

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТ

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению практических работ для студентов
направления 15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование, автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения*

Воронеж 2021

УДК 621.01(07)
ББК 34.5я7

Составитель:

д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин

Процессы формообразования и инструмент: методические указания к практическим занятиям для студентов направления 15.03.01. «Машиностроение» (профиль «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Ю. Жачкин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 12 с.

Изложены общие вопросы по проведению практических занятий, даны рекомендации по разработке отдельных разделов, определен порядок выполнения, приведена рекомендуемая литература.

Методические указания предназначены для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ ПЗ ПФиИ.pdf.

Ил. 1; Табл. 6; Библиогр. 3 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5я7

Рецензент – *С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

1. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ. ОСНОВНОЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ) ВРЕМЯ

Пример 1. Определить скорость главного движения резания при обработке заготовки диаметром $D = 120$ мм на токарном станке с частотой вращения шпинделя $n = 500$ мин⁻¹.

Решение. Скорость главного движения резания при точении

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 120 \cdot 500}{1000} = 189 \text{ м/мин } (\approx 3,2 \text{ м/с}).$$

Таблица 1.

Данные к задаче №1

№ варианта	D, мм	v		№ варианта	D, мм	v	
		м/мин	м/с			м/мин	м/с
1	140	88	1,4	6	64	200	3,33
2	37	233	7	7	160	80	1,33
3	90	177	3,8	8	54	170	2,84
4	120	119	9	9	43	216	3,6
5	72	280	2,9	10	210	133	2,22
			5				
			1,9				
			8				
			4,6				
			7				

Пример 2. Определить частоту вращения шпинделя станка при обтачивании заготовки диаметром $D = 80$ мм на токарном станке со скоростью главного движения резания $v = 215$ м/мин ($\approx 3,6$ м/с).

Решение. Частота вращения шпинделя токарного станка

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 215}{3,14 \cdot 80} = 860 \text{ мин}^{-1}.$$

Пример 3. Определить частоту вращения (мин⁻¹) шпинделя станка (табл. 1) при обтачивании заготовки диаметром D (мм) на токарном станке со скоростью главного движения резания v (м/мин).

Пример 4. Определить скорость движения подачи v_s при обтачивании заготовки на токарном станке с частотой вращения шпинделя $n = 1000$ мин⁻¹; подача резца за один оборот шпинделя $s_0 = 0,26$ мм/об.

Решение. Скорость движения подачи резца

$$v_s = S_0 n = 0,26 \cdot 1000 = 260 \text{ мм/мин.}$$

Таблица 2.

Данные к задаче 5

№ варианта	n, мин ⁻¹	S ₀ , мм/об	№ варианта	n, мин ⁻¹	S ₀ , мм/об	№ варианта	n, мин ⁻¹	S ₀ , мм/об
1	400	0,61	5	250	0,78	8	160	0,95
2	630	0,43	6	1600	0,17	9	1250	0,23
3	200	0,87	7	860	0,3	10	500	0,52
4	315	0,7						

Таблица 3.

Данные к задаче 6

№ вари- анта	D	D ₀	d	№ вари- анта	D	D ₀	d
	мм				мм		
1	188	182	180	6	87	81,5	80
2	67	61,5	60	7	216	208	206
3	56	51	50	8	50	43,5	42
4	120	114	112	9	140	132	130
5	95	88,5	87	10	73	66,5	65,

Пример 5. Определить скорость движения подачи v_s при обтачивании заготовки на токарном станке с частотой вращения шпинделя n ; подача резца за один оборот шпинделя S_0 приведена в табл. 2.

Пример 6. Определить глубину резания t при обтачивании заготовки диаметром $D = 150$ мм на токарном станке в два перехода.

При предварительной обработке заготовка обтачивается до $D_0 = 142$ мм, а при окончательной обработке — до $d = 140$ мм.

Решение. При предварительном обтачивании глубина резания

$$t = \frac{D - D_0}{2} = \frac{150 - 142}{2} = 4 \text{ мм.}$$

При окончательном обтачивании

$$t = \frac{D_0 - d}{2} = \frac{142 - 140}{2} = 1 \text{ мм.}$$

Пример 7. Определить глубину резания t при обтачивании заготовки диаметром D на токарном станке в два перехода. При переходе предварительной обработки заготовка обтачивается до D_0 , а при окончательной обработке до d (табл. 3).

