

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ – ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ДЛЯ ОПЕРАЦИИ ТОЧЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ НАПАЙНЫМИ РЕЗЦАМИ

Рассмотрен выбор режима резания для операции наружного продольного точения (расточивания) заготовки на токарном станке с ЧПУ твердосплавным напайным резцом. Для этого типа резца геометрические параметры лезвия назначаются в зависимости от марки и механических характеристик обрабатываемого материала, и физически реализуются путем заточки.

Сформулировано задание по каждому варианту исходных данных: требуется обработать вал длиной l и диаметром d .

Поверхность диаметром d должна быть выполнена по одному из этапов (стадий) и соответствующим квалитетам точности и шероховатости:

$h7 - h8$, $R_a = 0,32 - 1,25$ мкм, этап обработки 4-й, отделочная обработка (тонкое алмазное обтачивание); **принять $R_a=0.63$**

$h9 - h11$, $R_a = 0,8 - 2,5$ мкм, этап обработки 3-й, чистовая обработка;
принять $R_a=1.5$

$h12 - h13$, $R_a = 2 - 16$ мкм, этап обработки 2-й, получистовая обработка;
принять $R_a=5$

$h14$, $R_a = 12 - 40$ мкм, этап обработки 1-й, черновая обработка.
принять $R_a=20$

Расчет режима резания необходимо выполнить для одного из заданных этапов обработки: 1-й, 2-й или 3-й.

Обрабатываемый материал назначается из следующих групп ОМ: углеродистые и легированные стали; коррозионностойкие стали; титановые сплавы; серый чугун; алюминиевые сплавы. Обрабатываемый материал характеризуется маркой, твердостью и условным пределом прочности. Вид заготовки – прокат

или литье, состояние поверхности – с коркой для этапа 1, без корки для этапов 2,3. Наружный диаметр заготовки имеет $h15 - h17$ квалитет точности.

Заданы схемы операции: на проход (главный угол в плане $\varphi = 45$ град); в упор $\varphi = 90$ град; в упор $\varphi = 75$ град; в упор $\varphi = 60$ град; в упор $\varphi = 30$ град. Рассмотрены три схемы крепления заготовки на станке: в патроне консольно; в патроне с поджимом задним центром; в центрах с поводком или через рифленый центр.

Задание предусматривает:

1. Определить количество этапов и глубину резания для каждого этапа для получения требуемого квалитета точности обработанной поверхности по таблице 1.1. Таблица сформирована по данным учебного пособия [2].

Таблица 1.1

Назначение глубины резания для каждого этапа обработки

Диаметр d , мм	Этап обработки – квалитет точности			
	1-й – черно- вая $h14$	2-й – получисто- вая $h13, h12$	3-й – чисто- вая $h11, h10, h9$	4-й – отде- лочная 8, 7
	Глубина резания на каждом этапе t , мм			
≤ 18	2,0	0,9	0,5	0,2
30	2,5	1,0	0,6	0,2
50	3,0	1,3	0,7	0,3
80	3,5	1,5	0,8	0,3
120	4,5	1,7	0,9	0,3
180	5,0	2,0	1,0	0,4
250	5,5	2,2	1,1	0,4

Указанный диаметр включает весь диапазон от предыдущего значения. Например, значение $d = 30$ мм включает весь диапазон диаметров $18 < d \leq 30$. Общий припуск на обработку определяется суммой припусков по всем этапам.

В частности, для диаметра детали d_{115h7} диаметр заготовки составляет $d_z = 115 + 2 \cdot 4,5 + 2 \cdot 1,7 + 2 \cdot 0,9 + 2 \cdot 0,3 = 129,8$ мм. Расчетный диаметр для 2-го этапа обработки составляет $d = 120,8$ мм, глубина резания – $t = 1,7$ мм. Расчетный диаметр для 1-го этапа обработки составляет $d = 129,8$ мм, глубина резания – $t = 4,5$ мм.

2. Выбрать тип резца токарного с пластинами из твердого сплава по таблице 8.3, назначить габаритные размеры резца по таблице 8.6 из справочника [3]. Расстояние от опорной поверхности резца до оси вращения шпинделя выбрать в соответствии с паспортными данными станка.

