

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра технологии машиностроения

Составители  
А. С. Глинка  
А. С. Сивушкин

## **РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ И РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**Методические указания к лабораторным занятиям**

Рекомендовано учебно-методической комиссией  
направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-  
технологическое обеспечение машиностроительных производств  
в качестве электронного издания  
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2020

Рецензенты:

Мирошин И. В. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения

**Глинка Александра Сергеевна**

**Сивушкин Александр Сергеевич**

**Расчет припусков и режимов механической обработки:** методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «**Технология машиностроения**» для студентов направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, направленность (профиль) Технология машиностроения, всех форм обучения / сост.: А. С. Глинка, А. С. Сивушкин; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Электрон. дан. – Кемерово, 2020. – Текст : электронный.

Изложены основные цели и порядок выполнения лабораторных занятий по дисциплине «Технология машиностроения».

© Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева, 2020

© Глинка А. С., Сивушкин А. С.,  
составление, 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания содержат сведения, необходимые для расчета припусков на обработку, межпереходных технологических размеров, расчета режимов механической обработки при выполнении заданий лабораторных занятий по технологии машиностроения.

### 1. РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

#### 1.1. Теоретические положения

Припуск – слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали.

Припуск на обработку поверхностей детали может быть назначен по соответствующим справочным таблицам, ГОСТам или на основе расчетно-аналитического метода определения припусков.

ГОСТы и таблицы позволяют назначать припуски независимо от технологического процесса обработки детали и условий его осуществления, и поэтому в общем случае являются завышенными, содержат резервы снижения расхода материала и трудоемкости изготовления детали.

Расчетно-аналитический метод определения припусков на обработку базируется на анализе факторов, влияющих на припуски предшествующего и выполняемого переходов технологического процесса обработки поверхности. Значение припуска определяется методом дифференцированного расчета по элементам, составляющим припуск.

*Минимальный припуск:* при последовательной обработке противоположных поверхностей (односторонний припуск)

$$z_{i \min} = (R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i; \quad (1.1)$$

при параллельной обработке противоположных поверхностей (двусторонний припуск)

$$2z_{i \min} = 2[(R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i];$$

при обработке наружных и внутренних поверхностей (двусторонний припуск)

$$2z_{i \min} = 2 \left[ (R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right]; \quad (1.2)$$

где  $R_{z i-1}$  – высота неровностей профиля на предшествующем переходе;  $h_{i-1}$  – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой);  $\Delta_{\Sigma i-1}$  – суммарные отклонения расположения поверхности;  $\varepsilon_i$  – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

*Номинальный припуск на обработку поверхностей:*

наружных

$$z_i = z_{i \min} + ei_{i-1} + ei_i; \quad (1.3)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + ei_{D_{i-1}} + ei_{D_i}; \quad (1.4)$$

внутренних

$$z_i = z_{i \min} + ES_{i-1} - ES_i; \quad (1.5)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + ES_{D_{i-1}} - ES_{D_i}; \quad (1.6)$$

где  $ei_{i-1}$ ,  $ei_{D_{i-1}}$ ,  $ei_i$  – нижние отклонения размеров соответственно на предшествующем и выполняемом переходах;  $ES_{i-1}$ ,  $ES_{D_{i-1}}$ ,  $ES_i$ ,  $ES_{D_i}$  – верхние отклонения размеров соответственно на предшествующем и выполняемом переходах;  $ei_{D_{i-1}}$ ,  $ES_{D_{i-1}}$ ,  $ES_{D_i}$  – размеры, относящиеся к диаметральному.

Знать номинальные припуски необходимо для определения номинальных размеров формообразующих элементов технологической оснастки (штампов, пресс-форм, моделей, волок, приспособлений).

*Максимальный припуск на обработку поверхностей:*

наружных

$$z_i \max = z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i; \quad (1.7)$$

$$2z_i \max = 2z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i; \quad (1.8)$$

внутренних

$$z_i \max = z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i; \quad (1.9)$$

$$2z_i \max = 2z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i; \quad (1.10)$$

где  $Td_{i-1}$ ,  $TD_{i-1}$  – допуски размеров на предшествующем переходе;  $Td_i$ ,  $TD_i$  – допуски размеров на выполняемом переходе.

Максимальные припуски и припуски для технологических целей (уклоны, напуски, упрощающие конфигурацию заготовки, и т. п.) принимают в качестве глубины резания и используют для определения режимов резания (подачи, скорости резания) и выбора оборудования по мощности.

*Минимальный припуск* на обработку при методе индивидуального получения заданных размеров рассчитывается по формулам (1.1), (1.2) с заменой в них при расчетах погрешности установки  $\varepsilon_i$  погрешностью выверки  $\varepsilon_v$ . Номинальные и максимальные припуски определяют по формулам (1.3–1.10).

