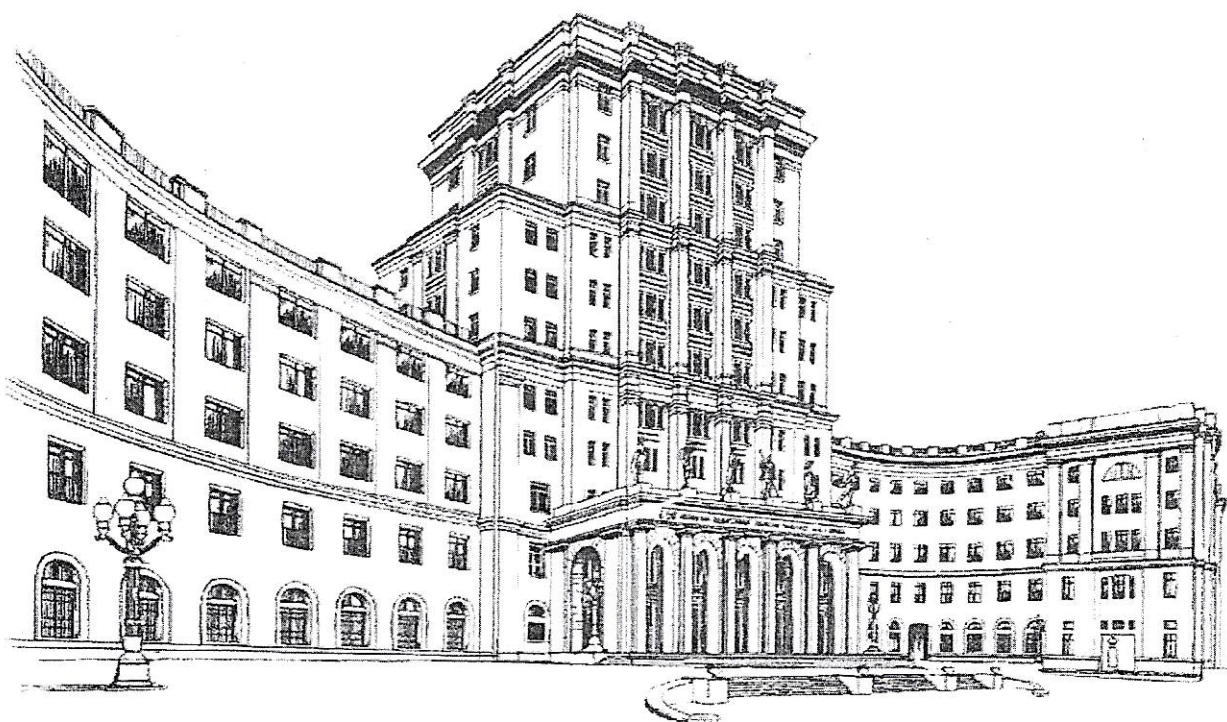


Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана

Факультет машиностроительных технологий

Рубежный контроль усвоения курса «Проектирование технологической оснастки»



BAUMANPRESS
Р ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Методические указания

УДК 621. 7 (075.8)

ББК 34

3-62

Факультет «Машиностроительные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Рецензент:

д-р техн. наук, профессор МГТУ «СТАНКИН» И.А. Зверев

Маслов А. Р.

Рубежный контроль усвоения курса «Проектирование технологической оснастки»: методические указания / А.Р. Маслов. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025. – с. 34: ил.

Даны указания по расчету станочных приспособлений для механической обработки резанием, которые предназначены для установки заготовок или режущего инструмента на металлорежущих станках. Дано описание и указания по выполнению рубежных контролей №1 и №2, содержащие необходимые сведения для выполнения расчетов.

Пособие предназначено для студентов, выполняющих задания по дисциплине «Проектирование технологической оснастки» на 9 и 15 неделях весеннего семестра.

УДК 621. 7 (075.8)

ББК 34

© Маслов А. Р., 2025

© Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	
Рубежный контроль №1.....	
Рубежный контроль № 2.....	
Сведения из справочников.....	
Список литературы.....	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель данного учебно-методического пособия – оказать помощь студентам при прохождении рубежных контролей в соответствии с Рабочей программой дисциплины «Проектирование технологической оснастки».

Задачи пособия:

- ознакомить студентов с задачами, возникающими при проектировании типовых представителей технологической оснастки, применяемой в цехах машиностроительных предприятий;

- научить студентов выполнять расчеты силовых характеристик приспособлений для установки заготовок и режущего инструмента;

- научить студентов корректно оформлять результаты расчетов.

Учебно-методическое пособие содержит описание задач и примеры их выполнения:

- для видов технологической оснастки, применяемых на основных типах металлорежущего оборудования;

- для способа установки режущего инструмента для выполнения фрезерной операции обработки уступов;

Описание каждого задания включает в себя теоретическую и расчетную части. Теоретический материал дает необходимые знания для выполнения расчетов. Практическая часть содержит задание и требования к отчету, который выполняется на специальных бланках.

РУБЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ №1

усвоения материалов, изученных в первые 9 недель в рамках курса

«Проектирование технологической оснастки»

Цель контроля. В ходе контроля необходимо выполнить расчеты силы F_f и крутящего момента $M_{кр}$, действующих на установленное в тисках изделие при фрезеровании уступа концевой фрезой.

Методические указания.

Для выполнения основных операции по обработке резанием (точения, фрезерования и сверления) изделие устанавливают в предназначенное для этой цели приспособление, закрепляют с применением установочных элементов и, при необходимости, силовых приводов.

После начала операции обработки силы резания стремятся сдвинуть изделие по установочным поверхностям. Чтобы этого не произошло, действие сил резания на изделие должно быть компенсировано силами зажима W , которые обеспечивают постоянство положения обрабатываемого изделия.

Для расчета сил резания и их составляющих используют сведения о типичных материалах изделий для каждой группы применения по стандарту ИСО 513–2012 (табл. 1) и ее подгруппы.

1. Сведения о материалах изделий

Группа применения	Подгруппа	Материал	Пример	Характеристика	
				$k_{c1.1}$	m_c
Р Стали	P1	Углеродистые (нелегированные)	Сталь 45	1350	0,21
	P3	Легированные	18ХГТ	1800	0,24
	P4	Легированные инструментальные	ХВГ	1900	0,24
N Алюминиевые сплавы	N1	Деформируемые	В96	1100	0,22
	N2	С содержанием кремния менее 4%	АМг2	850	0,24
	N3	С содержанием кремния более 12,2%	АЛ30	700	0,25

На основе этих сведений рассчитывают потребляемую мощность N_e (кВт), необходимую для обработки изделия из материала заданной группы и подгруппы резания.

Например, мощность N_e , кВт, необходимая для выполнения перехода торцового фрезерования (рис. 1)

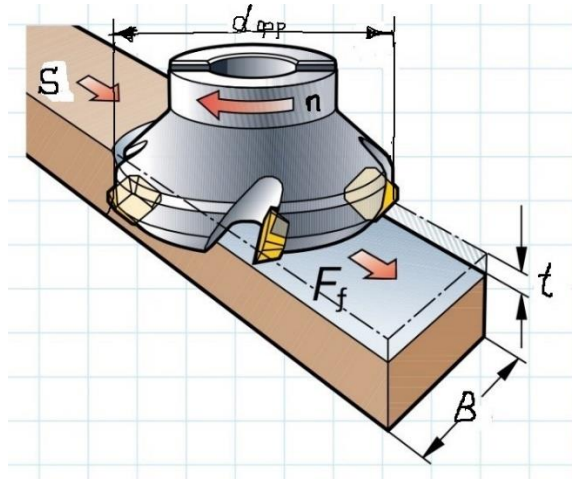


Рис. 1. Факторы и параметры перехода торцового фрезерования

$$N_e = \frac{tBSk_{c1.1}}{60 \cdot 10^6}, \quad (1)$$

где t – глубина фрезерования, мм; B – ширина фрезерования, мм; S – подача, мм/мин; $k_{c1.1}$ – коэффициент удельной силы резания, Н/мм².

Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м, передаваемый в процессе обработки от шпинделя станка режущему инструменту при фрезеровании, рассчитывают по формуле:

$$M_{кр} = \frac{30N_e}{\pi n} \cdot 10^3, \quad (2)$$

где n – частота вращения, мин⁻¹.

Силу F_f , Н, действующую на изделие при фрезеровании по направлению подачи, рассчитывают по формуле:

$$F_f = k_c \cdot t \cdot B \cdot S_o / \pi \cdot d_{фр}, \quad (3)$$

где $d_{фр}$ – диаметр фрезы; $k_c = k_{c1.1} B^{-m_c}$;

Модуль вектора силы, которой противодействует вектор силы W (Н) зажима заготовки в приспособлении, можно с достаточной точностью для расчета приспособлений считать равной по величине силе подачи F_f (Н).

$$[W] = [F_f]$$

Задания к рубежному контролю 1.