3. Выбрать и показать в виде эскиза форму заточки передней и задней поверхности резца по таблице 8.9 [3]:

– форма I, плоская с положительным передним углом, алюминиевые сплавы, $\gamma = 20$, $\alpha = 10$ град;

– форма I, плоская с положительным передним углом, серый чугун, $\gamma = 2$, $\alpha = 6$ град;

– форма II, плоская с отрицательной фаской, сталь углеродистая и легированная с $\sigma_b \leq 700$ МПа, размер фаски $f = 0,1 \div 0,3$ мм, $\gamma = 10$, $\alpha = 6$ град;

– форма Y, криволинейная с отрицательной фаской, коррозионностойкая сталь с $\sigma_b \leq 850$ МПа, $\gamma = 16$, $\alpha = 8$ град;

– форма YI, криволинейная с отрицательной фаской, углеродистая, легированная, коррозионностойкая сталь с $\sigma_b = 700 \div 1000$ МПа, $\gamma = 12$, $\alpha = 10$ град;

– форма Yа, криволинейная с отрицательной фаской, углеродистая, легированная, коррозионностойкая сталь с $1000 < \sigma_b \leq 1300$ МПа, $\gamma = 8$, $\alpha = 10$ град;

– форма Yб, криволинейная с отрицательной фаской, титановый сплав, $\gamma = 3$, $\alpha = 10$ град.

Назначить геометрические параметры режущей части резца для указанного этапа обработки и схемы операции:

– главный угол в плане φ принять в соответствии с заданной схемой операции, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 15$ град, угол наклона кромки $\lambda = 5$ град, радиус закругления вершины $r = 1$ мм для высоты державки резца $H = 16, 20$ мм и $r = 1,6$ мм для высоты державки резца $H = 25, 32$ мм;

– значения углов заднего и переднего по таблице 1.2.

Толщину твердосплавной пластины принять равной $h = 7$ мм.

Таблица 1.2

Значения углов переднего и заднего при точении заготовок из различных ОМ твердосплавными резцами

Обрабатываемый материал	γ , град	α , град
Углеродистые и легированные стали	10÷15	6÷8
Коррозионностойкие, жаростойкие стали	10÷16	6÷10
Титановые сплавы	3÷(-5)	8÷10
Серый чугун	0÷10	6÷8
Алюминиевые сплавы	10÷20	8÷10

4. Выбрать марку твердого сплава по таблице 3 справочника [4], по таблице 2.6 справочника [5], по таблице 5 справочника [6] для обработки:

– углеродистых, легированных, коррозионностойких сталей – двухкарбидные твердые сплавы марок Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, трехкарбидные с износостойкими покрытиями марок ТТ10К8Б-TiN, ТТ10К8Б-TiC;

– серого чугуна и коррозионностойких сталей – однокарбидные твердые сплавы без и с износостойкими покрытиями марок ВК6, ВК6М, ВК6-ОМ, ВК8, ВК6-TiN, ВК6-TiC;

– титановых сплавов – однокарбидный твердый сплав марки ВК8;

– алюминиевых сплавов – быстрорежущая сталь марки Р6М5 и однокарбидные твердые сплавы марок ВК6, ВК6М, ВК6-ОМ, ВК8.

5. Выполнить операционный эскиз обработки для заданной схемы операции и типа крепления заготовки. Инструмент расположить в конечном положении, указать линейные размеры, включая длину врезания и перебега.

6. Рассчитать параметры режима резания.

6.1. Глубина резания.

Глубина резания t , мм, назначается по этапам обработки в соответствии с таблицей 1.1;

6.2. Подача инструмента на оборот заготовки.

Для черновой и получистовой обработки (этап 1, 2) значение подачи на оборот s , мм/об, рассчитывается по выражению:

$$s = \frac{C_s d^{z_s}}{t^{x_s}} K_{Hs} K_{fs} K_j K_k K_{np} K_{ds} K_{rs} \cdot \quad (0.1)$$

Значения переменных в выражении (0.1) зависят от вида ОМ и этапа обработки и приведены в таблице 1.3 с числовыми данными из справочника [4].

Таблица 1.3

Значения переменных для выражения (0.1)

ОМ	Этап обработки	C_s	z_s	x_s
Углеродистые и легированные стали	1-й – черновая	0,247	0,387	0,295
	2-й – получистовая	0,055	0,709	0,304
	3-й – чистовая	0,036	0,639	0,358
	4-й – отделочная	0,037	0,536	0,209
Коррозионностойкие стали, титановые сплавы	1-й – черновая	0,206	0,387	0,293
	2-й – получистовая	0,048	0,698	0,298

и стали с пределом прочности больше 1000 МПа	3-й – чистовая	0,039	0,571	0,392
	4-й – отделочная	0,031	0,529	0,216
Серый чугун	1-й – черновая	0,225	0,436	0,284
	2-й – получистовая	0,064	0,696	0,315
	3-й – чистовая	0,037	0,654	0,356
	4-й – отделочная	0,033	0,585	0,235
Алюминиевые сплавы	1-й – черновая	0,313	0,383	0,295
	2-й – получистовая	0,071	0,698	0,305
	3-й – чистовая	0,037	0,654	0,356
	4-й – отделочная	0,033	0,585	0,235

Поправочный коэффициент K_{H_s} характеризует твердость или прочность ОМ:

– для углеродистой и легированной стали, и чугуна $K_{H_s} = C_{H_s} / (HB)^{n_s}$;

– для алюминиевых сплавов $K_{H_s} = C_{H_s} / (\sigma_b)^{n_s}$,

где твердость HB , МПа, предел прочности на растяжение σ_b , МПа.