### *Правила расчета припусков на обработку*

1. Минимальный припуск рассчитывают по формулам (1.1) или (1.2) с использованием расчетной карты для каждой обрабатываемой поверхности. В расчетной карте указывают размер, определяющий положение обрабатываемой поверхности и технологические переходы в порядке их выполнения при обработке; для каждого перехода записывают значения  $R_z$ ,  $h$ ,  $\Delta_\Sigma$ ,  $\varepsilon$  и  $T$ .

2. Допуск и параметры качества поверхности на конечном технологическом переходе ( $R_z$  и  $h$ ) принимают по чертежу детали, проверяя по нормативам возможность получения их запроектированным способом обработки.

3. Для серого и ковкого чугунов, а также цветных металлов и сплавов после первого технологического перехода и для стали после термической обработки при расчете припуска слагаемое  $h$  из формулы исключают. В конкретных случаях те или иные слагаемые, входящие в расчетные формулы для определения припусков на обработку, также исключают. Так, исключают те погрешности, которые не могут быть устранены при выполняемом переходе; например, при разворачивании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещение и увод оси не устраняются. Следовательно, минимальный припуск в этом случае

$$2z_{i \min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \varepsilon_i).$$

При шлифовании заготовки после ее термической обработки поверхностный слой должен быть сохранен; следовательно, слагаемое  $h_{i-1}$  должно быть исключено из расчетной формулы

$$z_{i \min} = (R_{z_{i-1}} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i).$$

При суперфинишировании и полировании, когда достигается лишь уменьшение параметра шероховатости поверхности, припуск на обработку определяется высотой неровностей поверхности и погрешностями, связанными с наладкой инструмента на размер и его износом, не превышающими обычно 1/2 допуска на обработку, т. е.

$$2z_{i \min} = 2R_{z_{i-1}} + 0,5T_i.$$

4. Отклонения расположения  $\Delta_{\Sigma}$  необходимо учитывать: у заготовок (под первый технологический переход); после черновой и получистовой обработки лезвийным инструментом (под последующий технологический переход); после термической обработки, если даже деформации не было. В связи с закономерным уменьшением отклонений расположения поверхностей при обработке за несколько переходов на стадиях чистовой и отделочной обработки ими пренебрегают.

5. При определении припусков следует учитывать те отклонения расположения, которые не связаны с допуском на размер элементарной поверхности и имеют самостоятельное значение.

6. Различают общее и местное отклонение оси детали от прямолинейности (кривизну). Их значение определяют исходя из геометрических соотношений параметров детали. Так, при установке в центрах (рис. 1.1, а) общее отклонение

$$\Delta_{\Sigma K} = \Delta_K l; \quad (1.11)$$

а местное отклонение

$$\Delta_{\Sigma \text{к.м.}} = \frac{\Delta_K(l^2 - l_x^2)}{l(1 + 4\Delta_K^2)} \text{ (точно);}$$

$$\Delta_{\Sigma \text{к.м.}} = (l - l_x)\Delta_K \text{ (приближенно).}$$

При консольном закреплении (рис. 1.1, б) общее отклонение

$$\Delta_{\Sigma K} = l \frac{\Delta_K}{\Delta_K^2 + 0,25} \text{ (точно);} \quad (1.12)$$

$$\Delta_{\Sigma K} = 2\Delta_K l \cos[\arctg(2\Delta_K)] \text{ (приближенно).} \quad (1.13)$$

Здесь  $\Delta_K$  – отклонение оси детали от прямолинейности, мкм/мм (далее именуется кривизной).

После выполняемого перехода обработки отклонение от расположения или кривизну рассчитывают по точной или приближенной формуле.

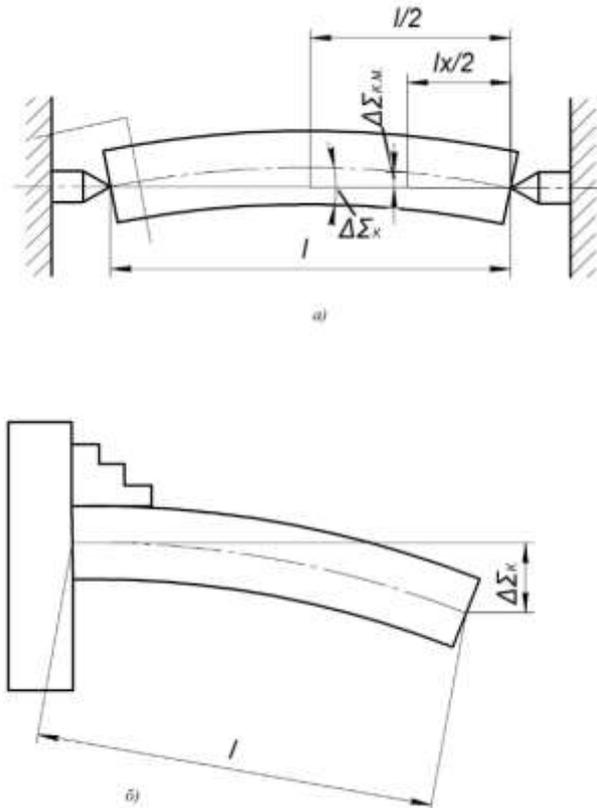


Рисунок. 1.1. Обозначения общей и местной кривизны заготовки:  
*а* – при ее установке в центрах; *б* – при консольном креплении

7. Суммарное значение двух отклонений расположения определяют как векторную сумму

$$\overline{\Delta_{\Sigma}} = \overline{\Delta_1} + \overline{\Delta_2}.$$

Для векторов при направлении:

совпадающем  $\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2$ ;

противоположном  $\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 - \Delta_2$ .