Рассматривается переход фрезерования уступа в заготовке из алюминиевого сплава (рис. 2).

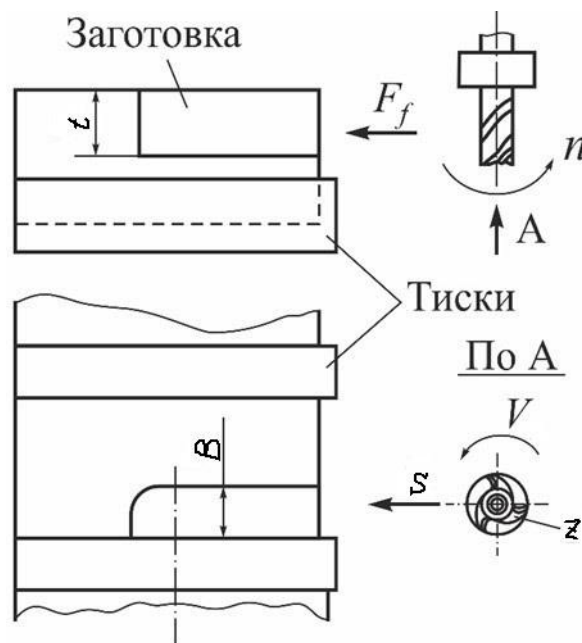


Рис. 2. Схема фрезерования уступа в заготовке из алюминиевого сплава фрезой диаметром D_ϕ с количеством зубьев Z

Факторы фрезерования и параметры инструмента приведены в табл. 2.

2. Факторы фрезерования уступа в заготовках, параметры фрезы и марки материала заготовок

№ вари- анта	Параметры фрезы		Факторы фрезерования				Марка материала
	d _ф , мм	Z, штук	t, мм	B, мм	S _о , мм/об	n, мин ⁻¹	
	1	2	3	4	5	6	
1	12	4	24	12,0	0,20	6000	B95T1
2	12	2	24	12,0	0,20	18000	B95T1
3	12	4	24	12,0	0,12	4000	Сталь 45
4	12	2	24	12,0	0,12	6000	B95T1
5	12	4	24	4,0	0,20	5000	B95T1
6	12	2	24	4,0	0,20	3000	18ХГТ
7	12	4	24	4,0	0,12	6000	B95T1
8	12	2	24	4,0	0,12	2000	ХВГ
9	12	4	24	1,0	0,20	7000	B95T1
10	12	2	24	1,0	0,20	2000	18ХГТ
11	12	4	24	1,0	0,12	6000	B95T1
12	12	2	24	1,0	0,12	4000	Сталь 45
13	12	4	24	0,2	0,20	14000	B95T1
14	12	2	24	0,2	0,20	2000	ХВГ
15	12	4	24	0,2	0,12	6000	B95T1
16	12	2	24	0,2	0,12	2000	18ХГТ
17	12	3	24	12,0	0,20	6000	B95T1
18	12	3	24	12,0	0,16	4000	ХВГ
19	12	3	24	12,0	0,12	11000	B95T1
20	12	3	24	8,0	0,20	4000	Сталь 45
21	12	3	24	8,0	0,16	6000	B95T1
22	12	3	24	8,0	0,12	6000	B95T1
23	12	3	24	4,0	0,20	4000	18ХГТ
24	12	3	24	4,0	0,16	6000	B95T1
25	12	3	24	4,0	0,12	4000	Сталь 45
26	12	3	24	0,6	0,12	6000	B95T1

27	12	3	24	0,6	0,16	6000	B95T1
28	12	3	24	0,6	0,20	13000	B95T1
29	12	3	24	0,6	0,12	4000	Сталь 45
30	12	3	24	0,6	0,16	6000	B95T1
31	12	3	24	0,6	0,20	6000	B95T1
32	12	3	24	3,4	0,20	2500	18ХГТ
33	12	3	24	3,4	0,16	6000	B95T1
34	8	3	16	4,0	0,12	12000	АМг2
35	8	3	6	4,0	0,12	12000	АМг2
36	8	3	6	4,0	0,08	3000	ХВГ
37	8	2	16	6,0	0,20	12000	АМг2
38	8	2	16	6,0	0,10	10000	АМг2
39	8	3	6	4,0	0,10	12000	АЛ30
40	8	3	6	4,0	0,20	12000	ХВГ
41	12	3	16	8,0	0,20	16000	АЛ30
42	12	3	16	12,0	0,12	12000	АЛ30

Примечания. 1. Отчет о выполнении варианта задания, закрепленного за студентом, оформляется **на отдельном листе** путем заполнения таблицы, приведенной ниже. 2. Под таблицей необходимо разместить расчеты полученных значений требуемых величин.

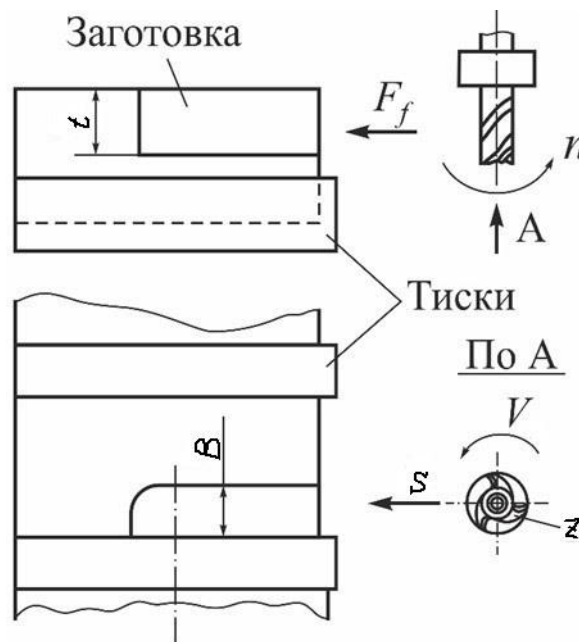
Рубежный контроль 1							Дата	
Группа _____			Фамилия Имя _____				_____	
№ варианта	Параметры фрезы		Факторы фрезерования				Марка материала	
	d_f , мм	Z, штук	t , мм	B, мм	S_o , мм/об	n , мин ⁻¹		
	Рассчитанные значения						Коэффициенты	
	N_e , кВт	$M_{кр}$, Н·м	V , м/мин	S , мм/мин	$F_f = W$, Н	k_c , Н/мм ²	$k_{c1.1}$, Н/мм ²	m_c

Рубежный контроль 1							Дата _____	
Группа _____			Фамилия Имя _____					
№ варианта	Параметры фрезы		Факторы фрезерования				Марка материала	
	d_f , мм	z , штук	t , мм	B , мм	S_o , мм/об	n , мин ⁻¹		
	Рассчитанные значения						Коэффициенты	
	N_e , кВт	$M_{кр}$, Н·м	V , м/мин	S , мм/мин	$F_f = W$, Н	k_c , Н/мм ²	$k_{c1.1}$, Н/мм ²	m_c

Выполненные расчеты

Выполнил, подпись	Дата	Принял, подпись	Дата

Пример выполнения						Дата	
РУБЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ №1 по курсу «Проектирование технологической оснастки»						№ варианта 1	
Параметры фрезы		Факторы фрезерования				Марка материала	
d_f , мм	z, штук	t , мм	B , мм	S_o , мм/об	n , мин ⁻¹		
12	4	24	12	0,20	6000	B95T1 (B96)	
Рассчитанные значения						Коэффициенты	
N_e , кВт	$M_{кр}$, Н·м	V , м/мин	S , мм/мин	$F_f = W$, Н	k_c , Н/мм ²	$k_{cl.1}$, Н/мм ²	m_c
6,34	10,08	226	1200	974	637	1100	- 0,22



Выполненные расчеты

Определяем величину потребляемой мощности P_c , необходимую для выполнения перехода фрезерования:

$$N_e = tBSk_{cl.1} / 60 \times 10^6, \quad (\text{кВт})$$

где t – глубина резания (мм); B – ширина резания, мм; S – скорость подачи, (мм/мин); $k_{cl.1}$ – характеристика обрабатываемого материала (Н/мм²), которая представляет собой силу резания F , необходимую для срезания стружки толщиной 1 мм;;

$$V = \pi \cdot d_\phi \cdot n / 1000 = 3,14 \cdot 12 \cdot 6000 / 1000 = 226 \text{ м/мин}$$

$$S = S_o \cdot n = 0,2 \cdot 6000 = 1200 \text{ мм/мин}$$

Определяем величину потребляемой мощности N_e

$$N_e = 24 \cdot 12 \cdot 1200 \cdot 1100 / 60 \times 10^6 = 6,34 \text{ кВт}$$

Вычисляем величину крутящего момента:

$$M_{кр} = N_e \cdot 30 \cdot 10^3 / \pi n = 30 \cdot 6,34 \cdot 10^3 / \pi \cdot 6000 = 10,08 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вычисляем силу подачи F_f :

$$k_c = k_{c1,1} \cdot B^{-mc} = 1100 \cdot 12^{-0,22} = 1100 \cdot 0,579 = 637 \text{ Н/мм}^2$$

$$F_f = k_c \cdot t \cdot B \cdot S_o / \pi \cdot d_\phi =$$

$$= 637 \cdot 12 \cdot 24 \cdot 0,20 / 3,14 \cdot 12 = 974 \text{ Н}$$

Силу зажима W , минимально необходимую для устойчивого положения заготовки в тисках, принимаем равной силе подачи F_f , но направленной навстречу силе подачи.