Значения параметров C_{H_s}, n_s приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Значения переменных для расчета коэффициента K_{H_s}

ОМ	C_{H_s}	n_s
Сталь углеродистая, легированная	349,91	0,77
Серый чугун	422,5	0,81
Алюминиевые сплавы	2,45	0,14

Для коррозионностойких сталей, титановых сплавов этот коэффициент принят равным единице $K_{H_s} = 1$.

Поправочный коэффициент K_{fs} учитывает геометрические параметры резца в плане и рассчитывается по выражению:

$$\text{– для этапа 1 или 2 } K_{fs} = 2,9 \cdot \varepsilon^{0,21} / \varphi^{0,44};$$

$$\text{– для этапа 3 или 4 } K_{fs} = 0,946 / \varphi^{0,059}$$

где $\varepsilon = 180 - (\varphi + \varphi_1)$ – угол при вершине; φ, φ_1 – главный и вспомогательный углы в плане, град.

Поправочный коэффициент K_j учитывает жесткость заготовки и способ ее закрепления на станке:

$$K_j = \frac{C_j}{(l/d)^{0,19}}.$$

Значение C_j зависит от способа крепления заготовки на станке: в патроне кон-
сольно $C_j = 1,1$; в центрах с поводком $C_j = 1,38$; в патроне с поджимом задним
центром $C_j = 1,66$.

Поправочный коэффициент K_k характеризует состояние поверхности за-
готовки – для этапа 1 черновой обработки заготовки с коркой принимается рав-
ным $K_k = 0,85$, в остальных случаях $K_k = 1$.

Поправочный коэффициент K_{np} характеризует прочность твердосплавной
пластины, для этапа 1 черновой обработки его можно рассчитать по выражению

$$K_{np} = 0,92h^{0,28} / t^{0,26},$$

где h, t – толщина пластины, глубина резания, мм.

При растачивании вводится поправочный коэффициент, учитывающий
влияние диаметра обработки: $K_{ds} = 0,203 \cdot d^{0,253}$.

Для этапа 3, 4 чистовой и отделочной обработки учитываем влияние радиуса закругления вершины резца: $K_{rs} = 0,995 \cdot r^{0,7}$.

Расчетные значения подачи (0.1) с учетом выше перечисленных поправочных коэффициентов корректируются по рекомендациям справочной литературы. Для черновой обработки (этап 1) в справочнике [5] приведены рекомендованные значения подачи в зависимости от диаметра заготовки и глубины резания. Эти значения для диапазонов диаметров и глубин резания приведены в таблице 1.5. В автоматизированном расчете рекомендовано брать средние значения из диапазона. Общепринятым также является ограничение, когда подача пропорциональна глубине резания, в виде неравенства $s \leq 0,25t$.

Таблица 1.5

Подачи при черновом наружном точении твердосплавными резцами

Диаметр d , мм	Сталь углеродистая, легированная, коррозионностойкая		Серый чугун, алюминиевые сплавы	
	Глубина резания t , мм			
	$t \leq 3$	$3 < t \leq 5$	$t \leq 3$	$3 < t \leq 5$
	Подача s , мм/об			
20-40	0,4-0,5	0,3-0,4	0,4-0,5	0,3-0,4
40-60	0,5-0,9	0,4-0,8	0,6-0,9	0,5-0,8
60-100	0,6-1,2	0,5-1,1	0,8-1,4	0,7-1,2
100-400	0,8-1,3	0,7-1,2	1,0-1,5	0,8-1,9

Для титановых сплавов при черновой и получистовой обработке (этап 1, 2) рекомендованы значения подач [6], приведенные в таблице 1.6.

Подачи при наружном точении титановых сплавов

Диаметр d , мм	Глубина резания t , мм	
	$t \leq 2$	$2 < t \leq 5$
	Подача s , мм/об	
≤ 20	0,2-0,3	0,2-0,3
20-50	0,3-0,4	0,2-0,3
50-100	0,4-0,5	0,3-0,4
100-200	0,5-0,6	0,4-0,5

Для получистовой и чистовой обработки (этап 2, 3) значение подачи рассчитывают, исходя из заданной шероховатости обработанной поверхности. В справочнике [5] приведены табличные данные, устанавливающие связь между подачей и шероховатостью обработанной поверхности для различных значений радиуса закругления вершины резца. Эти данные аппроксимированы степенной зависимостью

$$s = C_s R_a^{y_s} , \quad (0.2)$$

где s – подача, мм/об, R_a – параметр шероховатости, мкм.