Таблица 4.

Данные к задаче 7

№ вари- анта	D	d	l	n, мин ⁻¹	S ₀ , мм/об	φ°	№ ва- ри- анта	D	d	l	n, мин ⁻¹	S ₀ , мм/об	φ°
	мм							мм					
1	54	50	200	1000	0,32	45	6	43	40	55	1600	0,26	45
2	118	110	350	315	0,52	60	7	64	60	80	1000	0,34	90
3	80	75	130	800	0,43	90	8	37	35	45	2000	0,17	45
4	72	71	60	1250	0,21	30	9	158	150	480	250	0,61	60
5	90	82	150	630	0,57	60	10	142	140	75	500	0,28	30

Пример 8. Определить основное время при продольном обтачивании напроход шейки вала от $D = 70$ мм до $d = 64$ мм на длине $l = 200$ мм. Частота вращения шпинделя станка $n = 600$ мин⁻¹; подача резца $S_0 = 0,4$ мм/об. Обработка производится за один рабочий ход. Резец проходной с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$.

Решение. Основное время при точении

$$T_0 = \frac{Li}{nS_0}.$$

По условию известны все величины, входящие в формулу, кроме длины рабочего хода резца $L = l + y + \Delta$, где врезание резца $y = t \times \operatorname{ctg} \varphi$; перебег резца $\Delta = 1 \dots 3$ мм.

При числе рабочих ходов $i = 1$ глубина резания

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{70 - 64}{2} = 3 \text{ мм};$$

тогда

$$y = 3 \operatorname{ctg} 45^\circ = 3 \times 1 = 3 \text{ мм}.$$

Принимаем перебег резца $\Delta = 2$ мм. Таким образом,

$$L = 200 + 3 + 2 = 205 \text{ мм}$$

$$T_0 = \frac{205 \cdot 1}{600 \cdot 0,4} = 0,85 \text{ мин}.$$

Пример 9. Определить основное время при продольном обтачивании напроход заготовки диаметром D (мм) до диаметра d (мм) на длине l (мм). Частота вращения шпинделя n ; подача резца S_0 . Обтачивание производится за один рабочий ход. Резец проходной с главным углом в плане φ (табл. 4).

Пример 10. Определить основное время при подрезании сплошного торца заготовки диаметром $D = 165$ мм на токарном станке за один проход. Частота

та вращения шпинделя $n = 480 \text{ мин}^{-1}$; подача резца $S_0 = 0,3 \text{ мм/об}$. Припуск на обработку (на сторону) $h = 3,5 \text{ мм}$. Резец проходной отогнутый с углом $\varphi = 45^\circ$.

Решение. Основное время при точении $T_0 = \frac{Li}{nS_0}$. Длина прохода резца при

подрезке сплошного торца $L = \frac{D}{2} + y + \Delta$. Врезание резца $y = t \times \text{ctg}\varphi$. При числе рабочих ходов $i = 1$ глубина резания $t = h = 3,5 \text{ мм}$. Тогда $y = 3,5 \times \text{ctg } 45^\circ = 3,5 \text{ мм}$. Перебег резца $\Delta = 1 \dots 3 \text{ мм}$; принимаем $\Delta = 2 \text{ мм}$. Таким образом,

$$L = \frac{165}{2} + 3,5 + 2 = 88 \text{ мм};$$

$$T_0 = \frac{88 \cdot 1}{480 \cdot 0,3} = 0,61 \text{ мин.}$$

Таблица 5.

Данные к задаче 8

№ ва-ри-анта	D	h	n, мин ⁻¹	S _о , мм/об	№ вари-анта	D	h	n, мин ⁻¹	S _о , мм/об
	мм					мм			
1	60	2,5	1000	0,43	6	150	4	500	0,78
2	85	3	800	0,52	7	45	2,5	1250	0,39
3	30	2	2000	0,30	8	100	3,5	400	0,6
4	120	4	315	0,7	9	90	3,5	630	0,57
5	70	3	800	0,47	10	40	2,5	1250	0,34

Пример 11. Определить основное время при подрезании сплошного торца заготовки диаметром D (мм) на токарном станке за один рабочий ход. Припуск на обработку (на сторону) h; частота вращения шпинделя n; подача резца S₀. Резец проходной отогнутый с углом $\varphi = 45^\circ$ (табл. 5).