В тех случаях, когда предвидеть направление векторов трудно, их суммируют

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}. \quad (1.14)$$

Так, суммарное отклонение расположения при обработке сортового проката круглого сечения (валик) в центрах

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_{\Sigma Ц}^2}. \quad (1.15)$$

где  $\Delta_{\Sigma K}$  – общее отклонение оси от прямолинейности (см. формулы 1.11, 1.12);

$\Delta_{\text{ц}}$  – смещение оси заготовки в результате погрешности центрирования.

$$\Delta_{\text{ц}} = 0,25\sqrt{T^2 + 1}. \quad (1.16)$$

При  $T \geq 1$   $\Delta_{\text{ц}} = 0,25 T$ . Здесь  $T$  – допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центрировании, мм.

8. Рассчитанные припуски по всем переходам заносят в расчетную карту (табл. 1.1).

## 1.2. Пример выполнения работы

Трехступенчатый вал (сталь 45) изготавливают из штампованной заготовки 11 класса точности (рис. 1.2). Масса заготовки 2 кг. Токарной операции предшествовала операция фрезерно-центровальная, в результате которой были профрезерованы торцы и зацентрированы отверстия. Базирование заготовки при фрезерно-центровальной операции осуществлялось по поверхностям  $D_1$  и  $D_3$  ( $D_1 = D_3 = 25$  мм). Шейка вала с диаметром  $D_2$  ступени имеет диаметр  $55h6_{(-0,02)}$ . Рассчитать промежуточные припуски для обработки шейки  $D_2$  аналитическим методом. Рассчитать промежуточные размеры для выполнения каждого перехода.

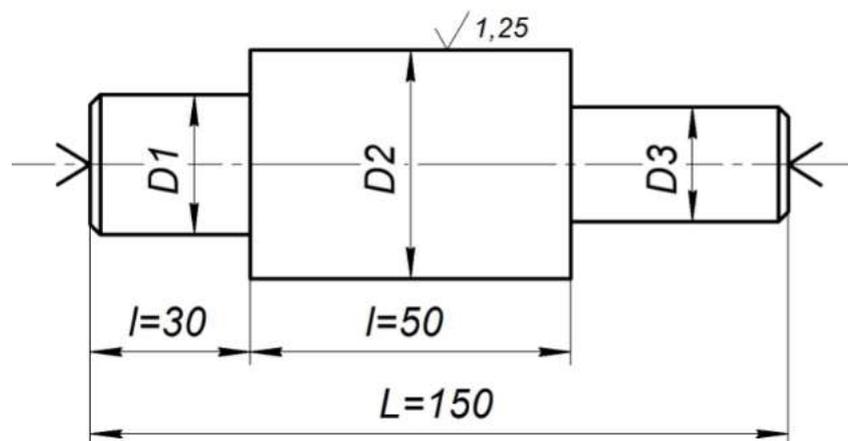


Рисунок 1.2. Эскиз ступенчатого вала

*Решение.* Соответственно заданным условиям устанавливаем маршрут обработки ступени  $D_2$ :

черновое обтачивание; чистовое обтачивание; предварительное шлифование; окончательное шлифование.

Вся указанная обработка выполняется с установкой заготовки в центрах.

Заносим маршрут обработки в графу 1 (см. табл. 1.1). Данные для заполнения граф 2, 3 для штампованной заготовки взяты из табл. 1.2, для механической обработки – из табл. 1.3. Данные графы 8 для заготовки приняты такие же, как в примере, а данные для обработки резанием – из табл. 1.4.

Вся указанная обработка выполняется с установкой заготовки в центрах.

Заносим маршрут обработки в графу 1 (см. табл. 1.1). Данные для заполнения граф 2, 3 для штампованной заготовки взяты из табл. 1.2, для механической обработки – из табл. 1.3. Данные графы 8 для заготовки приняты такие же, как в примере, а данные для обработки резанием – из табл. 1.4.