Числовые значения параметров, входящих в выражение (0.2), для различных значений радиуса закругления приведены в таблице 1.7.

Значения параметров в выражении (0.2)

Радиус закругления r , мм	Параметры	
	C_s	y_s
$\leq 0,4$	0,091	0,618
0,4-0,8	0,124	0,628
0,8-1,2	0,153	0,630
1,2-1,6	0,179	0,628
1,6-2,0	0,195	0,637
$>2,0$	0,217	0,628

Для черновой обработки (этапы 1) после расчета подачи по (0.1) значения корректируются с учетом данных таблиц 1.5, 1.6. Для получистовой и чистовой обработки (этапы 2, 3) расчетные значения подачи корректируются с учетом заданной шероховатости (0.2).

Для отделочной обработки (тонкого алмазного точения) заготовок из алюминиевых и титановых сплавов справедлива степенная зависимость для расчета подачи от заданной шероховатости обработанной поверхности:

$$s = \left[\frac{R_a}{4,5 \cdot t^{0,028} v^{0,024}} \right]^{1,16} \cdot \quad (0.3)$$

где значение скорости резания для алюминиевого сплава можно принять $v = 600$ м/мин, для титанового сплава – $v = 200$ м/мин.

6.3. Скорость резания

Скорость резания v , м/мин, для наружного продольного точения заготовок твердосплавными напайными резцами рассчитывается по степенной формуле

$$v = \frac{C_v}{T^{m_v} t^{x_v} s^{y_v}} K_{Mv} K_{nv} K_{iv} K_{\phi v} K_{\phi 1v} K_{rv}, \quad (0.4)$$

где T – стойкость инструмента, мин, параметры заимствованы из справочников [5, 6], коэффициенты учитывают влияние: K_{Mv} – механических свойств ОМ заготовки; K_{nv} – состояние поверхности заготовки; K_{iv} – марки инструментального материала; $K_{\phi v}, K_{\phi 1v}, K_{rv}$ – главного угла в плане, вспомогательного угла в плане, радиуса закругления вершины резца, соответственно. .

Стойкость T есть время работы новым или переточенным инструментом до затупления. Рекомендуемое значение стойкости по данным справочников [5-7] для резцов напайных с пластинами из твердого сплава при черновой и получистовой стадии обработки находится в пределах $T = 30 \div 70$ мин, а число периодов стойкости (число переточек) можно принять равным $z = 8$.

Значения параметров, входящих в выражение (0.4), приведены в таблице 1.8 для основных (базовых) марок по каждой группе ОМ и соответствующей марке ИМ.

Таблица 1.8

Значения параметров в формуле скорости резания для различных обрабатываемых материалов

ОМ	ИМ	Подача s , мм/об	C_v	m_v	x_v	y_v
Углеродистая сталь, $\sigma_b = 750$ МПа	Т15К6	$\leq 0,3$	420	0,2	0,15	0,2
		$0,3 \div 0,7$	350	0,2	0,15	0,35
Серый чугун, $HB = 1900$ МПа	ВК6	$\leq 0,4$	292	0,2	0,15	0,2
		$>0,4$	243	0,2	0,15	0,4

Сталь коррозионно-стойкая жаростойкая 12Х18Н10Т, $\sigma_b = 510$ МПа	ВК6М	$\leq 0,2$	240	0,25	0,15	0,15
		$>0,2$	150	0,25	0,15	0,45
Сталь коррозионно-стойкая жаростойкая 12Х18Н10Т, $\sigma_b = 510$ МПа	Т15К6	$\leq 0,2$	580	0,35	0,15	0,15
		$>0,2$	360	0,35	0,15	0,45
Титановый сплав ВТ3-1, $\sigma_b = 1200$ МПа	ВК8	$>0,06$	125	0,35	0,2	0,4
Титановый сплав ВТ6С, $\sigma_b = 950$ МПа	ВК8	$>0,06$	140	0,35	0,2	0,4
Титановый сплав ВТ14, $\sigma_b = 1000$ МПа	ВК8	$>0,06$	130	0,35	0,2	0,4
Алюминиевый сплав Д16, АМг6, $\sigma_b = 300 \div 400$ МПа, $HB < 1000$ МПа	Р18, Р6М5	$\leq 0,2$	485	0,28	0,12	0,25
		$>0,2$	328	0,28	0,12	0,5

Механические характеристики обрабатываемых материалов, которые включены в варианты домашнего задания, приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9

Механические характеристики обрабатываемых материалов (ОМ)

№ п.п	Марка ОМ	Группа	σ_b , МПа	HB , МПа
1	Д16	Алюминиевый сплав	400	1050
2	АМг6		315	650
3	10	Углеродистая сталь	340	1430