Пример 12. Определить основное время при отрезании кольца от заготовки, имеющей форму трубы, на токарном станке резцом с пластиной из твердого сплава. Наружный диаметр заготовки D = 100 мм; внутренний диаметр d = 84 мм. Частота вращения шпинделя n = 250 мин⁻¹; подача резца S₀ = 0,14 мм/об.

Решение. Основное время

$$T_0 = \frac{L}{nS_0}.$$

Длина рабочего хода резца при отрезании кольца

$$L = \frac{D-d}{2} + (1 \dots 2).$$

Второе слагаемое учитывает врезание и перебег резца; принимаем его

равным 2 мм. Тогда

$$L = \frac{100 - 84}{2} + 2 = 10 \text{ мм};$$

$$T_0 = \frac{10'}{250 \cdot 0,14} = 0,29 \text{ мин.}$$

Таблица 6.

Данные к задаче 10

№ вариан- та	D	d	n мин ⁻¹	S ₀ мм/об	№ ва- рианта	D	d	n мин ⁻¹	S ₀ , мм/об
	мм					мм			
1	90	60	315	0,15	6	80	65	400	0,14
2	120	100	200	0,17	7	65	50	500	0,12
3	75	50	400	0,13	8	50	40	630	0,10
4	60	50	500	0,12	9	70	50	400	0,13
5	150	120	160	0,18	10	85	70	315	0,14

Пример 13. Определить основное время при отрезании кольца от заготовки, имеющей форму трубы, на токарном станке резцом с пластиной из твердого сплава. Наружный диаметр заготовки D; внутренний диаметр d. Частота вращения шпинделя n; подача резца S₀ (табл. 6).

2. СИЛЫ РЕЗАНИЯ И МОЩНОСТЬ, ЗАТРАЧИВАЕМАЯ НА РЕЗАНИЕ

Пример 1. По эмпирическим формулам теории резания определить составляющие силы резания P_z , P_y и P_x при продольном точении заготовки из стали 40 с $\sigma_B = 650$ МПа (≈ 65 кгс/мм²) резцом с пластиной из твердого сплава Т5К10. Глубина резания $t = 4$ мм; подача резца $S_0 = 0,6$ мм/об; скорость главного движения резания $v = 110$ м/мин ($\approx 1,8$ м/с). Геометрические элементы резца: форма передней поверхности - радиусная с фаской; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\lambda = +5^\circ$; $r = 1$ мм.

Решение.

1. Составляющие силы резания (Н) при точении определяют по справочнику [1], где на с. 271 приведена формула в общем виде

$$P_{z, y, x} = 10 C_P t^{x_P} S_0^{y_P} v^{n_P} K_P.$$

Эмпирические формулы для определения каждой из составляющих могут быть представлены в следующем виде: главной составляющей силы резания (старое название — тангенциальная сила резания)

$$P_z = 10 C_{P_z} t^{x_{P_z}} S_0^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} K_{P_z};$$

Радиальной составляющей силы резания

$$P_y = 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} S_0^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} K_{P_y};$$

Осевой составляющей силы резания

$$P_x = 10 C_{P_x} t^{x_{P_x}} S_0^{y_{P_x}} v^{n_{P_x}} K_{P_x}.$$

2. Из табл. 22 (рис. 1) выписываем значения коэффициентов и показателей степеней формул, возможно более близкие к условиям данного примера, т. е. для наружного продольного точения стали с пределом прочности $\sigma_B = 750$ МПа резцом из твердого сплава:

$$\begin{array}{llll} C_{P_z} = 300; & x_{P_z} = 1; & y_{P_z} = 0,75; & n_{P_z} = -0,15; \\ C_{P_y} = 243; & x_{P_y} = 0,9; & y_{P_y} = 0,6; & n_{P_y} = -0,3; \\ C_{P_x} = 339; & x_{P_x} = 1; & y_{P_x} = 0,5; & n_{P_x} = -0,4. \end{array}$$

