3-1; ВТ3	950-1200	0,40
31X19H9МВБТ		0,40	ВТ5; ВТ4	750-950	0,70
15X18H12С4ТЮ	730	0,50	ВТ6; ВТ8	900-1200	0,35
ХН78Т	780	0,75	ВТ14	900-1400	0,53-0,43
ХН75МБТЮ	---	0,53	12X13	600-1100	1,5-1,2
			30X13; 40X13	850-1100	1,3-0,9

4. Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств медных и алюминиевых сплавов на скорость резания

Медные сплавы	K_{mv}	Алюминиевые сплавы	K_{mv}
Гетерогенные $HB > 140$ $HB 100 \dots 140$	0,7 1,0	Силумин и литейные сплавы (закаленные), $\sigma_u = 200 \dots 300$ МПа, $HB > 60$; Дюралюминий (закаленный), σ_u (σ_b) = 400...500 МПа, $HB > 100$	0,8
Свинцовистые при гетерогенной структуре	1,7	Силумин и литейные сплавы, σ_u (σ_b) = 100...200 МПа, $HB < 65$; Дюралюминий, σ_u (σ_b) = 300...400 МПа, $HB < 100$	1,0
Медь	8	Дюралюминий, σ_u (σ_b) = 200...300 МПа	1,2
Сплавы с содержанием свинца $> 15\%$	12		

5. Коэффициент K_{sv} , учитывающий влияние состояние поверхности заготовки

Без корки	с коркой				
	Прокат	Поковка	Стальные и чугунные отливки при корке		Медные алюминиевые сплавы
			нормальной	сильно загрязненной	
1.0	0.9	0,8	0,8 - 0,85	0,5 - 0,6	0.9

6. Поправочный коэффициент K_{lv} , учитывающий влияние инструментального материала

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента K_{lv} , в зависимости от марки инструментального материала						
	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6OM	T30K4	BK8
Сталь конструкционная	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	BK8 1,0	T5K10 1,4	T15K6 1,9	P18 0,3	----		
Сталь закаленная	<i>HRC 35-50</i>				<i>HRC 51-62</i>		
	T15K6 1,0	T30K4 1,25	BK6 0,85	BK8 0,83	BK4 1,0	BK6 0,92	BK8 0,74
Серый и ковкий чугун	BK8 0,83	BK6 1,0	BK4 1,1	BK3 1,15	BK3 1,25	----	----
Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	P6M5 1,0	BK4 2,5	BK6 2,7	9XC 0,6	XBG 0,6	Y12A 0,5	----

Стойкость T – это период работы инструмента до затупления (допустимого износа). При многоинструментной обработке период стойкости T следует увеличивать, потому что

увеличивается простой станка при замене инструментов. Он зависит прежде всего от одновременно работающих инструментов, отношения времени резания к времени рабочего хода, материала инструмента, вида оборудования. При многостаночном обслуживании период стойкости T также необходимо увеличивать с возрастанием количества обслуживаемых станков.

Период стойкости при многоинструментной обработке

$$T_{mi} = T \times K_{Ti} \quad (2)$$

а при многостаночном обслуживании

$$T_{mc} = T \times K_{Tc} \quad (3)$$

где T – стойкость лимитирующего инструмента (с наименьшей стойкостью); K_{Ti} – коэффициент изменения периода стойкости при многоинструментной обработке (табл. 7); K_{Tc} – коэффициент изменения периода стойкости при многостаночном обслуживании (табл. 8).

7. Коэффициент изменения стойкости K_{Ti} в зависимости от числа одновременно работающих инструментов при средней по равномерности их загрузке

Количество работающих инструментов	1	3	5	8	10	15
K_{Ti}	1	1,7	2	2,5	3	4

Примечания: 1. При равномерной загрузке инструментов коэффициент K_{Ti} увеличивать в 2 раза.

2. При загрузке инструментов с большой неравномерностью коэффициент K_{Ti} уменьшать на 25...30 %.

8. Коэффициент изменения периода стойкости K_{Tc} в зависимости от числа одновременно обслуживаемых станков

Количество обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7 и более
K_{Tc}	1,0	1,4	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1

9. Поправочный коэффициент K_{mp} для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверливании и зенкеровании	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь σ_u (σ_b), МПа: ≤ 600 > 600	$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_u}{750}\right)^n$	0,75/0,35	0,75/0,75	0,3/0,3
		0,75/0,75	0,75/0,75	0,3/0,3
Серый чугун	$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{mp} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание. В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали.

10. Поправочный коэффициент K_{mp} , учитывающий влияние качества медных алюминиевых сплавов на силовые зависимости

Медные сплавы	K_{mp}	Алюминиевые сплавы	K_{mp}
Гетерогенные: $HB \leq 120$ $HB > 120$	1,0	Алюминий и силумин Дюралюминий, σ_u (σ_b), МПа: 250	1,0
	0,75		1,5
Гомогенные Медь	1,8-2,2	> 350	2,0
	1,7-2,1		2,75
С содержанием свинца $> 15\%$	0,25-0,45		

Сила резания. Под силой резания обычно подразумевается её главная составляющая P_z (тангенциальная составляющая результирующей силы резания R), определяющая расходуемую на резание мощность N_e и крутящий момент M на шпинделе станка. Силовые зависимости рассчитываются по эмпирическим формулам, значения коэффициентов и показателей степени в которых для различных видов обработки приведены в соответствующих таблицах.

Рассчитанные с использованием табличных данных силовые зависимости учитывают конкретные технологические параметры (глубину резания, подачу, ширину фрезерования и др.) и действительны при определенных значениях ряда других факторов. Их значения, соответствующие фактическим условиям резания, получают умножением на коэффициент K_p – общий поправочный коэффициент, учитывающий измененные по сравнению с табличными условия резания, представляющий произведение ряда коэффициентов. Важнейшим из них является коэффициент K_{mp} , учитывающий качество обрабатываемого материала, величина которого для стали и чугуна указаны в таблице 9, а для медных и алюминиевых сплавов – в таблице 10.

ТОЧЕНИЕ

Глубина резания t : при черновом точении и отсутствии ограничений по мощности оборудования, жесткости системы СПИД принимается равной припуску на обработку; при чистовом точении припуск срезается за два прохода и более. На каждом последующем проходе следует назначать меньшую глубину резания, чем на предшествующем. При параметре шероховатости обработанной поверхности $Ra = 3,2$ мкм включительно $t = 0,5 \dots 2,0$ мм; $3,2 > Ra > 0,8$ мкм, $t = 0,1 \dots 0,4$ мм.

Подача s : при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости системы СПИД, прочности режущей пластины и прочности державки. Рекомендуемые подачи с точки зрения жесткости системы СПИД при черновом наружном точении приведены в табл. 11, а при черновом растачивании – в табл. 12.

Максимальные величины подач при точении стали 45, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, указаны в табл. 13.

В зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности и радиуса при вершине резца максимально допустимые подачи указаны в табл. 14.

При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра обработки (табл. 15).

При фасонном точении рекомендуемые подачи указаны в табл. 16.

11. Подачи при черновом наружном точении резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Диаметр детали, мм	Размер державки резца, мм	Обрабатываемый материал							
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная				Чугун и медные сплавы			
		Подача s , мм/об, при глубине резания t , мм							
До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12		
До 20	от 16 × 25 до 25 × 25	0,3-0,4	—	—	—	—	—	—	—
20...40	от 16 × 25 до 25 × 25	0,4-0,5	0,3-0,4	—	—	0,4-0,5	—	—	—
40...60	от 16 × 25 до 25 × 40	0,5-0,9	0,4-0,8	0,3-0,7	—	0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,7	—
60...100	от 16 × 25 до 25 × 40	0,6-1,2	0,5-1,1	0,5-0,9	0,4-0,8	0,8-1,4	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9
100...400	от 16 × 25 до 25 × 40	0,8-1,3	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9	1,0-1,5	0,8-1,9	0,8-1,1	0,6-0,9

Примечания: 1. Нижние значения подач соответствуют меньшим размерам державки резца и более прочным обрабатываемым материалам, верхние значения подач – большим размерам державки резца и менее прочным обрабатываемым материалам.

2. При обработке жаропрочных сталей и сплавов подачи свыше 1 мм/об не применять.

3. При обработке прерывистых поверхностей и при работах с ударами табличные значения подач следует уменьшать на коэффициент 0,75-0,85.

4. При обработке закаленных сталей табличные значения подачи уменьшать, умножая на коэффициент 0,8 для стали с *HRC* 44–56 и на 0,5 для стали с *HRC* 57–62.

12. Подачи при черновом растачивании на токарных, токарно-револьверных и карусельных станках резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Резец или оправка		Обрабатываемый материал							
Диаметр круглого сечения резца или размеры прямоугольного сечения оправки, мм	Вылет резца или оправки, мм	Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная				Чугун и медные сплавы			
		Подача <i>s</i> , мм/об, при глубине резания <i>t</i> , мм							
		До 2	3	5	8	До 2	3	5	8
токарные и токарно-револьверные станки									
10	50	0,08	—	—	—	0,12-0,16	—	—	—
12	50	0,1	0,08	—	—	0,12-0,2	0,12-0,18	—	—
16	80	0,1-0,2	0,15	0,1	—	0,2-0,3	0,15-0,25	0,1-0,18	—
20	100	0,5-0,3	0,15-0,25	0,12	—	0,3-0,4	0,25-0,35	0,12-0,25	—
25	125	0,25-0,5	0,15-0,4	0,12-0,2	—	0,4-0,6	0,3-0,5	0,25-0,35	—
30	150	0,4-0,7	0,2-0,5	0,12-0,3	—	0,5-0,8	0,4-0,6	0,25-0,45	—
40	200		0,25-0,6	0,15-0,4	—	—	0,6-0,8	0,3-0,8	—
40 × 40	150		0,6-1,0	0,5-0,7	—	—	0,7-1,2	0,5-0,9	0,4-0,5
	300		0,4-0,7	0,3-0,6	—	—	0,6-0,9	0,4-0,7	0,3-0,4
60 × 60	150		0,9-1,2	0,8-1,0	0,6-0,8	—	1,0-1,5	0,8-1,2	0,6-0,9
	300		0,7-1,0	0,5-0,8	0,4-0,7	—	0,9-1,2	0,7-0,9	0,5-0,7

Примечания: 1. Верхние пределы подач рекомендуются для меньшей глубины резания при обработке менее прочных материалов, нижние - для большей глубины и более прочных материалов.