4	15		380	1490
5	20		490	1630
6	30		500	1790
7	45		610	2290
8	50		640	2410
9	60		690	2550
10	12ХН3А	Хромоникелевая сталь	750	2174
11	30Г	Марганцовистая сталь	540	1565
12	60Г		710	2690
13	70Г		800	2850
14	40Х	Хромистая сталь	770	2232
15	30ХМА	Хромомолибденоалюминиевая сталь	930	2696
16	18ХГТ	Хромомарганцовистая сталь	1000	2170
17	45ХН	Хромоникелевая сталь	1050	2070
18	50ХН		1100	2070
19	20ХН3А		950	2690
20	12Х2Н4А		1150	2170
21	30ХН3А		1000	2690
22	20ХГСА		800	2070
23	25ХГСА	Хромокремнемарганцовистая сталь	1100	2170
24	30ХГСА		1100	2290
25	38ХЮ		900	2290
26	38ХМЮА	Хромоалюминиевая сталь	1000	2290
27	12Х13	Коррозионностойкая хромистая сталь	620	1797
28	20Х13		850	1900
29	12Х18Н10Т	Коррозионностойкая жаростойкая хромоникелевая сталь	510	1478
30	12Х21Н5Т		750	1600
31	BT3-1	Титановый сплав	1200	3870
32	BT6C		950	3065
33	BT14		1000	3225
34	СЧ10	Серый чугун	100	1900
35	СЧ20		200	2300
36	СЧ25		250	2450
37	СЧ30		300	2600

Примечание: для серого чугуна толщина стенки отливки принята равной 15 мм.

Коэффициент K_{Mv} для углеродистой и легированной стали, и серого чугуна рассчитывается по выражениям:

– для углеродистой и легированной стали

$$K_{Mv} = K_g \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v}; \quad (0.5)$$

– для серого чугуна

$$K_{Mv} = \left(\frac{1900}{HB} \right)^{n_v}, \quad (0.6)$$

где предел прочности σ_b и твердость HB приведены в таблице 1.9.

Значения параметров K_g, n_v даны в таблице 1.10.

Таблица 1.10

Значения параметров в выражениях (0.5), (0.6)

Обрабатываемый материал	K_g	n_v
Хромоникелевая сталь	1,0	1,0
Марганцовистая сталь	0,9	
Хромистая сталь	1,1	
Хромомолибденоалюминиевая сталь	0,8	
Хромомарганцовистая сталь	0,8	
Хромоникелевая сталь	0,9	
Хромокремнемарганцовистая сталь	0,8	
Хромоалюминиевая сталь	0,8	
Серый чугун	–	1,25

Значения коэффициента K_{Mv} для коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов приведены в таблице 4.2 справочника [5]. Для этих обрабатываемых материалов из таблицы 1.9 значения коэффициента приведены в таблице 1.11, а скорость резания рассчитывается для базовой марки по труднообрабатываемым материалам 12X18H10T.

Таблица 1.11

Значения поправочного коэффициента K_{Mv} для теплостойких, коррозионностойких и жаропрочных сталей

Марка ОМ	Группа	K_{Mv}
12X18H10T	Коррозионностойкая жаростойкая хромоникелевая сталь	1,0
12X21H5T		0,8
12X13	Коррозионностойкая хромистая сталь	1,3
20X13		1,1

Значения коэффициента K_{nv} приняты для состояния поверхности заготовки с коркой для черновой обработки (этап 1) $K_{nv} = 0,8$. После первого прохода, т.е. для этапов 2, 3 значение коэффициента следует принять равным единице $K_{nv} = 1,0$.

Значения поправочного коэффициента K_{iv} по группам ОМ в зависимости от марки ИМ по данным справочников [5, 6] приведены в таблице 1.12. При обработке углеродистых и легированных сталей рекомендованы двухкарбидные ТС. При обработке серого чугуна и алюминиевых сплавов – однокарбидные. Коррозионностойкую сталь можно обрабатывать резцами из однокарбидных и двухкарбидных твердых сплавов. При обработке алюминиевых сплавов этот поправочный коэффициент, равный единице, принят для быстрорежущей стали.

Таблица 1.12

Значения поправочного коэффициента K_{iv} для различных групп ОМ

ОМ	Марка ИМ				
	Коэффициент K_{iv}				
Углеродистые и легированные стали	Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т30К4	ВК8,ВК6
	0,65	0,8	1,0	1,4	0,4
Серый чугун	ВК8	ВК6	ВК6М	ВК6-ОМ	Т5К10,Т15К6
	0,83	1,0	1,15	1,25	0,6
Коррозионностойкая сталь	ВК8	ВК6	ВК6М	ВК6-ОМ	Р6М5
	0,8	0,9	1,0	1,25	0,3
Коррозионностойкая сталь	Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т30К4	Р6М5
	0,6	0,8	1,0	1,1	0,3
Алюминиевые сплавы	Р18, Р6М5	ВК6	ВК6М	-	-
	1,0	2,7	3,0	-	-

Скорость резания можно повысить при использовании твердых сплавов с износостойкими покрытиями. Поправочные коэффициенты для твердых сплавов с износостойкими покрытиями получены на основании экспериментальных данных А.С. Верещака и А.П. Третьякова. Для повышения скорости резания по группе однокарбидных твердых сплавов использованы покрытия: $ВК6 - TiN$, $ВК6 - TiC$ с соответствующими коэффициентами – $K_{iv} = 1,64$; $1,93$. Для повышения скорости резания по группе двухкарбидных твердых сплавов – твердый сплав с покрытиями: $ТТ10К8Б - TiN$, $ТТ10К8Б - TiC$ с соответствующими коэффициентами $K_{iv} = 1,7$; $1,83$.

При обработке титановых и алюминиевых сплавов твердые сплавы с износостойкими покрытиями значительного эффекта по скорости резания не дают.

Значения поправочных коэффициентов на скорость резания, учитывающих влияние углов в плане и радиуса закругления вершины, приведены в таблице 1.13.

Значения поправочных коэффициентов на углы в плане и радиус закругления вершины реза

Главный угол в плане φ , град	$K_{\varphi v}$	Вспомогательный угол в плане φ_1 , град	$K_{\varphi 1v}$	Радиус при вершине r , мм	K_{rv}
≤ 20	1,4	–	–	–	–
20-30	1,2	≤ 10	1,0	≤ 1	0,94
30-45	1,0	10-15	0,97	1-2	1,0
45-60	0,9	15-20	0,94	2-3	1,03
60-75	0,8	20-30	0,91	3-5	1,13
>75	0,7	>30	0,87	>5	–

7. Рассчитать главную составляющую силы резания.

Главная (тангенциальная) составляющая силы резания P_z , Н, рассчитывается по выражению

$$P_z = \frac{C_p t^{x_p} s^{y_p}}{v^{n_p}} K_{Mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p}, \quad (0.7)$$

где параметры для основных (базовых) марок по каждой группе ОМ по данным справочников [5, 6] приведены в таблице 1.14, поправочные коэффициенты учитывают влияние: K_{Mp} – механических свойств ОМ; $K_{\varphi p}, K_{\gamma p}$ – угла в плане, переднего угла, соответственно.

Параметры в выражении тангенциальной составляющей силы резания для различных обрабатываемых материалов

ОМ	ИМ	C_p	x_p	y_p	n_p
Углеродистая и легированная сталь, $\sigma_b = 750$ МПа	ТС	3000	1,0	0,75	0,15
Серый чугун, $HB = 1900$ МПа	ТС	920	1,0	0,75	0
Сталь коррозионностойкая жаростойкая 12Х18Н10Т, $\sigma_b = 510$ МПа	ТС	3400	0,95	0,75	0,15
Титановый сплав ВТЗ-1, $\sigma_b = 1200$ МПа	ТС	2100	0,9	0,75	0,1
Титановый сплав ВТ6С, $\sigma_b = 950$ МПа	ТС	2000	0,9	0,75	0,1
Титановый сплав ВТ14, $\sigma_b = 1000$ МПа	ТС	2200	0,9	0,75	0,1
Алюминиевый сплав Д16, АМг6, $\sigma_b = 300 \div 400$ МПа, $HB < 1000$ МПа	БРС	400	1,0	0,75	0

Коэффициент K_{Mp} для углеродистой и легированной стали, и серого чугуна рассчитывается по выражениям:

– для углеродистой и легированной стали

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_b}{750} \right)^{0,75}; \quad (0.8)$$

– для серого чугуна

$$K_{Mp} = \left(\frac{HB}{1900} \right)^{0,4}, \quad (0.9)$$

где предел прочности σ_b , МПа, твердость HB в МПа.

Значения коэффициентов, учитывающих влияние геометрических параметров лезвия резца на составляющую силы резания при наружном продольном точении стали и чугуна, приведены в таблице 1.15.

Таблица 1.15

Значения поправочных коэффициентов, учитывающих геометрические параметры лезвия резца

Геометрический параметр	Значение	Коэффициент	Значение
φ, град	≤ 30	$K_{\varphi p}$	1,08
	30-45		1,0
	45-60		0,94
	>60		0,89
γ, град	≤ -15	$K_{\gamma p}$	1,25
	-15-0		1,10
	>0		1,0

Мощность резания N , кВт, и крутящий момент M , Нм, рассчитывают по выражениям:

$$N = \frac{P_z v}{6 \cdot 10^4}, \quad M = \frac{P_z d}{2000}, \quad (0.10)$$

где составляющая силы P_z , Н, скорость резания v , м/мин, диаметр обрабатываемой поверхности d , мм. Необходимая мощность привода вращения шпинделя станка составляет $N_{st} = N / \eta$, $\eta = 0,75$ – коэффициент полезного действия.

8. Проверить рассчитанный режим по допустимой силе резания в соответствии с п.2.8, учебного пособия [2].

8.1. По прочности державки резца.

Допустимое значение тангенциальной составляющей силы резания вычисляют по формуле

$$P_z = \frac{W}{l_p} \sigma_i = \frac{BH^2}{6 \cdot l_p} \sigma_i, \quad (0.11)$$

где W – момент сопротивления изгибу, м^3 ; B, H, l_p – ширина, высота державки резца, вылет вершины резца, м , σ_i – предел прочности на изгиб материала державки, Па . Рекомендован вылет резца $l_p = 1,5H$, предел прочности на изгиб для качественной конструкционной стали можно принять равным $\sigma_i = 2,5 \cdot 10^8$ Па .

Значение составляющей силы по (0.11) должно быть меньше расчетного значения по выражению (0.7).

8.2. По жесткости державки резца.

Допустимое по жесткости державки резца значение тангенциальной составляющей силы резания вычисляют по формуле

$$P_z = \frac{3f_p E \cdot I_x}{l_p^3} = \frac{f_p E \cdot BH^3}{4 \cdot l_p^3}, \quad (0.12)$$

где $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па – модуль упругости конструкционной стали; $I_x = BH^3 / 12$, м^4 , осевой момент инерции державки прямоугольного сечения. Допустимая деформация вершины резца может быть принята равной при точении: $f_p = 3 \cdot 10^{-4}$ м – черновом; $f_p = 1,7 \cdot 10^{-4}$ м – получистовом; $f_p = 1,2 \cdot 10^{-4}$ м – чистовом; $f_p = 1,0 \cdot 10^{-4}$ м – отделочном.

8.3. По прочности твердосплавной пластины.

Допустимое значение тангенциальной составляющей силы резания составляет

$$P_z = \frac{290h^{1,35}t^{0,77}}{(\sin \varphi)^{0,8}}, \quad (0.13)$$

где h – толщина пластины, мм.

8.4. По прочности механизма подачи станка.

Допустимую силу подачи станка нужно сравнить с осевой составляющей силы резания P_x . Значение осевой составляющей силы резания можно приближенно вычислить по формуле:

$$P_x = 0,035P_z\varphi^{0,6}, \quad (0.14)$$

где φ – главный угол в плане, град. Для станков с ЧПУ токарной группы допустимую силу подачи можно принять равной 4000 Н.

8.5. По деформации обрабатываемой заготовки.

Прогиб обрабатываемой заготовки будет от равнодействующей двух составляющих силы резания: тангенциальной P_z и радиальной P_y . Значение равнодействующей можно рассчитать по эмпирическому соотношению:

$$P_{zy} = P_z \sqrt{1 + 20/\varphi^{1,6}}. \quad (0.15)$$

Расчетная деформация заготовки f_z , мм, будет зависеть от метода крепления на станке:

– консольно в патроне станка

$$f_z = \frac{P_{zy}l^3}{3EI_x} 10^3,$$

где l – длина заготовки (величина вылета из патрона), м; $I_x = \pi d^4 / 64$, м⁴ – осевой момент инерции круглого сечения;

– в центрах

$$f_z = \frac{P_{zy}l^3}{48EI_x} 10^3 ;$$

– в патроне с поджатием задним центром

$$f_z = \frac{P_{zy}l^3}{102EI_x} 10^3 .$$

Допустимый прогиб заготовки можно принять равным: 0,1 мм при черновом точении; 0,07 мм при получистовом точении; 0,05 мм при чистовом точении; 0,03 мм при отделочной обработке.

Если по какому-либо показателю тангенциальная составляющая силы резания превышает допустимое значение, необходимо уменьшить припуск, подачу или увеличить главный угол в плане резца.

9. Определить основные параметры нормирования.

9.1. Основное технологическое время, мин, $t_o = L / (ns)$, где L , мм – длина прохода с учетом врезания и перебега; при обработке в упор перебег принимается равным нулю.

9.2. Штучное время, мин, $t_{st} = t_o C_\tau + \frac{T_{cm}}{K_T}$, где коэффициент C_τ принимается равным $C_\tau = 1,7$ и учитывает вспомогательное время, техническое и организационное обслуживание рабочего места; $T_{cm} = 3$ мин – время на смену инструмента после затупления и регулировку станка; $K_T = T / t_o$ – число обработанных деталей за период стойкости.

9.3. Сменная выработка деталей, шт., есть количество деталей обработанных в смену на данной операции и составляет $H_t := 480 / t_{st}$, а сменный расход

инструмента равен $I = \frac{H_t}{K_T \cdot z}$, где $z = 8$ – число переточек резца.

Варианты и условия заданий приведены в таблице 1.16, механические характеристики ОМ – в таблице 1.9. Вид схемы операции и тип крепления заготовки даны в таблице 1.17.

Таблица 1.16

Варианты и исходные данные

№ п/п	d , мм	L , мм	Марка ОМ	Точность диаметра d	Точность заготовки	Этап обработки
1	120	500	Д16	$h14$	$h17$	1
2	115	505	АМг6	$h12$	$h16$	2
3	110	510	10	$h10$	$h15$	3
4	105	515	15	$h14$	$h17$	1
5	100	520	20	$h12$	$h16$	2
6	95	515	30	$h10$	$h15$	3
7	90	510	45	$h14$	$h17$	1
8	85	505	50	$h12$	$h16$	2
9	80	500	60	$h10$	$h15$	3
10	85	495	12ХН3А	$h14$	$h17$	1
11	90	490	30Г	$h12$	$h16$	2
12	95	485	60Г	$h10$	$h15$	3
13	100	480	70Г	$h14$	$h17$	1
14	105	475	40Х	$h12$	$h16$	2
15	110	470	30ХМА	$h10$	$h15$	3
16	115	465	18ХГТ	$h14$	$h17$	1
17	120	460	45ХН	$h12$	$h16$	2
18	125	455	50ХН	$h10$	$h15$	3
19	130	450	20ХН3А	$h14$	$h17$	1
20	135	445	12Х2Н4А	$h12$	$h16$	2
21	140	440	30ХН3А	$h10$	$h15$	3
22	145	435	20ХГСА	$h14$	$h17$	1
23	150	430	25ХГСА	$h12$	$h16$	2
24	155	425	30ХГСА	$h10$	$h15$	3
25	160	420	38ХЮ	$h14$	$h17$	1
26	165	415	38ХМЮА	$h12$	$h16$	2
27	170	410	12Х13	$h10$	$h15$	3
28	175	405	20Х13	$h14$	$h17$	1

29	180	400	12X18H10T	<i>h</i> 12	h16	2
30	185	405	12X21H5T	<i>h</i> 10	h15	3
31	190	410	BT3-1	<i>h</i> 14	h17	1
32	195	415	BT6C	<i>h</i> 12	h16	2
33	200	420	BT14	<i>h</i> 10	h15	3
34	205	425	СЧ10	<i>h</i> 14	h17	1
35	210	430	СЧ20	<i>h</i> 12	h16	2
36	215	435	СЧ25	<i>h</i> 10	h15	3
37	220	440	СЧ30	<i>h</i> 14	h17	1

Таблица 1.17

Схемы операций и тип крепления заготовок

№п.п	Схема операции	Тип крепления заготовки
1	на проход	в патроне
2	в упор 90°	в патроне с задним центром
3	в упор 75°	в центрах
4	в упор 60°	в патроне
5	в упор 30°	в патроне с задним центром
6	на проход	в центрах
7	в упор 90°	в патроне
8	в упор 75°	в патроне с задним центром
9	в упор 60°	в центрах
10	в упор 30°	в патроне
11	на проход	в патроне с задним центром
12	в упор 90°	в центрах
13	в упор 75°	в патроне
14	в упор 60°	в патроне с задним центром
15	в упор 30°	в центрах
16	на проход	в патроне
17	в упор 90°	в патроне с задним центром
18	в упор 75°	в центрах
19	в упор 60°	в патроне
20	в упор 30°	в патроне с задним центром
21	на проход	в центрах
22	в упор 90°	в патроне
23	в упор 75°	в патроне с задним центром
24	в упор 60°	в центрах
25	в упор 30°	в патроне
26	на проход	в патроне с задним центром
27	в упор 90°	в центрах
28	в упор 75°	в патроне

29	в упор 60°	в патроне с задним центром
30	в упор 30°	в центрах
31	на проход	в патроне
32	в упор 90°	в патроне с задним центром
33	в упор 75°	в центрах
34	в упор 60°	в патроне
35	в упор 30°	в патроне с задним центром
36	на проход	в центрах
37	в упор 90°	в патроне

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грубый С.В. Расчет параметров и показателей процесса резания: учебное пособие – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 192 с.

2. Даниленко Б.Д., Зубков Н.Н. Выбор режимов резания (продольное точение, сверление спиральными сверлами, фрезерование концевыми фрезами): Учеб. пособие / Под ред. В.С. Булошников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 52 с.

3. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

4. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II. Нормативы

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

6. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др. - М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.: ил.

7. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / Под ред. В.И. Гузеева. М.: Машиностроение, 2005. – 368 с.