Примечания: 1. Для повышения надежности закрепления на практике расчетную силу зажима W умножают на коэффициент запаса $k = 1,5$.

2. Допускается выполнение расчета силы подачи по оси Y или окружной силы фрезерования заготовок по степенным зависимостям из справочников по режимам резания (см. приложение).

РУБЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ №2

усвоения материалов, изученных к 15 неделе по курсу
«Проектирование технологической оснастки»

Цель контроля. В ходе контроля необходимо выполнить расчеты сил зажима W изделий, установленных в приспособлениях, для выполнения переходов операций точения, фрезерования и сверления.

Для выполнения операции по обработке резанием (например, точения, фрезерования и сверления) изделие устанавливают в предназначенное для этой цели приспособление и закрепляют с применением установочных элементов и, при необходимости, с использованием силовых приводов.

После начала операции обработки силы резания стремятся сдвинуть изделие по установочным поверхностям. Чтобы этого не произошло, действие сил резания на изделие должно быть компенсировано силами зажима W , которые обеспечивают постоянство положения обрабатываемого изделия.

Для расчета сил и их составляющих используют сведения о типичных материалах изделий для каждой группы применения по стандарту ИСО 513–2012 (табл. П1).

Таблица П1.1

Сведения о материалах изделий

Группа резания	Подгруппа	Материал	Пример	Характеристика	
				$k_{c1.1}$, Н/мм ²	m_c
Р Стали	P1	Углеродистые (нелегированные)	Сталь 45	1350	0,21
	P3	Легированные	18ХГТ	1800	0,24
	P4	Легированные инструментальные	ХВГ	1900	0,24
N Алюминиевые сплавы	N1	Деформируемые	В96	1100	0,22
	N2	С содержанием кремния менее 4 %	АМг2	850	0,24
	N3	С содержанием кремния более 12,2 %	АЛ30	700	0,25

На основе этих сведений рассчитывают потребляемую мощность N_e , необходимую для обработки изделия из материала заданной группы и подгруппы резания.

Например, мощность N_e , кВт, необходимая для выполнения перехода:
а) точения (рис. П1.1):

$$N_e = \frac{VtS_0k_{c1.1}}{60 \cdot 10^3}, \quad (\text{П1.1})$$

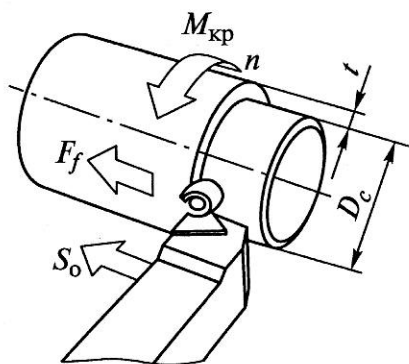


Рис. П1.1. Факторы и параметры перехода продольного точения

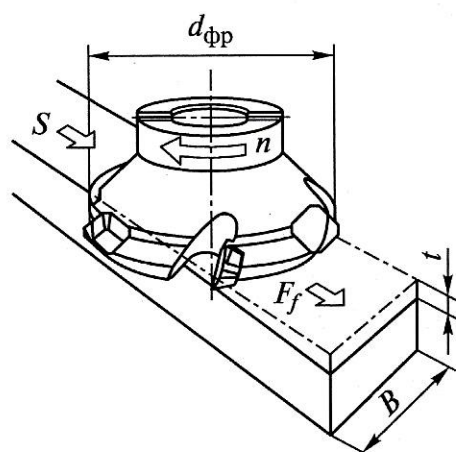


Рис. П1.2. Факторы и параметры перехода торцового фрезерования

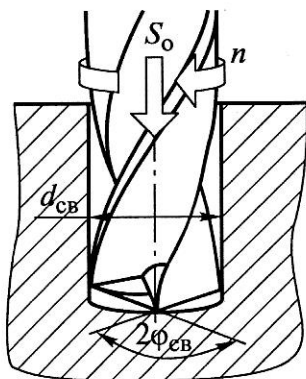


Рис. П1.3. Факторы и параметры перехода сверления

где V — скорость резания, м/мин, $V = \frac{\pi D_c n}{1000}$

(D_c — диаметр обработанной поверхности);
 t — глубина резания, мм; S_o — подача, мм/об;
 k — удельная сила резания, Н/мм²; $k_c = k_{c1.1} t^{-m_c}$
 ($k_{c1.1}$ — коэффициент удельной силы резания, Н/мм²);

б) торцового фрезерования (рис. П1.2):

$$N_e = \frac{tBSk_{c1.1}}{60 \cdot 10^6}, \quad (\text{П1.2})$$

где t — глубина фрезерования, мм; B — ширина фрезерования, мм; S — подача, мм/мин;
 в) сверления (рис. П1.3):

$$N_e = \frac{S_o d_{св} V k_{c1.1}}{240 \cdot 10^3}, \quad (\text{П1.3})$$

где $d_{св}$ — диаметр сверла, мм; V — скорость резания, $V = \frac{\pi d_{св} n}{1000}$; n — частота вращения сверла, мин⁻¹.

Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м, передаваемый в процессе обработки от шпинделя станка изделию (при точении) или режущему инструменту (при фрезеровании и сверлении), рассчитывают по формуле

$$M_{кр} = \frac{30 N_e}{\pi n} \cdot 10^3. \quad (\text{П1.4})$$

Силу F_f , Н, действующую на изделие по направлению подачи, рассчитывают по формулам:

• при точении

$$F_f = k_c t S_o; \quad (\text{П1.5})$$

• при фрезеровании

$$F_f = \frac{k_c t B S_o}{\pi d_{фр}}, \quad (\text{П1.6})$$

где $d_{фр}$ — диаметр фрезы;

• при сверлении

$$F_f = 0,25 d_{св} k_c S_o \sin 2\varphi_{св}, \quad (\text{П1.7})$$

где $2\varphi_{\text{св}}$ — угол при вершине спирального сверла, $2\varphi_{\text{св}} = 118^\circ$ при обработке материалов группы Р, $2\varphi_{\text{св}} = 110^\circ$ — группы N, $2\varphi_{\text{св}} = 90^\circ$ — для центровочных сверл.

Эскизы типовых приспособлений для установки изделий и расчетные формулы для них показаны в табл. П1.2–П1.4. На эскизах заданы места приложения внешних сил и их направления.

В качестве примера рассмотрим расчет силы зажима W при точении изделия, закрепленного в трехкулачковом токарном патроне.

Задание. 1. Рассчитать силу подачи F_f и момент $M_{\text{кр}}$, действующие на изделие при его закреплении в трехкулачковом токарном патроне (рис. П1.4). Материал изделия — легированная сталь 18 ХГТ, для которой $k_{\text{cl.1}} = 1800 \text{ Н/мм}^2$, $m_c = -0,24$.

2. Определить силу $W_{\text{к}}$ зажима изделия кулачками патрона.

Решение. 1. Определим потребляемую мощность N_e , кВт, необходимую для выполнения перехода точения, по формуле (П1.1):

Подгруппа материала изделия	$D_{\text{к}}$, мм	n , мин ⁻¹	S_o , мм/об	t , мм
РЗ	80	300	0,6	6

$$N_e = \frac{VtS_o k_c}{60 \cdot 10^3}.$$

Рассчитаем коэффициент k_c :

$$k_c = k_{\text{cl.1}} t^{-m_c} = 1800 \cdot 6^{-0,24} = 1800 \cdot 0,650 = 1171 \text{ Н/мм}^2$$

и скорость резания V :

$$V = \frac{\pi D_{\text{к}} n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 300}{1000} = 75,4 \text{ м/мин.}$$

Тогда потребляемая мощность

$$N_e = \frac{75,4 \cdot 6 \cdot 0,6 \cdot 1171}{60 \cdot 10^3} = 5,3 \text{ кВт.}$$

Определим крутящий момент по формуле (П1.4):

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot 5,3}{\pi \cdot 300} \cdot 10^3 = 168,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

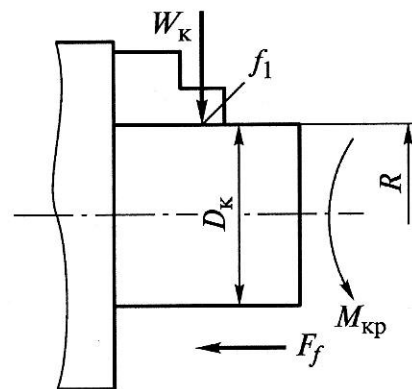


Рис. П1.4. Эскиз установки изделия в трехкулачковом патроне

Вычислим силу подачи F_f при точении по формуле (П1.5):

$$F_f = 1171 \cdot 6 \cdot 0,6 = 4215 \text{ Н.}$$

2. Для расчета силы зажима W_k изделия каждым кулачком трехкулачкового токарного патрона используем формулу (см. табл. П1.2):

$$W_k = \frac{k M_{кр}}{3 f_{тр} R} \cdot 10^3,$$

где k — коэффициент запаса, $k = 1,5$; $f_{тр}$ — коэффициент трения на гладких рабочих поверхностях кулачков, $f_{тр} = 0,25$; R — радиус поворота изделия в месте зажима в трехкулачковом токарном патроне, мм, $R = 0,71 D_k$.