Расчет отклонений расположения поверхностей:

Величину отклонений  $\Delta_{\Sigma}$  для штампованной заготовки при обработке в центрах определяют, мкм

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{24^2 + 500^2} = 500,$$

где  $\Delta_{\Sigma}$  – общее отклонение оси от прямолинейности, мкм;

$$\Delta_{\Sigma K} = 2\Delta_K l_K = 2 \cdot 0,15 \cdot 80 = 24,$$

здесь  $l_K$  – размер от сечения, для которого определяется кривизна до торца заготовки, равный ( $l_K = l_1 + l_2$ ), для рассматриваемого случая  $l_1 - l_2 = 80$  мм;  $\Delta_K$  – удельная кривизна, мкм на 1 мм длины (в маршруте предусмотрена правка заготовки на прессе, после которой  $\Delta_K = 0,15$  мкм/мм) (см. табл. 1.5), средний диаметр, который необходимо знать для выбора величины  $\Delta_K$ , определяется как

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + \dots + D_n l_n}{L} = \frac{25 \cdot 30 + 55 \cdot 50 + 25 \cdot 70}{150} = 35, \text{ мм}$$

$\Delta_y$  – смещение оси заготовки в результате погрешности центрирования, мкм:

$$\Delta_y = 0,25\sqrt{T^2 + 1} = 0,25\sqrt{1,8^2 + 1} = 0,5,$$

где  $T = 1,8$  – допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центрировании, мм.

Таблица 1.1

Результаты расчета припусков на обработку  
и предельных размеров по технологическим переходам

Маршрут обработки поверхности диаметром $D_2$	Элементы припуска, мкм				Расчетные величины		Допуск на выполняемые размеры, мм	Принятые (округленные) размеры заготовки по переходам, мм		Предельный припуск, мкм	
	$R_z$	$h$	$\Delta_\Sigma$	$\varepsilon$	припуска $Z_i$ , мкм	минимального диаметра, мм		наибольшие	наименьшие	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штамповка	160	200	500	–	–	57,122	2000	59,0	57,0	–	–
Точение:											
черновое	50	50	30	0	1720	55,402	400	55,80	55,40	3,2	1,6
чистовое	25	25	1,2	0	260	55,142	120	55,27	55,15	0,53	0,25
Шлифование:											
предварительное	10	20	0	0	102	55,040	60	55,10	55,04	0,17	0,11
окончательное	–	–	–	–	60	54,980	20	55,00	54,98	0,1	0,06

Таблица 1.2

Качество поверхности поковок, изготавливаемых штамповкой

Масса поковки, кг	$R_z$	$h$
	мкм	
До 25	80	150
Св. 0,25 до 4	160	200
Св. 4 до 25	200	250
Св. 25 до 40	250	300
Св. 40 до 100	320	350
Св. 100 до 200	400	400

Таблица 1.3

Точность и качество поверхности штампованных поковок  
после механической обработки

Способ обработки	Квалитет	$R_z$ , мкм	$h$ , мкм
<b>Валы ступенчатые</b>			
<i>Обтачивание наружных поверхностей</i>			
Однократное	11–12	32	30
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	25	25
Тонкое	7–9	5	5
<i>Шлифование валов, дисков, рычагов</i>			
Однократное	7–9	5	10
Черновое	8–9	10	20
Чистовое	6–7	5	15
Тонкое	5–6	2,5	5

Таблица 1.4

**Точность и качество поверхности  
при обработке наружных цилиндрических поверхностей**

Обработка	Параметр шероховатости $R_a$ , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм									
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315
Обтачивание:													
черновое	50–6,3	120–60	14	–	–	–	–	620	740	870	1000	1150	1300
			13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520
получистовое или однократное	25–1,6	50–20	13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520
			11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320
чистовое	6,3–0,4	30–20	10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210
			9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81
Шлифование:													
предварительное	6,3–0,4	20	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81
чистовое	3,2–0,2	15–5	7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32
тонкое	1,6–0,1	5	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23

Таблица 1.5

Кривизна  $\Delta_K$  поковок типа валов (мкм/мм)

Диаметр поковки $D$ , мм	После штамповки	После правки на прессах	После термической обработки	
			в печах	ТВЧ
До 25	4	0,20	2,5	1,25
Св. 25 до 50	3	0,15	1,5	0,75
Св. 50 до 80	2	0,12	1,5	0,75
Св. 80 до 120	1,8	0,10	1,0	0,50
Св. 120 до 180	1,6	0,08	1,0	0,50
Св. 180 до 260	1,4	0,06	–	–
Св. 260 до 360	1,2	–	–	–
Св. 360 до 500	1,0	–	–	–

*Черновое обтачивание.* Величину остаточных пространственных отклонений  $\Delta_r$  определяют по уравнению, мкм

$$\Delta_r = K_y \Delta_\Sigma = 0,06 \cdot 500 = 3,$$

где  $K_y = 0,06$  – коэффициент уточнения (см. табл. 1.6).

*Чистовое обтачивание.* Величина остаточных пространственных отклонений, мкм

$$\Delta_{r1} = K_y \Delta_r = 0,04 \cdot 30 = 1,2, \text{ здесь } K_y = 0,04 \text{ (табл. 1.6).}$$

Расчетные величины отклонений расположения поверхностей заносим в графу 4, табл. 1.1.

Таблица 1.6

Коэффициент уточнения  $K_y$  для отливок, поковок, штампованных заготовок и сортового проката

Технологический переход	$K_y$
После обтачивания:	
однократного	0,05
чернового	0,06
получистового	0,05
чистового	0,04
После шлифования:	
чернового	0,03
чистового	0,02

Расчет минимальных припусков на диаметральные размеры для каждого перехода производят по уравнению (2), мкм:

$$\text{черновое обтачивание } 2Z_{i \min} = 2 \cdot (160 + 200 + 500) = 1720;$$

$$\text{чистовое обтачивание } 2Z_{i \min} = 2 \cdot (50 + 50 + 30) = 260;$$

$$\text{обдирочное шлифование } 2Z_{i \min} = 2 \cdot (25 + 25 + 1,2) = 102;$$

$$\text{окончательное шлифование } 2Z_{i \min} = 2 \cdot (10 + 20) = 60.$$

Расчетные значения припусков заносим в табл. 1, графу 6.

Расчет наименьших расчетных размеров по технологическим переходам производим, складывая значения наименьших предельных размеров, соответствующих предшествующему технологическому переходу, с величиной припуска на выполняемый переход, мм:

$$54,98 + 0,06 = 55,04;$$

$$55,04 + 0,102 = 55,142;$$

$$55,142 + 0,26 = 55,402;$$

$$55,402 + 1,72 = 57,122 .$$

Наименьшие расчетные размеры заносим в графу 7, табл. 1.1. Наименьшие предельные размеры (округленные) заносим в графу 10, табл. 1.1.

Затем определяем наибольшие предельные размеры по переходам, мм

$$54,980 + 0,020 = 55;$$

$$55,040 + 0,060 = 55,1;$$

$$55,150 + 0,120 = 55,27;$$

$$55,400 + 0,400 = 55,8;$$

$$57 + 2 = 59.$$

Результаты расчетов вносим в графу 9, табл. 1.1.

Расчет фактических максимальных и минимальных припусков по переходам производим, вычитая значения наибольших и наименьших предельных размеров, соответствующих выполняемому и предшествующему технологическим переходам

Максимальные припуски, мм:

$$55,1 - 55 = 0,1$$

$$55,27 - 55,1 = 0,17$$

$$55,8 - 55,27 = 0,53$$

$$59 - 55,80 = 3,2$$

Минимальные припуски, мм:

$$55,04 - 54,98 = 0,06$$

$$55,15 - 55,04 = 0,11$$

$$55,4 - 55,15 = 0,25$$

$$57 - 55,4 = 1,6$$

Результаты расчетов заносим в графу 11 и 12, табл. 1.1.

Расчет общих припусков производим по уравнениям, мм:  
 наибольшего припуска  $Z_{o \max} = \Sigma Z_{\max} = 0,1 + 0,17 + 0,53 + 3,2 = 4$ ;  
 наименьшего припуска  $Z_{o \min} = \Sigma Z_{\min} = 0,06 + 0,11 + 0,25 + 1,6 = 2,02$ .

Проверку правильности расчетов выполняем по уравнению, мм:

$$Z_{o \max} - Z_{o \min} = 4 - 2,02 = T_3 - T_d = 2 - 0,02 = 1,98.$$

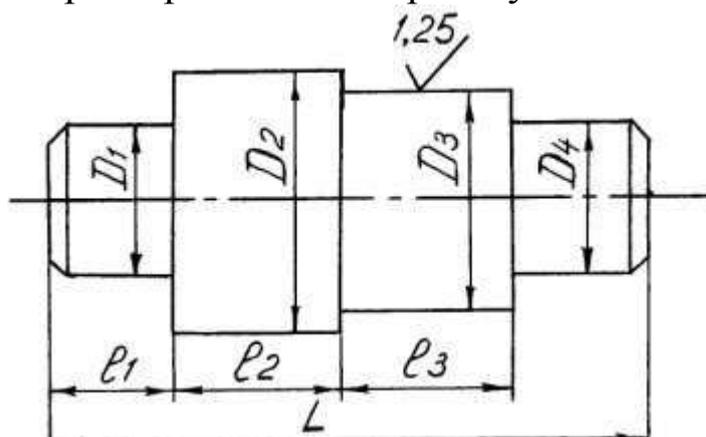
### 1.3. Варианты заданий

#### 1.4.

Четырехступенчатый вал изготавливают из штампованной заготовки II класса точности. Условия выполнения операций и маршрут обработки элементарных поверхностей для вариантов 1–10 такие же, как в примере (см. табл. 1.1, графа 1). Для вариантов 11–20 маршрут обработки поверхности тот же, что и для вариантов 1–10, но перед предварительным шлифованием предусматривается термообработка заготовки в печах. Допускаемую удельную кривизну после термообработки (см. табл. 1.5). Рассчитать припуски и промежуточные размеры по переходам. Данные к задаче приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Размерная характеристика четырехступенчатого вала



Варианты	Диаметры шеек, мм			Длина L, мм	Длина ступеней, мм			Масса за- готовки, кг
	$D_1, D_4$	$D_2$	$D_3$		$l_1$	$l_2$	$l_3$	
1; 11	30	50	40h6 <sub>-0,05</sub>	220	45	55	85	2,0
2; 12	45	65	55g6 <sub>-0,029</sub> <sup>-0,010</sup>	260	55	65	95	4,7
3; 13	20	40	30h6 <sub>-0,013</sub>	180	40	50	60	1,0
4; 14	50	75	60f7 <sub>-0,060</sub> <sup>-0,030</sup>	350	70	120	80	8,2
5; 15	25	45	35k6 <sub>+0,002</sub> <sup>+0,018</sup>	200	40	50	70	1,5
6; 16	60	80	70m6 <sub>+0,011</sub> <sup>+0,030</sup>	300	80	120	50	9,1
7; 17	40	60	50d8 <sub>-0,119</sub> <sup>-0,080</sup>	280	50	70	90	4,1
8; 18	70	90	80u7 <sub>+0,102</sub> <sup>+0,132</sup>	350	75	125	90	13,8
9; 19	35	55	45j6 <sub>-0,005</sub> <sup>+0,011</sup>	240	50	60	90	2,9
10; 20	55	75	65s6 <sub>+0,053</sub> <sup>+0,072</sup>	300	65	85	85	7,5

## 2. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### 2.1. Теоретические положения

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 технологической системы станок-приспособление – инструмент – заготовка, 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

$$V_{тб} = \frac{C_v}{T m_t x_{су}} \quad (2.1)$$

Значения коэффициента  $C_v$  и показателей степени, содержащихся в этих формулах, так же, как и периода стойкости  $T$  инструмента, применяемого для данного вида обработки, приведе-

ны в таблицах для каждого вида обработки. Вычисленная с использованием табличных данных скорость резания  $v_{mб}$  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

$$V = v_{mб} K_v, \quad (2.2)$$

где  $K_v$  – произведение ряда коэффициентов. Важнейшими из них, общими для различных видов обработки, являются:

$K_{mv}$  – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;

$K_{nv}$  – коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки;

$K_{iv}$  – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента.

**Стойкость  $T$**  – период работы инструмента до затупления.

**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 качества обрабатываемого материала.

## 2.2. Расчет режимов обработки и норм времени

Расчет режимов обработки и норм времени рассмотрен на конкретном примере: обтачивают в центрах три ступени  $\varnothing 30$ ,  $\varnothing 40$ ,  $\varnothing 50$  (рис. 2.1). Заготовка – штамповка II класса точности из стали 45, поверхностный слой без корки. Припуск на сторону для каждой поверхности принят по 1 мм. Резец оснащен пластинкой из твердого сплава T15K6 толщиной 6 мм. Резец имеет угол  $\varphi = 45^\circ$  и радиус вершины 1,2 мм. Размеры державки резца  $16 \times 25$  мм. Стойкость инструмента  $T = 90$  мин. Определить режимы резания и машинное время при обработке указанных поверхностей.

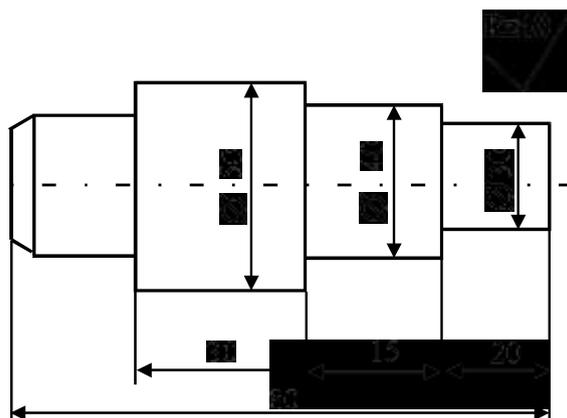


Рис. 2.1. Четырехступенчатый вал

**Глубина резания  $t$ :** при черновом точении и отсутствии ограничений по мощности оборудования и жесткости технологической системы принимается равной половине припуска на обработку. При параметре шероховатости  $R_a \geq 3,2$  мкм,  $t$  может находиться в пределах  $0,5 \div 2,0$  мм; для  $R_a < 3,2$  мкм,  $t = 0,1 \div 0,4$  мм [4, с. 265]. Согласно изложенному выше принимаем глубину резания равной половине припуска на обработку (припуск на сторону)  $t = 1$  мм.

**Подача  $S$ :** при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости технологической системы, прочности режущей пластины и прочности державки.

Максимальная подача исходя из прочности державки  $16 \times 25$  при обработке конструкционной стали согласно [4, табл. 11, с. 266] составляет  $0,5$  мм/об.

Максимальная подача, ограниченная прочностью пластины из твердого сплава, согласно [4, табл. 13, с. 268] составляет 2,6 мм/об. Максимальная подача, ограниченная шероховатостью обработанной поверхности  $R_z40$ , согласно [4, табл. 14, с. 268] составляет 0,63 мм/об. Из трех рассмотренных выше факторов лимитирующим является прочность державки, поэтому принимаем подачу равную 0,5 мм/об.

**Скорость резания  $V$** , м/мин: при наружном продольном точении рассчитывают по эмпирической формуле

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v, \quad (2.3)$$

где  $C_v$ ,  $K_v$  – коэффициенты;  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – показатели степени;  $T$  – стойкость инструмента, мин;  $t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача, мм/об.