3. Отличие заданных условий обработки от нормативных должно быть учтено при подсчетах сил резания путем введения соответствующих поправочных коэффициентов. Поправочные коэффициенты на характеристики механи-

ческих свойств обрабатываемого материала находим в табл. 9 и 10, с. 264—265. В табл. 23 на с. 276 даны поправочные коэффициенты в зависимости от геометрических элементов резца. Приведенные выше значения коэффициентов C_p и показателей степеней x_p , y_p и n_p действительны лишь для точения стали с $\sigma_B = 750$ МПа (≈ 75 кгс/мм²) резцом из твердого сплава с углами $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\lambda = 0$, так как только для этих условий обработки каждый поправочный коэффициент равен единице. Поэтому вводим следующие поправочные коэффициенты для заданных условий обработки:

на характеристику механических свойств обрабатываемой стали с $\sigma_B = 65$ кгс/мм²

$$\begin{aligned} K_{M_{P_z}} \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{n_P}; \quad n_P = 0,75; \quad K_{M_{P_z}} &= \left(\frac{65}{75} \right)^{0,75} = \\ &= 0,87^{0,75} = 0,9; \quad K_{M_{P_y}} = \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{n_P}; \quad n_P^* = 1,35; \\ K_{M_{P_y}} &= \left(\frac{65}{75} \right)^{1,35} = 0,8^{1,35} = 0,83; \quad K_{M_{P_x}} = \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{n_P}; \\ n_P^* &= 1; \quad K_{M_{P_x}} = \left(\frac{65}{75} \right) = 0,87; \end{aligned}$$

на главный угол в плане $\varphi = 60^\circ$

$$K_{\varphi_{P_z}} = 0,94; \quad K_{\varphi_{P_y}} = 0,77; \quad K_{\varphi_{P_x}} = 1,11;$$

на угол наклона режущей кромки $\lambda = +5^\circ$

$$K_{\lambda_{P_z}} = 1; \quad K_{\lambda_{P_y}} = 1,25; \quad K_{\lambda_{P_x}} = 0,85.$$

4. Определяем составляющую силу P_z , имея в виду что общий поправочный коэффициент $K_{P_z} = K_{M_{P_z}} \times K_{\varphi_{P_z}} \times K_{\lambda_{P_z}}$:

$$\begin{aligned} P_z &= 10 C_{P_z} t^{x_{P_z}} S_0^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} K_{M_{P_z}} K_{\varphi_{P_z}} K_{\lambda_{P_z}} = 10 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 0,6^{0,75} \times \\ &\times 110^{-0,15} \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 = 10 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 0,6^{0,75} \frac{1}{110^{0,15}} 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 = \\ &= 10 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 0,68 \frac{1}{2,02} 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 = 3417 \text{ Н } (\approx 342 \text{ кгс}). \end{aligned}$$

5. Определяем составляющую силу P_y :

$$\begin{aligned} P_y &= 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} S_0^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} K_{M_{P_y}} K_{\varphi_{P_y}} K_{\lambda_{P_y}} = 10 \cdot 243 \cdot 3,48 \cdot 0,74 \times \\ &\times \frac{1}{4,1} 0,83 \cdot 0,77 \cdot 1,25 = 1220 \text{ Н } (\approx 122 \text{ кгс}). \end{aligned}$$

6. Определяем составляющую силу P_x :

$$P_z = 10 C_{P_z} t^{P_z} S_0^{P_z} v^{P_z} K_{\mu_{P_z}} K_{\phi_{P_z}} K_{\lambda_{P_z}} = 10 \cdot 339 \cdot 4 \cdot 0,6^{0,5} \times \\ \times 110^{-0,4} \cdot 0,87 \cdot 1,11 \cdot 0,85 = 10 \cdot 339 \cdot 4 \cdot 0,77 \frac{1}{6,55} 0,87 \times \\ \times 1,11 \cdot 0,85 = 1308 \text{ Н } (\approx 131 \text{ кгс}).$$

Пример 2. Определить составляющие силы резания P_z , P_y , P_x при продольном точении заготовки резцом из твердого сплава с глубиной резания t , подачей S_0 и скоростью резания v (рис. 7).