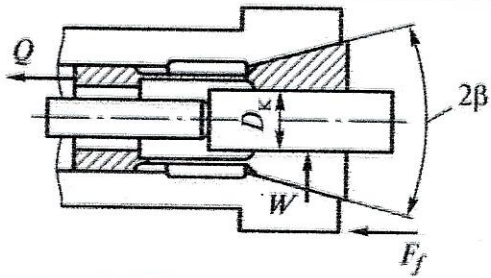
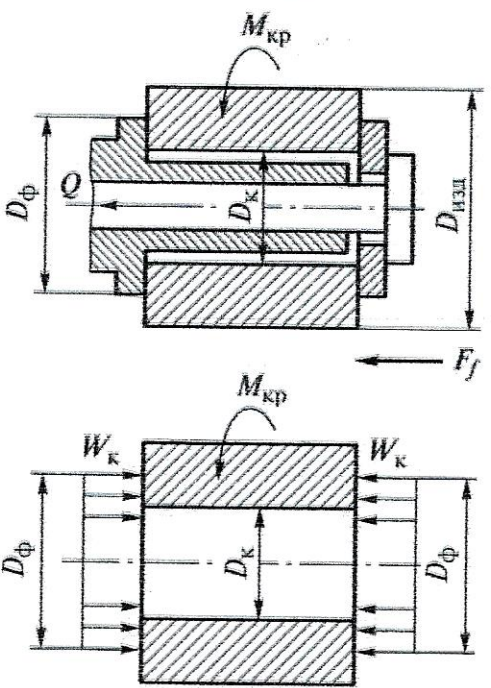
Подставив в эту формулу все значения, получим

$$W_k = \frac{1,5 \cdot 168,7}{3 \cdot 0,25 \cdot 0,71 \cdot 80} = 5940 \text{ Н.}$$

Таблица П1.2

Переходы в операциях токарной обработки

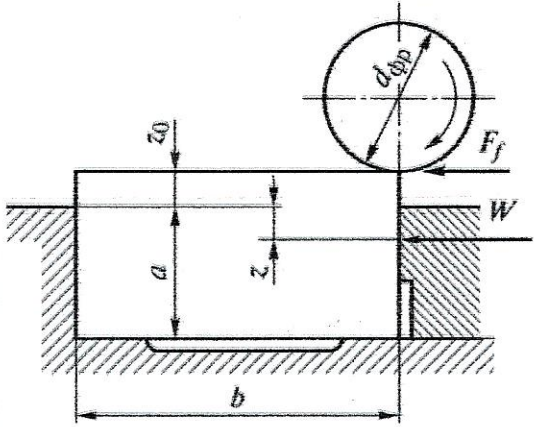
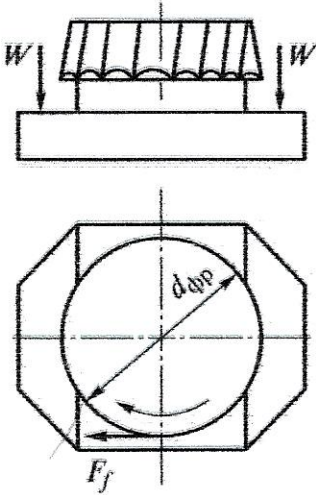
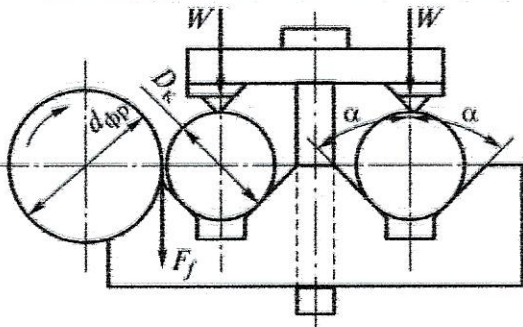
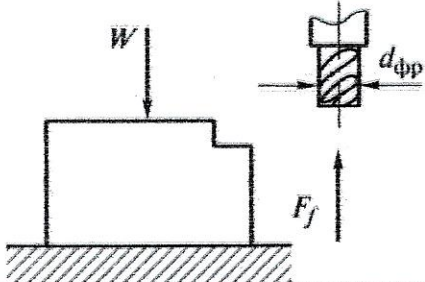
Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула	Вариант перехода
Точение изделия, закрепленного в трехкулачковом токарном патроне		$W_k = \frac{k M_{кр}}{3 f_{тр} R} \cdot 10^3$	1
Подрезка торца изделия, закрепленного в трехкулачковом токарном патроне		$W_k = \frac{1,33 k L F_f}{f_{тр} D_k} \cdot 10^3$	2

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула	Вариант пере-хода
Точение прутка, закрепленного в цанге шпинделя гидравлическим приводом с $Q = 25 \text{ кН}$		$W = \frac{Q}{[\operatorname{tg}(\beta + \varphi_{\text{пр}}) + \operatorname{tg} \lambda]}$	3
Обтачивание втулок, закрепленных на оправке с зазором винтовым зажимным механизмом с резьбой М16×2		$W_k = \frac{3,8kM_{\text{кр}}(D_{\text{изд}}^2 - D_k^2)}{f_{\text{тр}}(D_{\text{ф}}^3 - D_k^3)} \cdot 10^3$	4

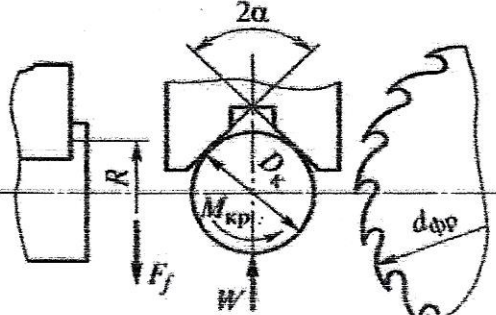
Примечания. $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент, передаваемый в процессе обработки от шпинделя станка изделию; Q – сила тяги механизма привода; F_f – сила подачи; $D_{\text{изд}}$ – диаметр изделий; $D_{\text{ф}}$ – диаметр фланца; D_k – диаметр зажимной поверхности изделий; R – радиус изделий в месте зажима в 3-кулачковом токарном патроне, $R = 0,71D_k$; L – длина изделий; β – угол уклона конуса конической поверхности цанги, $\beta = 15$ град.; $\varphi_{\text{тр}}$ – приведенный угол трения на поверхности конуса цанги, $\varphi_{\text{тр}} = 3^\circ$; λ – угол трения на поверхности прутка, $\lambda = 12^\circ$; k – коэффициент запаса, $k = 1,5$; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения: а) для кулачков токарных патронов с гладкой поверхностью $f_{\text{тр}} = 0,25$; б) по торцам фланцев $f_{\text{тр}} = 0,12$.

Таблица П1.3

Переходы в операциях фрезерования

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула	Вариант перехода
Фрезерование изделия, закрепленного в тисках, цилиндрической фрезой		$W = \frac{F_f (b + a f_{\text{тр}}) + F_f z_0}{a f_{\text{тр}}^2 + b f_{\text{тр}} + z}$	5
Фрезерование торцевой фрезой изделия, закрепленного рычажными механизмами с суммарным усилием W_{Σ}		$W = \frac{W_{\Sigma}}{m} = \frac{k}{m f_{\text{тр}}} F_f$	6
Фрезерование торцевой фрезой торцов прутков, закрепленных качающимся рычагом винтовым механизмом в призмах приспособления		$W = \frac{k}{f_{\text{тр}}} \sin \alpha F_f$	7
Фрезерование концевой фрезой изделий, закрепленных механизированным прихватом		$W = \frac{k F_f}{f_{\text{тр}} + f_{\text{тр}1}}$	8

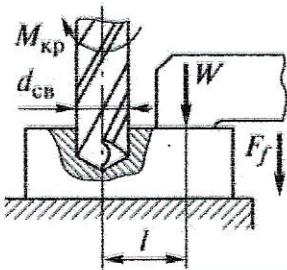
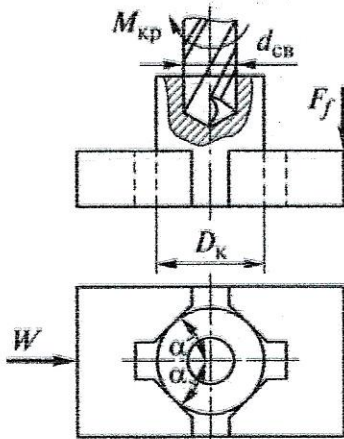
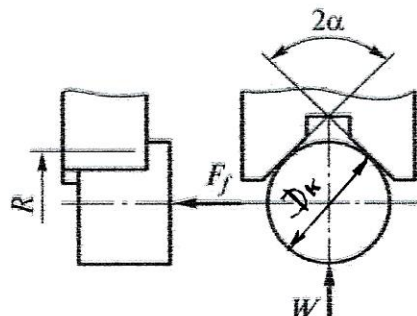
Окончание табл. III.3

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула	Вариант перехода
Отрезка изделий из прутка, закрепленного в призме гидроцилиндром, на фрезерно-центровальном станке		$W = \frac{kM_{кр}}{R(f_{тр} + f_{тр1})}$	9

Примечания. $M_{кр}$ — крутящий момент, передаваемый в процессе обработки изделию от фрезы; F_f — сила подачи; $f_{тр}$ — коэффициент трения на губках тисков и поверхностях призм: а) для гладких $f_{тр} = 0,25$; б) с крестообразно нарезанными канавками $f_{тр} = 0,45$; m — число прихватов, $m = 2$; 2α — угол призмы, $\alpha = 45$ град; D_k — диаметр зажимной поверхности изделий; R — радиус изделий в месте зажима в 3-кулачковом токарном патроне, $R = 0,71D_k$; $f_{тр1}$ — коэффициент трения с установочными элементами с гладкой поверхностью, $f_{тр1} = 0,25$; $d_{фр}$ — диаметр фрезы; k — коэффициент запаса, $k = 1,5$.

Таблица П1.4

Переходы в операциях сверления

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула	Вариант перехода
Сверление изделия, закрепленного на столе станка Г-образным рычажным механизмом		$W = \frac{k M_{кр}}{f_{тр} l} \cdot 10^3$	10
Сверление изделия, закрепленного в тисках с губками-призмами с механизированным приводом		$W = \frac{k M_{кр} \sin \alpha}{f_{тр} D_k} \cdot 10^3$	11
Центрование центровочным сверлом диаметром $D_{св}$ изделий из прутка		$W = \frac{k F_f}{f_{тр} + f_{тр1}}$	12

Примечания. $M_{кр}$ – крутящий момент на сверле; $f_{тр}$ – коэффициент трения на губках-призмах тисков и поверхностях призм: а) для гладких $f_{тр} = 0,25$; б) с крестообразно нарезанными канавками $f_{тр} = 0,45$; 2α – угол призмы, град, $\alpha = 45^\circ$; D_k – диаметр изделий; R – радиус изделий в точке зажима, $R = 0,5 D_k$; l – расстояние от оси сверла до точки приложения силы зажима W ; $d_{св}$ – диаметр сверла. k – коэффициент запаса, $k = 1,5$

Для расчетов используются факторы резания, приведенные в табл. П1.5 – П1.7.

П1.5. Факторы токарной обработки

Вариант факторов	Группа материала заготовки		$D_{изд}$, мм	$D_{ф}$, мм	D_k , мм	n , мин ⁻¹	S_o , мм/об	t , мм	L , мм
1	P1		40	32	25	800	0,3	2	100
2	P1		60	50	32	500	0,4	4	160
3	P1		80	63	40	300	0,6	6	200
4	P3		40	32	25	800	0,3	2	100
5	P3		60	50	32	500	0,4	4	160
6	P3		80	63	40	300	0,6	6	200
7	P4		40	32	25	800	0,3	2	100
8	P4		60	50	32	500	0,4	4	160
9	P4		80	63	40	300	0,6	6	200

П1.6. Факторы фрезерования

Вариант факторов	Группа материала заготовки	Наименование фрезы	$d_{фр}$, мм	n , мин ⁻¹	S_o , мм/об	t , мм	B , мм	Z , шт.
10	P1	Торцовая	100	315	1,4	6,0	60,0	7
11	P3							
12	P4							
13	P1	Цилиндрическая	100	315	2,8	3,0	80,0	14
14	P3							
15	P4							
16	P1	Отрезная	315	30	1,0	4,0	40	60
17	P3							
18	P4							
19	P1	Концевая	20	1500	0,4	12,0	24	5
20	P3							
21	P4							
22	P1	Концевая	25	1000	0,4	20,0	24	5
23	P3							
24	P4							
25	P1	Концевая	8	12000	0,20	6,0	16	2
26	P3				0,12	4,0	16	3
27	P4				0,08	4,0	6	3
28	N1	Концевая	12	6000	0,20	8,0	24	3
29	N2				0,16	3,4		
30	N3				0,12	0,6		

Примечания для вариантов факторов фрезерования

- 1) 13, 14 и 15: $a = 80$ мм; $b = 200$ мм; $Z = 40$ мм; $Z_0 = 4$ мм;
- 2) 16, 17 и 18: $D_k = 100$ мм

П1.7. Факторы сверления

Вариант факторов	Группа материала заготовки	Наименование инструмента	$d_{св}$, мм	n , мин ⁻¹	S_o , мм/об	l , мм
31	P1	Спиральное сверло	10	800	0,34	40
32			16	600	0,45	63
33			20	480	0,50	80
34			25	380	0,60	100
35	P1	Центровочное сверло	10	1600	0,40	x
36	N2	Спиральное сверло	10	1600	0,40	x
37			16	1200	0,60	x
38			20	1000	0,80	x
39			25	800	0,90	x

Примечание. Для вариантов факторов 36, 37, 38 и 39 $D_k = 3d_{св}$

Варианты заданий по рубежному контролю №2

приведены в табл. П1.8 – П1.10.

П1.8. Варианты задания по операциям токарной обработки

		Вариант перехода в операциях токарной обработки (табл. П1.2)			
		1	2	3	4
Факторы токарной обработки (табл. П1.5)	1	1	10	19	x
	2	2	11	20	25
	3	3	12	x	26
	4	4	13	21	x
	5	5	14	22	27
	6	6	15	x	28
	7	7	16	23	x
	8	8	17	24	29
	9	9	18	x	30

П1.9. Варианты задания по операциям фрезерования

		Вариант перехода в операциях фрезерования (табл. П1.3)				
		5	6	7	8	9
Факторы фрезерования (табл. П1.6)	10	x	34	37	x	x
	11	x	35	38	x	x
	12	x	36	39	x	x
	13	31	x	x	x	x
	14	32	x	x	x	x
	15	33	x	x	x	x
	16	x	x	x	x	52
	17	x	x	x	x	53
	18	x	x	x	x	54
	19	x	x	x	40	x
	20	x	x	x	41	x
	21	x	x	x	42	x
	22	x	x	x	43	x
	23	x	x	x	44	x
	24	x	x	x	45	x
	25	x	x	x	46	x
	26	x	x	x	47	x
	27	x	x	x	48	x
	28	x	x	x	49	x
	29	x	x	x	50	x
	30	x	x	x	51	x

П1.10. Варианты задания по операциям сверления

		Вариант перехода в операциях сверления (табл. П1.4)		
		10	11	12
Факторы сверления (табл. П1.7)	31	55	x	x
	32	56	x	x
	33	57	x	x
	34	58	x	x
	35	x	x	63
	36	x	59	x
	37	x	60	x
	38	x	61	x
	39	x	62	x

РУБЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ №2 по курсу «Проектирование технологической оснастки».	Дата _____
Группа _____ Фамилия И. _____	№ варианта _____

Определение вариантов вида и факторов перехода

Эскиз к заданию

Задание

Расчеты

Работу выполнил	Дата	Работу принял	Дата

СВЕДЕНИЯ ИЗ СПРАВОЧНИКОВ

Силы резания определяют путем измерений или расчетным путем по формулам и таблицам из справочников.

1. Общие сведения о режимах резания

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

Элементы режима резания обычно устанавливают в порядке, указанном ниже.

Глубина резания t : при черновой (предварительной) обработке назначают по возможности максимальную t , равную всему припуску на обработку или большей части его; при чистовой (окончательной) обработке – в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обработанной поверхности.

Подача S : при черновой обработке выбирают максимально возможную подачу, исходя из жесткости и прочности системы СПИЗ, мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки и других ограничивающих факторов; при чистовой обработке – в зависимости от требуемой степени точности и шероховатости обработанной поверхности.