Значения коэффициентов  $C_v$ ,  $x$ ,  $y$  и  $m$  согласно [4, табл. 15, с. 269] составляют

$$\begin{aligned} C_v &= 350; & y &= 0,35; \\ x &= 0,15; & m &= 0,20. \end{aligned}$$

Коэффициент  $K_v$  является произведением ряда коэффициентов:

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} K_{\varphi v} K_{rv}, \quad (2.4)$$

где  $K_{mv}$  – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;  $K_{nv}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхностного слоя;  $K_{uv}$  – коэффициент, учитывающий влияние материала инструмента;  $K_{\varphi v}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла в плане резца;  $K_{rv}$  – коэффициент, учитывающий влияние радиуса при вершине резца.

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv}, \quad (2.5)$$

где  $K_{\Gamma}$  – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки и инструмента;  $nv$  – показатель степени;  $\sigma_B$  – временное сопротивление при растяжении, МПа.

Для углеродистой стали ( $C \leq 0,6 \%$ ) согласно [4, табл. 2, с. 262],  $K_{\Gamma} = 1$ ;  $nv = 1$ .

Согласно [2, табл. 17, с. 148] для стали 45  $\sigma_B = 598$  МПа.

$$K_{mv} = 1 \left( \frac{750}{598} \right)^1 = 1,25.$$

$$K_{nv} = 1 [4, \text{табл. 5, с. 263}];$$

$$K_{uv} = 1 [4, \text{табл. 6, с. 263}];$$

$$K_{\varphi v} = 1 [4, \text{табл. 18, с. 271}];$$

$$K_{rv} = 0,94 [4, \text{табл. 18, с. 271}];$$

$$K_v = 1,25 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,94 = 1,175.$$

Скорость резания

$$V = \frac{350}{90^{0,2} 10^{0,15} 0,5^{0,35}} \times 1,175 = 214, \text{ м/мин.}$$

**Частота вращения шпинделя  $n$** , об/мин: определяется исходя из скорости резания  $V$  и диаметра обрабатываемой детали.

$$n = \frac{1000V}{\pi d}, \quad (2.6)$$

где  $V$  – скорость резания, м/мин;  $d$  – наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм.

$$n = \frac{1000 \times 214}{3,14 \times 50} = 1363, \text{ об/мин.}$$

На токарном станке 16К20 частота вращения шпинделя регулируется ступенчато. Причем все скорости вращения шпинделя являются членами геометрической прогрессии. Знаменатель этой прогрессии  $\phi$  для станка 16К20 равен 1,26. Первая ступень скорости станка 16К20 равна 12,5 об/мин, последняя – 2000 об/мин. Расчетную частоту вращения шпинделя необходимо скорректировать до ближайшей меньшей из сетки скоростей станка. Определить искомую скорость можно последовательным умножением значения первой ступени на величину знаменателя прогрессии.

В рассматриваемом примере ближайшая ступень составляет 1200 об/мин, поэтому  $n_{\text{кор}} = 1200$  об/мин.

В соответствии с этим реальная скорость резания будет составлять

$$V_{\text{кор}} = \frac{\pi d n_{\text{кор}}}{1000} = \frac{3,14 \times 50 \times 1200}{1000} = 188,4, \text{ м/мин.}$$

Основное время  $t_0$  (мин) вычисляется по уравнению

$$t_0 = \frac{L_i}{S_M}, \quad (2.7)$$

где  $L$  – расчетная длина перемещения инструмента, м;  $i$  – число рабочих ходов в данном переходе;  $S_M$  – минутная подача, м/мин.

Расчетная длина  $L$  определяется

$$L = l + l_{\text{вр}} + l_{\text{сх}} + l_{\text{пр}}, \quad (2.8)$$

где  $l$  – длина обрабатываемой поверхности, м;  $l_{\text{вр}}$  – длина врезания (0,003÷0,005 м);  $l_{\text{сх}}$  – длина схода инструмента

(0,003÷0,005 м);  $l_{\text{пр}}$  – длина на взятие пробной стружки (0,003 м).

При обработке одной заготовки и последовательном выполнении технологических переходов основное время включает сумму времени выполнения всех переходов

$$t_0 = \sum_{i=1}^n t_{0i}, \quad (2.9)$$

где  $t_{0i}$  – время выполнения  $i$ -го перехода;  $n$  – число переходов (обрабатываемых ступеней).

В рассматриваемом примере  $n = 3$ . При обработке ступени  $\varnothing 30$  расчетная длина  $L_1$  составит

$$L_1 = 20 + 3 + 3 = 26 \text{ мм},$$

( $l_{\text{сх}} = 0$ , т. к. обработка ведется до упора в ступень  $\varnothing 40$ ).

При обработке ступени  $\varnothing 40$

$$L_2 = 15 + 3 + 3 = 21 \text{ мм}.$$

При обработке ступени  $\varnothing 50$

$$L_3 = 30 + 3 + 3 + 3 = 39 \text{ мм}.$$

Обработка всех трех ступеней ведется с неизменными режимами работы металлорежущего станка, поэтому основное время обработки детали может быть выполнено по формуле

$$t_0 = \frac{(L_1 + L_2 + L_3)i}{S_M}. \quad (2.10)$$

Число рабочих ходов  $i$  для всех переходов равно 1, так как глубина резания принята равной половине припуска (весь припуск снимается за один ход).

Минутная подача может быть найдена, м/мин

$$S_M = S_0 n, \quad (2.11)$$

где  $S_0$  – подача на один оборот детали (м/об);  $n$  – частота вращения шпинделя, об/мин.

Основное время для рассматриваемого примера

$$t_0 = \frac{(L_1 + L_2 + L_3)}{S_0 n} = \frac{0,026 + 0,021 + 0,039}{0,005 \times 1200} = 0,014, \text{ мин.}$$

### 2.3. Варианты заданий

Обтачивают в центрах три ступени  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  вала (рис. 1.2). Припуск на сторону для каждой шейки взять по 2 мм. Определить режимы резания и основное время при обработке вала.

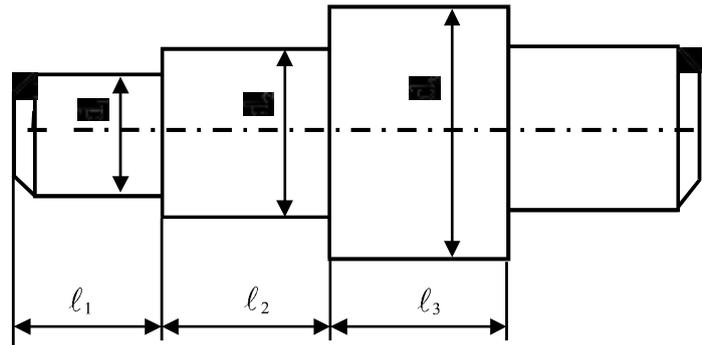


Рис. 1.2 – Обрабатываемый вал

### Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	Материал детали	Параметры резца	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l_1$	$l_2$	$l_3$
1	Сталь углеродистая, $\delta_b = 400$ МПа Поковка с коркой	Державка 16×25, пластинка Т15К6, толщина $\Delta = 4$ мм. Радиус при вершине $r = 0,8$ . Главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$	30	35	40	50	70	40
2	12Х18Н9Т Без корки, $\delta_b = 550$ МПа	25×25, Т15К10 $\Delta = 8, r = 2, \varphi = 45^\circ$	50	100	120	100	150	70
3	14Х17Н2 $\delta_b = 1000$ МПа. Поковка с коркой	16×25, ВК8 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	40	50	60	100	120	90
4	ХН78Т $\delta_b = 780$ МПа. Отливка при нормальной корке	25×25, Т15К6 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	30	40	50	70	80	50
5	12Х13 $\delta_b = 1000$ МПа. Поковка без корки	16×25, Т15К6 $\Delta = 4, r = 0,8, \varphi = 45^\circ$	50	55	60	60	70	50
6	12Х13 $\delta_b = 1000$ МПа. Прокат с коркой	20×30, ВК8 $\Delta = 6, r = 2, \varphi = 45^\circ$	40	60	80	100	150	90
7	ХН60ВТ $\delta_b = 750$ МПа. Без корки	20×30, ВК8 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	50	60	70	80	70	100
8	ХН35ВТ $\delta_b = 950$ МПа. Без корки	16×25, Т15К6 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	60	70	80	150	200	100
9	Сталь 40 $\delta_b = 568$ МПа. Без корки, прокат	16×25, ВК8 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	50	60	70	100	50	100

Вариант	Материал детали	Параметры резца	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l_1$	$l_2$	$l_3$
10	Сталь 50 $\delta_B = 627$ МПа. Поковка с коркой	16×25, ВК8 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	50	55	60	100	80	120
11	Сталь 55 $\delta_B = 647$ МПа. Отливка с нормальной коркой	25×25, Т30К4 $\Delta = 6, r = 2, \varphi = 45^\circ$	60	65	70	100	110	150
12	Сталь 20 $\delta_B = 412$ МПа. Поковка без корки	25×25, Т30К4 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	50	60	70	40	100	60
13	Сталь 30 $\delta_B = 490$ МПа. Отливка с сильно загрязненной коркой	16×25, Т15К6 $\Delta = 6, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	40	50	60	100	120	90
14	Сталь 45 $\delta_B = 598$ МПа. Поковка без корки	25×25, Т15К6 $\Delta = 4, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	50	60	70	80	100	60
15	Силумин $\delta_B = 250$ МПа	16×25, ВК6 $\Delta = 4, r = 1,2, \varphi = 45^\circ$	50	60	65	100	120	90

### 3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. Ф. Безъязычный. – Москва : Машиностроение, 2013.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1551](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1551)

2. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1985. – 656 с.

3. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: учеб. пособие для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения» / В. А. Аверченков, О. А. Горленко и др. – Москва : Машиностроение, 1988. – 192 с.

4. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1985. – 656 с.