Пример 3. Определить мощность $N_{\text{рез}}$, затрачиваемую на резание, и момент сопротивления резанию $M_{\text{ср}}$. (если при продольном точении заготовки диаметром $D = 70$ мм со скоростью главного движения резания $v = 140$ м/мин ($\approx 2,3$ м/с) главная составляющая силы резания $P_z = 3100$ Н (≈ 310 кгс).

Решение. Мощность, затрачиваемая на резание

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} = \frac{310 \cdot 140}{60 \cdot 102} = 7,12 \text{ кВт}, \\ (P_z - \text{в кгс}; v - \text{в м/мин}).$$

Момент сопротивления резанию

$$M_{\text{ср}} = P_z \frac{D}{2} = 310 \frac{70}{2} = 10850 \text{ кгс} \cdot \text{мм}.$$

В единицах СИ

$$N_{\text{рез}} = P_z v = 3100 \cdot 2,3 = 7120 \text{ Вт} = 7,12 \text{ кВт} \\ (P_z - \text{в Н}; v - \text{в м/с}); \\ M_{\text{ср}} = P_z \frac{D}{2} = 3100 \frac{70}{2} 10^{-3} = 108,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

№ варианта	Материал заготовки	Режим резания			Геометрические элементы реза							
		f, мм	S ₀₁ , мм	v		φ	α	γ	λ	r, мм	Форма передней поверхности реза	
				м/мин	м/с							
1	Сталь 20, σ _B = 500 МПа (≈ 50 кгс/мм ²)	4	0,7	140	2,33	45	8	+10	+5	1	Радиусная с фаской	
2	Серый чугун, 160 HB	5	0,78	60	1	60	8	+5	+10	1	Плоская	
3	Сталь жаропрочная 12X18H9T, 180 HB	1	0,21	265	4,42	90	10	+10	0	2	Радиусная с фаской	
4	Серый чугун, 220 HB	1,5	0,26	150	2,5	45	10	+5	-5	2	Плоская	
5	Сталь 38XA, σ _B = 680 МПа (≈ 68 кгс/мм ²)	3	0,61	120	2	60	10	+10	+5	1	Радиусная с фаской	
6	Серый чугун, 170 HB	4,5	0,7	65	1,08	90	10	+5	0	1	Плоская	
7	Сталь 40XH, σ _B = 700 МПа (≈ 70 кгс/мм ²)	1,5	0,3	240	4	60	10	+10	-5	2	Радиусная с фаской	
8	Серый чугун, 210 HB	1	0,23	180	3	45	10	+5	-5	2	Плоская	
9	Сталь Ст5, σ _B = 600 МПа (≈ 60 кгс/мм ²)	3,5	0,52	130	2,17	45	10	+10	+5	1	Радиусная с фаской	
10	Серый чугун, 180 HB	4	0,87	75	1,25	60	10	+5	+10	1	Плоская	

Рис.1. Данные к задаче

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Убарев Ю. М., Битюков Р. Н. Основы резания материалов и режущий инструмент. – Изд. «Лань», 1-е изд., 2019. – 228 с.
2. Кишуров В. М., Кишуров М. В., Черников П. П., Юрасова Н. В. Назначение рациональных режимов резания при механической обработке. – Изд. «Лань», 3-е изд., стер., 2019. – 216 с.
3. Макаров В. Ф. Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов. – Изд. «Лань», 1-е изд., 2013. – 320 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ. ОСНОВНОЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ) ВРЕМЯ.....	3
2. СИЛЫ РЕЗАНИЯ И МОЩНОСТЬ, ЗАТРАЧИВАЕМАЯ НА РЕЗАНИЕ.....	8
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	12

ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению практических работ для студентов
направления 15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование, автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения

Составитель:
Жачкин Сергей Юрьевич

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор Е. Д. Зотовой

Подписано к изданию 15.11.2021
Уч.-изд. л. 0,75

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14