Скорость резания V рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, которые имеют общий вид

$$V_{тб} = \frac{C_V}{T^{m_t} S^{x_S}} \quad (1)$$

Значения коэффициента C_V и показателей степени, содержащихся в этих формулах, так же как и периода стойкости T инструмента, применяемого для данного вида обработки, приводятся в таблицах для каждого вида обработки.

Вычисленная с использованием табличных данных скорость резания $V_{тб}$ учитывает конкретные значения глубины резания t подачи S и стойкости T и действительна при определенных табличных значениях ряда других факторов. Поэтому для получения действительного значения скорости резания V с учетом конкретных значений упомянутых факторов вводится поправочный коэффициент K_V . Тогда действительная скорость резания $V = V_{тб} K_V$, где K_V – произведение ряда коэффициентов.

Важнейшим для обработки на станках с ЧПУ является K_{MV} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (табл. 1-3).

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

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V}$
Серый чугун	$K_{MV} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_V}$
Ковкий чугун	$K_{MV} = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_V}$
Примечания: 1. σ_B и HB – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания. 2. Коэффициент K_r, характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени n_V см. в табл. 2.	

2. Значения коэффициента K_r и показатели степени n_V в формуле для расчета коэффициента обрабатываемости стали K_{MV} , приведенные в табл. 1

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_r для инструмента		Показатели степени n_V , при обработке					
			резцами		сверлами		фрезами	
	из быстро-режущей стали	из твердого сплава	из быстро-режущей стали	из твердого сплава	из быстро-режущей стали	из твердого сплава	из быстро-режущей стали	из твердого сплава
Сталь: углеродистая ($C \leq 0,6\%$) σ_B , МПа: < 450 450 ... 550 > 550	1,0	1,0	1,0	1,0	-0,9		-0,9	1,0
	1,0	1,0	1,75		-0,9		-0,9	
	1,0	1,0	1,75		0,9		0,9	
Сталь низкой обрабатываемости резанием хромистая	1,2	1,1	1,75		1,05		-	

3. Поправочный коэффициент K_{MV} . Учитывающий влияние физико-механических свойств медных и алюминиевых сплавов на скорость резания

Медные сплавы	K_{MV}	Алюминиевые сплавы	K_{MV}
Гетерогенные $HB > 140$ 100 ... 140 HB	0,7 1,0	Силумин и литейные сплавы (закаленные), $\sigma_B = 200 \dots 300$ МПа, $HB > 60$	0,8
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	1,7	Дюралюминий (закаленный),	
Гомогенные	2,0	$\sigma_B = 400 \dots 500$ МПа, $HB > 100$	

Медные сплавы	K_{MV}	Алюминиевые сплавы	K_{MV}
Сплавы с содержанием свинца <10% при основной гомогенной структуре	4,0	Силумин и литейные сплавы, $\sigma_B = 100 \dots 200$ МПа, $HB > 65$.	1,0
Медь	8	Дюралюминий, $\sigma_B = 300 \dots 400$ МПа, $HB > 100$.	
Сплавы с содержанием свинца >15%	12,0	Дюралюминий, $\sigma_B = 200 \dots 300$ МПа	1,2

2. Сила резания

Под силой резания обычно подразумевают ее главную составляющую P_z , определяющую расходуемую на резание мощность N_e и крутящий момент на шпинделе станка. Силовые зависимости рассчитывают по эмпирическим формулам, значения коэффициентов и показателей степени, в которых для различных видов обработки приведены в соответствующих таблицах.

Рассчитанные с использованием табличных данных силовые зависимости учитывают конкретные технологические параметры (глубину резания, подачу, ширину фрезерования и др.) и действительны при определенных значениях ряда других факторов. Их значения, соответствующие фактическим условиям резания, получают умножением на коэффициент K_p – общий поправочный коэффициент, учитывающий измененные по сравнению с табличными условия резания, представляющий собой произведение из ряда коэффициентов. Важнейшим из них является коэффициент K_{mp} , учитывающий качество обрабатываемого материала, значения которого для стали и чугуна приведены в табл. 4, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 5.

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

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_0 при сверлении, рассверливании и зенкерении	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь σ_B , МПа: ≤ 600 > 600	$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$	0,75/0,35 0,75/0,75	0,75/0,75 0,75/0,75	0,3/0,3 0,3/0,3
Серый чугун	$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{mp} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Примечание: В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали.				

5. Поправочный коэффициент $K_{\text{мр}}$, учитывающий влияние качества медных и алюминиевых сплавов на силовые зависимости

Медные сплавы	$K_{\text{мр}}$	Алюминиевые сплавы	$K_{\text{мр}}$
Гетерогенные 120 HB св. 120 HB	1,0 0,75	Алюминий и силумин Дюралюминий, $\sigma_{\text{в}}$, МПа:	1,0
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре и свинцовистые с содержанием свинца 10% при основной гомогенной структуре	0,65-0,70	250	1,5
		350	2,0
		> 350	2,75
Гомогенные	1,8-2,2		
Медь	1,7-2,1		
Сплавы с содержанием свинца >15%	0,25-0,45		

2.1 Точение

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

Подача S при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости системы СПИЗ, прочности режущей пластины и прочности державки. Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении приведены в табл. 6.

Скорость резания V (м/мин) при наружном продольном и поперечном точении и растачивании рассчитывают по эмпирической формуле

$$V = \frac{C_V}{T^{m_t} S^{x_S}} K_V,$$

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

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x S^y V^n K_p.$$

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

Постоянная C_p и показатели степени x , y , n для конкретных (расчетных) условий обработки для каждой из составляющих силы резания приведены в табл. 7.

Поправочный коэффициент K_p представляет собой произведение коэффициентов $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, учитывающих фактические углы резания (табл. 8).

Мощность резания, кВт, рассчитывают по формуле

$$N = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}$$

2.2.Сверление

Глубина резания. При сверлении глубина резания $t = 0,5D$ (рис. 1, а), при рассверливании, зенкерования и развертывании

$t = 0,5(D - d)$ (рис. 1, б)

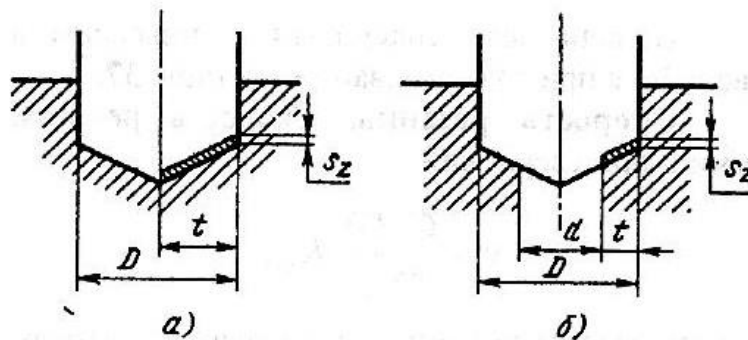


Рис.1. Схема резания при сверлении

Подача. При сверлении отверстий без ограничивающих факторов выбираем максимально допустимую по прочности сверла подачу (табл. 9).

При рассверливании рекомендуемую для сверления подачу увеличивают в 2 раза.

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

Диаметр детали, мм	Размер державки резца, мм	Обрабатываемый материал											
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная					Чугун и медные сплавы						
		Подача S , мм/об, при глубине резания t , мм											
До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	Св. 12	До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	Св. 12				
До 20	От 16×25 до 25×25	0,3 – 0,4	–	–	–	–		–	–	–	–		
Св. 20 до 40	От 16×25 до 25×25	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4				0,4 – 0,5						
» 40 » 60	От 16×25 до 25×40	0,5 – 0,9	0,4 – 0,8				0,3 – 0,7	0,6 – 0,9	0,5 – 0,8			0,4 – 0,7	
» 60 » 100	От 16×25 до 25×40	0,6 – 1,2	0,5 – 1,1				0,5 – 0,9	0,4 – 0,8	0,8 – 1,4	0,7 – 1,2		0,6 – 1,0	0,5 – 0,9
» 100 » 400	От 16×25 до 25×40	0,8 – 1,3	0,7 – 1,2				0,6 – 1,0	0,5 – 0,9	1,0 – 1,5	0,8 – 1,9		0,8 – 1,1	0,6 – 0,9
» 400 » 500	От 20×30 до 40×60	1,1 – 1,4	1,0 – 1,3	0,7 – 1,2	0,6 – 1,2	0,4 – 1,1	1,3 – 1,6	1,2 – 1,5	1,0 – 1,2	0,7 – 0,9			
» 500 » 600	От 20×30 до 40×60	1,2 – 1,5	1,0 – 1,4	0,8 – 1,3	0,6 – 1,3	0,1 – 1,2	1,5 – 1,8	1,2 – 1,6	1,0 – 1,4	0,9 – 1,2	0,8 – 1,0		
» 600 » 1000	От 25×40 до 40×60	1,2 – 1,8	1,1 – 1,5	0,9 – 1,4	0,8 – 1,4	0,7 – 1,3	1,5 – 2,0	1,3 – 1,8	1,0 – 1,4	1,0 – 1,3	0,9 – 1,2		
» 1000 » 2500	От 30×45 до 40×60	1,3 – 2,0	1,3 – 1,8	1,2 – 1,6	1,1 – 1,5	1,0 – 1,5	1,6 – 2,4	1,6 – 2,0	1,4 – 1,8	1,3 – 1,7	1,2 – 1,7		