2. См. примечание 2 - 4 к табл. 11

13. Подачи, мм/об, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, при точении конструкционной стали резцами с главным углом в плане $\varphi=45^\circ$

Толщина пластины, мм	Глубина резания <i>t</i> , мм, до			
	4	7	13	22
4	1,3	1,1	0,9	0,8
6	2,6	2,2	1,8	1,5
8	4,2	3,6	3,0	2,5
10	6,1	5,1	4,2	3,6

Примечания: 1. В зависимости от механических свойств стали на табличные значения подачи вводить поправочный коэффициент 1,2 при σ_u (σ_b) = 480...640 МПа; 1,0 при σ_u (σ_b) = 650...870 МПа и 0,85 при σ_u (σ_b) = 870...1170 МПа.

2. При обработке чугуна табличное значение подачи умножить на коэффициент 1,6.

3. Табличное значение подачи умножить на поправочный коэффициент 1,4 при $\varphi = 30^\circ$; 1,0 при $\varphi = 45^\circ$; 0,6 при $\varphi = 60^\circ$ и 0,4 при $\varphi = 90^\circ$.

4. При обработке с ударами подачу уменьшать на 20%.

14. Поддачи, мм/об, при чистовом точении

Параметр шероховатости поверхности, мкм		Радиус при вершине резца r, мм					
Ra	Rz	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
0,63	-	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25	-	0,10	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,50	-	0,144	0,20	0,246	0,29	0,32	0,35
-	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
-	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
-	80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Примечания: поддачи даны для обработки сталей с $\sigma_{\text{н}}$ ($\sigma_{\text{в}}$) = 700..900 МПа и чугунов; для сталей с $\sigma_{\text{н}}$ ($\sigma_{\text{в}}$) = 500..700 МПа табличное значение поддачи умножать на поправочный коэффициент 0,45; для сталей с $\sigma_{\text{н}}$ ($\sigma_{\text{в}}$) = 900..1100 МПа табличное значение поддачи умножать на поправочный коэффициент 1,25.

15. Поддачи, мм/об, при прорезании пазов и отрезании

Диаметр обработки, мм	Ширина резца, мм	Обрабатываемый материал	
		Сталь конструкционная углеродистая и легированная, стальное литье	Чугун, медные и алюминиевые сплавы
токарные и токарно-револьверные станки			
До 20	3	0,06-0,08	0,11-0,14
20...40	3 - 4	0,1-0,12	0,16-0,19
40...60	4 - 5	0,13-0,16	0,20-0,24
60...100	5 - 8	0,16-0,23	0,24-0,32
100...150	6 - 10	0,18-0,26	0,3-0,4
150	10 - 15	0,28-0,36	0,4-0,55

Примечания: 1. При отрезании сплошного материала диаметром более 60 мм при приближении резца к оси детали до 0,5 радиуса табличные значения поддачи следует уменьшить на 40 – 50 %.
2. Для закаленной конструкционной стали табличные значения поддачи уменьшать на 30% при $HRC < 50$ и на 50% при $HRC > 50$.
3. При работе резцами, установленными в револьверной головке, табличные значения умножать на коэффициент 0,8.

16. Поддачи, мм/об, при фасонном точении

Ширина резца, мм	Диаметр обработки, мм			
	20	25	40	60 и более
8	0,03 - 0,09	0,04 - 0,09	0,04 - 0,09	0,04 - 0,09
10	0,03 - 0,07	0,04 - 0,085	0,04 - 0,085	0,04 - 0,085
15	0,02 - 0,05	0,035 - 0,075	0,04 - 0,08	0,04 - 0,08
20	—	0,03 - 0,06	0,04 - 0,08	0,04 - 0,08
30	—	—	0,035 - 0,07	0,035 - 0,07
40	—	—	0,03 - 0,06	0,03 - 0,06
50 и более	—	—	—	0,025 - 0,055

Примечание. Меньшие поддачи брать для более сложных и глубоких профилей и твердых металлов, большие – для простых профилей и мягких металлов.

Скорость резания v , м/мин: при наружном продольном и поперечном точении и растачивании рассчитывают по эмпирической формуле (1), а при отрезании, прорезании и фасонном точении с радиальной подачей – по формуле (4)

$$v_{\text{table}} = \frac{c_v}{T^m \times s^y} \times K_v. \quad (4)$$

Средняя величина стойкости при одноинструментной обработке 30 – 60 минут. Величины коэффициентов и показателей степеней для формул (1) и (4) указаны в таблице 17.

Коэффициент K_v является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки K_m (см. табл. 1 - 4), состояния поверхности K_s (табл. 5), материала инструмента K_t (см. табл. 6).

При многоинструментной обработке и многостаночном обслуживании период стойкости увеличивают, вводя коэффициенты из таблиц 7 и 8.

Учёт влияния геометрических параметров резцов выполняется введением коэффициентов из таблицы 18.

17. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формулах скорости резания при обработке резцами

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи, мм/об	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
<i>Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_s = 750$ МПа</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	T15K6*	$s \leq 0,3$	420	0,15	0,20	0,20
		$0,3 < s \leq 0,7$	350		0,35	
		$s > 0,7$	340		0,45	
То же, резцами с дополнительным лезвием	T15K6*	$s \leq t$	292	0,30	0,15	0,18
		$s > t$	292	0,15	0,30	0,18
Отрезание	T5K10* P18**	—	47	—	0,80	0,20
			23,7		0,66	0,25
Фасонное точение	P18**	—	22,7	—	0,50	0,30
Нарезание крепежной резьбы резцом	T15K6*	—	244	0,23	0,30	0,20
	P6M5	Черновые ходы: $P \leq 2$ мм $P > 2$ мм	14,8	0,70	0,30	0,11
			30	0,60	0,25	0,08
P6M5	Чистовые ходы	41,8	0,45	0,30	0,13	
Вихревое нарезание резьбы	T15K6*	—	2330	0,50	0,50	0,50
<i>Обработка серого чугуна, HB 190</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	BK6	$s \leq 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	243	0,15	0,40	0,20
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	BK6**	$s > t$	324	0,40	0,20	0,28
		$s \leq t$	324	0,20	0,40	0,28
Отрезание	BK6*	—	68,5	—	0,40	0,20
Нарезание крепежной резьбы	BK6*	—	83	0,45	—	0,33
<i>Обработка ковкого чугуна, HB 150</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	BK8 *	$s \leq 0,40$	317	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	215	0,15	0,45	0,20
Отрезание	BK6*	—	86	—	0,4	0,20
<i>Обработка медных гетерогенных сплавов средней твердости, HB 100 - 140</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$s \leq 0,20$	270	0,12	0,25	0,23
		$s > 0,20$	182	0,12	0,30	0,23
<i>Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_B = 100 - 200$ МПа, HB < 65; дюралюминия, $\sigma_B = 300 - 400$ МПа, HB ≤ 100</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$s \leq 0,20$	485	0,12	0,25	0,28
		$s > 0,20$	328	0,12	0,50	0,28

* Без охлаждения; ** С охлаждением. Продолжение табл. 17

Примечания: 1. При внутренней обработке (расточивании, прорезании канавок в отверстиях, внутреннем фасонном точении) принимать скорость резания, равную скорости резания для наружной обработки с введением поправочного коэффициента 0,9.

2. При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стальных отливок резцами из быстрорежущей стали вводить поправочный коэффициент на скорость резания 0,8.

3. При отрезании и прорезании с охлаждением резцами из твердого сплава T15K6 конструкционных сталей и стальных отливок вводить на скорость резания поправочный коэффициент 1,4.

4. При фасонном точении глубокого и сложного профиля на скорость резания вводить поправочный коэффициент 0,85.

5. При обработке резцами из быстрорежущей стали термообработанных сталей скорость резания для соответствующей стали уменьшать, вводя поправочный коэффициент 0,95 - при нормализации, 0,9 - при отжиге, 0,8 - при улучшении.

18. Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров реза на скорость резания

Главный угол в плане φ°	Коэффициент $K_{\varphi\nu}$	Вспомогательный угол в плане φ_1°	Коэффициент $K_{\varphi_1\nu}$	Радиус при вершине реза r^* , мм	Коэффициент $K_{r\nu}$
20	1,4	10	1,0	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1,0
45	1,0	20	0,94	3	1,03
60	0,9	30	0,91	—	—
75	0,8	45	0,87	5	1,13
90	0,7	—	—	—	—

* Учитывают только для резцов из быстрорежущей стали.

Отделочная токарная обработка имеет ряд особенностей, отличающих ее от чернового и межоперационного точения, поэтому рекомендуемые режимы резания при тонком (алмазном) точении на быстроходных токарных станках повышенной точности и расточных станках приведены отдельно в табл. 19.

Режимы резания при точении закаленной стали резцами из твердого сплава приведены в табл. 20.

Режимы резания при точении и растачивании чугунов, закаленных сталей и твердых сплавов резцами, оснащенными поликристаллами композитов 01 (эльбор-Р), 05, 10 (гексанит-Р) и 10Д (двухслойные пластины с рабочим слоем из гексанита-Р) приведены в табл. 21.

19. Режимы резания при тонком точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части режущего инструмента	Параметр шероховатости поверхности Ra , мкм	Подача s , мм/об	Скорость резания v , м/мин
Сталь: $\sigma_s < 650$ МПа $\sigma_s = 650 - 800$ МПа $\sigma_s > 800$ МПа	Т30К4	1,25 - 0,63	0,06 - 0,12	250 - 300 150 - 200 120 - 170
Чугун: $HB 149 - 163$ $HB 156 - 229$ $HB 170 - 241$	ВК3	2,5 - 1,25	0,06 - 0,12	150 - 200 120 - 150 100 - 120
Алюминиевые сплавы и баббит	ВК3	1,25 - 0,32	0,04 - 0,1	300 - 600
Бронза и латунь	ВК3		0,04 - 0,08	180 - 500

Примечания: 1. Глубина резания 0,1 – 0,15 мм.

2. Предварительный проход с глубиной резания 0,4 мм улучшает геометрическую форму обработанной поверхности.

3. Меньшие значения параметра шероховатости поверхности соответствуют меньшим подачам.

20. Режимы резания при точении закаленной стали резцами с пластинами из твердого сплава

Подача s , мм/об	Ширина прорезания, мм	Твердость обрабатываемого материала HRC									
		35	39	43	46	49	51	53	56	59	62
Скорость резания v , м/мин											
<i>Наружное продольное точение</i>											
0,2	—	157	135	116	107	83	76	66	48	32	26
0,3	—	140	118	100	92	70	66	54	39	25	20
0,4	—	125	104	88	78	60	66	45	33	—	—
0,5	—	116	95	79	71	53	—	—	—	—	—
0,6	—	108	88	73	64	48	—	—	—	—	—
<i>Прорезание паза</i>											
0,05	3	131	110	95	83	70	61	54	46	38	29
0,08	4	89	75	65	56	47	41	37	31	25	19
0,12	6	65	55	47	41	35	30	27	23	18	14
0,16	8	51	43	37	32	27	23	—	—	—	—
0,20	12	43	36	31	27	23	20	—	—	—	—

Примечания: 1. В зависимости от глубины резания на табличное значение скорости резания поправочный коэффициент: 1,15 при $t = 0,4 - 0,9$ мм; 1,0 при $t = 1 - 2$ мм и 0,91 при $t = 2 - 3$ мм.

2. В зависимости от параметра шероховатости на табличное значение скорости резания вводить поправочный коэффициент: 1,0 для $Rz = 10$ мкм; 0,9 для $Ra = 2,5$ мкм и 0,7 для $Ra = 1,25$ мкм.

3. В зависимости от марки твердого сплава на скорость резания вводить поправочный коэффициент K_{uv}

Твердость обрабатываемого материала	HRC 35 - 49				HRC 50 - 62		
	Т30К4	Т15К6	ВК6	ВК8	ВК4	ВК6	ВК8
Марка твёрдого сплава							
Коэффициент K_{uv}	1,25	1,0	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74

4. В зависимости от главного угла в плане резца вводить поправочные коэффициенты: 1,2 при $\varphi > 45^\circ$; 0,9 при $\varphi = 60^\circ$; 0,8 при $\varphi = 75^\circ$; 0,7 при $\varphi = 90^\circ$.

5. При работе без охлаждения вводить на скорость резания поправочный коэффициент 0,9.

21. Режимы резания при точении и растачивании резцами с пластинами, оснащенными композитом на основе нитрида бора

Обрабатываемый материал	Характер обработки	Марка композита	Глубина резания t , мм	Подача s , мм/об	Скорость резания v , м/мин
Закалённые стали, HRC 40 - 58	Без удара	01; 05	0,05 – 3,0	0,03 – 0,2	50 – 160
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 1,0	0,03 – 0,1	40 – 120
Закалённые стали, HRC 58 - 68	Без удара	01	0,05 – 0,8	0,03 – 0,1	50 – 120
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 0,2	0,03 – 0,07	10 – 100
Серые и высокопрочные чугуны, HB 150 - 300	Без удара	05; 01	0,05 – 3,0	0,05 – 0,3	300 – 1000
	Без удара	10; 10Д; 05; 01	0,05 – 3,0	0,05 – 0,15	300 – 700
Отбеленные закаленные чугуны, HB 400 - 600	Без удара	05; 01	0,05 – 2,00	0,03 – 0,15	80 – 200
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 1,0	0,05 – 0,1	50 – 100
Твердые сплавы ВК15, ВК20, ВК25 и т.п., HRA 80 - 86	Без удара, допускается биение	10; 10Д; 01	0,05 – 1,0	0,03 – 0,1	5 – 20

Сила резания. Силу резания N , принято раскладывать на составляющие силы, направленные по осям координат станка (тангенциальную P_z , радиальную P_y и осевую P_x). При наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении эти составляющие рассчитывают по формуле

$$P_{z, y, x} = 10C_p t^x s^y v^n K_p \quad (5)$$

При отрезании, прорезании и фасонном точении t – длина лезвия резца.

Постоянная C_p и показатели степени x , y , n для конкретных (расчетных) условий обработки для каждой из составляющих силы резания приведены в табл. 22.

Поправочный коэффициент K_p представляет собой произведение ряда коэффициентов ($K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp}$), учитывающих фактические условия резания. Численные значения этих коэффициентов приведены в табл. 9, 10 и 23.

Мощность резания, кВт, рассчитывают по формуле

$$N = \frac{P_z v}{1020 \times 60} \quad (6)$$

При одновременной работе нескольких инструментов эффективную мощность определяют как суммарную мощность отдельных инструментов.

22. Значения коэффициента C_p и показателей степени в формулах силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Конструкционная сталь и стальные отливки, $\sigma_e = 750$ МПа	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1,0	0,5	-0,4
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	384	0,90	0,90	-0,15	355	0,6	0,8	-0,3	241	1,05	0,2	-0,4
		Отрезание и прорезание	408	0,72	0,8	0	173	0,73	0,67	0	—	—	—	—
		Нарезание резьбы	148	—	1,7	0,71	—	—	—	—	—	—	—	—
	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное точение, подрезание и растачивание	200	1,0	0,75	0	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Отрезание и прорезание	247	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
Фасонное точение		212	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т НВ 141	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	204	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	
Серый чугун, НВ 190	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	123	1,0	0,85	0	61	0,6	0,5	0	24	1,05	0,2	0
		Нарезание резьбы	103	—	1,8	0,82	—	—	—	—	—	—	—	—
Серый чугун, НВ 190	Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	
Ковкий чугун, НВ 150	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	81	1,0	0,75	0	43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	100	1,0	0,75	0	88	0,9	0,75	0	40	1,2	0,65	0
		Отрезание и прорезание	139	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
Медные гетерогенные сплавы, НВ 120	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	55	1,0	0,66	0	—	—	—	—	—	—	—	
		Отрезание и прорезание	75	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	
Алюминий и силумин	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	40	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	
		Отрезание и прорезание	50	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	

23. Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при обработке стали и чугуна

Параметры		Материал режущей части инструмента	Поправочные коэффициенты			
Наименование	Величина		Обозначение	Величина коэффициента для составляющих		
				тангенциальной P_z	радиальной P_y	осевой P_x
Главный угол в плане φ°	30	Твердый сплав	$K_{\varphi p}$	1,08	1,30	0,78
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,94	0,77	1,11
	90			0,89	0,50	1,17
	30	Быстрорежущая сталь	$K_{\varphi p}$	1,08	1,63	0,70
	45			1,0	1,0	1,00
60	0,98			0,71	1,27	
90	1,08	0,44	1,82			
Передний угол γ°	-15	Твердый сплав	$K_{\gamma p}$	1,25	2,0	2,0
	0			1,1	1,4	1,4
	10			1,0	1,0	1,0
Передний угол γ°	12 - 15	Быстрорежущая сталь	$K_{\gamma p}$	1,15	1,6	1,7
	20 - 25			1,0	1,0	1,0

Угол наклона главного лезвия λ°	-5	Твердый сплав	$K_{\lambda p}$	1,0	0,75	1,07
	0				1,0	1,0
	5				1,25	0,85
	15				1,7	0,65
Радиус при вершине r , мм	0,5	Быстрорежущая сталь	K_{rp}	0,87	0,66	1,0
	1,0			0,93	0,82	
	2,0			1,0	1,0	
	3,0			1,04	1,14	
	4,0			1,10	1,33	

СТРОГАНИЕ, ДОЛБЛЕНИЕ

Глубина резания. При всех видах строгания и долбления глубину резания назначают так же, как и при точении.

Подача. При черновом строгании подачу s , мм/дв. ход, выбирают максимальной из допустимых значений по табл. 11, 13 в соответствии с глубиной резания, сечением державки, прочностью пластинки; при чистовом, строгании – по табл. 14, при отрезании и прорезании пазов – по табл. 15.

Скорость резания. При строгании плоскостей проходными резцами, при прорезании пазов, отрезании скорость резания рассчитывают по соответствующим формулам для точения с введением дополнительного поправочного коэффициента K_{yv} , учитывающего ударную нагрузку.

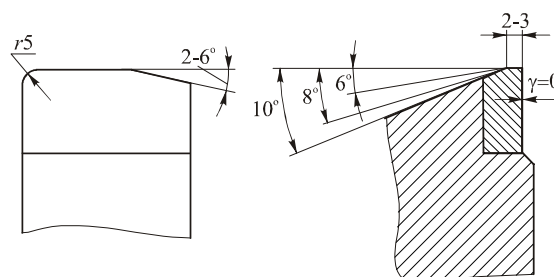


Рис. 1. Строгальный резец для чистовой обработки плоскостей

24. Режимы резания при обработке плоскостей на чугунных деталях широкими резцами из твёрдого сплава ВК8 на поперечно-строгальных и продольно-строгальных станках

Характер обработки	Площадь обрабатываемой поверхности, м ²	Число проходов i	Глубина резания t , мм	Подача s , мм/дв. ход	Скорость резания v , м/мин
Получистовая $Rz = 40 - 10$ мкм	—	1	До 2	10-20	14-18
Чистовая $Ra = 2,5 - 1,25$ мкм: предварительный проход	—	1	0,15 - 0,3	10 - 20	5 - 15
	окончательный проход	6 8 12 17 22	1 - 2	0,05 - 0,1	12 - 16

Примечания: 1. Прямолинейный участок лезвия контролировать по лекальной линейке.

2. Обрабатываемую поверхность смачивать керосином.

3. Значения коэффициента K_{yv} , в зависимости от типа станка приведены ниже:

Тип станка	продольно-строгальный	поперечно-строгальный	долбежный
K_{yv}	1,0	0,8	0,6

Сила резания. Составляющие силы резания рассчитывают по формулам для точения. Режимы резания для строгания плоскостей широкими резцами (рис. 1) приведены в табл. 24.

Мощность резания рассчитывают по той же формуле, что и для точения при аналогичных режимах.

СВЕРЛЕНИЕ, РАССВЕРЛИВАНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ

Глубина резания t . При сверлении глубина резания $t = 0,5 D$ (рис. 2, а), при рассверливании; зенкерование и развертывании $t = 0,5 (D - d)$ (рис. 2, б). s

Подача s . При сверлении отверстий без ограничивающих факторов выбираем максимально допустимую по прочности сверла подачу (табл. 25). При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена до 2 раз. При наличии ограничивающих факторов подачи при сверлении и рассверливании равны. Их определяют умножением табличного значения подачи на соответствующий поправочный коэффициент, приведенный в примечании к таблице.

Подачи при зенкерование и развертывании приведены в табл. 26, а при рассверливании – в табл. 27.

Скорость резания. Скорость резания, м/мин, при сверлении

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m s^y} K_v, \quad (7)$$

а при рассверливании, зенкерование, развертывании

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s^y} K_v. \quad (8)$$

Значения коэффициентов C_v и показателей степени приведены для сверления в табл. 28, для рассверливания, зенкерования и развертывания – в табл. 29, а значения периода стойкости T – в табл. 30.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{Mv} \times K_{lv} \times K_{lv}, \quad (9)$$

где K_{Mv} – коэффициент, учитывающий марку обрабатываемого материала (см. табл. 1 - 4); K_{lv} – коэффициент, учитывающий марку инструментального материала (см. табл. 6); K_{lv} – коэффициент, учитывающий глубину сверления (табл. 31). При рассверливании и зенкерование литых или штампованных отверстий вводится дополнительно поправочный коэффициент K_{nv} (см. табл. 5).

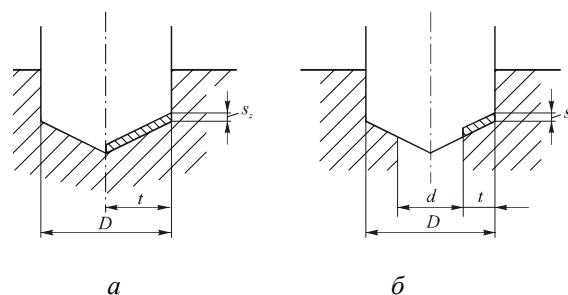


Рис. 2. Схема резания при сверлении (а) и рассверливании (б)

25. Поддачи, мм/об, при сверлении стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла <i>D</i> , мм	Сталь				Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	
	<i>HB</i> < 160	<i>HB</i> 160-240	<i>HB</i> 240-300	<i>HB</i> > 300	<i>HB</i> ≤ 170	<i>HB</i> > 170
2-4	0,09-0,13	0,08-0,10	0,06-0,07	0,04-0,06	0,12-0,18	0,09-0,12
4-6	0,13-0,19	0,10-0,15	0,07-0,11	0,06-0,09	0,18-0,27	0,12-0,18
6-8	0,19-0,26	0,15-0,20	0,11-0,14	0,09-0,12	0,27-0,36	0,18-0,24
8-10	0,26-0,32	0,20-0,25	0,14-0,17	0,12-0,15	0,36-0,45	0,24-0,31
10-12	0,32-0,36	0,25-0,28	0,17-0,20	0,15-0,17	0,45-0,55	0,31-0,35
12-16	0,36-0,43	0,28-0,33	0,20-0,23	0,17-0,20	0,55-0,66	0,35-0,41
16-20	0,43-0,49	0,33-0,38	0,23-0,27	0,20-0,23	0,66-0,76	0,41-0,47
20-25	0,49-0,58	0,38-0,43	0,27-0,32	0,23-0,26	0,76-0,89	0,47-0,54
25-30	0,58-0,62	0,43-0,48	0,32-0,35	0,26-0,29	0,89-0,96	0,54-0,60
30-40	0,62-0,78	0,48-0,58	0,35-0,42	0,29-0,35	0,96-1,19	0,60-0,71
40-50	0,78-0,89	0,58-0,66	0,06-0,07	0,35-0,40	1,19-1,36	0,71-0,81

Примечание. Приведенные поддачи применяют при сверлении отверстий глубиной $l < 3D$ с точностью не выше 12-го квалитета в условиях жесткой технологической системы. В противном случае вводят поправочные коэффициенты:

- 1) на глубину отверстия – $K_{ls} = 0,9$ при $l \leq 5D$; $K_{ls} = 0,8$ при $l \leq 7D$; $K_{ls} = 0,75$ при $l \leq 10D$;
- 2) на достижение более высокого качества отверстия в связи с последующей операцией развертывания или нарезания резьбы – $K_{os} = 0,5$;
- 3) на недостаточную жесткость системы СПИД: при средней жесткости $K_{жс} = 0,75$; при малой жесткости $K_{жс} = 0,5$;
- 4) на инструментальный материал – $K_{ис} = 0,6$ для сверла с режущей частью из твердого сплава.

26. Поддачи, мм/об, при обработке отверстий зенкерами из быстрорежущей стали и твердого сплава

Обрабатываемый материал	Диаметр зенкера <i>D</i> , мм								
	До 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,7 – 0,9	0,8 – 1,0	0,9 – 1,1	0,9 – 1,2	1,0 – 1,3	1,1 – 1,3	1,2 – 1
Чугун, <i>HB</i> ≤ 200 и медные сплавы	0,7 – 0,9	0,9 – 1,1	1,0 – 1,2	1,1 – 1,3	1,2 – 1,5	1,4 – 1,7	1,6 – 2,0	1,8 – 2,2	2,0 – 2
Чугун, <i>HB</i> > 200	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,7 – 0,8	0,8 – 0,9	0,9 – 1,1	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,3 – 1,5	1,4 – 1

Примечания: 1. Приведенные значения поддачи применять для обработки отверстий с допуском не выше 12-го квалитета. Для достижения более высокой точности (9-11-й квалитеты), а также при подготовке отверстий под последующую обработку их одной разверткой или под нарезание резьбы метчиком вводить поправочный коэффициент $K_{os} = 0,7$.

2. При зенкерование глухих отверстий подача не должна превышать 0,3 – 0,6 мм/об.

27. Поддачи, мм/об, при предварительном (черновом) развертывании отверстий развертками из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Диаметр развертки <i>D</i> , мм									
	До 10	Св. 10 до 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0
Чугун, <i>HB</i> ≤ 200 и медные сплавы	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8	4,3	5,0
Чугун, <i>HB</i> > 200	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,4	3,8

Примечания: 1. Подачу следует уменьшать: а) при чистовом развертывании в один проход с точностью по 9—11-му квалитетам и параметром шероховатости поверхности $Ra = 3,2 - 6,3$ мкм или при развертывании под полирование и хонингование, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,8$; б) при чистовом развертывании после чернового с точностью по 7-му квалитету и параметром шероховатости поверхности $Ra = 0,4 - 0,8$ мкм, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,1$; в) при твердосплавной рабочей части, умножая на коэффициент $K_{ис} = 0,7$.

2. При развертывании глухих отверстий подача не должна превышать 0,2 – 0,5 мм/об.

28. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Подача s , мм/об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_v	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_s = 750$ МПа	P6M5	$\leq 0,2$	7,0	0,40	0,70	0,20	Есть
		$> 0,2$	9,8	0,40	0,50	0,20	
Сталь жаропрочная 12X18H9T, HB 141	P6M5	—	3,5	0,50	0,45	0,12	Есть
		$\leq 0,3$	14,7	0,25	0,55	0,125	
Чугун серый, HB 190	BK8	$> 0,3$	17,1	0,25	0,40	0,125	Нет
		—	34,2	0,45	0,30	0,20	
Чугун ковкий, HB 150	P6M5	$\leq 0,3$	21,8	0,25	0,55	0,125	Есть
		$> 0,3$	25,3	0,25	0,40	0,125	
Чугун ковкий, HB 150	BK8	—	40,4	0,45	0,3	0,20	Нет
		$\leq 0,3$	28,1	0,25	0,55	0,125	
Медные гетерогенные сплавы средней твердости (HB 100-140)	P6M5	$> 0,3$	32,6	0,25	0,40	0,125	Есть
		$\leq 0,3$	36,3	0,25	0,55	0,125	
Силумин и литейные алюминиевые сплавы, $\sigma_s = 100 - 200$ МПа, $HB < 65$; дюралюминий, $HB < 100$	P6M5	$> 0,3$	40,7	0,25	0,40	0,125	Есть
		$\leq 0,3$	36,3	0,25	0,55	0,125	

Примечание. Для сверл из быстрорежущей стали рассчитанные по приведенным данным скорости резания действительны при двойной заточке и подточенной перемычке. При одинарной заточке сверл из быстрорежущей стали рассчитанную скорость резания следует уменьшать, умножая ее на коэффициент $K_{zv} = 0,75$.

29. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при рассверливании, зенкерование и развертывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_v	q	x	y	m	
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_s = 750$ МПа	Рассверливание	P6M5	16,2	0,4	0,2	0,5	0,2	Есть
		BK8	10,8	0,6	0,2	0,3	0,25	
	Зенкерование	P6M5	16,3	0,3	0,2	0,5	0,3	Есть
		T15K6	18,0	0,6	0,2	0,3	0,25	
Развертывание	P6M5	10,5	0,3	0,2	0,65	0,4	Есть	
	T15K6	100,6	0,3	0	0,65	0,4		
Конструкционная закаленная сталь, $\sigma_s = 1600 - 1800$ МПа, HRC 49 – 54	Зенкерование	T15K6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45	Есть
	Развертывание		14,0	0,4	0,75	1,05	0,85	Есть
Серый чугун, HB 190	Рассверливание	P6M5	23,4	0,25	0,1	0,4	0,125	Нет
		BK8	56,9	0,5	0,15	0,45	0,4	
Серый чугун, HB 190	Зенкерование	P6M5	18,8	0,2	0,1	0,4	0,125	Нет
		BK8	105,0	0,4	0,15	0,45	0,4	
Серый чугун, HB 190	Развертывание	P6M5	15,6	0,2	0,1	0,5	0,3	Нет
		BK8	109,0	0,2	0	0,5	0,45	
Ковкий чугун, HB 150	Рассверливание	P6M5	34,7	0,25	0,1	0,4	0,125	Есть
		BK8	77,4	0,5	0,15	0,45	0,4	
	Зенкерование	P6M5	27,9	0,2	0,1	0,4	0,125	Есть
		BK8	143,0	0,4	0,15	0,45	0,4	
	Развертывание	P6M5	23,2	0,2	0,1	0,5	0,3	Есть
		BK8	148,0	0,2	0	0,5	0,45	

30. Средние значения периода стойкости сверл, зенкер и разверток

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Стойкость T , мин, при диаметре инструмента, мм							
			До 5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61 -80
Сверло (сверление и рассверливан	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90	110	-
		Твердый сплав	8	15	20	25	35	45	-	-

ие)	Коррозионно-стойкая сталь	Быстрорежущая сталь	6	8	15	25	-	-	-	-
	Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	Быстрорежущая сталь	20	35	60	75	105	140	170	-
		Твердый сплав	15	25	45	50	70	90	-	-
Зенкеры (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь, серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	-	-	30	40	50	60	80	100
Развертки (развертывание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	-	25	40	80	80	120	120	120
		Твердый сплав	-	20	30	50	70	90	110	140
	Серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь	-	-	60	120	120	180	180	180
		Твердый сплав	-	-	45	75	105	135	165	210

31. Поправочный коэффициент K_{lv} на скорость резания при сверлении, учитывающий глубину обрабатываемого отверстия

Параметр	Сверление					Рассверливание, зенкерование, развертывание
	3D	4D	5D	6D	8D	
Глубина обрабатываемого отверстия						—
Коэффициент K_{lv}	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6	1,0

Крутящий момент, Н·м, и осевую силу, Н, рассчитывают по формулам:

при сверлении

$$M_{кр} = 10C_M D^q s^y K_p; \quad (10)$$

$$P_o = 10C_p D^q s^y K_p; \quad (11)$$

при рассверливании и зенкерования

$$M_{кр} = 10C_M D^q t^x s^y K_p; \quad (12)$$

$$P_o = 10C_p D^q t^x s^y K_p; \quad (13)$$

Значения коэффициентов C_M и C_p , и показателей степени приведены в табл. 32.

Коэффициент, учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением $K_p = K_{mp}$.

Значения коэффициента K_{mp} приведены для стали и чугуна в табл. 9, а для медных и алюминиевых сплавов - в табл. 10.

Для определения крутящего момента при развертывании каждый зуб инструмента можно рассматривать как расточный резец. Тогда при диаметре инструмента D крутящий момент, Н·м,

$$M_{кр} = \frac{C_p \times t^x \times s_z^y \times D \times z}{2 \times 100} \quad (14)$$

здесь s_z – подача, мм на один зуб инструмента, равная s/z , где s – подача, мм/об, z – число зубьев развертки. Значения коэффициентов и показателей степени см. в табл. 32.

Мощность резания, кВт, определяют по формуле

$$N_e = M_{кр} \times n / 9750, \quad (15)$$

где частота вращения инструмента или заготовки, об/мин, $n = 1000 \cdot v / \pi \cdot D$.

32. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлении, рассверливании и зенкерование

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах							
			крутящего момента				осевой силы			
			C_M	q	x	y	C_p	q	x	y
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_s = 750$ МПа	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,0345	2,0	-	0,8	68	1,0	-	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,09	1,0	0,9	0,8	67	-	1,2	0,65
Жаропрочная сталь 12X18H9T, HV 141	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,041	2,0	-	0,7	143	1,0	-	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,106	1,0	0,9	0,8	140	-	1,2	0,65
Серый чугун, HV 190	Сверление	Твердый сплав	0,012	2,2	-	0,8	42	1,2	-	0,75
	Рассверливание и зенкерование		0,196	0,85	0,8	0,7	46	-	1,0	0,4
	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	-	0,8	42,7	1,0	-	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,085	-	0,75	0,8	23,5	-	1,2	0,4
Ковкий чугун, HV 150	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	-	0,8	43,3	1,0	-	0,8
		Твердый сплав	0,01	2,2	-	0,8	32,8	1,2	-	0,75
	Рассверливание и зенкерование	Твердый сплав	0,17	0,85	0,8	0,7	38	-	1,0	0,4
Гетерогенные медные сплавы средней твердости, HV 120	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,012	2,0	-	0,8	31,5	1,0	-	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,031	0,85	-	0,8	17,2	-	1,0	0,4
Силумин и дюралюминий	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,005	2,0	-	0,8	9,8	1,0	-	0,7

Примечание. Рассчитанные по формуле осевые силы при сверлении действительны для сверл с подточенной перемычкой; с неподточенной перемычкой осевая сила при сверлении возрастает в 1,33 раза.

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Конфигурация обрабатываемой поверхности и вид оборудования определяют тип применяемой фрезы (рис. 3). Ее размеры определяются размерами обрабатываемой поверхности и глубиной срезаемого слоя (или глубиной резания). Диаметр фрезы для сокращения стоимости и расхода режущего инструмента выбирается по возможности наименьшей величины, учитывая при этом жёсткость технологической системы, схему резания, форму и размеры обрабатываемой заготовки. Для сокращения основного технологического времени диаметр фрезы выбирается таким, чтобы по возможности обработать поверхность за один проход или с наименьшим количеством проходов.

При торцовом фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B , т.е. $D = (1,25 \dots 1,5) \times B$, а при обработке заготовок обязательным является их несимметричное расположение относительно фрезы: для заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей – сдвиг их в направлении врезания зуба фрезы (рис. 4, а), чем обеспечивается начало резания при малой толщине срезаемого слоя; для заготовок из жаропрочных и коррозионно-стойких сталей – сдвиг заготовки в сторону выхода зуба фрезы из резания (рис. 4, б), чем обеспечивается выход зуба из резания с минимально возможной толщиной срезаемого слоя. Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

Глубина фрезерования t и ширина фрезерования B – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании (см. рис. 3). Во всех видах фрезерования, за исключением торцового, t определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой; t измеряется в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования B

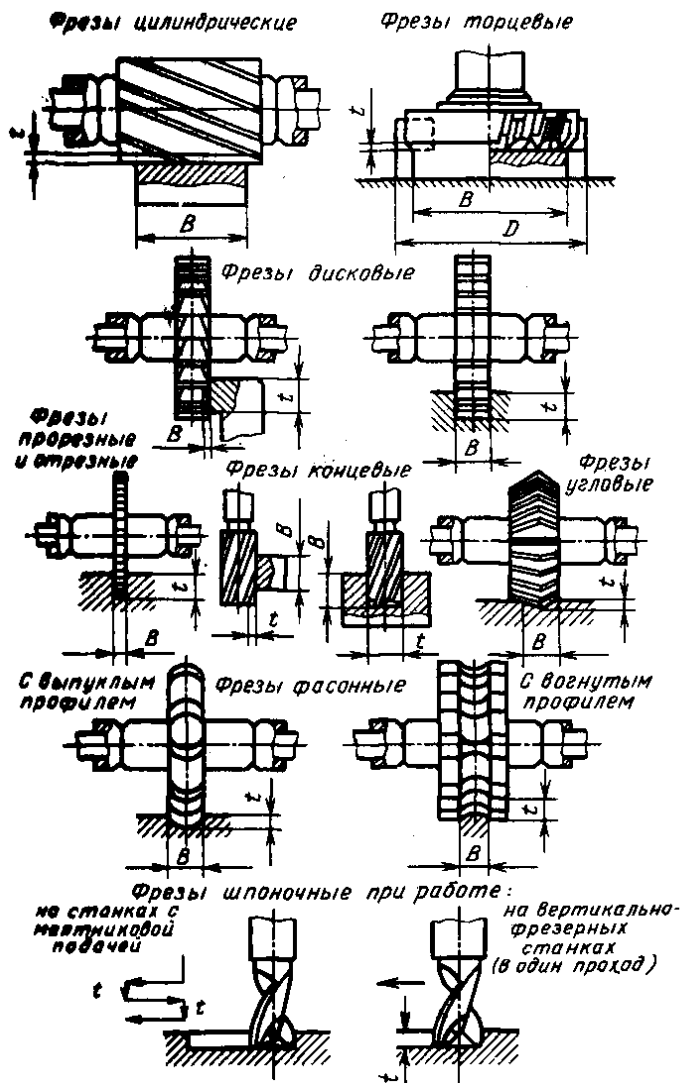


Рис. 3. Виды фрезерования

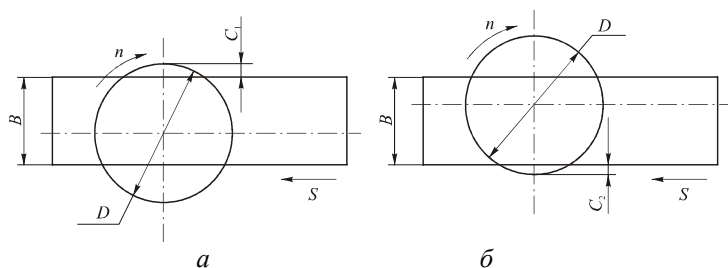


Рис. 4. Расположение стальной заготовки при торцовом фрезеровании относительно фрезы: а – врезание зуба фрезы при $c_1 = (0,03 \dots 0,05) D$; б – выход зуба фрезы при $c_2 = 0$.

определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании; B измеряется в направлении, параллельном оси фрезы. При торцовом фрезеровании эти понятия меняются местами.

Подача. При фрезеровании различают подачу на один зуб s_z , подачу на один оборот фрезы s и подачу минутную s_m , мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$s_m = s \times n = s_z \times z \times n$$

где n – частота вращения фрезы, об/мин; z – количество зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб s_z , при чистовом фрезеровании – на один оборот фрезы s , по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один зуб $s_z = s/z$. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания указаны в табл. 33 — 38.

Скорость резания – окружная скорость фрезы, м/мин,

$$C_v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v \quad (1)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени приведены в табл. 39, а периода стойкости T – в табл. 40.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания

$$K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv} \quad (2)$$

где K_{Mv} - коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1 - 4); K_{nv} - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл. 5); K_{uv} - коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл. 6).

33. Поддачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами с пластинами из твердого сплава

Мощность станка, кВт	Сталь		Чугун и медные сплавы	
	Подача на зуб фрезы s_z , мм (мм/зуб), при твердом сплаве			
	T15K6	T5K10	BK6	BK8
5 - 10	0,09 - 0,18	0,12 - 0,18	0,14 - 0,24	0,20 - 0,29
Св. 10	0,12 - 0,18	0,16 - 0,24	0,18 - 0,28	0,25 - 0,38

Примечания: 1. Приведенные значения подач для цилиндрических фрез действительны при ширине фрезерования $B < 30$ мм; при $B > 30$ мм табличные значения подач следует уменьшать на 30%.

2. Приведенные значения подач для дисковых фрез действительны при фрезеровании плоскости и уступов; при фрезеровании пазов табличные значения подач следует уменьшать в 2 раза.

3. При фрезеровании с приведенными в таблице подачами достигается параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,8 \dots 1,6$ мкм.

34. Поддачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами из быстрорежущей стали

Мощность станка или фрезерной головки, кВт	Жесткость системы заготовка – приспособление	Фрезы			
		торцовые и дисковые		цилиндрические	
		Подача на один зуб s_z , мм (мм/зуб), при обработке			
		конструкционной стали	чугуна и медных сплавов	конструкционной стали	чугуна и медных сплавов
		Фрезы с крупным зубом и фрезы со вставными ножами			
Свыше 10	Повышенная	0,20 - 0,30	0,40 - 0,60	0,40 - 0,60	0,60 - 0,80
	Средняя	0,15 - 0,25	0,30 - 0,50	0,30 - 0,40	0,40 - 0,60
	Пониженная	0,10 - 0,15	0,20 - 0,30	0,20 - 0,30	0,25 - 0,40
5 - 10	Повышенная	0,12 - 0,20	0,30 - 0,50	0,25 - 0,40	0,30 - 0,50
	Средняя	0,08 - 0,15	0,20 - 0,40	0,12 - 0,20	0,20 - 0,30
	Пониженная	0,06 - 0,10	0,15 - 0,25	0,10 - 0,15	0,12 - 0,20
До 5	Средняя	0,06 - 0,07	0,15 - 0,30	0,08 - 0,12	0,10 - 0,18
	Пониженная	0,04 - 0,06	0,10 - 0,20	0,06 - 0,10	0,08 - 0,15

		Фрезы с мелким зубом			
5 - 10	Повышенная	0,08 - 0,12	0,20 - 0,35	0,10 - 0,15	0,12 - 0,20
	Средняя	0,06 - 0,10	0,15 - 0,30	0,06 - 0,10	0,10 - 0,15
	Пониженная	0,04 - 0,08	0,10 - 0,20	0,06 - 0,08	0,08 - 0,12
До 5	Средняя	0,04 - 0,06	0,12 - 0,20	0,05 - 0,08	0,06 - 0,12
	Пониженная	0,03 - 0,05	0,08 - 0,15	0,03 - 0,06	0,05 - 0,10

Примечания: 1. Большие значения подач брать для меньшей глубины и ширины фрезерования, меньшие - для больших значений глубины и ширины

2. При фрезеровании жаропрочной и коррозионно-стойкой стали подачи брать те же, что и для конструкционной стали, но не выше 0,3 мм/зуб.

35. Подача при фрезеровании стальных заготовок различными фрезами из быстрорежущей стали

Диаметр фрезы D , мм	Тип фрезы	Подача на зуб s_z , мм, при глубине фрезерования t , мм						
		3	5	6	8	10	12	15
16	Концевые	0,08 - 0,05	0,06 - 0,05	—	—	—	—	—
20		0,10 - 0,06	0,07 - 0,04	—	—	—	—	—
25		0,12 - 0,07	0,09 - 0,05	0,08 - 0,04	—	—	—	—
35		0,16 - 0,10	0,12 - 0,07	0,10 - 0,05	—	—	—	—
35	Угловые и фасонные	0,08 - 0,04	0,07 - 0,05	0,06 - 0,04	—	—	—	—
40	Концевые	0,20 - 0,12	0,14 - 0,08	0,12 - 0,07	0,08 - 0,05	—	—	—
	Угловые и фасонные	0,09 - 0,05	0,07 - 0,05	0,06 - 0,03	0,06 - 0,03	—	—	—
	Прорезные	0,009-0,005	0,007 -0,003	0,01 -0,007	—	—	—	—
50	Концевые	0,25 - 0,15	0,15 - 0,10	0,13 - 0,08	0,10 - 0,07	—	—	—
	Угловые и фасонные	0,10 - 0,06	0,08 - 0,05	0,07 - 0,04	0,06 - 0,03	—	—	—
	Прорезные	0,01 - 0,006	0,008 - 0,004	0,012 - 0,008	0,012 - 0,008	—	—	—
60	Угловые и фасонные	0,10 - 0,06	0,08 - 0,05	0,07 - 0,04	0,06 - 0,04	0,05 - 0,03	—	—
	Прорезные	0,013 - 0,008	0,010 - 0,005	0,015 - 0,01	0,015 - 0,022	0,015 - 0,01	—	—
	Отрезные	—	—	0,025 - 0,015	0,01 0,012	0,02 - 0,01	—	—
75	Угловые и фасонные	0,12 - 0,08	0,10 - 0,06	0,09 - 0,05	0,07 - 0,05	0,06 - 0,04	0,06 - 0,03	—
	Прорезные	—	0,015 - 0,005	0,025 - 0,01	0,022 - 0,01	0,02 - 0,01	0,017 - 0,008	0,015 - 0,007
	Отрезные	—	—	0,03 - 0,015	0,027 - 0,012	0,025 - 0,01	0,022 - 0,01	0,02 - 0,01
90	Угловые и фасонные	0,12 - 0,08	0,12 - 0,05	0,11 - 0,05	0,10 - 0,05	0,09 - 0,04	0,08 - 0,04	0,07 - 0,03
	Отрезные	—	—	0,03 - 0,02	0,028 - 0,016	0,027 - 0,015	0,023 - 0,015	0,022 - 0,012
110	Отрезные	—	—	0,03 - 0,025	0,03 - 0,02	0,03 - 0,02	0,025 - 0,02	0,025 - 0,02
150-200	—	—	—	—	—	—	—	0,03 - 0,02

Примечания: 1. При фрезеровании чугуна, медных и алюминиевых сплавов подачи увеличить на 30 – 40%.

2. Приведены подачи для фасонных фрез с выпуклым плавно очерченным профилем; для таких же фрез с резко очерченным или вогнутым профилем подачи должны быть уменьшены на 40%.

3. Подачи для прорезных и отрезных фрез с мелким зубом установлены при глубине фрезерования до 5 мм, с крупным зубом – при глубине св. 5 мм.

36. Подачи при фрезеровании твердосплавными концевыми фрезами плоскостей и уступов стальных заготовок

Вид твердосплавных элементов	Диаметр фрезы D , мм	Черновое фрезерование						
		Подача на один зуб фрезы s_z , мм, при глубине фрезерования t , мм						
		1 - 3	5	8	12	20	30	40
Коронка	10 - 12	0,01 - 0,03	—	—	—	—	—	—
	14 - 16	0,02 - 0,06	0,02 - 0,04	—	—	—	—	—
	18 - 22	0,04 - 0,07	0,03 - 0,05	0,02 - 0,04	—	—	—	—
Винтовые пластинки	20	0,06 - 0,10	0,05 - 0,08	0,03 - 0,05	—	—	—	—
	25	0,08 - 0,12	0,06 - 0,10	0,05 - 0,10	0,05 - 0,08	—	—	—
	30	0,10 - 0,15	0,08 - 0,12	0,06 - 0,10	0,05 - 0,09	—	—	—
	40	0,10 - 0,18	0,08 - 0,13	0,06 - 0,11	0,05 - 0,10	0,04 - 0,07	—	—
	50	0,10 - 0,20	0,10 - 0,15	0,08 - 0,12	0,06 - 0,10	0,05 - 0,09	0,05 - 0,08	0,05 - 0,06
	60	0,12 - 0,20	0,10 - 0,16	0,10 - 0,12	0,08 - 0,12	0,06 - 0,10	0,06 - 0,10	0,06 - 0,08

Диаметр фрезы D , мм	Чистовое фрезерование			
	10 - 16	20 - 22	25 - 35	40 - 60
Подача фрезы s , мм/об	0,02 - 0,06	0,06 - 0,12	0,12 - 0,24	0,3 - 0,6

Примечания: 1. При черновом фрезеровании чугуна подачи, приведенные для черного фрезерования стали, могут быть увеличены на 30 – 40%; при чистовом фрезеровании чугуна сохраняется величина подачи, рекомендованная для чистового фрезерования стали.

2. Верхние пределы подач при черновом фрезеровании применять при малой ширине фрезерования на станках высокой жесткости, нижние пределы – при большой ширине фрезерования на станках недостаточной жесткости.

3. При работе с подачами для чистового фрезерования достигается параметр шероховатости $Ra = 0,8...1,6$ мкм.

37. Подачи s , мм/об, при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами

Шероховатость поверхности Ra , мкм	Торцовые и дисковые фрезы со вставными ножами		Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы D , мм, в зависимости от обрабатываемого материала							
	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	конструкционная углеродистая и легированная сталь			чугун, медные и алюминиевые сплавы				
			40-75	90-130	150-200	40-75	90-130	150-200		
6,3		1,2 - 2,7								
3,2	0,5 - 1,0	0,5 - 1,2	1,0 - 2,7	1,7 - 3,8	2,3 - 5,0	1,0 - 2,3	1,4 - 3,0	1,9 - 3,7		
1,6	0,4 - 0,6	0,23 - 0,5	0,6 - 1,5	1,0 - 2,1	1,3 - 2,8	0,6 - 1,3	0,8 - 1,7	1,1 - 2,1		
0,8	0,2 - 0,3	—	—	—	—	—	—	—		
0,4	0,15	—	—	—	—	—	—	—		

31. Подачи при фрезеровании стальных заготовок шпоночными фрезами из быстрорежущей стали

Диаметр фрезы D , мм	Фрезерование на шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей при глубине фрезерования на один двойной ход, составляющий часть глубины шпоночного паза	Фрезерование на вертикально-фрезерных станках за один проход		
		Осевое врезание на глубину шпоночного паза		Продольное движение при фрезеровании шпоночного паза
	Глубина фрезерования t , мм	Подача на один зуб s_z , мм,		
6		0,10	0,006	0,020
8	0,3	0,12	0,007	0,022
10		0,16	0,008	0,024
12		0,18	0,009	0,026
16		0,25	0,010	0,028
18	0,4	0,28	0,011	0,030
20		0,31	0,011	0,032
24		0,38	0,012	0,036
28		0,45	0,014	0,037
32	0,5	0,50	0,015	0,037
36		0,55	0,016	0,038
40		0,65	0,016	0,038

Примечание. Подачи указаны для конструкционной стали с $\sigma_b < 750$ МПа; при обработке сталей более высокой прочности подачи снижать на 20 – 40%.

39. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части	Операция	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	t	s_z	C_v	q	x	y	u	p	m
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_b = 750$ МПа												
Торцовые	T15K6* ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	—	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	P6M5* ²		—	—	$\leq 0,1$	64,7	0,25	0,1	0,2	0,15	0	0,2
			$> 0,1$	41		0,4						
Цилиндрические	T15K6* ¹		≤ 35	≤ 2	—	390	0,17	0,19	0,28	-0,05	0,1	0,33
			> 35	> 2	—	443	0,17	0,38	0,28	0,08	0,1	0,33
				≤ 2	—	616	0,17	0,19	0,28	0,08	0,1	0,33
			> 2	—	700	0,17	0,38	0,28	0,08	0,1	0,33	

	P6M5* ²		—	—	≤0,1 >0,1	55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	T15K6* ¹	Фрезерование плоскостей и уступов	—	—	<0,12 ≥0,12	1340 740	0,2	0,4	0,12 0,4	0	0	0,35
	T15K6* ¹	Фрезерование пазов	—	—	<0,06 ≥0,06	1825 690	0,2	0,3	0,12 0,4	0,1	0	0,35
Дисковые со вставными ножами	P6M5* ²	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	—	—	≤0,1 >0,1	75,5 48,5	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	P6M5* ²		—	—	—	68,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые с коронками	T15K6* ¹		—	—	—	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,3
Концевые с напаянными пластинами	T15K6* ¹		—	—	—	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые цельные	P6M5* ²		—	—	—	46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,3
Прорезные и отрезные	P6M5* ²	Прорезание пазов и отрезание	—	—	—	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Фасонные с выпуклым профилем	P6M5* ²	Фасонное фрезерование	—	—	—	53	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Угловые и фасонные с вогнутым профилем	P6M5* ²	Фрезерование угловых канавок и фасонное	—	—	—	44	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Шпоночные двухпёры	P6M5* ²	Фрезерование шпоночных пазов	—	—	—	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,2
Обработка жаропрочной стали 12X18H9T в состоянии поставки												
Торцовые	BK8* ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	—	108	0,2	0,06	0,3	0,2	0	0,32
	P6M5* ²		—	—	—	49,6	0,15	0,2	0,3	0,2	0,1	0,14
Цилиндрические	P6M5* ²		—	—	—	44	0,29	0,3	0,34	0,1	0,1	0,24
Концевые	P6M5* ²	Фрезерование плоскостей и уступов	—	—	—	22,5	0,35	0,21	0,48	0,03	0,1	0,27
Обработка серого чугуна, HB 190												
Торцовые	BK6* ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	—	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
	P6M5* ²		—	—	—	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15
Цилиндрические	BK6* ¹		—	<2,5	≤0,2	923	0,37	0,13	0,19	0,23	0,14	0,42
			—	<2,5	>0,2	588	0,37	0,13	0,47	0,23	0,14	0,42
			—	≥2,5	≤0,2	1180	0,37	0,40	0,19	0,23	0,14	0,42
		—	≥2,5	>0,2	750	0,37	0,40	0,47	0,23	0,14	0,42	
	P6M5* ¹	—	—	≤0,15 >0,15	57,6 27	0,7 0,7	0,5 0,5	0,2 0,6	0,3 0,3	0,3 0,3	0,25 0,25	
Дисковые со вставными ножами	P6M5* ¹	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	—	—	—	85	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Дисковые цельные	P6M5* ¹		—	—	—	72	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Концевые	P6M5* ¹	Фрезерование плоскостей и уступов	—	—	—	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25
Прорезные и отрезные	P6M5* ¹	Прорезание пазов и отрезание	—	—	—	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1	0,15

Обработка ковкого чугуна, HB 150												
Торцовые	BK6 * ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	≤0,18	994	0,22	0,17	0,1	0,22	0	0,33
			—	—	>0,18	695	0,22	0,17	0,32	0,22	0	0,33
Цилиндрические	P6M5 * ²	Фрезерование плоскостей	—	—	≤0,1	90,5	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2
			—	—	>0,1	57,4	0,25	0,1	0,4	0,15	0,1	0,2
Дисковые со вставными ножами	P6M5 * ²	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	—	—	≤0,1	105,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
			—	—	>0,1	68	0,25	0,3	0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	P6M5 * ²		—	—	—	95,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые	P6M5 * ²		—	—	—	68,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	P6M5 * ²	Прорезание пазов и отрезание	—	—	—	74	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Обработка гетерогенных медных сплавов средней твёрдости, HB 100 – 140												
Торцовые	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	0,1	136	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2
			—	—	0,1	86,2	0,25	0,1	0,4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	0,1	115,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
			—	—	0,1	74,3	0,45	0,3	0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	—	—	0,1	158,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
			—	—	0,1	102	0,25	0,3	0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	P6M5 * ¹		—	—	—	144	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей и уступов	—	—	—	103	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	P6M5 * ¹	Прорезание пазов и отрезание	—	—	—	111,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_B = 100...200$ МПа, HB < 65 и дюралюминия $\sigma_B = 300...400$ МПа, HB < 100												
Торцовые	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	≤0,1	245	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2
			—	—	>0,1	155			0,4			
Цилиндрические	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей	—	—	≤0,1	208	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
			—	—	>0,1	133,5			0,4			
Дисковые со вставными ножами	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	—	—	≤0,1	285	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
			—	—	>0,1	183,4			0,4			
Дисковые цельные	P6M5 * ¹		—	—	—	259	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые	P6M5 * ¹	Фрезерование плоскостей и уступов	—	—	—	185,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	P6M5 * ¹	Прорезание пазов и отрезание	—	—	—	200	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2

*¹ Без охлаждения. *² С охлаждением.

Примечание. Скорость резания для торцовых фрез, рассчитанная по табличным данным, действительна при главном угле в плане $\varphi = 60^\circ$. При других величинах этого угла значения скорости следует умножить на коэффициенты: при $\varphi = 15^\circ$ на 1,6; при $\varphi = 30^\circ$ – на 1,25; при $\varphi = 45^\circ$ – на 1,1; при $\varphi = 75^\circ$ – на 0,93; при $\varphi = 90^\circ$ – на 0,87.

40. Средние значения периода стойкости T фрез

Фрезы	Стойкость T , мин, при диаметре фрезы, мм											
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400
Торцовые	—	—	120	180				240		300	400	
Цилиндрические со вставными ножами и цельные с крупным зубом	—			180				240				

Цилиндрические цельные с мелким зубом	—	120	180	—				
Дисковые	—			120	150	180	240	—
Концевые	80	90	120	180	—			
Прорезные и отрезные	—			60	75	120	150	—
Фасонные и угловые	—	120		180	—			

Сила резания. Главная составляющая силы резания при фрезеровании - окружная сила P_z , Н

$$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp} \quad (3)$$

где z – количество зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Значения коэффициента C_p и показателей степени приведены в табл. 41, поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала K_{Mp} для стали и чугуна – в табл. 9, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 10. Величины остальных составляющих силы резания (рис. 5, 6): горизонтальной (сила подачи) P_h , вертикальной P_u , радиальной P_y , осевой P_x рассчитывают из соотношения с главной составляющей P_z по табл. 42.

Составляющая, по которой рассчитывают оправку на изгиб, $P_{yc} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}$.

Крутящий момент, Н·м, на шпинделе $M = \frac{P_z \times D}{2 \times 100}$, где D – диаметр фрезы, мм.

Мощность резания (эффективная), кВт: $N_e = P_z \times v / (1020 \cdot 60)$.

41. Значения коэффициента C_p и показателей степени в формуле окружной силы P_z при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x	y	u	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_b = 750$ МПа							
Торцовые	Твердый сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Цилиндрические	Твердый сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Дисковые, прорезные и отрезные	Твердый сплав	261	0,9	0,8	1,1	1,1	0,1
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Концевые	Твердый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Фасонные и угловые	Быстрорежущая сталь	47	0,86	0,72	0,1	0,86	0
Обработка жаропрочной стали 12X18H9T в состоянии поставки, HB 141							
Торцовые	Твердый сплав	218	0,92	0,78	1,0	1,15	0
Концевые	Быстрорежущая сталь	82	0,75	0,6	1,0	0,86	0
Обработка серого чугуна, HB 190							
Торцовые	Твердый сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0
	Быстрорежущая сталь	50	0,9	0,72	1,14	1,14	0
Цилиндрические	Твердый сплав	58	0,9	0,8	1,0	0,9	0
	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Обработка ковкого чугуна, HB 150							
Торцовые	Твердый сплав	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	50	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Цилиндрические, дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	30	0,86	0,72	1,0	0,86	0

Обработка гетерогенных медных сплавов средней твёрдости, HB 100 – 140

Цилиндрические, дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	22,6	0,86	0,72	1,0	0,86	0
--	---------------------	------	------	------	-----	------	---

Примечания: 1. Окружную силу P_z при фрезеровании алюминиевых сплавов рассчитывать, как для стали, с введением коэффициента 0,25.

2. Окружная сила P_z , рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезой без затупления. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа сила возрастает: при обработке мягкой стали ($\sigma_g < 600$ МПа) в 1,75—1,9 раза; во всех остальных случаях — в 1,2—1,4 раза.

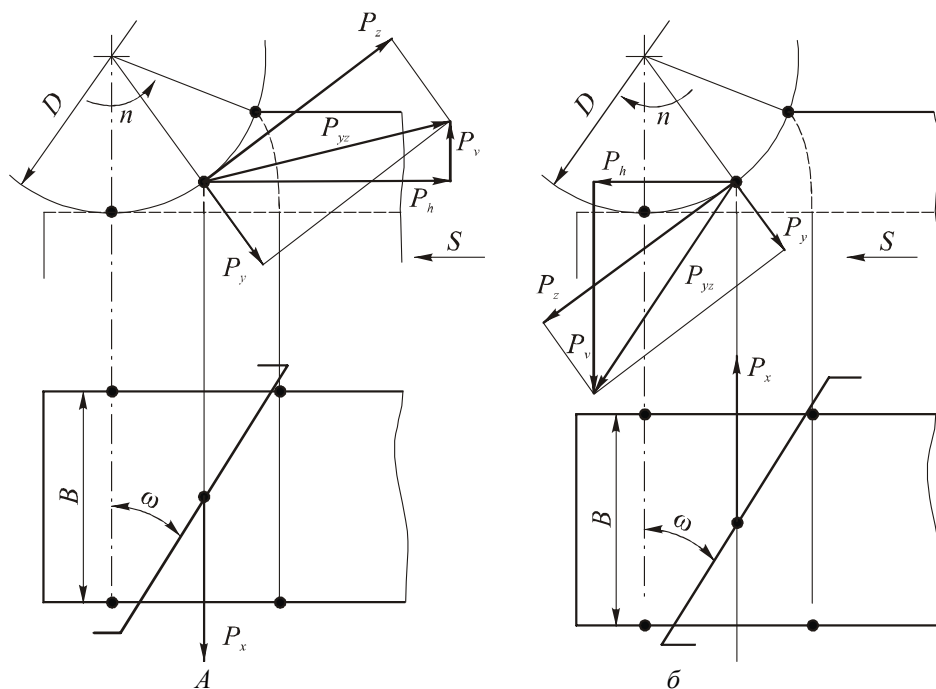


Рис. 5. Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой: а - при встречном фрезеровании (против подачи); б — попутном (в направлении подачи)

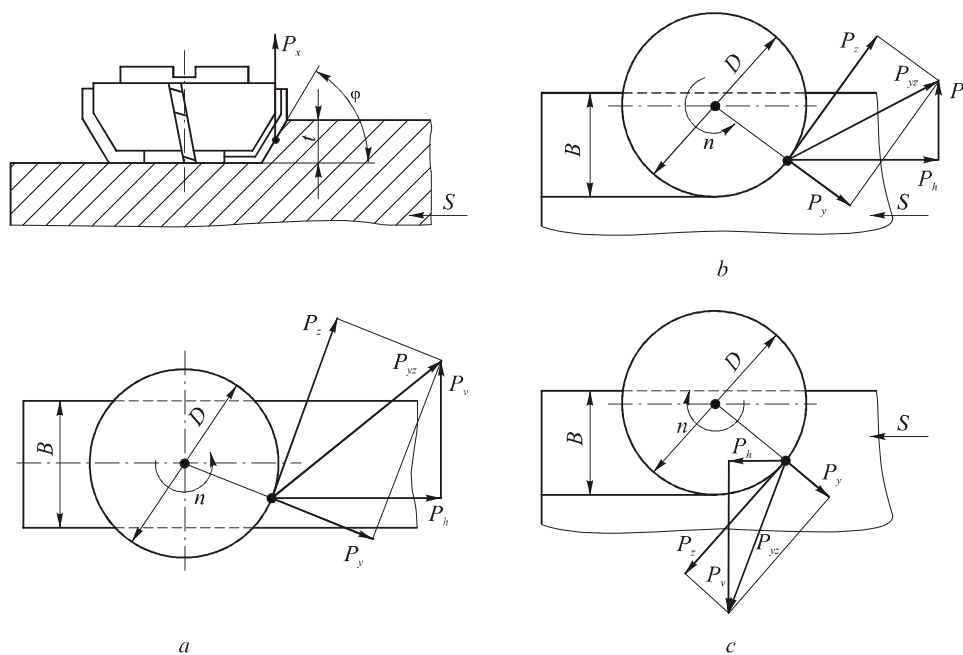


Рис. 6. Составляющие силы резания при торцовом фрезеровании: а — симметричном; б — несимметричном встречном; в — несимметричном попутном

42. Относительные значения составляющих силы резания при фрезеровании

Фрезерование	P_h/P_z	P_v/P_z	P_y/P_z	P_x/P_z
<i>Фрезы цилиндрические, дисковые, концевые*¹, угловые и фасонные (см. рис. 5)</i>				
Встречное (против подачи)	1,1 - 1,2	0 - 0,25	0,4 - 0,6	$(0,2 - 0,4) \cdot \operatorname{tg} \alpha$
Попутное (в направлении подачи)	0,8 - 0,9	0,7 - 0,9	0,4 - 0,6	$(0,2 - 0,4) \cdot \operatorname{tg} \alpha$
<i>Фрезы торцовые и концевые*² (см. рис. 6)</i>				
Симметричное	0,3 - 0,4	0,85 - 0,95	0,3 - 0,4	0,5 - 0,55
Несимметричное встречное	0,6 - 0,8	0,6 - 0,7	0,3 - 0,4	0,5 - 0,55
Несимметричное попутное	0,2 - 0,3	0,9 - 1,0	0,3 - 0,4	0,5 - 0,55

*¹ Фрезы, работающие по схеме цилиндрического фрезерования, когда торцовые зубья в резании не участвуют.

*² Фрезы, работающие по схеме торцового фрезерования.

Примечание. Изменение составляющих P_y и P_x при торцовом фрезеровании в зависимости от главного угла в плане ϕ см. в табл. 23.

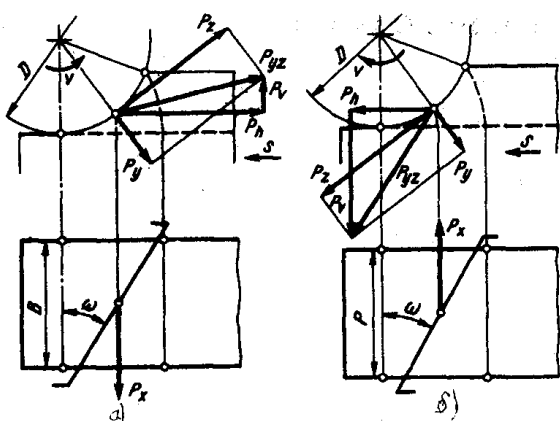


Рис. 7. Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой: а - при встречном фрезеровании (против подачи); б — попутном (в направлении подачи)

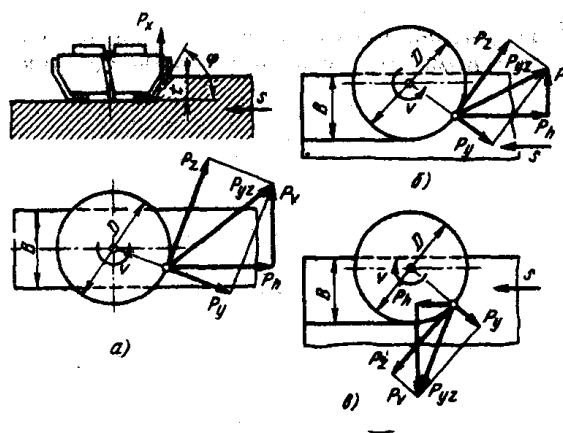


Рис. 8. Составляющие силы резания при торцовом фрезеровании: а — симметричном; б — несимметричном встречном; в — несимметричном попутном

РАЗРЕЗАНИЕ

Разрезание производят отрезными резцами дисковыми и ленточными пилами, ножовками, абразивными кругами.

Подача. Для дисковых пил подача s , и для ленточных пил и абразивных кругов подача s_m приведены в табл. 43 [1].

Скорость резания. Для дисковых пил, приводных ножовок и ленточных пил скорости резания, устанавливаемые в м/мин, а для абразивных кругов — в м/с, приведены в табл. 44 [1].

Литература

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах, т.2. Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. — М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
2. Кожевников Д.В., Схиртладзе А.Г., Кирсанов С.В. Резание материалов. —М.: Машиностроение, 2007. —304 с.

РАСЧЁТ РЕЖИМОВ, СИЛ И МОЩНОСТИ РЕЗАНИЯ

Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»

Составители доц., канд. техн. наук В.Н. Козлов


Рецензент
кандидат технических наук Скворцов В.Ф.

Подписано к печати 05.11.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru