

Государственный комитет Российской Федерации  
по высшему образованию

Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П.Королева

А.Н.В о л к о в

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ  
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Учебное пособие

Самара 1994

Режимы резания авиационных материалов при фрезеровании: Учеб. пособие / А. Н. Волков; Самар. гос. аэрокосмич. ун-т. Самара, 1994. 90 с.

ISBN 5-230-16851-X

Приведена последовательность определения параметров режима резания при фрезеровании. Представлены необходимые сведения по свойствам обрабатываемых и инструментальных материалов, конструктивным элементам и геометрии фрез, расчету подачи, скорости и мощности резания, паспортным данным фрезерных станков. Составлена программа расчета режимов резания при фрезеровании на ЭВМ ДВК-3.

Предназначено для студентов специальностей 13.02, 13.04, 13.12 при выполнении курсовых работ, проектов и дипломном проектировании. Подготовлено на кафедре резания, станков и инструментов. Ил. 7. Табл. 67. Библиогр.: 16 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева

Рецензенты: проф. Б.А.Кравченко,  
доц. А.В.Тарасов

ISBN 5-230-15851-X

© Самарский государственный аэрокосмический университет, 1994

## СОДЕРЖАНИЕ

Условные обозначения .....	4
Предисловие .....	7
I. Виды обработки и шпалеры фрез .....	8
2. Классификация обрабатываемых материалов .....	11
3. Выбор марки инструментального материала .....	19
4. Определение геометрии заточки фрез .....	21
5. Глубина и ширина фрезерования .....	22
6. Назначение числа зубьев фрез .....	23
7. Износ и стойкость фрез .....	26
8. Определение величины подачи .....	28
8.1. Подачи на зуб при фрезеровании материалов У-ХП и ХIУ групп торцовыми, концевыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами .....	28
8.2. Подачи на зуб при фрезеровании материалов I-IV и ХIII групп торцовыми фрезами .....	32
8.3. Подачи на зуб при фрезеровании материалов I-IV и ХIII групп концевыми фрезами .....	34
8.4. Подачи на зуб при фрезеровании материалов I-IV и ХIII групп дисковыми фрезами .....	36
8.5. Подачи на зуб при фрезеровании материалов I-IV и ХIII групп цилиндрическими фрезами .....	38
9. Расчет скорости резания .....	39
9.1. Скорость резания при торцовом фрезеровании ..	40
9.2. Скорость резания при концевом фрезеровании ..	46
9.3. Скорость резания при дисковом фрезеровании ..	51
9.4. Скорость резания при фрезеровании цилиндри- ческими фрезами .....	56
10. Определение скоростной ступени станка .....	59
11. Проверка режима резания по мощности станка .....	60
12. Технические показатели режима обработки .....	66
Библиографический список .....	68
Приложения .....	70

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

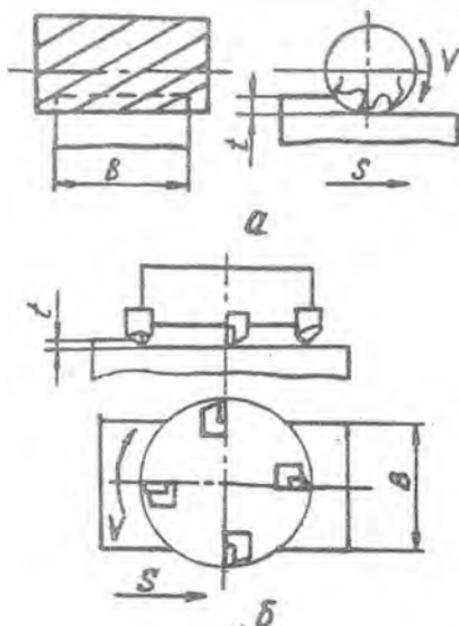
- $D$  - диаметр фрезы, мм;
- $Z$  - число зубьев фрезы;
- $\gamma$  - передний угол, град;
- $\alpha$  - задний угол, град;
- $\gamma_1$  - передний угол на торце, град;
- $\alpha_1$  - задний угол на торце, град;
- $\omega$  - угол спирали зубьев, град;
- $\varphi$  - главный угол в плане, град;
- $\varphi_1$  - вспомогательный угол в плане, град;
- $\varphi_0$  - угол в плане переходной кромки, град;
- $t$  - глубина резания, мм;
- $B$  - ширина фрезерования, мм;
- $S_z$  - подача на зуб, мм/зуб;
- $S_o$  - подача на оборот, мм/об;
- $S_M$  - минутная подача, мм/мин;
- $V$  - скорость резания, м/мин;
- $D_o$  - посадочный диаметр фрезы, мм;
- $T$  - стойкость фрезы, мин;
- $R_z, R_a$  - параметры шероховатости, мкм;
- $S_{\Sigma T}$  - табличное значение подачи на зуб, мм/зуб;
- $L$  - длина фрезеруемой поверхности детали, мм;

- $d_0$  - диаметр оправки, мм;  
 $l_0$  - расстояние от торца фрезы до шпинделя, мм;  
 $T_T$  - табличное значение стойкости фрезы, мин;  
 $C_V$  - коэффициент в формуле скорости резания;  
 $q, m, y, r, x, u$  - показатели степеней в формуле скорости резания;  
 $n$  - расчетная величина частоты вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $n_x$  - ближайшее меньшее число оборотов из паспорта станка по отношению к  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $n_{x+1}$  - ближайшее большее число оборотов из паспорта станка по отношению к  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $S_{ng}$  - минутная подача действительная, мм/мин;  
 $S'_z$  - подача на зуб, пересчитанная для оборотов  $n_{x+1}$ , мм/зуб;  
 $S_{zg}$  - действительная подача на зуб, мм/зуб;  
 $N_e$  - мощность резания, кВт;  
 $N$  - мощность главного электродвигателя станка, кВт;  
 $\eta$  - КПД главного привода;  
 $C_N$  - коэффициент в формуле мощности;  
 $a, g, l, i, f, b$  - показатели степеней в формуле мощности резания;  
 $n_g$  - действительное число оборотов шпинделя станка,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $K_{N1}$  - коэффициент в формуле мощности, учитывающий свойства обрабатываемого материала;  
 $K_{N2}$  - коэффициент в формуле мощности, учитывающий передний угол;  
 $N_0$  - мощность станка на шпинделе, кВт;  
 $N_2$  - мощность электродвигателя привода подачи, кВт;  
 $N_T$  - мощность подачи стола станка, кВт;  
 $N_{ae}$  - мощность подачи, определяемая процессом резания, кВт;  
 $P_z$  - окружная составляющая силы резания, Н;

- $P_H$  - сила подачи, необходимая для осуществления процесса резания, Н;
- $\eta_a$  - КПД привода подачи;
- $l_1$  - длина врезания фрезы в заготовку, мм;
- $l_2$  - длина перебега, мм;
- $\psi$  - угол контакта, град;
- $\varepsilon$  - угол входа зуба торцовой фрезы, град;
- $e$  - смещение заготовки относительно торцовой фрезы, мм;
- $\tau$  - машинное время обработки, мин;
- $K_H$  - коэффициент использования режущих свойств инструмента;
- $K_C$  - коэффициент загрузки станка;
- $V_B$  - скорость резания эталонного материала, м/мин;
- $K_W$  - коэффициент обрабатываемости материала по скорости резания.

## 1. ВИДЫ ОБРАБОТКИ И ДИАМЕТРЫ ФРЕЗ

Проектирование фрезерной операции начинают с выбора типа фрезы. Для этого анализируют чертеж детали, определяют обрабатываемые поверхности и величину снимаемого припуска, выбирают установочные базы и способ закрепления заготовки. Целесообразно весь припуск снять за один проход. Некоторые поверхности могут обрабатываться различными типами фрез. Так, например, обработку плоских поверхностей выполняют цилиндрическими (рис. 1, а) или торцовыми (рис. 1, б)



фрезами. Выбор той или другой фрезы зависит от размеров фрезеруемых поверхностей. При небольшой ширине фрезерования и значительной глубине следует применить цилиндрическую фрезу. В противном случае, наоборот, лучше использовать торцовую фрезу.

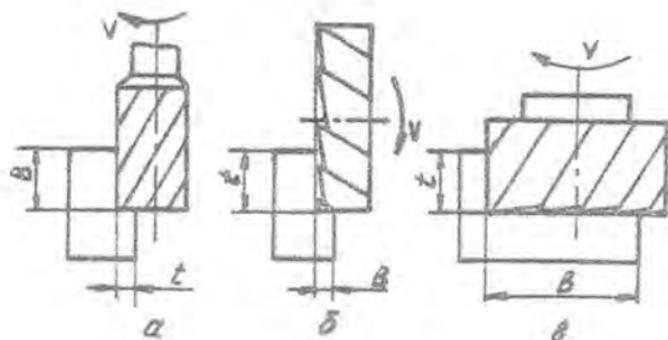
Обработка уступов производится концевыми (рис. 2, а), дисковыми (рис. 2, б) или торцовыми (рис. 2, в) фрезами. Выбор той или иной фрезы также зависит от величины снимаемого припуска. Обработка пазов выполняется концевыми (рис. 3, а) или дисковыми (рис. 3, б) фрезами. Более производительной является операция дискового фрезерования.

Рис. 1. Фрезерование плоских поверхностей

## ПРЕДИСЛОВИЕ

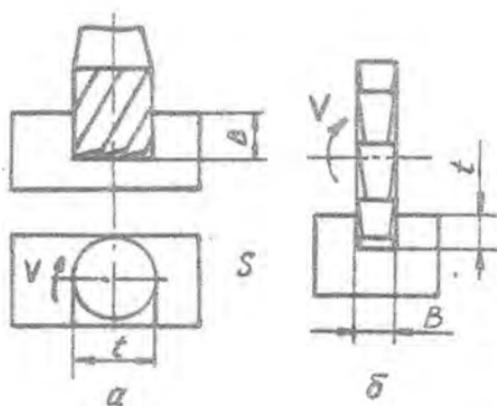
Правильное назначение параметров режима резания обеспечивает наименьшее машинное время обработки детали, наилучшее использование режущего инструмента. Сначала определяют группу обрабатываемого материала. На основании чертежа детали устанавливают тип фрезерования, основные конструктивные данные фрезы ( $D, Z$ ), инструментальный материал, геометрию заточки, глубину и ширину фрезерования ( $t, B$ ), число проходов  $i$ , стойкость фрез. Величину поправки находят по одному из трех вариантов в зависимости от имеющихся в пособии справочных сведений. Аналогично определяют скорость резания. Далее производят расчет скоростной ступени, ее уточнение и проверку по мощности станка. Для этого используют паспортные данные фрезерных станков, приведенные в прил. I.

При проведении расчета режима фрезерования на ЭВМ необходимо предварительно заполнить графы специального бланка, внося в него исходные и нормативные данные. Также нужно иметь паспортные данные станка. Программа составлена на алгоритмическом языке Бейсик для ДВК-3 (прил. 2). Для удобства пользования в прил. 3 приведены соотношения между пределом прочности и твердостью материалов.



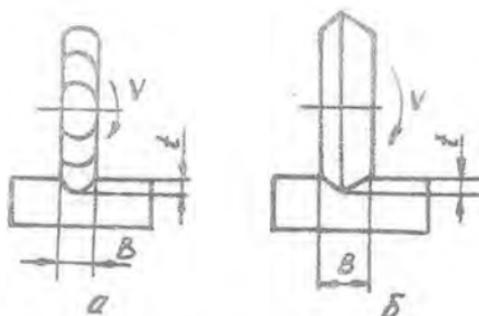
Р и с. 2. Фрезерование уступов

Обработка фасонными и угловыми фрезами показана на рис. 4, а, б. Диаметр концевой фрезы не должен превосходить величину двух радиусов сопряжения обрабатываемых поверхностей.



Р и с. 3. Фрезерование пазов

При выборе диаметра фрезы следует иметь в виду, что увеличение диаметра ведет к повышению жесткости и стойкости фрезы, уменьшению вибраций, увеличению прочности и снижению поломок. Однако с увеличением диаметра также увеличивается время на врезание, расход инструментального материала и стоимость фрезы, крутящий момент и мощность резания.



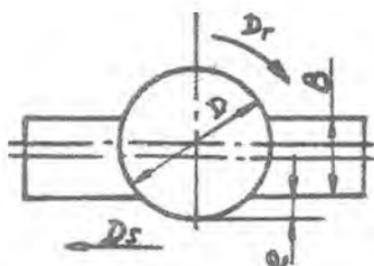
Р и с. 4. Фрезерование фасонных поверхностей

Диаметр фрезы часто определяется конструктивными ограничениями размеров детали или приспособления. При торцовом фрезеровании диаметр фрезы определяют ориентировочно в зависимости от ширины фрезерования

$$D = 1,6 B, \quad (1)$$

в саму заготовку рекомендуется смещать относительно оси фрезы таким образом (рис. 5), чтобы расстояние

$$e = (0,05 - 0,1) D. \quad (2)$$



Р и с. 5. Смещение заготовки относительно фрезы при торцовом фрезеровании

Для цилиндрических и дисковых фрез диаметр определяется в зависимости от ширины и глубины фрезерования (табл. I).

Диаметры цилиндрических и дисковых фрез  $D$ , мм [I]

Ц и л и н д р и ч е с к и е    ф р е з ы				
Ширина фрезерования $B$ , мм	Глубина резания $t$ , мм			
	2	5	8	10
70	63	80	100	100
100	80	100	100	100
150	100	125	125	160

Д и с к о в ы е    ф р е з ы						
Ширина фрезерования $B$ , мм	Глубина резания $t$ , мм					
	5	10	20	30	60	100
10	50	63	80	100	160	250
20	63	80	100	125	200	315
40	80	100	125	160	200	315

Наиболее распространенные диаметры концевых фрез составляют 20–32 мм.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Все конструкционные материалы по своему химическому составу, физико-механическим свойствам и обрабатываемости могут быть объединены в отдельные группы (табл. 2). Ниже приведена сокращенная классификация материалов, принятая в работе [2]. Сплавы I–III групп часто объединяют одним названием – цветные сплавы. Сплавы УП–XIV групп относят к труднообрабатываемым материалам. Высокопрочными сталями считают стали с  $\sigma_B \geq 1600$  МПа.

Следует заметить, что и в пределах одной группы в зависимости от химического состава и термической обработки материалы могут существенно отличаться по прочности и обрабатываемости. Поэтому многие коэффициенты, входящие в расчетные формулы, указываются для конкретных материалов. Более подробные сведения о группах обрабаты-

## Классификация сталей и сплавов

Обрабатываемый материал	Номер группы
Магниеые сплавы	I
Алюминиевые сплавы	II
Медные сплавы	III
Чугуны	IV
Углеродистые стали	V
Легированные стали	VI
Теплоустойчивые стали	VII
Коррозионно-стойкие стали	VIII
Жаропрочные деформируемые стали	IX
Коррозионно- и жаростойкие, жаропрочные деформируемые стали	X
Жаропрочные и жаростойкие деформируемые сплавы на никелевой основе	XI
Жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе	XII
Титановые сплавы	XIII
Высокопрочные стали	XIV

ваемых материалов приведены в табл. 3. Указанные там коэффициенты обрабатываемости, определяемые по формуле

$$K_{\text{вн}} = \frac{v}{v_0}$$

соответствуют твердосплавному инструменту. Здесь  $v$  - скорость резания обрабатываемого материала,  $v_0$  - скорость резания эталонного материала при прочих одинаковых условиях.

Т а б л и ц а 3

## Классификация обрабатываемых материалов [2]

## I. М а г н и е в ы е с п л а в ы

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	HB	$K_{\text{вн}}$
МЛ5	Закалка	195 - 245	-	1,0
МЛ10, МА5	Закалка	294	-	0,9
МА1	Без т/о	165 - 196	-	3,0
МА2	" "	215 - 245	-	2,5

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$K_{\psi}$
МАН	Отжиг	215 - 225	-	1,8

Примечание. За эталон принят сплав МЛ5.

П. А л ю м и н и е в ы е с п л а в ы

ДТАМ	Отжиг	150 - 240	-	1,0
ДТТ	Закалка и старение	350	-	1,0
АДО, АДУ	Без т/о	70 - 145	-	0,9
АЛ7-Т4	Закалка	196 - 206	60	
АЛ9-Т4	Закалка	294	70	0,9
АЛ2	Без т/о	147 - 157	50	0,6
АЛ4-Т6	Закалка и старение	207 - 265	70	0,8
АЛ9-Т4	Закалка	176 - 186	50	1,1
АМц	Без т/о	98	-	0,8
АМг3	Без т/о	176	-	2,5
АМг6	-"-	284 - 314	-	
АЛ8-Т4	Закалка	284	60	
АЛ13	Без т/о	167 - 176	55-90	1,1
АЛ27-Т4	Закалка	314	-	
АЛ29	Без т/о	206	60	
АВ ТТ	Закалка и старение	265 - 294	-	1,2
АЛ3	Без т/о	137 - 167	65	0,8
АЛ5-Т6	Закалка и старение	225	70	
АЛ6	Без т/о	147	45	
АЛ32	Без т/о	225	70	
В95-Т3	Закалка и старение	510 - 569	-	0,9
АК4-І		370 - 400	-	
АК6	-"-	360	-	1,1
АК8-ТТ	-"-	333 - 451	-	

Примечание. За эталон принят сплав ДЛ6.

## Ш. Медь и медные сплавы

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$K_{\text{V}}$
БрАЭ9-4		500	110-150	1,0
БрАМц9-2		500	115	1,0
БрАЭН10-4-4		640	170-220	0,8
БрОФ10-1		215 - 245	90	
ЛС59-1, Л68		300 - 500	-	1,0
Л63, Л63М		300 - 450	-	
БрБЭ	Нагартовка	735 - 980	-	0,6
БрОС10-10		196	65	
БрАЖСВ-2-2		180	75	1,3
БрА7			70	
БрОФ6, 5-0,4			85	1,7
БрОЦС6-6-3		176	60	2,2
М1, М1Р, М2, М2Р, М3, М3М, М4		186 - 196	50-80	2,6
БрОЦС4-4-17 БрМцСВ-20			35-40	4,0

Примечание. За эталон принят сплав БрАЭ9-4 с  $\sigma_B \leq 500$  МПа.

## IV. Чугуны

СЧ20		200	180-200	1,0
СЧ24		235	170-241	0,89
СЧ25		245	180-250	0,83
СЧ35		310	240-260	0,71
КЧ37-12			110-160	1,66
КЧ37-12			110-160	
КЧ40-3			180-200	0,89
ЧН15Д7		150	120-250	0,89

Примечание. За эталон принят сплав СЧ20.

## У. Углеродистые стали

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_b$ , МПа	НВ	$K_{W1}$
Ст0, Ст2		295 - 395	77-107	2,1
Ст.3, Ст.5, Ст.6		492 - 590	138-169	1,4
Ст.20, 25, 35, 35Л, 45		690 - 750	100-223	1,0
Ст.50, 60		850 - 980	248-288	0,68
А12, А15, А20, А50		395 - 492	107-138	2,2
		590 - 680	169-200	1,3
		750 - 850	223-248	0,96
У7, У8, У9, У10, У12, У13		590 - 690	169-200	0,8
		750 - 850	223-248	0,52
		980 - 1080	288-317	0,34

Примечание. За эталон принята сталь 45 с  $\sigma_b = 750$  МПа.

## У1. Легированные стали

15Х		395 - 492	116-146	1,61
38ХА		590 - 690	174-203	0,85
40Х		787 - 886	230-262	0,53
ШХ15		980 - 1080	288-317	0,36
30Н, 40Н		395 - 492	116-146	1,83
		590 - 690	174-203	1,0
		886 - 980	260-288	0,58
20Г, 40Г, 60Г, 70Г, 40Г2, 50Г2		395 - 492	160-200	1,4
		590 - 690	233-260	0,8
		787-886	275-286	0,53
		1080 - 1176	317-345	0,33
20ХГ, 40ХГ		490 - 590	146-174	0,91
18ХГТ		690 - 784	203-230	0,58
30ХГСА		882 - 980	260-288	0,41
45ХГСЛ		1080 - 1176	317-345	0,29
12ХН3А		395 - 492	116-146	1,67
12Х2Н4А		590 - 690	174-203	0,95
20Х2Н4А		787 - 886	230-260	0,58
37ХН3А		1080-1176	317-345	0,39

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_f$ , МПа	НВ	$K_{\text{VT}}$
38ХМА,	Закалка, отпуск	590 - 690	174-203	0,80
40ХНМА,		784 - 882	230-260	0,55
38ХМ0А,		1080 - 1176	317-345	0,34
65С2ВА		1860	285-321	0,35
12Х2НВ0МА		590 - 690	174-203	0,80
18ХНВА,		784 - 882	230-260	0,47
18Х2Н4МА, 20ХНФА		1130-1270		0,31
ХВГ	Отжиг Высокий отжиг Закалка		255 HRC 62	0,47 0,17
P905	Отжиг Закалка и отпуск		269 HRC 63	0,41 0,17

Примечание. За эталон принята сталь 45 с  $\sigma_f = 750$  МПа.

#### УП. Теплоустойчивые стали

12Х1МФ, 15Х6СД, 34ХНЗМ	Отжиг	650	180	1,8
20Х2МВФ (ЗМ415)	Закалка и отпуск	880 - 1300	262-363	1,4
25Х2Н4МА	Отжиг	900 - 1000	262-285	
34ХНЗМФ	—"	600 - 800	174-235	1,2

#### УП. Коррозионно-стойкие стали

03Х12Н10МТ	Закалка и отпуск	970 - 1050	277-302	1,2
07Х16Н6	Нормализация и отпуск	1000	285	1,0
09Х15Н80	Закалка	700 - 1100	212-311	0,9
09Х16Н4Б	Закалка и отпуск	1300 - 1700	363-460	0,6
		1700	460	0,3
Х15Н5МФБ		1200	341	0,7
Х17Н5МЗ	Закалка	700 - 1100	212-311	
12Х21Н5Т		700	212	0,9
40Х13	Закалка и отпуск	750 - 1100	225-311	1,0

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$K_{\sigma T}$
95X18	Отжиг	1100 - 1400	311-388	0,6
95X18-Ш	Отжиг, закалка и отпуск	1900	550	0,24

## IX. Жаропрочные деформируемые стали

08X15H24B4TP	Закалка и старение	700	212	0,6
10X11H20T2P	" "	880	262	0,45
10X12HBMΦA	" "	882	262	I, I
15X12BHMO	Закалка и отпуск	750	223	0,9
16X11H2B2MΦ	Нормализация, закалка и отпуск	1000	285	I, 3
37X12H8Г8MΦБ	Закалка и старение	900 - 1120	262-321	0,65
45X14H14B2M	" "	720	217	0,8

## X. Коррозионно- и жаростойкие, жаропрочные деформируемые стали

12X18H9	Закалка	540 - 610	145-175	I, 0
20X13	Закалка и отпуск	750 - 1100	225-311	I, 0
14X17H2	Отжиг, закалка и отпуск	1100 - 1400	311-383	0,6
10X23H18	Закалка	500 - 600	146-190	I, 2
12X25H16Г7AP	Закалка и старение	800	235	0,43
12X13	Закалка и отпуск	600	174	I, 4
12X18H10T	Закалка	540 - 610	143-175	I, 0

XI. Жаропрочные и жаростойкие деформируемые сплавы на никелевой основе

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$K_{\text{У}}$
XH35BTU	Закалка и стар.	882 - 931	262-269	0,35
XH28MAB	Закалка	900	262	0,35
XH45MVTUOBP	"-	833 - 980	248-285	0,35
XH55BMTKU	Закалка и старение	1000 - 1300	285-363	0,24
XH56BT	Закалка	833 - 882	248-262	0,35
XH56BMTU	Закалка и старение	900 - 1000	262-285	0,2
XH60BT	Закалка	750	223	0,45
XH60BMTU	Закалка и старение	911 - 1098	265-321	0,35
XH62MBKU	"-	1100 - 1250	311-352	0,15
XH65BMTU	"-	850 - 1000	248-285	0,2
XH67BMTU	"-	1000	285	0,15
XH70BMTU	"-	1000	285	0,2
XH73BMTU	"-	950 - 1225	269-341	0,3
XH75BMO (ЭИ827)	"-	950 - 1180	269-341	0,15
XH77TUP	"-	833 - 1098	248-321	0,32
XH78T	Закалка	730 - 780	217-229	0,4

XII. Жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе

ВНЛ-1	Закалка и отпуск	1000 - 1170	285-341	0,4
ВХ9Л-ВН	Закалка и старение	780	229	0,24
ВНЛ-2	Закалка	735	217	0,12
ЖС6-К, ЖС6У-ВН	Закалка и старение	882 - 931	262-269	0,1

ХIII. Сплавы на титановой  
основе

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$K_{Vt}$
BT1	Отжиг	450 - 700	126-212	1,2
BT4, BT4, BT5	-"-	588 - 1029	167-302	0,8
BT6, BT20	Отжиг, без т/о	833 - 1150	248-331	0,6
BT14	Отжиг	820 - 1100	241-311	0,6
BT15, BT22	Закалка и старение	1100 - 1350	311-375	0,48
BT3-I, BT8, BT9, BT18	Отжиг Закалка Старение	950 - 1200	269 - 341	0,4

ХIV. Высокопрочные стали  
( $\sigma_B \geq 1600$  МПа)

28X3CHM6FA	Закалка и отпуск	1600	450	0,44
38X3CHM6FA	-"-	1700	460	0,36
43X3CHM6FA	Закалка	2100	-	0,24
ВНД-6	Закалка и отпуск	2000	-	0,2

Примечание. Коэффициенты обрабатываемости по скорости резания приведены для твердосплавного инструмента. Для всех труднообрабатываемых материалов коэффициент обрабатываемости указан по отношению к стали 12X18H10T, принятой здесь за эталон.

### 3. ВЫБОР МАРКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

В качестве инструментального материала для фрез чаще всего используют быстрорежущие стали и твердые сплавы. Из быстрорежущих сталей изготавливают: цельные концевые и цилиндрические фрезы; составные концевые и цилиндрические, имеющие корпус или хвостовик из конструкционной стали; фасонные; дисковые прорезные и пазовые; торцовые фрезы небольших размеров.

Металлокерамические твердые сплавы применяют для изготовления следующих типов фрез: составные и сборные цилиндрические фрезы со спиральным зубом; торцовые головки со вставными ножами, оснащенными припаянными пластинками твердых сплавов; торцовые головки с механическим креплением твердосплавных пластин, в том числе многогранных неперегачиваемых пластин; дисковые фрезы с напаянными пластинами и с механическим креплением твердосплавных пластин. Твердые сплавы отличаются от быстрорежущих сталей более высокой твердостью, тепло- и износостойкостью, но уступают быстрорежущей стали по прочности. Поэтому их применять можно в том случае, если избыточные напряжения не будут являться главным фактором, определяющим стойкость инструмента.

На основании имеющихся результатов исследований составлены рекомендации по применению быстрорежущих сталей и твердых сплавов (табл. 4, 5, 6) в зависимости от обрабатываемого материала [1, 2, 3, 4].

Т а б л и ц а 4

Назначение быстрорежущей стали

Номер группы обрабатываемого материала	Марка стали
I - III	P6M5, IOP6M5
IV - XI	P6M5, IOP6M5, P6M3, P9
УП - УШ	P6M5K5, P9Ф2K10, P12
IX - XII	P9K5, P9M4K8, P12Ф2K8M3, P18Ф2K8M
XIII	P9M4K8, P6M5K5, P9K5, P12Ф4K5
XIV	

Т а б л и ц а 5

Назначение твердого сплава

Номер группы обрабатываемого материала	Марка при фрезеровании	
	черновом	чистовом
I - III	BK6M, BK8	BK3M, BK4
IV	BK6, BK8, BK10-OM	BK4, BK6M
V - VI	T15K6, T17K12	T14K8, T3OK4
УП	T15K6, T5K10	T14K8, T15K6

Номер группы обрабатываемого материала	Марка при фрезеровании	
	черновом	чистовом
УГ - ХШ	ВК6М, ВК8, ВК10-ОМ ВК10М	ВК8, ВК8В, ВК6М, ВК10-ОМ
Х1У	Т15К6, ВК6М, ВК8, ТТ10К8Б	Т15К6, Т30К4, ВК3М, ВК6М

Т а б л и ц а 6

Относительная стойкость инструментов из некоторых марок быстрорежущих сталей, %

Марка инструментального материала	Материалы заготовки		
	Сталь		Труднообрабатываемые
	конструкционная	легированная	
Р18	100	100	100
Р12	100	90	70
Р14Ф4	150	150	150
Р9К10	200	200	200
Р9М4К8	250	300	300
Р6М5	100	80	60
Р6М5К5	150	150	200
Р6М5К8Ф2	150	170	250

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЗАТОЧКИ ФРЕЗ

Правильное назначение углов заточки оказывает существенное влияние на стойкость режущего инструмента. Величины передних углов зависят от обрабатываемого и инструментального материалов, типа фрез (табл. 7).

Оптимальные величины задних углов для всех обрабатываемых материалов, быстрорежущих и твердосплавных фрез составляют  $\alpha = 14-18^\circ$ .

Рекомендуемые значения передних углов фрез, град [1,2,3]

Группа материалов	Фрезы из быстрорежущей стали				Твердосплавные	
	торцовые	цилиндрические	концевые	дисковые	торцовые	дисковые
I, II	25	25	25	25	10-15	-
III	10	10	15	10	10-15	-
IV	10-15	10-15	15	10	5	5
V, VI	15	12	8	10	5-8	5
УП - XII	12	15	5-10	12	8	5...-5
XIII	10	10	5-8	10	5	5
XIV	-	-	-	-	-5	-5

Углы в плане для торцовых твердосплавных фрез принимают  $\varphi = 45-75^\circ$ ,  $\varphi_0 = 20^\circ$ ,  $\varphi_1 = 3-5^\circ$ . Углы спирали зубьев фрез составляют  $\omega = 10-15^\circ$  для торцовых и дисковых фрез,  $\omega = 20-45^\circ$  для цилиндрических и концевых фрез. Передние углы по торцу для концевых и торцовых фрез из быстрорежущих сталей составляют  $\gamma_1 = 10-18^\circ$  для обработки материалов I-III групп и  $\gamma_1 = 5-10^\circ$  для остальных материалов. Для твердосплавных фрез  $\gamma_1 = 5-10^\circ$ .

Задние углы по торцу принимают  $\alpha_1 = 6-12^\circ$ .

## 5. ГЛУБИНА И ШИРИНА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Глубину фрезерования обычно выбирают максимальной величины, стремясь снять весь припуск за один проход. При высоких требованиях к точности и шероховатости обработанных поверхностей процесс фрезерования ведут в несколько проходов. В этом случае припуск, подлежащий снятию, разбивают на части таким образом, чтобы на чистой проход осталось 0,50-1,0 мм. Некоторые практические рекомендации по выбору глубины резания приведены ниже (табл. 8, 9).

Глубина резания при дисковом фрезеровании зависит от конструктивных размеров детали и может составлять до 100 мм. При цилиндрическом фрезеровании  $t = 2-10$  мм.

Ширина фрезерования при работе торцовыми фрезами может быть от нескольких миллиметров до диаметра фрезы; при концевом фрезе-

Т а б л и ц а 8

Допустимая глубина резания при фрезеровании торцовыми фрезами труднообрабатываемых материалов [4]

Группы материалов	$\sigma_B$ , МПа	$t$ , мм	Группы материалов	$\sigma_B$ МПа	$t$ , мм
УП	-	8	УШ	1400-1600	
УШ	1200		XI-XII	-	4
			XIII	1200	
УШ	1200-1400		XIV	1600-1800	3
IX	-	5		1800	2
XII	1200				

ровании - не более двух диаметров фрезы; при дисковом - от нескольких миллиметров до ширины фрезы; при цилиндрическом - меньше длины фрезы.

Т а б л и ц а 9

Допустимая глубина резания при фрезеровании материалов УП - XIV групп концевыми фрезами [4]

$D$ , мм	$Z$	$t$ , мм	$D$ , мм	$Z$	$t$ , мм
16-25	3-4	3	40	4-6	8
30	4	5	50	4-6	12

## 6. НАЗНАЧЕНИЕ ЧИСЛА ЗУБЬЕВ ФРЕЗ

Число зубьев фрез определяют по формуле [9]

$$Z = \frac{C_2 D}{(t S_2)^{0,5}}$$

где  $C_2 = 0,2$  для цилиндрических, концевых и дисковых фрез;  
 $C_2 = 0,6$  для торцовых фрез.

Число зубьев для фасонных фрез находят из зависимости [10]

$$Z = \frac{\sqrt{D}}{A h_1}$$

где  $A = 1,8-2,5$  для черновых фрез;

$A = 1,3-1,8$  для чистовых;

$h_1 = h + (1-3)$  мм;

$h$  - глубина обрабатываемого профиля, мм.

Расчетные величины округляют до целого, лучше четного числа. Некоторые конкретные значения могут быть взяты из табл. 10-12.

Т а б л и ц а 10

Числа зубьев цельных фрез [9]

Область применения	Вид фрезы							
	цилиндрическая		концевая		дисковая		торцовая	
	$D$	$Z$	$D$	$Z$	$D$	$Z$	$D$	$Z$
Обработка хрупких материалов с малыми глубинами	40	8-10	2-4	4	-	-	40	12
	50	8-10	6-8	5	50	14	50	14
	63	10-12	10-18	6	63	16	63	16
	80	10-14	20-30	8	80	18	80	18
	100	14-18	32-40	10	100	20	100	20
	125	16-20	50	12	125	22	125	22
	160	16-22	63	14	160	26	160	24
	-	-	-	-	200	30	-	-
Обработка сталей и обработка с увеличенными глубинами и подачами	40	6	2-6	3	-	-	40	8
	50	6	6-18	4	50	10	50	8
	63	8	20-30	5	63	10	63	10
	80	8	32-40	6	80	12	80	10
	100	10	50-63	8	100	14	100	12
	125	10	-	-	125	16	125	14
	160	12	-	-	160	18	160	16
	-	-	-	-	200	20	200	20
Обработка легких сплавов	40	3	2-6	2	-	-	40	4
	50	4	8-20	3	50	4	50	5
	63	4	22-45	4	63	6	63	5
	80	4	50-63	5	80	6	80	6
	100	5	-	-	100	8	100	6

Область применения	Вид фрезы							
	цилиндрическая		концевая		дисковая		торцовая	
	<i>D</i>	<i>Z</i>	<i>D</i>	<i>Z</i>	<i>D</i>	<i>Z</i>	<i>D</i>	<i>Z</i>
Обработка легких сплавов	125	6	-	-	125	8	125	8
	-	-	-	-	160	10	160	8
	-	-	-	-	200	10	200	10

Т а б л и ц а 11

Числа зубьев фасонных затылованных фрез [10]

<i>D</i> , мм	40-50	55-65	70-80	85-120	130-180	195-230
<i>Z</i>	18-14	14-12	12	10	9	8

Т а б л и ц а 12

Числа зубьев фрез с твердосплавными пластинами [11],[6]

Вид фрезы							
цилиндрическая		концевая		дисковая		торцовая	
<i>D</i>	<i>Z</i>	<i>D</i>	<i>Z</i>	<i>D</i>	<i>Z</i>	<i>D</i>	<i>Z</i>
110	4-6	10	2	100	8	100-125	8
130	8	16-20	3	125	10	160	10
-	-	25-32	4-5	160	12	200	12
-	-	40-50	6	200-250	14-18	250	14
-	-	-	-	315	20	315	18
-	-	-	-	-	-	400	20

При выборе фрезы по ГОСТу число зубьев назначают в соответствии со стандартом.

## 7. ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ФРЕЗ

Износ фрез происходит главным образом по задней поверхности. Допустимая величина износа в среднем составляет  $h_3 = 0,5-0,8$  мм в виде ленточки по задней поверхности при черновом фрезеровании и  $h_3 = 0,25-0,4$  мм при чистовом фрезеровании. Кроме износа в виде истирания при фрезеровании труднообрабатываемых материалов твердосплавными фрезами наблюдаются выкрошки и сколы режущего лезвия.

Стойкость фрез зависит от многих факторов. Она может быть определена периодом сменности инструментов или временем непрерывной работы по программе. Чем больше диаметр фрезы и сложнее конструкция, тем дороже фреза и больше должна быть ее стойкость (табл. 13).

Т а б л и ц а 13

Средние нормативные периоды стойкости фрез [1]

Фрезы	Диаметр фрезы $D$ , мм	Период стойкости $T$ , мин	
		твердосплавные	из быстрорежущей стали
Торцовые	До 40	-	120
	до 63	120	180
	80-100	180	180
	125-160	180	180
	200-250	240	240
Цилиндрические цельные	До 63	-	120
	100	-	180
Цилиндрические со вставными ножами	63-125	180	180
	160-250	-	180
Концевые	До 20	120	60
	25	90	60
	40	120	90
	63	180	120
Дисковые	До 80	120	120
	100	120	120
	125-160	180	150

Фрезы	Диаметр фрезы $D$ , мм	Период стойкости $T$ , мин	
		твердосплавные	из быстрорежущей стали
Дисковые	200	240	180
	250	240	240
Фасонные, угловые	63-80	-	120
	100	-	180

Ориентировочное значение стойкости фрезы может быть подсчитано по формуле [5]

$$T = C_T D^x.$$

Необходимые сведения приведены в табл. 14.

Т а б л и ц а 14

Данные для подсчета стойкости фрезы [5]

Инструментальный материал	Тип фрезы	$C_T$	$x$
Быстрорежущая сталь	Торцовые и дисковые	3,18	0,75
	Цилиндрические	0,625	1,3
	Прорезные	3,74	0,35
	Радиусные	2,5	0,8
	Двухугловые	5,34	0,8
Твердый сплав	Торцовые и дисковые	0,81	1,1
	Двухсторонние	2,53	0,9

По данным работы [2] для всех видов фрез из быстрорежущей стали можно принять  $T = 60-90$  мин, для твердосплавных -  $T = 120$  мин.

Рациональные значения стойкости фрез [9] составляют  $T = (1-3)D$ , где наибольшие значения соответствуют фрезам малого диаметра.

При обработке жаропрочных и нержавеющей сталей следует принять  $T = 60$  мин для концевых фрез,  $T = 90$  мин — для дисковых и цилиндрических и  $T = 120$  мин для сборных торцовых фрез.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ

Расчетные формулы для подачи на зуб для различных обрабатываемых материалов приведены ниже. Иногда в таблицах указаны окончательные средние значения подачи на зуб  $S_z$ , не требующие применения поправочных коэффициентов (табл. 19, 22–24, 26–28, 30).

### 8.1. Подачи на зуб при фрезеровании материалов У–ХП и XIV группы торцовыми, концевыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами:

Для материалов У–ХП и XIV группы значение подачи для всех видов фрезерования быстрорежущими и твердосплавными фрезами определяются по формуле

$$S_z = \frac{C_s D^A K_s}{t P B w} \quad (3)$$

Необходимые для расчета данные приведены в табл. 15.

Т а б л и ц а 15

Исходные данные к расчету подачи  
для быстрорежущих и твердосплавных фрез [2]

Фрезы	Группы обрабатываемых материалов	$C_s$	$\mu$	$P$	$w$
Торцовые	Стали (У–Х, XIV)	0,03	0,62	0,33	0,19
	Сплавы (XI–XII)	0,024	0,62	0,33	0,19
Концевые	Стали (У–Х, XIV)	0,0216	0,75	0,22	0,1
	Сплавы (XI, XII)	0,0173	0,75	0,22	0,1
Дисковые	Стали (У–Х, XIV)	0,078	0,82	0,5	0,32
	Сплавы (XI, XII)	0,0704	0,82	0,5	0,32
Цилиндрические	Стали (У–Х, XIV)	0,011	1,04	0,49	0,17
	Сплавы (XI, XII)	0,0088	1,04	0,49	0,17

Примечание. Для дисковых фрез в формуле (3) необходимо добавить в знаменателе величину  $Z^{0,48}$ .

Коэффициент  $K_S$  представляет собой произведение нескольких коэффициентов

$$K_S = K_{S1} K_{S2} K_{S3} K_{S4} \quad (4)$$

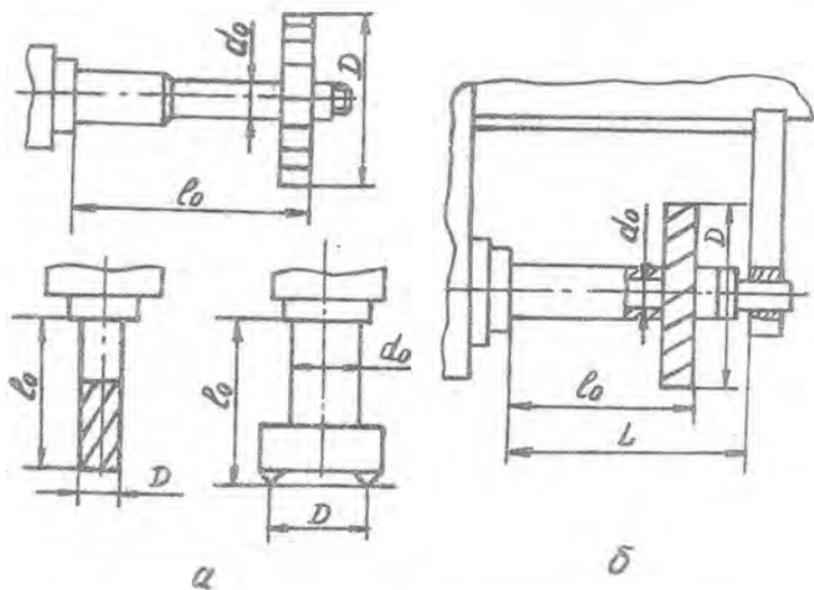
где  $K_{S1}$  - коэффициент, учитывающий жесткость упругой системы СПИД;

$K_{S2}$  - коэффициент, учитывающий инструментальный материал;

$K_{S3}$  - коэффициент, учитывающий шероховатость обработанной поверхности;

$K_{S4}$  - коэффициент, учитывающий форму обрабатываемой поверхности.

Коэффициент  $K_{S1}$ , учитывающий жесткость упругой системы СПИД, определяется в зависимости от мощности станка, отношения длины вылета к диаметру оправки (или самого инструмента) и наличия второй опоры (рис. 6 а, б). Коэффициент  $K_{S1}$  находят соответ- венно по табл. 16, 17.



Р и с. 6. Типовые схемы закрепления фрез: а - консольное; б - оправка с дополнительной опорой

## Шифр типовой схемы фрезерования [2]

## Станки группы №1

Схема закрепл.	Фрезы	Диаметр фрезы или оправки, мм, до	Шифр типовой схемы					
			I	II	III	IV	V	VI
			отношение вылета к диаметру ( $l_0/d_0$ )					
а	Концевые, дисковые, цилиндрические	15	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
		30	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
		60	3,5	4,0	5,0	7,0	-	-
		Свыше 60		2,0	-	-	-	-
б	Дисковые, цилиндрические, фасонные	100	200	250	300	350	400	-
		200	400	475	550	650	800	-
		Свыше 200	600	650	750	900	1000	-
а	Торцовые	100					II	
		200					I	

## Станки группы №2

а	Концевые, дисковые, цилиндрические	1,5	-	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
		3,0	-	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
		6,0	-	3,5	4,0	5,0	7,0	-
		Свыше 60	-	2,0	-	-	-	-
б	Дисковые, цилиндрические, фасонные	100	-	200	250	300	350	-
		200	-	400	475	550	650	-
		Свыше 200	-	600	650	750	900	-
а	Торцовые	70					III	
		120					II	

## Станки группы №3

а	Концевые, дисковые, цилиндрические	15	-	-	1,5	2,0	3,0	4,0
		30	-	-	2,0	3,0	4,0	5,0
		60	-	-	3,5	4,0	5,0	6,0
		Свыше 60	-	-	2,0	-	-	-

Схема загрелл.	Фрезы	Диаметр фрезы или оправки, мм	Шифр типовой схемы					
			I	II	III	IV	V	VI
			длина оправки $L$ , мм					
а	Дисковые цилиндрические фасонные	100	-	-	200	250	300	-
		200	-	-	400	475	550	-
		Свыше 200	-	-	600	650	750	-
а	Торцовые	70				IV		
		120				III		

## Станки группы № 4

а	Концевые дисковые цилиндрические	15	-	-	-	1,5	2,0	3,0
		30	-	-	-	2,0	3,0	4,0
		60	-	-	-	3,5	4,0	5,0
		Свыше 60					1,5	
			длина оправки $L$ , мм					
б	Дисковые цилиндрические фасонные	100	-	-	-	200	250	-
		200	-	-	-	400	475	-
		Свыше 200	-	-	-	600	650	-
а	Торцовые	70				IV		

Примечание. К станкам группы № 1 относятся 6Н13, 6Н14, 6Н82Г, 683, 684, 6Н83Г, 6Н81Г, 6Н84 и др. с  $F \geq 320 \times 1200$  мм,  $N = 7$  кВт.

К станкам группы № 2 относятся 6Н11, 612, 681Г, 6Н81, 6Н81Г и др. с  $F \geq 250 \times 1000$  мм,  $N = 4,5-7,0$  кВт.

К станкам группы № 3 относятся 6Н11, 612, 6Б12, 6Н81, 681Г, 6Н81А, 6Б82, 6Б82Г и др. с  $F \geq 250 \times 1200$  мм,  $N = 2,8-4,5$  кВт.

К станкам группы № 4 относятся 610, 610М, 678, 679, 680, 680М, 6П80Г, 681Г и др. с  $F \geq 180 \times 600$  мм,  $N = 2,8$  кВт.

Поправочный коэффициент на подачу  $K_{S1}$ 

Фрезы	Шифр типовой схемы					
	I	II	III	IV	V	VI
Торцовые	1,2	1,0	0,75	0,6	—	—
Концевые	1,2	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
Дисковые	1,2	1,0	0,85	0,65	0,5	0,4
Цилиндрические	1,2	1,0	0,75	0,6	—	—

Необходимые для расчета данные приведены в табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Поправочные коэффициенты на подачу  $K_{S2}, K_{S3}, K_{S4}$  [2]

Материал инструмента	Быстрорежущая сталь		Твердый сплав	
$K_{S2}$	1,0		0,85	
Параметр шероховатости $R_z$ , мкм	320-160	160-80	80-40	10-6,3
$K_{S3}$	1,3	1,0	0,5	0,25
Вид обрабатываемой поверхности	Плоскость, уступ	Паз, колодец	Фасонный профиль	
$K_{S4}$	1,0	0,66	0,57	

### 8.2. Подачи на зуб при фрезеровании материалов

#### I-IV и VIII групп торцовыми фрезами

Расчетная формула для подачи на зуб  $S_z$  может быть записана также в виде

$$S_z = S_{zT} K_S, \quad (5)$$

где  $S_{zT}$  — табличное значение подачи;

$K_S$  — поправочный коэффициент, определяемый по формуле (4).

Исходные данные приведены в табл. 19, 20.

Подачи  $S_z$  при фрезеровании материалов  
I-IV групп торцовыми фрезами из быстрорежущей стали [1]

Номер группы обрабатываемого материала	Торцовые фрезы			
	цельные		сборные	
I	0,11 - 0,48		-	
II	0,05 - 0,25		0,05 - 0,25	
III, IV	Мощность станка, кВт	Жесткость системы СПИД	Фрезы с крупным зубом	Фрезы с мелким зубом
	До 5	Средняя	0,15-0,3	0,12-0,2
		Пониженная	0,10-0,2	0,08-0,15
	Свыше 5	Повышенная	0,30-0,5	0,20-0,3
		Средняя	0,20-0,4	0,15-0,3
		Пониженная	0,15-0,25	0,10-0,2
Свыше 10	—»—	0,40-0,6	-	
	—»—	0,30-0,5	-	
	—»—	0,20-0,3	-	

Т а б л и ц а 20

Подачи на зуб  $S_{zT}$  при фрезеровании торцовыми фрезами с пластинами из твердого сплава [2]

Группы материалов	Диаметр фрезы $D$ , мм	Глубина фрезерования $t$ , мм		
		5	10	16
I	100	0,37	0,30	0,26
	200	0,42	0,33	0,28
II	100	0,30	0,22	0,18
	200	0,33	0,26	0,23
III	100	0,30	0,22	0,20
	200	0,33	0,26	0,23
IV	100	0,24	0,20	0,15
	200	0,30	0,25	0,16

Группы матери- алов	Диаметр фрезы $D$ , мм	Глубина фрезерования $t$ , мм		
		5	10	16
XIII	100	0,07	0,05	0,03
	200	0,11	0,08	0,07

Примечание. Коэффициент  $K_s$  находим по формуле (4).

8.3. Подачи на зуб при фрезеровании материалов  
I-IV и XIII групп концевыми фрезами

Исходные данные приведены в табл. 21-24.

Т а б л и ц а 21

Подачи на зуб  $S_{zT}$  при фрезеровании концевыми фрезами  
из быстрорежущих сталей

Группы материалов	Диаметр фрезы, $D$ , мм	Глубина резания $t$ , мм			
		5	10	15	20
I-IV	16	0,10	0,08		
	20	0,12	0,10		
	25	0,15	0,12		
	30	0,18	0,15	0,12	0,10
XIII	16	0,05	0,04	0,03	
	20	0,07	0,06	0,05	0,04
	25	0,08	0,07	0,06	0,05
	30	0,11	0,08	0,07	0,06

Примечание. Коэффициент  $K_s$  находим по формуле (4).

Подачи на зуб  $S_z$  при фрезеровании материалов  
II, III групп концевыми твердосплавными фрезами [13]

$D$ , мм	$Z$	$t$ , мм	$B$ , мм			
			5	10	18	30
16	3	4	0,17	0,14	0,10	0,07
		8	0,13	0,08	0,06	0,05
25	3	6	0,23	0,18	0,14	0,12
		10	0,18	0,13	0,10	0,09
32	4	8	0,25	0,18	0,14	0,12
		14	0,18	0,14	0,12	0,09

Т а б л и ц а 23

Подачи  $S_z$  при фрезеровании сплавов IV группы  
концевыми фрезами с пластинами из твердых сплавов [3]

$t \times B$ , мм <sup>2</sup>	Диаметр фрезы $D$ , мм			
	16	20	25	32
10	0,15	0,19	0,24	-
20	0,12	0,15	0,19	0,20
40	0,08	0,12	0,15	0,15
65	0,06	0,08	0,11	0,12
80	0,05	0,07	0,10	0,11
100	0,04	0,06	0,08	0,10

Т а б л и ц а 24

Подачи  $S_z$  при фрезеровании сплавов III группы  
концевыми фрезами с пластинами из твердых сплавов [4]

Сплавы с  $\sigma_B < 1200$  МПа

$D$ , мм	$Z$	$S_z$ при $t$ , мм			
		3	5	8	12
25	4	0,08-0,1	-	-	-
30		0,08-0,1	0,06-0,08	-	-

$D$ , мм	$Z$	$S_z$ при $t$ , мм			
		3	5	8	12
40	6	0,1-0,12	0,08-0,1	0,06-0,08	-
50		0,1-0,12	0,08-0,1	0,06-0,08	0,04-0,06
Сплавы с $\sigma_B > 1200$ МПа					
25	4	0,06-0,08	-	-	-
30	-	0,06-0,08	0,04-0,06	-	-
40	-	0,08-0,1	0,06-0,08	0,04-0,06	-
50	-	0,08-0,1	0,06-0,08	0,04-0,06	0,03-0,04

8.4. Подачи на зуб при фрезеровании материалов I-IV и XII группы дисковыми фрезами

Исходные данные приведены в табл. 25-28.

Т а б л и ц а 25

Подачи на зуб  $S_{zT}$  при фрезеровании дисковыми фрезами из быстрорежущих сталей [2]

Группы материалов	Диаметр фрезы, $D$ , мм	Глубина резания $t$ , мм			
		5	10	15	20
I-IV	100	0,25	0,22	0,20	0,17
	150	0,28	0,24	0,22	0,18
	250	0,32	0,28	0,24	0,20
XII	100	0,12	0,10	0,09	0,08
	150	0,15	0,13	0,11	0,09
	250	0,18	0,15	0,13	0,11

Примечание. Коэффициент  $K_S$  находим по формуле (4).

Подача на зуб  $S_z$  при фрезеровании дисковыми твердосплавными фрезами материалов II, III группы [13]

$D$ , мм	$Z$	$B$ , мм	$t$ , мм			
			5	10	20	40
63	18	10	0,14	0,10	0,07	—
		16	0,13	0,09	0,06	—
100	18	16	0,20	0,14	0,10	—
		28	0,18	0,13	0,09	—
100	18	16	0,41	0,29	0,20	0,14
		40	0,34	0,24	0,17	0,12

Таблица 27

Подачи на зуб  $S_z$  при фрезеровании материалов IV группы дисковыми твердосплавными фрезами [8]

Глубина резания $t$ , мм	Плоскость		Пазы	
	HB			
	до 229	свыше 229	до 229	свыше 229
До 2	0,15 - 0,25	0,12 - 0,2		
2-5	0,12 - 0,2	0,10 - 0,15	0,07 - 0,15	0,08 - 0,12
Свыше 5	0,10 - 0,15	0,08 - 0,12		

Таблица 28

Подачи  $S_z$  при фрезеровании сплавов XII группы дисковыми твердосплавными фрезами [4], [6]

Дисковые цельные фрезы из твердого сплава BK10M

$D$ , мм	$Z$	$\sigma_B$ , МПа	$B$ , мм	$t$ , мм	$S_z$ , мм/зуб.
60-70	18-20	700-1400	I-4	До 3	0,05-0,08
				3-6	0,04-0,06
				6-9	0,02-0,04

## Сборные дисковые двух- и трехсторонние фрезы

$D, \text{мм}$	$Z$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$B, \text{мм}$	$t, \text{мм}$	$S_Z, \text{мм/зуб}$
250	16	700-1400	2,0-2,5	75	0,10-0,25

8.5. Подачи на зуб при фрезеровании материалов  
I-IV и XIII групп цилиндрическими фрезами

Исходные данные представлены в табл. 29, 30.

Таблица 29

Подачи на зуб  $S_{ZT}$  при фрезеровании  
цилиндрическими фрезами из быстрорежущих сталей [2]

Группы материалов	Глубина резания $t, \text{мм}$				
	2	3	4	6	10
I, II	-	-	0,32	0,25	0,20
III, IV	0,38	0,35	0,27	0,22	0,18
XIII	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04

Примечание. Коэффициент  $K_s$  находим по формуле (4).

Таблица 30

Подача на зуб  $S_Z$  при фрезеровании материалов  
IV группы цилиндрическими твердосплавными  
фрезами [14],[15]

$D, \text{мм}$	$B \times t, \text{мм}^2$			
	50	100	200	400
63	0,6	0,37	0,23	0,14
80	-	0,50	0,31	0,19
100	-	-	0,41	0,25
125	-	-	-	0,33

## 9. РАСЧЕТ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ

Скорость резания при фрезеровании может быть определена по формуле [2]

$$v = v_T K_v,$$

где  $v_T$  - табличное значение скорости резания;

$K_v$  - поправочный коэффициент на изменение условия резания.

Коэффициент  $K_v$  определяется по формуле [2]

$$K_v = K_{v1} K_{v2} K_{v3} K_{v4} K_{v5} K_{v6} K_{v7} K_{v8},$$

где  $K_{v1}$  - коэффициент, учитывающий марку обрабатываемого материала;

$K_{v2}$  - коэффициент, учитывающий марку инструментального материала;

$K_{v3}$  - коэффициент, учитывающий состояние обрабатываемой поверхности;

$K_{v4}$  - коэффициент, учитывающий шифр типовой схемы фрезерования;

$K_{v5}$  - коэффициент, учитывающий форму обрабатываемой поверхности;

$K_{v6}$  - коэффициент, учитывающий условия обработки;

$K_{v7}$  - коэффициент, учитывающий отношение фактической ширины фрезерования к нормативной;

$K_{v8}$  - коэффициент, учитывающий главный угол в плане.

При отсутствии величин каких-либо поправочных коэффициентов в формуле для  $K_v$  следует принять их значение за единицу. Скорость резания также может быть определена по формуле [4]

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m B^r t^x S_z^y Z^u}.$$

Коэффициенты  $C_v$  и показатели степеней  $q, m, r, x, y, u$  для некоторых условий фрезерования приведены ниже.

Табличное определение скорости резания отличается простотой и не требует больших вычислений. Однако оно не охватывает всех возможных изменений зависимых параметров вследствие дискретнос-

ти приводимых данных. При необходимости определения функции пропущенного аргумента следует по табличным данным найти их зависимость и произвести расчет. Например, требуется найти скорость резания для пропущенного значения подачи. В общем виде зависимость скорости резания от подачи имеет вид

$$v = \frac{C}{S_z^y}$$

Представим эту зависимость для двух подач как

$$v_T = \frac{C}{S_{zT}^y}; \quad v = \frac{C}{S_z^y}$$

откуда

$$v = v_T \left( \frac{S_{zT}}{S_z} \right)^y,$$

где  $v_T$  и  $S_{zT}$  — табличные значения;

$v$  и  $S_z$  — фактические значения.

Показатель степени  $y$  равен тангенсу угла наклона зависимости "скорость — подача" в логарифмических координатах, график которой строится по табличным значениям.

Для отдельных случаев фрезерования скорость резания приведена конкретными значениями, не требующими применения поправочных коэффициентов (табл. 31–33, 47, 48, 51, 52, 57).

### 9.1. Скорость резания при торцовом фрезеровании

Исходные данные приведены в табл. 31–41.

Т а б л и ц а 31

Скорость резания  $v$  при фрезеровании материалов  
II, IV групп торцовыми быстрорежущими фрезами [13]

$t$ , мм	Материалы II группы			
	$S_z$ , мм/зуб			
	0,3	0,5	0,85	1,5
2	102	80	56	41
5	89	71	55	—
8	86	69	55	—
12	86	70	55	—

$t$ , мм	Материалы IV группы			
	$S_z$ , мм/зуб			
	0,2	0,3	0,45	0,8
2	44	38	30	23
5	35	32	27	20
8	33	28	25	-

Таблица 32

Скорость резания  $V$  при фрезеровании торцовыми быстрорежущими фрезами материалов III группы [I2]

$T$ , мин	$D$ , мм	$Z$	$t$ , мм	$S_z$ , мм/зуб			
				0,05	0,10	0,18	0,24
180	75	10	3	113	101	80	71
			10	102	91	72	6465
180	150	16	3	117	104	82	73
			10	104	93	73	65

Таблица 33

Скорость резания  $V$  при фрезеровании материалов V-VI групп торцовыми быстрорежущими фрезами [I2]

$T$ , мин	$D$ , мм	$Z$	$t$ , мм	$S_z$ , мм/зуб			
				0,05	0,10	0,18	0,24
120	40	12	3	55	49	38	34
			10	49	44	34	30
180	75	18	3	52	45	36	32
			10	45	40	32	28
180	150	16	3	56	50	39	35
			10	50	45	35	31

Скорость резания при фрезеровании материалов УП-ХI групп торцовыми быстрорежущими фрезами [4] определяется по формуле

$$v = \frac{C_v D^{0.2}}{T^{0.2} S_z^{0.25} B^{0.2} t^{0.2} Z^{0.1}}$$

Коэффициенты  $C_v$  приведены ниже.

Т а б л и ц а 34

Значения коэффициентов  $C_v$  при фрезеровании сталей и сплавов УП - ХI групп торцовыми быстрорежущими фрезами

Группы материалов	$\sigma_B$ , МПа	$C_v$	Группы материалов	$\sigma_B$ , МПа	$C_v$
УП	800	170	Х	700	52
	1200	85		900	39
	600	120		800	28
УШ	900	87	ХI	900	17
	1300	52		1100	14
IX	550	87			
	1100	78			

Т а б л и ц а 35

Скорость резания  $v_f$  при торцовом фрезеровании цветных сплавов I-III групп с фрезами с пластинами из твердых сплавов [2]

Диаметр фрезы $D$ , мм	Глубина резания $t$ , мм	Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб			
		0,09	0,16	0,29	0,40
75-150	2	670	640	565	510
	4	595	565	500	450
	8	515	490	434	390
200-250	3	615	585	515	465
	5	565	540	475	430
	10	495	470	415	375
300-350	4	595	565	500	450
	6	555	520	460	416
	10	514	487	430	388

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_v$  см. в табл. 38, 62.

Скорость резания  $U_T$  при торцовом фрезеровании чугунов (IY группа) фрезами с пластинами из твердых сплавов [2]

Диаметр фрезы, $D$ , мм	Глубина резания $t$ , мм	Подача на зуб $S_Z$ мм/зуб			
		0,10	0,18	0,36	0,50
75-90	3,5	323	181	-	-
	7,5	204	162	-	-
110-200	3,5	203	158	126	112
	7,5	180	141	112	100
250	3,5	185	145	115	102
	7,5	165	128	102	90
300-350	3,5	172	136	107	96
	7,5	135	121	96	85

Примечание. Поправочные коэффициенты см. в табл. 38, 62.

Скорость резания  $U_T$  при торцовом фрезеровании сталей (V, VI группы) фрезами с пластинами из твердых сплавов [2]

Диаметр фрезы $D$ , мм	Глубина резания $t$ , мм	Подача на зуб $S_Z$ мм/зуб			
		0,10	0,13	0,18	0,24
75-150	1,5	207	185	164	145
	5,0	186	166	147	130
200-250	1,5	196	174	155	137
	5,0	174	155	137	122
320	1,5	187	165	148	131
	5,0	165	148	131	116

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_V$  см. в табл. 38, 62.

Поправочные коэффициенты на скорость резания  
при торцовом фрезеровании [2]

$K_{V1}$	См. табл. 3			
Материал инструмента	ВК8	ВК6	T5K10	T15K6
$K_{V2}$	0,89 <sup>XX</sup> , 1,0 <sup>X</sup>	1,0 <sup>XX</sup>	1,0 <sup>XXX</sup>	1,52 <sup>XXX</sup>
Состояние поверхности	С коркой		Без корки	
$K_{V3}$	0,8; 0,9 <sup>II</sup>	-	1,0	-
Главный угол в плане	30	45	60	90
$K_{V8}$	1,3	1,1	1,0	0,7
Условия обработки	С СОЖ		Без СОЖ	
$K_{V6}$	1,2		1,0	

Примечания. Здесь представлены следующие поправочные коэффициенты: <sup>X</sup> - для цветных сплавов, <sup>XX</sup> - для чугунов, <sup>XXX</sup> - для сталей.

2. Нормативная ширина фрезерования  $B_H$  составляет 35-45 мм для фрез диаметром 40-60 мм, 65-75 мм для фрез диаметром 100 мм, 115-125 мм для диаметра 160 мм, 190-200 мм для диаметра 250 мм, 290-310 мм для диаметра 350 мм.

3. Поправочные коэффициенты см. в табл. 35-37.

4.  $K_{V7}$  находим в табл. 3.

Скорость резания при фрезеровании материалов УП-ХП групп находим по формуле

$$V = \frac{C_V D^{0,2}}{T^{0,3} S_z^{0,35} B^{0,2} t^{0,2} Z^{0,1}}$$

Коэффициенты  $C_V$  приведены ниже.

Исходные данные для расчета скорости резания  
при фрезеровании сталей и сплавов УП-ХП групп  
торцовыми твердосплавными фрезами [4]

Номер группы обрабатываемого материала	$\sigma_B$ , МПа	$C_V$
УП	800	450
	1200	225
УШ	750	290
	900	225
	1300	135
	1700	67
	1900	54
IX	>700	135
X	>550	225
	850-1100	200
XI	>800	70
	950	54
	1100	34
XII	>750	23

Скорость резания при фрезеровании материалов XIII группы определяется по формуле

$$V = \frac{C_V D^{0,25}}{T^{0,3} S_{\#}^{0,4} B^{0,14} t^{0,25} Z^{0,1}}$$

Коэффициенты  $C_V$  приведены ниже.

Т а б л и ц а 40

Данные для расчета скорости резания при фрезеровании  
титановых сплавов торцовыми фрезами  
с пластинами из ВК6М [4]

Номер группы обрабатываемого материала	$\sigma_B$ , МПа	$C_V$
XIII	450-700	115
	700-900	90

Номер группы обрабатываемого материала	$\sigma_B$ , МПа	$C_V$
XIII	900-1000	73
	1000-1100	68
	1150-1500	45

Скорость резания при фрезеровании материалов XIV группы определяется по формуле

$$V = \frac{C_V D^{0,5}}{T^{0,33} S^{0,1} B^{0,18} z^{0,3} Z^{0,1}}$$

Коэффициенты  $C_V$  приведены ниже.

Т а б л и ц а 41

Исходные данные для расчета скорости резания при фрезеровании высокопрочных сталей торцовыми фрезами с пластинами из ВК6М [4]

Номер группы обрабатываемого материала	$\sigma_B$ , МПа	$C_V$
XIV	1400	280
	1600	232
	1800	173
	2000	140
	2300	122

### 9.2. Скорость резания при концевом фрезеровании

Исходные данные приведены в табл. 42-50.

Скорость резания  $V_f$  при фрезеровании  
магниевого и алюминиевого сплавов I, II групп  
концевыми быстрорежущими фрезами [2]

Диаметр фрезы $D$ , мм	Ширина фрезерова- ния $B$ , мм	Глубина резания $t$ , мм	Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб			
			0,08	0,18	0,29	0,40
12	12-40	1,5	92	59	47	-
		5,0	81	52	41	-
20	12-40	1,5	125	81	64	-
		4,5	106	68	54	-
25	15-50	1,5	147	94	75	55
		4,5	132	85	68	53
32	15-50	1,5	170	110	87	68
		4,5	154	99	79	62

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_v$ , см. в табл. 45, 62.

Т а б л и ц а 43

Скорость резания  $V_f$  при фрезеровании  
медных сплавов и чугунов III, IV групп  
концевыми быстрорежущими фрезами [2]

Диаметр фрезы $D$ , мм	Ширина фрезерова- ния $B$ , мм	Глубина резания $t$ , мм	Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб			
			0,05	0,10	0,18	0,30
16	12-40	3,5	79	70	-	-
25	15-50	3,5	93	82	73	-
		6,0	82	73	65	-
32	15-50	3,5	89	79	70	62
		6,0	79	70	62	55
IV г р у п п а						
16	20-30	3,5	48	43	-	-
25	20-30	3,5	63	56	49	45
		6,0	51	46	41	35
32	20-30	3,5	60	56	50	45
		6,0	52	46	41	36

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_v$ , см. в табл. 45, 62.

Т а б л и ц а 44

Скорость резания  $v_f$  м/мин при фрезеровании сталей  
У, УІ групп концевыми быстрорежущими фрезами [2]

Диаметр фрезы $D$ , мм	Ширина фрезерова- ния $B$ , мм	Глубина резания $t$ , мм	Подача на зуб $S_z$ мм/зуб			
			0,05	0,10	0,15	0,20
16	12-40	3,5	69	55	—	—
25	15-50	3,5	80	64	50	44
		6,0	66	52	41	36
32	15-50	3,5	78	62	48	43
		6,0	64	51	40	35
40	18-60	3,5	84	66	52	46
		6,0	70	55	43	38

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_v$  см. в табл. 45, 62.

Т а б л и ц а 45

Поправочные коэффициенты на скорость резания  
при фрезеровании концевыми фрезами [2]

Материал инструмента	P9K5, P6M5K5	P9M4K8	P9M4K8Ф	
$K_{v2}$	1,0	1,1	1,15	
Состояние поверхности	С коркой	Без корки		
$K_{v3}$	0,8	1,0		
Обрабатываемый элемент	Плоскость, уступ	Паз		
$K_{v5}$	1,0	0,57		
Условия обработки	С СОЖ	Без СОЖ		
$K_{v6}$	1,2	1,0		
Ширина фрезерования при обработке материалов I-IV групп	20	20-30	30-45	45
$K_{v7}$	1,12	1,0	0,89	0,8
Ширина фрезерования при обработке сталей У, УІ групп	10	10-30	30	
$K_{v7}$	1,13	1,0	0,89	

Примечания. 1. Данные относятся к табл. 42-44.

2. Поправочный коэффициент  $K_{v1}$  находим по табл. 3.

Скорость резания для материалов УП-ХІ и ХІІІ групп определяем по формуле

$$V = \frac{C_v D^{0,3}}{T^{0,24} S_z^{0,25} t^{0,25} B^{0,1} Z^{0,1}}$$

Коэффициенты  $C_v$  приведены ниже.

Т а б л и ц а 46

Исходные данные для определения скорости резания при фрезеровании материалов УП-ХІ и ХІІІ групп концевыми фрезами из быстрорежущей стали (Р6М5К5) [4]

Номер группы обрабатываемого материала	$\sigma_B$ , МПа	$C_v$
УП-УІІ	900	92
	1000	82
	1100	75
	1300	45
ІХ	800	67
	900	45
Х	600	75
	1000	67
	1000	18
ХІ	1150-1350	11
	450-700	55
ХІІІ	700-900	37
	900-1000	30
	1300-1400	22

Примечание. Значения  $C_v$  относятся к попутному фрезерованию. Для встречного фрезерования эти значения умножают на 0,8.

Т а б л и ц а 47

Скорость резания  $V$  при фрезеровании материалов ХІІІ группы концевыми быстрорежущими фрезами [16]

$D$ , мм	$B$ , мм	$t$ , мм	$S_z$ , мм/зуб	$V$ , м/мин
18-40	5-20	1-40	0,02 - 0,06	40-80

Скорость резания для материалов XII группы определяется по формуле

$$V = \frac{159}{T^{0,3} t^{0,27} S_z^{0,18}}$$

или ориентировочно по табл. 47.

Т а б л и ц а 48

Скорость резания  $V$  при фрезеровании материалов IX-X групп концевыми твердосплавными фрезами [I3]

I Y г р у п п а						
D, мм	Z	B, мм	t, мм	S <sub>z</sub> , мм/зуб		
				0,04	0,08	0,15
25	3	20	5	II5	I00	87
			10	82	72	65
32	4	20	6	II5	I00	87
			13	80	70	62
40	4	30	7	II2	97	87
			15	80	70	62
У, VI г р у п п ы						
25	3	20	5	II2	95	84
			20	81	70	62
32	4	20	6	II2	98	87
			28	81	70	62
40	4	30	7	II8	I01	90
			36	81	70	62
У II - X г р у п п ы						
25	3	20	5	56	48	42
			20	41	35	31
32	4	20	6	56	49	43
			28	41	35	31
40	4	30	7	59	50	45
			36	41	35	31

Скорость резания для материалов XI-XIII групп определяется по формуле

$$v = \frac{C_v D^{0,6}}{T^{0,35} S_z^{0,3} t^{0,3} B^{0,2} Z^{0,2}}$$

Коэффициенты  $C_v$  приведены ниже.

Т а б л и ц а 49

Исходные данные для расчета скорости резания  
при фрезеровании сплавов XI–XIII групп  
концевыми фрезами с винтовыми пластинами из ВК8 [4]

Номер группы обрабатываемого материала	$\sigma_B$ , МПа	$C_v$
XI–XII	700–1000	8
XIII	450–700	57
	700–900	38
	900–1000	31
	1300–1400	23

Скорость резания для материалов XIV группы определяется по формуле

$$v = \frac{C_v D^{0,6}}{T^{0,4} S_z^y t^{0,3} B^{0,25} Z^{0,2}}$$

Коэффициенты  $C_v$  приведены ниже.

Т а б л и ц а 50

Исходные данные для расчета скорости резания  
при фрезеровании сталей XIV группы  
концевыми фрезами с пластинами из ВК6М и ТТ10К8Б [4]

$S_z$	$y$	$C_v$
$\leq 0,08$	0,35	35
$> 0,08$	0,60	20

### 9.3. Скорость резания при дисковом фрезеровании

Исходные данные приведены в табл. 51–57.

Т а б л и ц а 51

Скорости резания  $V$ , м/мин, при фрезеровании  
материалов I группы [1]

Цельные фрезы из быстрорежущей стали		Сборные фрезы	
Цилиндрические дисковые трехсторонние	Торцовые, концевые	Из быстрорежущей стали	Твердосплавные
150 - 200	150 - 200	200 - 250	

Т а б л и ц а 52

Скорость резания  $V_r$  при фрезеровании  
дисковыми быстрорежущими фрезами материалов II группы [13]

$D$ , мм	$B$ , мм	$t$ , мм	$S_{\#}$ , мм/зуб			
			0,05	0,08	0,14	0,24
63	18	8	166	151	126	102
		12	147	134	112	90
100	16	12	157	143	120	96
		18	139	127	106	85
250	20	18	165	150	125	101
		60	115	105	87	70

Т а б л и ц а 53

Скорость резания  $V_r$ , м/мин, при фрезеровании  
материалов III-IV группы дисковыми фрезами  
из быстрорежущих сталей [2]

## III группа

$D$ , мм	$B$ , мм	$t$ , мм	$S_{\#}$ , мм/зуб			
			0,05	0,07	0,10	0,13
75	4-13	8	102	96	90	85
		18	81	77	72	66
		12	109	103	97	91

III группа						
D, мм	β, мм	t, мм	S <sub>z</sub> , мм/зуб			
			0,05	0,07	0,10	0,13
130	5-16	27	87	82	77	73
		18	100	96	89	83
150	6-20	40	79	74	70	65
IY группа						
			0,07	0,10	0,13	0,18
75	4-13	10	52	45	40	36
		18	38	34	30	27
		10	65	57	51	45
130	5-16	18	48	43	38	34
		18	47	42	37	33
150	6-20	33	35	31	28	25
Y, YI группы						
			0,05	0,10	0,13	0,18
75	4-13	8	49	43	41	
		18	39	34	32	
130	5-16	12	52	46	42	37
		27	41	37	34	30
150	6-20	18	47	42	39	35
		40	36	32	30	27

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_Y$  см. в табл. 54.

Поправочные коэффициенты на скорость резания  
при фрезеровании материалов III-VI группы  
дисковыми быстрорежущими фрезами

Материал инструмента	P9K5	P18Ф2	P9K10Ф
$K_{V2}$	1,0	1,1	1,4
Состояние поверхности	С коркой		Без корки
$K_{V3}$	0,8; 0,9 (III гр.)		1,0
Условия обработки	С СОЖ		Без СОЖ
$K_{V6}$	1,0; 1,2 (III, IV гр.)		0,8; 1,0 (III, IV, гр.)
Обрабатываемый элемент	Уступ, плоскость		Паз, колодец
$K_{V5}$	1,0		0,7

Примечание.  $K_{V1}$  находим по табл. 3.

Скорость резания  $V_f$  (м/мин) при фрезеровании  
сталей и сплавов VII-XI, XII группы дисковыми фрезами  
из быстрорежущей стали [2]

С т а л и VII - X г р у п п						
$D,$ мм	$B,$ мм	$t,$ мм	$S_z,$ мм/зуб			
			0,04	0,06	0,10	0,13
90	10-15	5	48	44	40	36
		15	35	31	29	26
150	15-20	5	51	47	43	39
		15	37	34	31	28
С п л а в ы XI г р у п п ы						
40	2-5	2	0,03	0,05	0,07	0,09
			13	8	6	
60	5-10	5	10	7	5	
		2	12	8	6	5
		8	9	6	4	3

## С п л а в ы XIII г р у п п и

D, мм	B, мм	t, мм	S <sub>Э</sub> , мм/зуб			
			0,04	0,06	0,10	0,13
80	10-15	5	15	14	12	
		20	11	10	9	
150	15-20	5	15	14	13	12
		20	12	11	10	9

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_y$  см. в табл. 56.

Т а б л и ц а 56

Поправочные коэффициенты на скорость резания при фрезеровании материалов VII-XI и XIII группы дисковыми фрезами

Материал инструмента	Р9К5	Р18Ф2	РЖ10Ф	ВК8 (XIII гр.)
$K_{v2}$	1,0	1,1	1,4	2,5
Состояние поверхности	С коркой		Без корки	
$K_{v3}$	0,7; 0,5 (XIII гр.)		1,0	
Условия обработки	С СОЕ		Без СОЕ	
$K_{v6}$	1,0		0,8	
Обрабатываемый элемент	Уступ, плоскость		Паз, колодец	
$K_{v5}$	1,0		0,7	

Т а б л и ц а 57

Скорость резания  $V$  при фрезеровании дисковыми твердосплавными фрезами [13]

## М а т е р и а л ы IV г р у п п и

D, мм	Z, мм	B, мм	t, мм	S <sub>Э</sub> , мм/зуб			
				0,05	0,08	0,14	0,24
63	18	10	8	140	118	94	76
			12	115	97	69	61

Материалы IV группы							
D, мм	Z	B, мм	t, мм	S <sub>Z</sub> , мм/зуб			
				0,05	0,08	0,14	0,24
100	18	16	12	I2I	I0I	80	74
			18	99	82	74	52
250	26	20	18	III	92	73	59
			60	6I	50	40	34
Материалы V - X группы							
63	18	10	8	I88	I72	I48	II6
			12	I68	I52	I28	I04
100	18	16	12	I80	I60	I40	II2
			18	I56	I44	I24	I00
250	26	20	18	I88	I68	I44	II6
			60	I32	I20	I00	80

#### 9.4. Скорость резания при фрезеровании цилиндрическими фрезами

Исходные данные приведены в табл. 58-62.

Т а б л и ц а 58

Скорости резания  $V_f$  при фрезеровании  
материалов III-VI группы цилиндрическими фрезами  
из быстрорежущей стали и твердого сплава [2]

С п л а в ы III группы							
D, мм	B, мм	t, мм	S <sub>Z</sub> , мм/зуб				
			0,05	0,10	0,18	0,24	
90	I2-40	3	I39	I24	99	88	
		8	I03	92	73	65	
110	I2-40	3	I49	I26	I06	94	
		8	II0	98	79	70	
130	I2-40	3	I6I	I43	II4	I02	
		8	II9	I06	84	75	

С п л а в ы I V г р у п п ы						
D, мм	B, мм	t, мм	S <sub>г</sub> , мм/зуб			
			0,05	0,15	0,20	0,27
90	40-70	3	76	64	53	45
		8	45	37	31	26
110	40-70	3	81	68	56	48
		8	48	40	33	28
130	40-70	3	92	77	64	54
		8	54	45	37	32

## С т а л и У, VI г р у п п

			0,05	0,10	0,18	0,24
			90	I2-40	3	66
	8	49	44		36	31
110	I2-40	3	71	63	51	44
		8	52	46	37	33
130	I2-40	3	96	85	69	60
		8	71	63	51	45

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_v$  см. в табл. 59, 62.

## Т а б л и ц а 59

Поправочные коэффициенты на скорость резания  
при фрезеровании материалов II-VI групп  
цилиндрическими фрезами

Материал инструмента	P9K5	P18K2	P9K10	T15K6	BK6
Коэффициент $K_{v2}$	1,0	1,1	1,2	3,4	4,5
Состояние поверхности	С коркой		Без корки		
$K_{v3}$	0,18		1,0		
Условия обработки	С СОЖ		Без СОЖ		
$K_{v6}$	1,2		1,0		

Примечания. 1. Твердый сплав T15K6 необходимо применять для сталей У, VI группы, твердый сплав BK6 - для чугунов IV группы.

2. Поправочный коэффициент  $K_{v6}$  находим по табл. 3.

Скорость резания  $V_r$  при фрезеровании сталей  
УП-ХI и ХIII групп цилиндрическими фрезами  
из быстрорежущей стали и твердого сплава [2]

Стали УП-Х групп с  $\sigma_B \leq 1000$  МПа

D, мм	B, мм	t, мм	S <sub>г</sub> , мм/зуб			
			0,06	0,10	0,15	0,20
55	56-70	3	35	33	28	25
		10	26	23	21	19
75	85-80	3	36	34	30	26
		10	27	25	22	20
100	105-120	3	37	35	31	27
		10	28	26	23	20

Стали УШ, Х групп с  $\sigma_B > 1000$  МПа

75	56-70	3	26	22	20	18
		10	15	13	12	11
110	80-110	3	28	24	22	20
		10	17	14	13	12

Сплавы ХI группы

			S <sub>г</sub> , мм/зуб			
			0,04	0,08	0,15	0,20
80	55-65	3	39	35	26	23
		9	24	22	16	15
150	90-115	3	38	34	24	21
		9	24	21	15	14

Сплавы ХIII группы

			S <sub>г</sub> , мм/зуб			
			0,03	0,05	0,07	0,10
80	50-60	3	48	43	39	35
		5	31	28	25	22
110	60-90	3	36	32	29	27
		5	32	29	26	24

Примечание. Поправочные коэффициенты  $K_V$  см. в табл. 61, 62.

Поправочные коэффициенты  $K_v$  на скорость резания при фрезеровании материалов УП-ХI и ХII групп цилиндрическими фрезами

Материал инструмента	P9K5	PI8Ф2	PI8K5Ф5	P9KI0	BK8	TI5K6
$K_{v2}$	1,0	1,1	1,15	1,2	2,3	2,7
Состояние поверхности	С коркой			Без корки		
$K_{v3}$	0,7; 0,5 (ХII гр.)			1,0		
Условия обработки	С СОЖ			Без СОЖ		
$K_{v6}$	1,0			0,8		

Примечание. Твердый сплав BK8 необходимо применять для обработки сплава УП-ХII групп; сплав TI5K6 - для УП группы.

Поправочный коэффициент  $K_{vy}$  на скорость резания

Фрезы	Шифр типовой схемы фрезерования					
	I	II	III	IV	V	VI
Торцовые	1,1	1,0	0,85	0,7	-	-
Концевые	1,1	1,0	0,9	0,75	0,5	0,35
Дисковые	1,1	1,0	0,86	0,7	0,5	0,3
Цилиндрические	1,1	1,0	0,85	0,7	-	-

#### 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНОЙ СТУПЕНИ СТАНКА

Частота вращения шпинделя находится по формуле

$$n = \frac{1000 V}{\pi D}$$

Найденное значение сравнивается с паспортными данными станка. Скорее всего, что такой величины в паспорте не окажется, так как частота вращения шпинделя в станках регулируется ступенчато.

Допустим, что

$$n_x < n < n_{x+1}.$$

Определяют скорость подачи для ступени  $n_x$  как  $S_{Mx} = S_z Z n_x$ . По паспорту станка находят скорости подачи, близкие к расчетной таким образом, что

$$S_{My} < S_{Mx} < S_{My+1}.$$

Желательно взять скорость  $S_{My+1}$  и частоту вращения  $n_{x+1}$ , но это возможно только в том случае, если при этом подача на зуб не будет превосходить соответствующую величину, определенную из условия обеспечения заданной стойкости для ступени  $n_{x+1}$ .

Находим

$$S_z'' = \frac{S_{My+1}}{Z n_{x+1}} \leq S_z' = S_z \left( \frac{n}{n_{x+1}} \right)^{\frac{1}{y}},$$

где  $y$  — показатель степени при  $S_z$  в формуле скорости резания. Если скорость резания определена по таблицам без применения расчетных формул, то следует принять  $y = 0,3$ . В случае невыполнения вышеприведенного условия принимают скорость подачи  $S_{My}$  и частоту вращения  $n_x$ .

Тогда действительное значение подачи на зуб составит

$$S_{zg} = \frac{S_{My}}{Z n_x}.$$

Действительная скорость резания

$$v_g = \frac{Z D n_x}{1000}.$$

#### 11. ПРОВЕРКА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПО МОЩНОСТИ СТАНКА

Мощность, затрачиваемая на процесс резания, не должна превосходить мощность станка на шпинделе, а усилие подачи — наибольшее допустимое усилие механизма подачи станка.

Имеем  $N_B \leq N_C$ ;  $P_H \leq Q_C$ .

Мощность резания определяется по формуле вида

$$N_p = C_N 10^{-5} D^a t^g B^2 S_{zg}^i Z^f n_g^b K_{N1} K_{N2}, \quad (5)$$

где  $C_N$  - коэффициент пропорциональности;

$K_{N1}$  - поправочный коэффициент на прочность обрабатываемого материала  $K_{N1} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{0,3}$ ;

$K_{N2}$  - поправочный коэффициент на величину переднего угла.

Необходимые для расчета коэффициенты и показатели степеней некоторых условий фрезерования приведены в табл. 63.

Т а б л и ц а 63

Исходные данные для расчета мощности резания при фрезеровании сталей и сплавов У-ХIV групп [2]

Фрезы	$C_N$	$a$	$g$	$i$	$f$	$b$
Концевые, цилиндрические, дисковые, отрезные из стали Р18	3,5	0,14	0,86	0,73	1,0	1,0
Цилиндрические с пластинами из твердого сплава	5,2	0,13	0,88	0,75	1,0	1,0
Концевыми с пластинами из твердого сплава	0,64	0,27	0,85	0,75	1,0	1,13
Дисковые с пластинами из твердого сплава при фрезеровании пазов	13,4	0,1	0,9	0,8	1,1	0,9
Дисковые с пластинами из твердого сплава при фрезеровании уступов и плоскостей	14,4	0,1	0,8	0,7	0,85	1,0

Примечания. 1. Показатель степени  $f = 1$ .

2. Коэффициент  $K_{N2}$  для твердосплавных фрез составляет 1,0 для  $\gamma = -10^\circ$ ; 0,89 для  $\gamma = 0^\circ$ ; 0,79 для  $\gamma = +10^\circ$ .

Расчетная формула для торцовых и дисковых двухсторонних фрез имеет следующий вид

$$N_p = E \frac{V_t Z}{1000} K_1, \quad (6)$$

для дисковых трехсторонних, цилиндрических и концевых фрез

$$N_e = E \frac{VBZ}{1000} K_f \quad (7)$$

Мощность резания находится по формулам (6), (7) и табл. 64 и табл. 65. Иногда приводят конкретное значение мощности для определенных условий фрезерования (табл. 66, 67).

Т а б л и ц а 64

Исходные данные для расчета мощности резания при фрезеровании материалов II, IV-VI групп [8]

$S_z$ , мм/зуб	Значение $E$ для фрез							
	торцевой и дисковой двухсторонней				дисковой трехсторонней, цилиндрической, концевой			
	$D/B$				$D/t$			
	20	8	3	1,5	20	8	3	1,5
0,02	0,02	0,06	0,2	0,4	0,05	0,11	0,3	0,5
0,04	0,04	0,1	0,3	0,7	0,08	0,11	0,3	0,5
0,06	0,05	0,15	0,4	0,9	0,11	0,25	0,6	1,0
0,10	0,08	0,2	0,6	1,4	0,16	0,35	0,8	1,5
0,16	0,12	0,3	0,9	1,9	0,23	0,5	1,1	2,0
0,20	0,14	0,4	1,1	2,3	0,26	0,6	1,3	2,4
0,30	0,20	0,5	1,5	3,2	0,35	0,8	1,7	3,2

Т а б л и ц а 65

Значения коэффициента  $K_f$

Материал инструмента	Г р у п п ы м а т е р и а л о в					
	У, VI HB				IV HB	
	До 156	170-229	269-302	321-375	163-229	235-295
Быстрорежущая сталь	0,7	1,0	1,3	1,6	1,0	1,2
Твердый сплав	1,15	1,3	1,45	1,55	1,25	1,4

Примечание. Для материалов II группы  $K_f = 0,4-0,5$ .

Мощность резания при фрезеровании материалов  
УП-ХI групп торцовыми фрезами из быстрорежущей стали [4]  
УП, УШ, Х группы

D, мм	Z	B, мм	S <sub>г</sub> , мм/зуб	V, м/мин	N <sub>г</sub> , кВт		
					t = 1 мм	t = 3 мм	t = 5 мм
80	10	55	0,05	69	0,57	1,4	2,12
			0,15	53	1,36	3,24	-
125	14	85	0,08	55	1,0	2,46	3,76
			0,18	45	1,86	4,52	-
160	18	110	0,1	48	1,44	3,56	5,29
			0,2	40	2,46	5,84	-
200	20	120	0,18	34	5,4	8,0	11,5
			0,25	32	6,7	9,8	-
250	24	150	0,18	33	6,2	9,2	13,0
			0,25	31	7,7	11,2	-

## IX группа

D	Z	B	S <sub>г</sub>	V	t = 1 мм	t = 2 мм	t = 3 мм
80	10	55	0,05	41	0,4	0,7	0,97
			0,15	32	0,94	1,63	2,23
125	14	85	0,08	33	0,73	1,3	1,72
			0,18	27	1,34	2,3	3,22
160	18	100	0,1	29	1,04	1,78	2,52
			0,2	24	1,73	2,97	4,01
200	20	120	0,15	25	1,30	2,10	2,85
			0,2	23	1,60	2,56	-
250	24	150	0,18	23	1,72	2,95	4,15
			0,22	21	1,94	3,40	-

## XI группа

80	10	55	0,05	22	0,31	0,55	0,72
			0,15	16,5	0,69	0,96	1,65
125	14	85	0,08	17,5	0,53	0,90	1,28
			0,18	14	0,96	1,60	2,25
160	18	110	0,1	15	0,76	1,40	1,85
			0,2	13	1,30	2,2	3,0

Мощность резания при фрезеровании материалов  
УП-ХIV групп торцовыми твердосплавными фрезами [4]  
УП и X группы

D, мм	Z	B, мм	S <sub>z</sub> , мм/зуб	v, м/мин	N <sub>e</sub> кВт,		
					t = 1мм	t = 2мм	t = 3мм
100	8	70	0,05	164	1,13	2,25	4,04
			0,15	112	2,29	5,50	
160	10	110	0,08	121	1,61	3,94	5,93
			0,18	91	2,75	6,61	9,95
200	12	120	0,01	84	4,5	6,5	10,50
			0,20	66	7,5	10,5	14,0
250	16	150	0,1	81	4,6	6,6	10,5
			0,2	64	7,6	10,6	15,0

## УП группа

D	Z	B	S <sub>z</sub>	v	t = 1мм	t = 2мм	t = 3мм
100	8	70	0,03	118	0,55	1,0	1,29
			0,1	77	1,20	2,09	2,86
160	10	110	0,08	72	1,11	1,94	2,61
			0,12	63	1,45	2,52	3,48
200	12	120	0,08	66	1,05	1,75	2,5
			0,12	58	1,43	2,40	3,3
250	16	150	0,08	64	1,31	2,40	3,3
			0,12	55	1,80	3,20	4,4

## IX группа

D	Z	B	S <sub>z</sub>	v	t = 1мм	t = 2мм	t = 3мм
100	8	70	0,03	88	0,34	0,63	0,87
			0,10	58	0,80	1,37	1,80
160	10	110	0,08	54	0,70	1,25	1,73
			0,12	47	0,92	1,57	2,25
200	12	120	0,08	51	0,68	1,23	1,68
			0,12	44	0,90	1,55	2,20
250	16	150	0,10	45	1,05	1,80	2,50
			0,15	40	1,25	2,50	3,40

## XI группа

D	Z	B	S <sub>z</sub>	v	t = 1мм	t = 2мм	t = 3мм
100	8	70	0,03	62	0,44	0,70	0,82
			0,10	41	0,92	1,58	2,10

## XI группа

$D_1$ мм	$Z$	$B$ мм	$S_z$ мм/зуб	$v$ м/мин	$N_e$ , кВт		
					$t = 1$ мм	$t = 2$ мм	$t = 3$ мм
160	10	110	0,05	46	0,62	1,10	1,45
			0,12	33	1,10	1,80	2,50
200	12	120	0,05	43	0,65	1,10	1,40
			0,12	32	1,10	1,80	2,40
250	16	150	0,08	35	1,10	1,90	2,90
			0,15	29	1,65	2,80	4,00

## XII группа

100	8	70	0,03	19,5	0,12	0,21	0,29
			0,10	13	0,27	0,45	0,63
125	8	85	0,03	17,5	0,11	0,18	0,23
			0,10	11,5	0,22	0,39	0,53
			0,05	14,5	0,19	0,33	0,46
			0,12	10,5	0,32	0,56	0,76

## XIII группа

	$Z$	$B$	$S_z$	$v$	$t = 1$ мм	$t = 3$ мм	$t = 5$ мм
100	8	70	0,05	78	0,49	1,25	1,96
			0,12	55	0,83	-	-
160	10	110	0,10	51	0,77	1,96	3,08
			0,15	43	1,00	2,66	4,04
200	12	120	0,10	48	0,78	1,95	3,00
			0,15	41	0,96	2,50	3,80
250	16	150	0,10	48	1,05	2,60	4,00
			0,18	37	1,40	3,75	5,50

XIV группа с  $\sigma_B = 1800-2100$  МПа

100	8	50	0,03	58	0,16	0,28	0,49
			0,05	55	0,25	0,43	0,77
160	10	80	0,04	48	0,21	0,38	0,67
			0,06	46	0,31	0,56	0,94
200	12	100	0,04	45	0,24	0,42	0,75
			0,06	43	0,35	0,60	1,05
250	16	120	0,04	44	0,30	0,54	0,97
			0,06	42	0,43	0,75	1,3

Мощность на шпинделе станка определяется по формуле

$$N_c = N \eta .$$

где  $N$  — мощность главного электродвигателя, кВт;

$\eta$  — коэффициент полезного действия привода.

Величины  $N$  и  $\eta$  указываются в паспорте станка. В среднем для расчетов принимают  $\eta = 0,7$ .

Определяют среднее суммарное значение главной составляющей силы резания

$$P_z = \frac{60000 N_e}{v_g} .$$

Горизонтальная составляющая силы резания  $P_H$ , нагружающая механизм продольной подачи фрезерного станка, определяется как часть главной составляющей силы резания

$$P_H = (0,6 - 0,9) P_z \quad \text{— для торцовых фрез;}$$

$$P_H = (0,8 - 1,1) P_z \quad \text{— для цилиндрических, концевых и дисковых фрез.}$$

## 12. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ

Машинное время определяется по формуле

$$\tau = \frac{L_1 + L + L_2}{S_{мг}} ,$$

где  $L_1$  — длина врезания, мм;

$L$  — длина обрабатываемой поверхности детали, мм;

$L_2$  — длина перебега, мм.

Величина врезания зависит от вида фрезерования, диаметра фрезы и параметров режима резания [7].

При полном торцовом фрезеровании  $L_1 = 0,5 D$ .

При неполном симметричном торцовом фрезеровании (рис.7,а)

$$L_1 = 0,5 D (1 - \sin \psi_1) .$$

где  $\psi_1 = \arccos (B/D)$ .

— В случае несимметричного торцового фрезерования при  $(B+e) > 0,5D$  (рис.7,б)

Для цилиндрического, концевового и дискового фрезерования (рис. 7, г)

$$l_1 = 0,5 D \sin \psi_3,$$

где  $\psi_3 = \arccos \cos (1-2t/D).$

Величина  $l_2 = 1-3$  мм.

Коэффициент использования инструмента определяется отношением действительной скорости подачи к расчетной

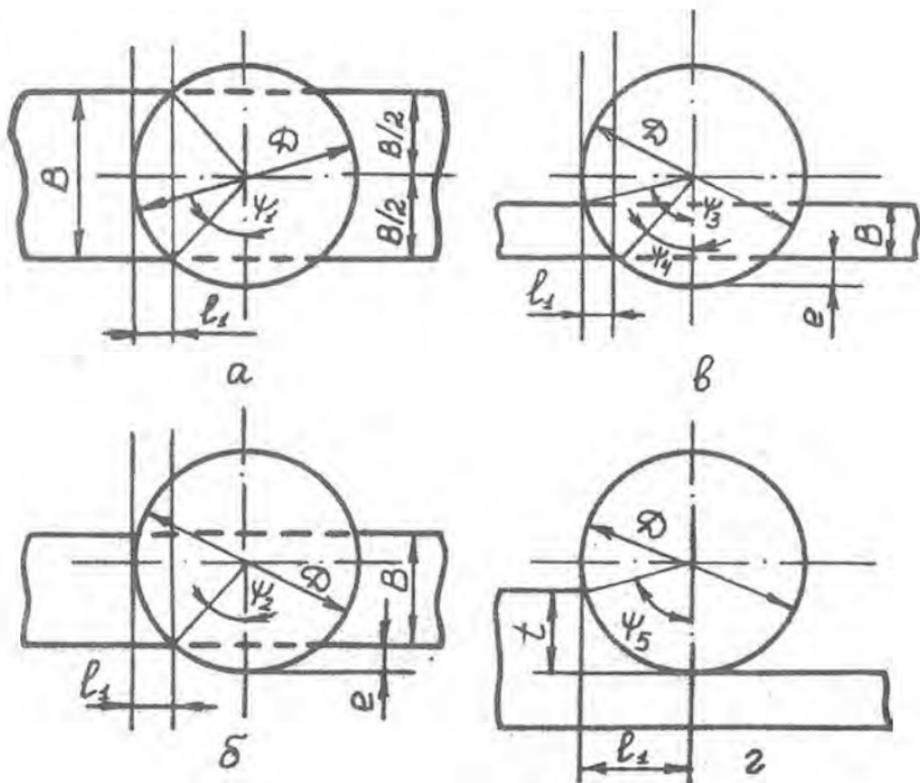
$$K_U = \frac{S_{2g} n_g}{S_2 n}.$$

Коэффициент использования станка находят как отношение мощности резания к мощности станка

$$K_C = \frac{N_R}{N_C}.$$

#### Библиографический список

1. Краткий справочник металлиста /Орлов П.Н., Скорыхов Е.А., Агеев А.Д. М.: Машиностроение, 1986. 960 с.
2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник /Под ред. В.И.Баранчикова. М.: Машиностроение, 1990. 399 с.
3. Косовский В.Л. Справочник молодого фрезеровщика. М.: Высш. шк., 1985. 240 с.
4. Гуревич Я.Л. и др. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1986. 240 с.
5. Ламм М.М. Расчет режимов резания при фрезеровании: Учеб. пособие /Харьк. авиац. ин-т. Харьков, 1983. 91 с.
6. Производственная обработка нержавеющей и жаропрочных материалов /Н.И.Резников, И.Г.Жарков, В.М.Зайцев и др. М.: Машгиз, 1960. 199 с.
7. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высш. шк., 1985. 304 с.
8. Режимы резания металлов: Справочник /Под ред. Ю.В.Барановского. М.: Машиностроение, 1972. 407 с.
9. Справочник инструментальщика /Под общ. ред. И.А.Ординарева. Л.: Машиностроение, 1987. 845 с.



Р и с. 7. Схемы к расчету пути врезания при торцовом (а, б, в), цилиндрическом, концевом и дисковом (г) фрезеровании

$$l_1 = 0,5 D (1 - \sin \psi_2),$$

где  $\psi_2 = \arccos (1 - 2e/D).$

При несимметричном торцовом фрезеровании, когда  $(B+e) < 0,5D$  (рис. 7, в)

$$l_1 = 0,5 D (\sin \psi_3 - \sin \psi_4),$$

где  $\psi_3 = \arccos (1 - 2(B+e)/D),$

$$\psi_4 = \arccos (1 - 2e/D).$$

10. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов /Под общ. ред. Г.Н.К и р с а н о в а. М.: Машиностроение, 1986. 285 с.

11. С а м о й л о в В.С. и др. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник. М.: Машиностроение, 1988. 368с.

12. Д о л м а т о в с к и й Г.А. Справочник технолога по обработке металлов резанием. М.: Машгиз, 1962. 1236 с.

13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: Ч.П. Нормативы режимов резания. М.: Экономика, 1990. 473 с.

14. Л о к т е в А.Д. и др. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник. М.: Машиностроение, 1991. 640 с.

15. Производительность, качество обработки и надежность эксплуатации изделий из жаропрочных и титановых сплавов: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 43 /Под ред. Н.И.Р е з н и к о в а. Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1970. 217 с.

16. Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3. /Под ред. Ф.П.У р ы в с к о г о. Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1976. 289 с.

## Приложение I

### ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

#### Вертикально-фрезерный станок модели 6Н12

Продольные подачи (мм/мин): 19; 23,5; 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 950. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи,  $Q_c = 15000$  Н. Частоты вращения шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95.

#### Широкоуниверсальный фрезерный консольный станок модели 6Р61Ш

Продольные подачи (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800.

Мощность электродвигателя привода подач  $N_a = 1,5$  кВт.

Частоты вращения горизонтального шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Мощность главного электродвигателя  $N = 5,5$  кВт.

Частоты вращения шпинделя поворотной головки ( $\text{мин}^{-1}$ ): 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400; 2000.

Мощность электродвигателя привода шпинделя поворотной головки  $N_r = 2,2$  кВт.

#### Вертикально-фрезерный станок модели 6Н12ПБ

Продольные подачи (мм/мин): 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1500; 2000.

Мощность электродвигателя привода подач  $N_a = 1,7$  кВт.

Частоты вращения шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160;

200; 250; 310; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150.

Мощность главного электродвигателя  $N = 10$  кВт.

Широкоуниверсальный фрезерный станок модели 679

Продольные подачи (мм/мин): 25; 36; 52; 74; 100; 143; 205; 285.

Мощность электродвигателя привода подач и главного движения  $N = 2,8$  кВт.

Частоты вращения шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 110; 150; 210; 308; 445; 605; 815; 1230.

Универсальный консольно-фрезерный станок модели 6Р82III

Продольные подачи (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

Мощность электродвигателя привода подач  $N_a = 2,2$  кВт.

Частоты вращения горизонтального шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Мощность главного электродвигателя  $N = 7,5$  кВт.

Частоты вращения шпинделя поворотной головки (об/мин): 50; 70; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600.

Мощность электродвигателя привода шпинделя поворотной головки  $N_p = 2,2$  кВт.

Универсально-фрезерный станок модели 6Н8I

Продольные подачи (мм/мин): 30; 35,5; 45; 60; 71; 90; 120; 145; 180; 225; 300; 355; 450; 600; 710; 900.

Мощность электродвигателя привода подач  $N_a = 1,7$  кВт.

Частоты вращения шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 60; 71; 90; 120; 145; 180; 225; 300; 355; 450; 600; 710; 900; 1200; 1450; 1800.

Мощность главного электродвигателя  $N = 5,8$  кВт.

Бесконсольный вертикально-фрезерный станок модели 6А54

Продольные подачи (мм/мин): 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Мощность электродвигателя привода подач  $N_a = 4,2$  кВт.

Частоты вращения шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

Мощность главного электродвигателя  $N = 37$  кВт.

Инструментальный широкоуниверсальный фрезерный станок повышенной точности модели 676П

Продольные подачи (мм/мин): 13; 17; 21; 26; 33; 42; 52; 64; 82; 104; 130; 160; 200; 255; 320; 395.

Мощность электродвигателя привода подач и главного движения  $N = 2,2$  кВт.

Частоты вращения горизонтального шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 50; 63; 80; 100; 130; 165; 205; 250; 325; 410; 515; 630; 840; 1060; 1320; 1630.

Частоты вращения вертикального шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 63; 80; 100; 120; 160; 205; 255; 315; 420; 515; 640; 790; 1050; 1330; 1655; 2040.

Вертикальные подачи стола (мм/мин): 13; 17; 21; 26; 33; 42; 52; 64; 82; 104; 130; 160; 200; 255; 320; 395.

Подачи шпиндельной бабки (мм/мин): 13; 17; 21; 26; 33; 42; 52; 64; 82; 104; 130; 160; 200; 255; 320; 395.

Горизонтально-фрезерный станок модели 6П80Г

Продольные подачи (мм/мин): 22,4; 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000.

Мощность электродвигателя привода подач  $N_a = 0,6$  кВт.

Частоты вращения шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600; 2240.

Мощность главного электродвигателя  $N = 2,8$  кВт.

Универсальный консольно-фрезерный станок модели 6Р83И

Продольные подачи (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

Мощность электродвигателя привода подач  $N_a = 3$  кВт.

Частоты вращения горизонтального шпинделя ( $\text{мин}^{-1}$ ): 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Мощность электродвигателя привода горизонтального шпинделя  $N = 11$  кВт.

Частоты вращения шпинделя поворотной головки ( $\text{мин}^{-1}$ ): 50; 70; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600.

Мощность электродвигателя привода шпинделя поворотной головки  $N_p = 2,2$  кВт.

Вертикально-фрезерный станок 6Т13

Продольные подачи (мм/мин): 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250;  $q_c = 20000$  Н.

Частоты вращения шпинделя (мин<sup>-1</sup>): 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.  $N = 11$  кВт,  $\eta = 0,8$ .

Вертикально-фрезерный станок 6Т12

Продольные подачи (мм/мин): 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.  $q_c = 15000$  Н.

Частоты вращения шпинделя (мин<sup>-1</sup>): 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.  $N = 7,5$  кВт,  $\eta = 0,8$ .

Горизонтально-фрезерный станок 6Т82Г

Продольные подачи, частоты вращения шпинделя, мощность и допусаемое усилие подачи такие же, как у станка 6Т12.

Горизонтально-фрезерный станок 6Р82

Продольные подачи (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

$N_2 = 2,2$  кВт.

Частоты вращения шпинделя (мин<sup>-1</sup>): 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

$N = 7,5$  кВт.

Фрезерные станки моделей 6Р11, 6Р81, 6Р81Г

Продольные подачи (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800;  $N_2 = 1,5$  кВт.

Частоты вращения шпинделя (мин<sup>-1</sup>): 50; 63; 80; 100; 125; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.  $N = 5,5$  кВт.

Фрезерные станки моделей 6P12, 6P13

Продольные подачи (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

$N_a = 2,2$  кВт для 6P12 и  $N_a = 3$  кВт для 6P13.

Частоты вращения шпинделя (мин<sup>-1</sup>): 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

$N = 7,5$  кВт для 6P12 и  $N = 10$  кВт для 6P13.

Универсально-фрезерный станок 6M82

Продольные подачи (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

$N_a = 2,2$  кВт.

Частоты вращения шпинделя (мин<sup>-1</sup>): 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

$N = 7,5$  кВт.

РАСЧЕТ РЕЖИМА ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

Перед началом работы с ЭВМ должны быть определены тип, диаметр, число зубьев и стойкость фрезы, глубина и ширина фрезерования ( $D, Z, T, t, B$ ). В зависимости от группы обрабатываемого материала выбирается материал инструмента.

Величина подачи бывает многовариантной:

$$I. S_z = S_{zT} K_S.$$

$$II. S_z = \frac{C_s D^m K_S}{t^p B^q}.$$

III.  $S_z$  дается в таблицах в окончательном значении и не требует дополнительных вычислений.

Далее определяется скоростная ступень. Скорость резания, как и подача, находится тремя способами:

$$I. V = V_T K_V$$

$$II. V = \frac{C_v D^q}{T^m B^r t^x S_z^y Z^u}.$$

III.  $V$  приводится в таблицах без проведения каких-либо расчетов.

Определяют скоростную ступень из условия наибольшей минутной подачи с обеспечением заданной стойкости фрезы ( $n_g, S_{ng}$ ).

Затем режим резания проверяется по мощности главного привода и усилия подачи станка. Если станок оказывается достаточно

мощным, то переходят к определению машинного времени обработки, коэффициентов использования инструмента и загрузки станка.

В противном случае берут ближайшее меньшее число оборотов шпинделя по паспорту станка и так далее до выполнения условия  $N_e \leq N_c$ , после чего находят действительные значения  $S_{mg}$  и  $v_g$ .

Обозначение режимных параметров в символах Бейсика, протокол исходных данных и результатов расчета на ЭВМ, программа расчета режима фрезерования на ДВК-3 приведены ниже.

Продолжение прил. 2

### Обозначение режимных параметров в символах Бейсика

$D = D$ ;  $Z = Z$ ;  $B = B$ ;  $t = T$ ;  $T = T1$ ;  $S_z = S$ ;  $S_{zT} = S1$ ;  $K_s = K$ ;  
 $K_{s1} = K1$ ;  $K_{s2} = K2$ ;  $K_{s3} = K3$ ;  $K_{s4} = K4$ ;  $C_s = C$ ;  $\mu = M1$ ;  $\rho = P$ ;  
 $w = W$ ;  $v_r = V1$ ;  $v = V$ ;  $K_v = J\phi$ ;  $K_{v2} = J2$ ;  $K_{v1} = J1$ ;  $K_{v3} = J3$ ;  
 $K_{v4} = J4$ ;  $K_{v5} = J5$ ;  $K_{v6} = J6$ ;  $K_{v7} = J7$ ;  $K_{v8} = J8$ ;  $C_v = C1$ ;  $q = Q$ ;  
 $m = M2$ ;  $r = R$ ;  $x = X$ ;  $y = Y$ ;  $u = U$ ;  $n = N$ ;  $n_x = N1$ ;  $n_{x1} = N2$ ;  
 $S_{mx} = V2$ ;  $S_{my} = V3$ ;  $S_{my+1} = V4$ ;  $S'_z = S2$ ;  $S''_z = S3$ ;  $S_{zg} = S4$ ;  
 $n_g = N4$ ;  $S_{mg} = V5$ ;  $v_g = V6$ ;  $G_g = Q1$ ;  $C_N = C2$ ;  $N_e = N3$ ;  $N = N5$ ;  
 $z = J1$ ;  $N_c = N6$ ;  $a = A$ ;  $g = G$ ;  $i = D1$ ;  $a = E$ ;  $f = F$ ;  $b = L$ ;  
 $K_{v1} = K\phi$ ;  $K_{v2} = K5$ ;  $l_1 = L1$ ;  $l_2 = L2$ ;  $l = L3$ ;  $\tau = T2$ ;  
 $K_u = K6$ ;  $K_c = K7$ ;  $P_z = P1$ ;  $P_u = P2$ ;  $Q_c = P3$ ;  $E = E2$ ;  
 $K_i = K8$ ;  $n_{x-i} = N7$ ;  $e = E1$ .

## ПРОТОКОЛ

расчета режима резания при фрезеровании на ЭВМ

Студент..... Группа.....  
 Эскиз..... Вариант.....  
 Срок сдачи задания.....  
 Преподаватель.....

Исходные и нормативные величины для расчета  
 на ЭВМ режима резания при фрезеровании

Наименование величин	Стандартное или общепринятое обозначение	Машинный символ	Численное значение	Примечание
1	2	3	4	5
1. Глубина фрезерования	$t$	$T$		
2. Ширина фрезерования	$B$	$B$		
3. Диаметр фрезы	$D$	$D$		
4. Число зубьев фрезы	$Z$	$Z$		
5. Стойкость фрезы	$T$	$T_1$		
Расчет подачи по 1 варианту				
6. Табличное значение подачи	$S_{zT}$	$S_1$		
7. Поправочный коэффициент на подачу, учитывающий жесткость системы СПИД	$K_{S1}$	$K_1$		
8. Поправочный коэффициент на подачу, учитывающий инструментальный материал	$K_{S2}$	$K_2$		

9. Поправочный коэффициент на подачу, учитывающий шероховатость обраб. пов-ти :	$K_{S3}$	$K3$	:	:	:	:
---	----------	------	---	---	---	---

10. Поправочный коэффициент на подачу, учитывающий формы обраб. поверхности :	$K_{S4}$	$K4$	:	:	:	:
---	----------	------	---	---	---	---

## Расчет подачи по 2 варианту

11. Коэф. зависящий от обрабатываемого материала :	$C_s$	$C$	:	:	:	:
--	-------	-----	---	---	---	---

12. Показатель степени при формуле для $S$ :	$P$	$P$	:	:	:	:
--	-----	-----	---	---	---	---

13. Показатель степени при формуле для $S$ :	$W$	$W$	:	:	:	:
--	-----	-----	---	---	---	---

14. Показатель степени при формуле для $S$ :	$\mu$	$M1$	:	:	:	:
--	-------	------	---	---	---	---

15. Коэффициент по пункту 7 :	$K_{S1}$	$K1$	:	:	:	:
-------------------------------	----------	------	---	---	---	---

16. Коэффициент по пункту 8 :	$K_{S2}$	$K2$	:	:	:	:
-------------------------------	----------	------	---	---	---	---

17. Коэффициент по пункту 9 :	$K_{S3}$	$K3$	:	:	:	:
-------------------------------	----------	------	---	---	---	---

18. Коэффициент по пункту 10 :	$K_{S4}$	$K4$	:	:	:	:
--------------------------------	----------	------	---	---	---	---

## Величина подачи по 3 варианту

19. Подача на зуб :	$S_z$	$S$	:	:	:	:
---------------------	-------	-----	---	---	---	---

## Расчет скорости резания по формуле 1-го способа

20. Табличное значение скорости резания :	$v_T$	$V1$	:	:	:	:
---	-------	------	---	---	---	---

21. Коэффициент на: скорость, учиты- вающий марку обрабатываемого материала	$K_{v1}$	J1	:	:	:
22. Коэффициент на: скорость, учиты- вающий марку инструменталь- ного материала:	$K_{v2}$	J2	:	:	:
23. Коэффициент на: скорость, учиты- вающий состояние обрабатываемой поверхности	$K_{v3}$	J3	:	:	:
24. Коэффициент на: скорость, учиты- вающий шаг фрезерования:	$K_{v4}$	J4	:	:	:
25. Коэффициент на: скорость, учиты- вающий форму обрабатываемой поверхности	$K_{v5}$	J5	:	:	:
26. Коэффициент на: скорость, учиты- вающий условия обработки	$K_{v6}$	J6	:	:	:
27. Коэффициент, учи- тывающий отноше- ние фактической ширины фрезеро- вания к нормати- вной В/Вн	$K_{v7}$	J7	:	:	:
28. Коэффициент, учи- тывающий главный угол в плане	$K_{v8}$	J8	:	:	:
Расчет скорости резания по формуле 2-го способа					
29. Коэффициент в формуле скорости	$C_v$	C1	:	:	:
30. Показатель степе- ни при D в формуле для $v$	$q$	Q	:	:	:
31. Показатель степе- ни при T в формуле для $v$	$m$	M2	:	:	:

32. Показатель степени при $V$ в формуле для $v$	$r$	$R$		
33. Показатель степени при $t$ в формуле для $v$	$x$	$X$		
34. Показатель степени при $S$ в формуле для $v$	$y$	$Y$		
35. Показатель степени при $Z$ в формуле для $v$	$u$	$U$		
36. Скорость резания	$v$	$V$		
Величина скорости по 3-му способу				
37. Расчетное значение частоты вращения, выданное ЭВМ	$n$	$N$		
38. Ближайшее меньшее к $n$ значение частоты вращения из паспорта станка	$n_x$	$N1$		
39. Ближайшее большее к $n$ значение частоты вращения из паспорта станка	$n_{x+1}$	$N2$		
40. Расчетная скорость подачи, выданная ЭВМ	$S_{Mx}$	$V2$		
41. Ближайшее меньшее к $S_{Mx}$ значение из паспорта станка	$S_{My}$	$V3$		
42. Ближайшее большее к $S_{Mx}$ значение из паспорта станка	$S_{My+1}$	$V4$		
43. Действительная подача, выданная ЭВМ	$S_{zg}$	$S4$		
44. Действительная частота вращения, выданная ЭВМ	$n$	$N4$		
45. Действительная скорость подачи, выданная ЭВМ	$S_{Mg}$	$V5$		

46. Действительная : скорость резания: выданная ЭВМ :	$v_g$ :	$V_6$ :	:	:
Проверка режима резания по мощности станка по 1 формуле				
47. Предел прочности : обрабатываемого : материала :	$\sigma_B$ :	$Q_1$ :	:	:
48. Коэффициент в : формуле мощности :	$C_N$ :	$C_2$ :	:	:
49. Показатель при D : в формуле мощности :	$a$ :	$A$ :	:	:
50. Показатель при $t$ : в формуле мощности :	$g$ :	$G$ :	:	:
51. Показатель при B : в формуле мощности :	$\lambda$ :	$E$ :	:	:
52. Показатель при S : в формуле мощности :	$i$ :	$\delta_1$ :	:	:
53. Показатель при Z : в формуле мощности :	$f$ :	$F$ :	:	:
54. Показатель при $\pi$ : в формуле мощности :	$B$ :	$L$ :	:	:
55. Поправочный коэф- фициент в формуле : мощности :	$K_{N1}$ :	$K_\phi$ :	:	:
56. Мощность главного : электродвигателя : станка :	$N$ :	$N_5$ :	:	:
57. Коэффициент полез- ного действия при : воде :	$\eta$ :	$H$ :	:	:
58. Поправочный : коэффициент :	$K_{N2}$ :	$K_5$ :	:	:
Проверка мощности по 2-3 формулам				
59. Коэффициент : пропорциональности :	$E$ :	$E_2$ :	:	:
60. Поправочный : коэффициент :	$K_1$ :	$K_8$ :	:	:
Проверка мощности по заданному значению				
61. Значение мощно- сти резания :	$N_e$ :	$N_3$ :	:	:
Расчет наивысшего времени обработки				
62. Длина обрабатыва- емой поверхности : детали :	$l$ :	$L_3$ :	:	:

10 REM Расчет режимов резания при фрезеровании

15 PRINT "Введите T, B, D, Z, T1"

20 INPUT T, B, D, Z, T1

25 PRINT "Расчет величины подачи"

30 PRINT "1- формула 1 варианта"

35 PRINT "2- формула 2 варианта"

37 PRINT "3- величина 3 варианта"

40 PRINT "Введите номер требуемой функции"

45 INPUT M

50 ON M GO TO 55, 90, 120

55 PRINT "Введите S1"

60 INPUT S1

65 PRINT "Введите поправочные коэффициенты"

70 INPUT K1, K2, K3, K4

75  $K = K1 * K2 * K3 * K4$

80  $S = S1 * K$

85 GO TO 300

90 PRINT "Введите коэффициенты и показатели степеней в формуле подачи"

95 PRINT "Введите C, M1, P, W, K1, K2, K3, K4"

100 INPUT C, M1, P, W, K1, K2, K3, K4

105  $K = K1 * K2 * K3 * K4$

110  $S = C * D \wedge M1 * K / T \wedge P / B \wedge W$

115 GO TO 300

120 PRINT "Введите величину подачи"

125 INPUT S

```

300 PRINT "Расчет скорости резания"
305 PRINT "1 - формула 1 способа"
310 PRINT "2 - формула 2 способа"
312 PRINT "3 - величина 3 способа"
315 PRINT "Введите номер требуемой функции"
320 INPUT M
325 ON M GO TO 330, 365, 377
330 PRINT "Введите V1"
335 INPUT V1
340 PRINT "Введите поправочные коэффициенты"
345 INPUT J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8
350 Jφ = J1 * J2 * J3 * J4 * J5 * J6 * J7 * J8
355 V = V1 * Jφ
360 GO TO 380
365 PRINT "Введите коэффициент и показатели степеней"
366 PRINT "В формуле скорости резания C1, Q, M2, R, X, Y, Z"
370 INPUT C1, Q, M2, R, X, Y, Z
375 V = C1 * D^Q / T1^M2 / B^R / T^X / S^Y / Z^Z
376 GO TO 380
377 PRINT "Введите скорость резания"
378 INPUT V
380 N = 1000 * V / PI / D
385 PRINT "N = "; N
390 PRINT "Введите ближайшее меньшее и большее значение к N"
391 PRINT "из паспорта станка N1, N2"

```

```

395 INPUT N1, N2
400 V2 = S * Z * N1
405 PRINT "V2 = "; V2
410 PRINT "Введите ближайшее меньшее и большее значение к V2"
411 PRINT "из паспорта станка V3, V4"
415 INPUT V3, V4
420 S2 = S * (N/N2) ^ (1/Y)
425 S3 = V4 / Z / N2
430 IF S3 <= S2 THEN 455
435 S4 = V3 / Z / N1
440 V6 = PI * D * N1 / 1000
445 N4 = N1
446 V5 = V3
447 PRINT "Режим резания"
448 PRINT "N4 = "; N4; " V5 = "; V5; " S4 = "; S4; " V6 = "; V6
450 GO TO 465
455 N4 = N2
456 V5 = V4
457 S4 = S3
458 V6 = PI * D * N2 / 1000
459 PRINT "Режим резания"
460 PRINT "N4 = "; N4; " V5 = "; V5; " S4 = "; S4; " V6 = "; V6
465 PRINT "Проверка режима резания по мощности станка"
466 PRINT "1-формула 1 метода"
467 PRINT "2-формула 2 метода"
468 PRINT "3-формула 3 метода"

```

```

469 PRINT "4- величина 4метода"
470 PRINT "Введите номер требуемой функции"
471 INPUT M
472 ON M GO TO 475, 1000, 1500, 2000
475 PRINT "Введите C2, A, B, E, D1, F, L, K5, Q1"
480 INPUT C2, A, B, E, D1, F, L, K5, Q1
481  $K\phi = (Q1/750)^{.3}$ 
485  $N3 = C2 * D^A * T^B * B^E * S4^D1 * Z^F * N4^L * K\phi * K5 / 10^5$ 
490 PRINT "Введите N5, H"
495 INPUT N5, H
500  $N6 = N5 * H$ 
505 IF  $N3 <= N6$  THEN 530
510 PRINT "Введите ближайшее меньшее число оборотов шпинделя"
514 PRINT "По паспорту станка"
515 INPUT N7
520  $N4 = N7$ 
525 GO TO 485
530 PRINT "Определение средней силы резания"
531  $V6 = \pi * D * N4 / 10^3$ 
535  $P1 = 61200 * N3 / V6$ 
540  $P2 = 1.1 * P1$ 
540 PRINT "Расчет машинного времени обработки"

```

```

705 PRINT "Введите длину обрабатываемой поверхности детали L3"
710 INPUT L3
715 L2=2
716 V5 = S4 * z * N4
720 PRINT "1- торцовое фрезерование симметричное"
725 PRINT "2 - торцовое фрезерование несимметричное
при (B + E1) > 0.5 * D"
730 PRINT "3- торцовое фрезерование несимметричное
при (B + E1) < 0.5 * D"
735 PRINT "4- цилиндрическое, концевое и дисковое фрезерование"
740 PRINT "Введите номер требуемой функции"
745 INPUT M
750 ON M GO TO 755, 770, 785, 810
755 L1 = .5 * D * (1 - (1 - (B/D)^2) ^ .5)
760 T2 = (L1 + L2 + L3) / V5
765 GO TO 820
770 PRINT "Введите E1"
771 INPUT E1
772 L1 = .5 * D * (1 - (1 - (1 - 2 * E1/D)^2) ^ .5)
775 T2 = (L1 + L2 + L3) / V5
780 GO TO 820
785 PRINT "Введите E1"
786 INPUT E1
788 R1 = (1 - (1 - 2 * (B + E1)/D)^2) ^ .5

```

$$790 R2 = (1 - (1 - 2 * E1/D)^2)^{.5}$$

$$795 L1 = .5 * D * (R1 - R2)$$

$$800 T2 = (L1 + L2 + L3) / V5$$

805 GOTO 820

$$810 L1 = .5 * D * (1 - (1 - 2 * T/D)^2)^{.5}$$

$$815 T2 = (L1 + L2 + L3) / V5$$

$$820 K6 = V5/S/N$$

$$825 K7 = N3/N6$$

830 PRINT "Результаты расчета параметров режима резания  
при фрезеровании"

831 PRINT "S4 = "; S4; " N4 = "; N4; " V5 = "; V5

832 PRINT " V6 = "; V6; " N3 = "; N3; " P1 = "; P1

833 PRINT " T2 = "; T2; " K6 = "; K6; " K7 = "; K7

834 END

1000 PRINT "Введите E2, K8, N5, H"

1005 INPUT E2, K8, N5, H

$$1010 V6 = PI * D * N4 / 10^3$$

$$1015 N3 = E2 * V6 * T * Z * K8 / 10^3$$

$$1020 N6 = N5 * H$$

1025 IF N3 <= N6 THEN 535

1030 PRINT "Введите ближайшее меньшее число оборотов"

1035 PRINT "По паспорту станка"

1040 INPUT N7

$$1045 N4 = N7$$

1050 GO TO 1010

```

1500 PRINT „Введите E2, K8, N5, H “
1505 INPUT E2, K8, N5, H
1510 V6 = PI * D * N4 / 10 ^ 3
1515 N3 = E2 * V6 * B * z * K8 / 10 ^ 3
1520 N6 = N5 * H
1525 IF N3 <= N6 THEN 535
1530 PRINT „Введите ближайшее меньшее число оборотов “
1535 PRINT „По паспорту станка “
1540 INPUT N7
1545 N4 = N7
1550 GO TO 1510
2000 PRINT „Введите величину мощности резания “
2005 INPUT N3
2010 PRINT „Введите N, H “
2015 INPUT N, H
2020 N6 = N * H
2025 IF N3 <= N6 THEN 535
2030 PRINT „Введите ближайшее меньшее число оборотов “
2035 PRINT „По паспорту станка “
2040 INPUT N7
2045 N8 = N3 * N7 / N4
2050 N3 = N8
2055 N4 = N7
2060 V6 = PI * D * N4 / 10 ^ 3
2065 GO TO 2025

```

Приложение 3

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПРЕДЕЛОМ ПРОЧНОСТИ  
И ТВЕРДОСТЬЮ МАТЕРИАЛОВ [2]

$\sigma_B$ , МПа	Твердость			$\sigma_B$ , МПа	Твердость		
	по Бринеллю		по Рок- веллу		по Бринеллю		по Рок- веллу
	$d_{отт}, мм$	HB	HRC <sub>2</sub>		$d_{отт}, мм$	HB	HRC <sub>2</sub>
2080	2,5	600	60	710	4,2	207	14
1930	2,6	550	56	680	4,3	197	12
1770	2,7	514	52	650	4,4	187	9
1650	2,8	477	49	620	4,5	179	7
1530	2,9	444	46	600	4,6	171	5
1430	3,0	415	43	570	4,75	159	—
1340	3,1	388	41	550	4,85	152	—
1250	3,2	363	39	530	4,95	146	—
1180	3,3	341	36	500	5,05	140	—
1120	3,4	321	33	480	5,15	134	—
1040	3,5	302	31	460	5,25	128	—
980	3,6	285	29	440	5,35	123	—
930	3,7	269	27	420	5,50	116	—
880	3,8	255	25	400	5,60	111	—
830	3,9	241	23	380	5,75	105	—
790	4,0	229	20	360	5,90	99	—
750	4,1	217	17	340	6,05	94	—

Примечания: 1. Данные соотношения не относятся к цветным сплавам.

2. Приведенные соотношения служат для ориентировочного сравнения механических характеристик материалов.

В о л к о в Александр Николаевич

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ  
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Редактор Т.И.Кузнецова  
Техн.редактор Г.А.Усачева  
Корректор Н.С.Куприянова

Лицензия ЛР № 020301 от 28.11.91.

Подписано в печать 25.01.94 г. формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Бумага оберточная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 5,4. Усл.кр.-отт.5,58. Уч.-изд.л.5,7.

Тираж 500 экз. Заказ 41. Арт. С-3/94.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П.Королева.  
443086. Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского аэрокосмического университета.  
443001. Самара, ул. Ульяновская, 18.