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

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

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

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

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

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Конструкционная сталь и стальные отливки, $\sigma_B = 750$ МПа	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1,0	0,5	-0,4
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	384	0,9	0,9		355	0,6	0,8		241	1,05	0,2	
Серый чугун 190 НВ	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	123		0,85		61	0,6	0,5		24	1,05	0,2	
Алюминий и силумин		Наружное продольное и поперечное точение, растачивание, подрезание	40	1,0	0,75	0	31	0,6	0,6	0	21	1,0	0,1	0

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

Параметры		Обозначение	Величина коэффициента для составляющих		
Наименование	Величина		тангенциальной P_z	радиальной P_y	осевой P_x
Главный угол в плане φ°	30	$K_{\varphi p}$	1,08	1,30	0,78
	45		1,0	1,0	1,0
	60		0,94	0,77	1,11
	90		0,89	0,50	1,17
Передний угол γ°	-15	$K_{\gamma p}$	1,25	2,0	2,0
	0		1,1	1,4	1,4
	10		1,0	1,0	1,0

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

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

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

- 1) на глубину отверстия: $K = 0,9$ при $l \leq 5D$; $K = 0,8$ при $l \leq 7D$; $K = 0,75$ при $l \leq 10D$;
- 2) на достижение более высокого качества отверстия в связи с последующей операцией развертывания или нарезания резьбы $K = 0,5$;
- 3) на недостаточную жесткость технологической системы: при средней жесткости $K = 0,75$; при малой жесткости $K = 0,5$;
- 4) для сверл с режущей частью из твердого сплава – $K = 0,6$.

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

при сверлении

$$M_{кр} = 10C_M D^q S^y K_{мр}$$

$$P_0 = 10C_p D^q S^y K_{мр}$$

при рассверливании и зенкерования

$$M_{кр} = 10C_M D^q t^x S^y K_{мр}$$

$$P_0 = 10C_p D^q t^x S^y K_{мр}$$

Значение коэффициентов C_M и C_p и показателей степени приведены в табл. 10, значения коэффициентов $K_{мр}$ – см. табл. 4 и 5.

Мощность резания, кВт, определяют по формуле

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750}$$

где частота вращения инструмента или заготовки, об/мин,

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

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

Обрабатыва- емый материал	Наименова- ние операции	Материал режущей части инструмент а	Коэффициент и показатели степени в формулах							
			крутящего момента				осевой силы			
			C_m	q	x	y	C_p	q	x	y
Конструкцион ная углеродистая сталь, $\sigma_b =$ 750 МПа	Сверление	Быстрорежу щая сталь	0,0345	2,0	–	0,8	68	1,0	–	0,7
	Рассверливан ие и зенкерование		0,09	1,0	0,9	0,8	67	–	1,2	0,65
Жаропрочная сталь 12X18H9T, 141 HB	Сверление		0,041	2,0	–	0,7	143	1,0	–	0,7
	Рассверливан ие и зенкерование		0,106	1,0	0,9	0,8	140	–	1,2	0,65
Серый чугун, 190 HB	Сверление	Твердый сплав	0,012	2,2	–	0,8	42	1,2	–	0,75
	Рассверливан ие и зенкерование		0,196	0,85	0,8	0,7	46	–	1,0	0,4
	Сверление	Быстрорежу щая сталь	0,021	2,0	–	0,8	42,7	1,0	–	0,8
	Рассверливан ие и зенкерование		0,085	–	0,75	0,8	23,5	–	1,2	0,4
Ковкий чугун, 150 HB	Сверление	Быстрорежу щая сталь	0,021	2,0	–	0,8	43,3	1,0	–	0,8
	Рассверливан ие и зенкерование	Твердый сплав	0,01	2,2	–	0,8	32,8	1,2	–	0,75
			0,17	0,85	0,8	0,7	38	–	1,0	0,4
Гетерогенные медные сплавы средней твердости, 120 HB	Сверление	Быстрорежу щая сталь	0,012	2,0	–	0,8	31,5	1,0	–	0,8
	Рассверливан ие и зенкерование		0,031	0,85	–	0,8	17,2	–	1,0	0,4
Силумин и дюралюминий	Сверление		0,05	2,0	–	0,8	9,8	1,0	–	0,7
Примечание. Рассчитанные по формуле осевые силы при сверлении действительны для сверл с подточенной перемычкой; с неподточенной перемычкой осевая сила при сверлении возрастает в 1,33 раза.										

2.3. Фрезерование

Конфигурация обрабатываемой поверхности и вид оборудования определяют тип применяемой фрезы.

Ее размеры определяются размерами обрабатываемой поверхности и глубиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы для сокращения основного технологического времени и расхода инструментального материала выбирают по возможности наименьшей величины, учитывая при этом жесткость технологической системы, схему резания, форму и размеры обрабатываемой заготовки.

При торцовом фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B , т.е. $D = (1,25 \dots 1,5)B$, а при обработке стальных заготовок обязательным является их несимметричное расположение относительно фрезы: для заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей – сдвиг их в направлении врезания зуба фрезы (рис. 2, а), чем обеспечивается начало резания при малой толщине срезаемого слоя; для заготовок из жаропрочных и коррозионно-стойких сталей – сдвиг заготовки в сторону выхода зуба из резания с минимально возможной толщиной срезаемого слоя. Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

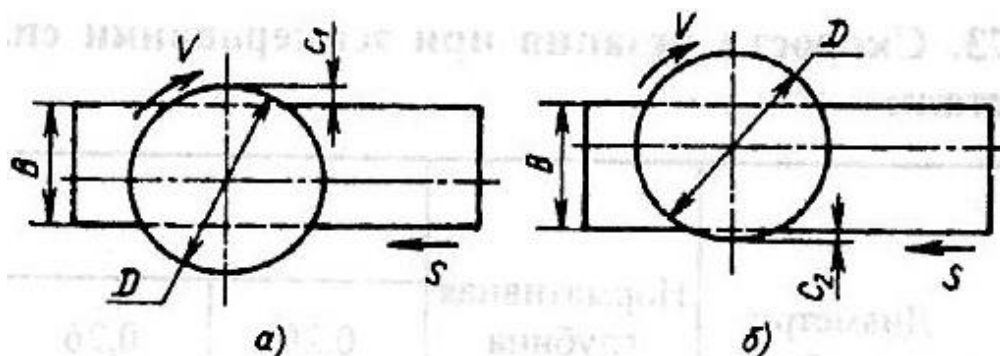


Рис. 2. Расположение стальной заготовки при торцовом фрезеровании относительно фрезы: а – врезание зуба фрезы при $c_1 = (0,03 \dots 0,05)D$; б – выход зуба фрезы при $c_2 = 0$

Глубина фрезерования t и ширина фрезерования B – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании (см. рис. 2). Во всех видах фрезерования, за исключением торцового, t определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой; t измеряют в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования B определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании; B измеряют в направлении, параллельном оси фрезы. При торцовом фрезеровании эти понятия меняются местами.

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

$$S_m = Sn = S_z zn$$

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

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб S_z , при чистовом фрезеровании – на один оборот фрезы S , по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один зуб $S_z = S/z$. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в табл. 11-12.

11. Поддачи при черновом фрезеровании заготовок твердосплавными концевыми фрезами плоскостей и уступов стальных заготовок

Диаметр фрезы D , мм	Подача на один зуб фрезы S_z , мм, при глубине фрезерования t , мм						
	1 – 3	5	8	12	20	30	40
10 – 12	0,01 – 0,03	–	–	–	–	–	–
14 – 16	0,02 – 0,06	0,02 – 0,04	–	–	–	–	–
18 – 22	0,04 – 0,07	0,03 – 0,05	0,02 – 0,04	–	–	–	–
20	0,06 – 0,10	0,05 – 0,08	0,03 – 0,05	–	–	–	–
25	0,08 – 0,12	0,06 – 0,10	0,05 – 0,10	0,05 – 0,08	–	–	–
30	0,10 – 0,15	0,08 – 0,12	0,06 – 0,10	0,05 – 0,09	–	–	–
40	0,10 – 0,18	0,08 – 0,13	0,06 – 0,11	0,05 – 0,10	0,04 – 0,07	–	–
50	0,10 – 0,20	0,10 – 0,15	0,08 – 0,12	0,06 – 0,10	0,05 – 0,09	0,05 – 0,08	0,05 – 0,06
60	0,12 – 0,20	0,10 – 0,16	0,10 – 0,12	0,08 – 0,12	0,06 – 0,10	0,06 – 0,10	0,06 – 0,08

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

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

3. При работе с поддачами для чистового фрезерования достигается параметр шероховатости $Ra = 0,8 \dots 1,6$.

12. Поддачи, мм/об, при фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами при глубине фрезерования 1-3 мм.

Параметр шероховатости и поверхности Ra , мкм	Торцовые и дисковые фрезы из твердого сплава	Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы, мм, в зависимости от обрабатываемого материала					
		конструкционная углеродистая и легированная сталь			чугун, медные и алюминиевые сплавы		
		40 – 75	90 – 130	150 – 200	40 – 75	90 – 130	150 – 200
3,2	0,5 – 1,0	1,0 – 2,7	1,7 – 3,8	2,3 – 5,0	1,0 – 2,3	1,4 – 3,0	1,9 – 3,7
1,6	0,4 – 0,6	0,6 – 1,5	1,0 – 2,1	1,3 – 2,8	0,6 – 1,3	0,8 – 1,7	1,1 – 2,1
0,8	0,2 – 0,3	0,4 – 1,2	0,6 – 1,5	1,0 – 2,1	1,3 – 2,5	–	–

Скорость резания – окружная скорость фрезы, м/мин,

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_{MV}$$

Значения коэффициента C_V и показателей степени приведены в табл. 13, где K_{MV} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1-3).

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

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^n z}{D^q n^w} K_{MP}$$

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

Значения коэффициента C_p и показателей степени приведены в табл. 13, поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала K_{mp} для стали и чугуна – в табл. 4, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 5.

Величины остальных составляющих силы резания (рис. 3 и 4): горизонтальной (сила подачи) P_h , вертикальной P_v , радиальной P_y , осевой P_x устанавливают из соотношения с главной составляющей P_z по табл. 14.

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

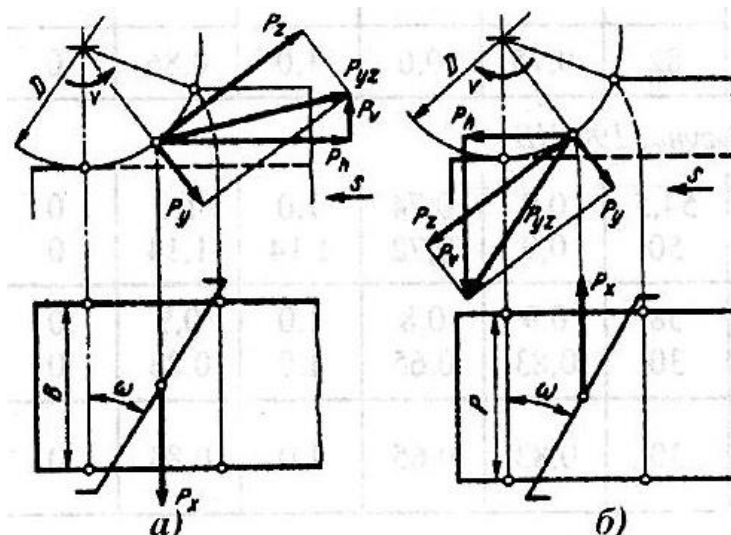


Рис. 3. Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой:
а – при встречном фрезеровании (против подачи); б – попутном (в направлении подачи)

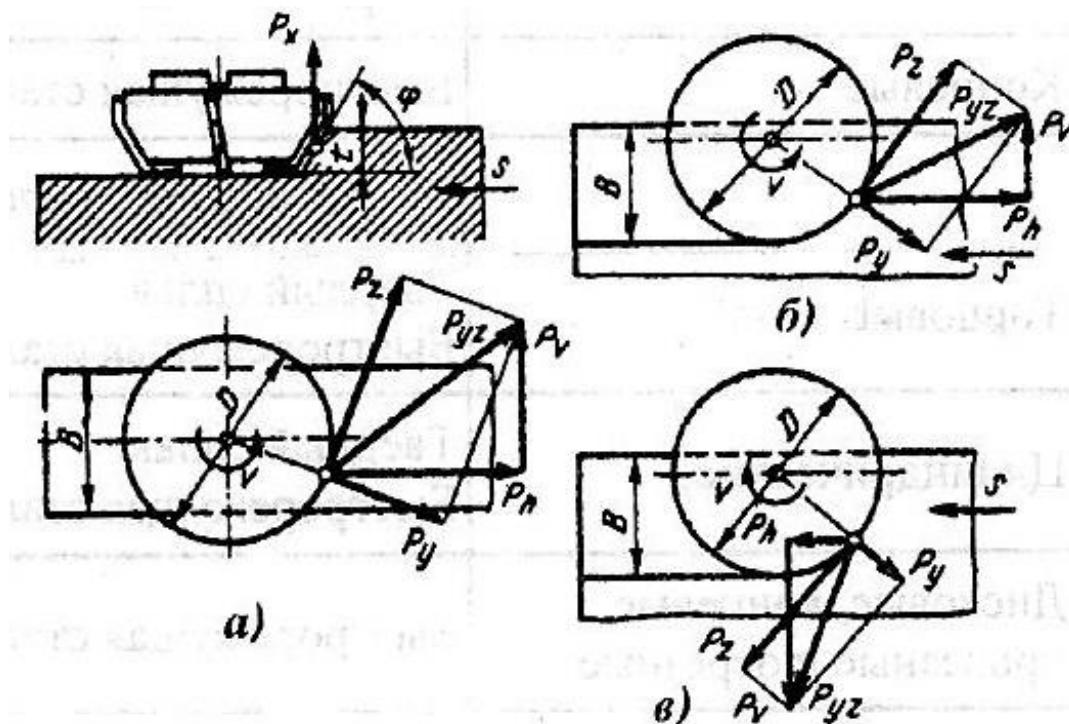


Рис. 4. Составляющие силы резания при торцовом фрезеровании:
а – симметричном; б – несимметричном встречном; в – несимметричном попутном

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

Фрезы	Материал режущей части инструмента	Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы, мм, в зависимости от обрабатываемого материала					
		C_p	x	y	u	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$							
Торцовые	Твердый сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
Цилиндрические	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Дисковые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Концевые	Твердый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Обработка жаропрочных сталей, 141 НВ							
Торцовые и концевые	Твердый сплав	218	0,92	0,78	1,0	1,15	0
Обработка серого чугуна, 190 НВ							
Торцовые и концевые	Твердый сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0
Цилиндрические	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Обработка цветных сплавов средней твердости, 100...140 НВ							
Цилиндрические, дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	22,6	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Примечание. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа сила возрастает: при обработке мягкой стали (стали $\sigma_B < 600 \text{ МПа}$) в 1,75 – 1,9 раза; во всех остальных случаях – в 1,2 – 1,4 раза							

Крутящий момент, Н·м, на шпинделе

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100}, \text{ где } D - \text{диаметр фрезы, мм.}$$

Мощность резания (эффективная), кВт $N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}$

14. Относительные значения составляющих силы резания при фрезеровании

Фрезерование	$P_h:P_z$	$P_V:P_z$	$P_y:P_z$	$P_x:P_z$
Фрезы цилиндрические, дисковые, концевые ^{*1} , угловые и фасонные (см. рис. 4)				
Встречное (против подачи)	1,1 – 1,2	0 – 0,25	0,4 – 0,6	(0,2 – 0,4)tgω
Попутное (в направлении подачи)	(0,8 – 0,9)	0,7 – 0,9		
Фрезы торцовые и концевые ^{*2} (см. рис. 5)				
Симметричное	0,3 – 0,4	0,85 – 0,95	0,3 – 0,4	0,5 – 0,55
Несимметричное встречное	0,6 – 0,8	0,6 – 0,7		
Несимметричное попутное	0,2 – 0,3	0,9 – 1,0		
^{*1} Фрезы, работающие по схеме цилиндрического фрезерования, когда торцовые зубья в резании не участвуют.				
^{*2} Фрезы, работающие по схеме торцового фрезерования				
Примечание. Изменение составляющих P_V и P_z при торцовом фрезеровании в зависимости от главного угла в плане φ см. в табл. 8.				

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маслов А.Р.** Проектирование технологической оснастки: учебное пособие – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025. – 134 с.

Издание доступно в электронном виде по адресам:

<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8381/>

http://mt2.bmstu.ru/files/maslov/pto_23.pdf

2. **Маслов А.Р.** Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: справочник / 3-е изд., исправ. и доп. // М.: Машиностроение, 2006. — 320 с.

3. **Справочник технолога-машиностроителя.** В 2 т. /под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина. 6-е изд., перераб. и доп. // М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 818 с.: ил.

Учебное издание

МАСЛОВ

Андрей Руффович

Рубежный контроль

усвоения курса

«Проектирование технологической оснастки»

Методические указания

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана