



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Техническая механика»

А. Т. Бельский

ВАЛЫ И ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА. РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по курсовому проектированию
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология
машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое
оборудование машиностроительного производства»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2017

УДК 621.81(075.8)
ББК 34.44я73
Б44

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 13.06.2016 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Металлорежущие станки и инструменты» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук *З. Я. Шабакеева*

Бельский, А. Т.
Б44 Валы и зубчатые колеса. Рабочие чертежи : учеб.-метод. пособие по курсовому проектированию для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» днев. и заоч. форм обучения / А. Т. Бельский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 41 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-335-6.

Рассмотрены конструкции и предложена методика разработки рабочих чертежей валов, цилиндрических и конических зубчатых колес.

Для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.81(075.8)
ББК 34.44я73**

ISBN 978-985-535-335-6

© Бельский А. Т., 2017
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2017

1. Цилиндрические зубчатые колеса

В проектируемых приводах колеса редукторов получают относительно небольших диаметров. Основными элементами зубчатого колеса (рис. 1.1) являются зубья.

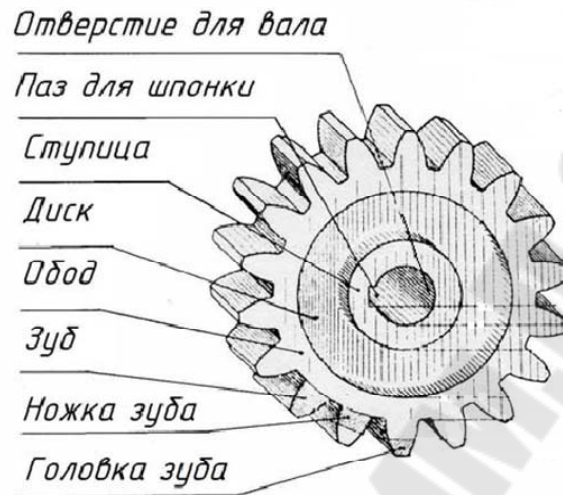


Рис. 1.1

Каждый зуб состоит из головки и ножки зуба. Зубья располагаются на ободе колеса и вместе с ободом составляют зубчатый венец.

Обод воспринимает нагрузку от зубьев и должен быть достаточно прочным и в то же время податливым, чтобы обеспечить равномерное распределение нагрузки по ширине зуба. Требуемая жесткость обода обеспечивается его толщиной S .

Более тонкая часть колеса называется диском, который соединяет обод колеса со ступицей, внутри которой делают отверстие для вала с пазом для шпонки. Толщину диска s определяют в зависимости от способа изготовления колеса. В некоторых случаях в дисках зубчатых колес выполняют отверстия, которые используют при транспортировке и обработке колес, а также для уменьшения их массы при больших размерах.

Ступица служит для соединения колеса с валом и может быть расположена несимметрично (рис. 1.2, а), равна ширине обода (рис. 1.2, б) или симметрично (рис. 1.2, в) относительно обода. Это определяется технологическими или конструктивными условиями. Длина ступицы должна обеспечивать с одной стороны устойчивость колеса на валу в плоскости, перпендикулярной оси вала, а с другой – получение заготовок ковкой и нарезания шпоночных пазов методом протягивания.

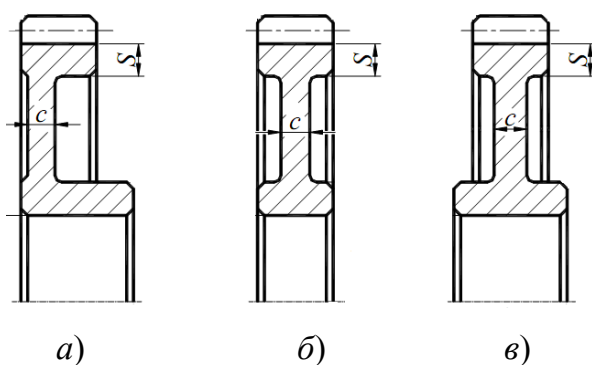


Рис. 1.2

Форма зубчатых колес в большинстве случаев зависит от способа получения заготовки, а способ получения заготовки выбирают с учетом материала, размеров колес, а также масштаба их производства. Зубчатые колеса выполняют преимущественно из стали реже из чугуна, или пластмассы. Заготовку получают ковкой, штамповкой, литьем, сваркой или из круглого проката.

Чтобы получить при термической обработке принятые для расчета механические характеристики материала, размеры заготовок колес (рис. 1.3) не должны превышать значения предельно допустимых величин.

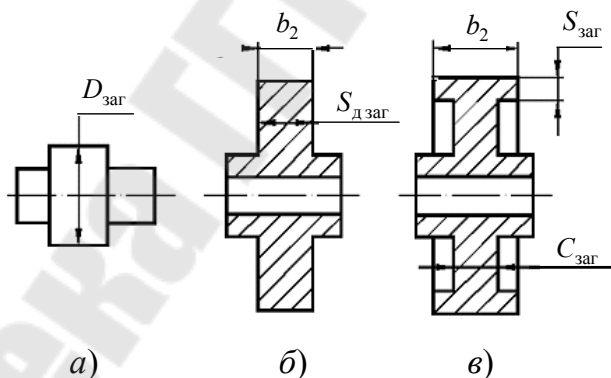


Рис. 1.3

Зависимости для определения $D_{заг}$ и $S_{заг}$ приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Формулы для определения размеров заготовок

Вид заготовки	$D_{заг}$, мм	$S_{дзаг}$, мм	$S_{заг}$, мм	$C_{заг}$, мм
Шестерня (рис. 1.3, а)	$d_{a1} + 6$			
Колесо без выточек (рис. 1.3, б)		$b_2 + 4$		
Колесо с выточками (рис. 1.3, в)			$8m$	$0,5b_2$

Заготовки считаются пригодными, если выполняются условия:

$$D_{\text{заг}} \leq D_{\text{пр}}; \quad S_{\text{заг}} \leq S_{\text{пр}}; \quad S_{\text{д заг}} \leq S_{\text{пр}}; \quad C_{\text{заг}} \leq S_{\text{пр}}.$$

Предельные значения $D_{\text{пр}}$ и $S_{\text{пр}}$ зависят от марки материала и термообработки. Часть этих значений приведена в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Предельные значения $D_{\text{пр}}$ и $S_{\text{пр}}$

Марка стали	Размеры заготовок		Термообработка	Твердость
	шестерни $D_{\text{пр}}$, мм	колеса $S_{\text{пр}}$, мм		
40	120	60	Улучшение	192–228 НВ
45	Любые размеры		Нормализация	179–217 НВ
45	125	80	Улучшение	235–262 НВ
40	80	50	Улучшение	296–302 НВ
40Х	200	125	Улучшение	235–262 НВ
40Х	125	80	Улучшение	269–302 НВ
40ХН	315	200	Улучшение	235–262 НВ

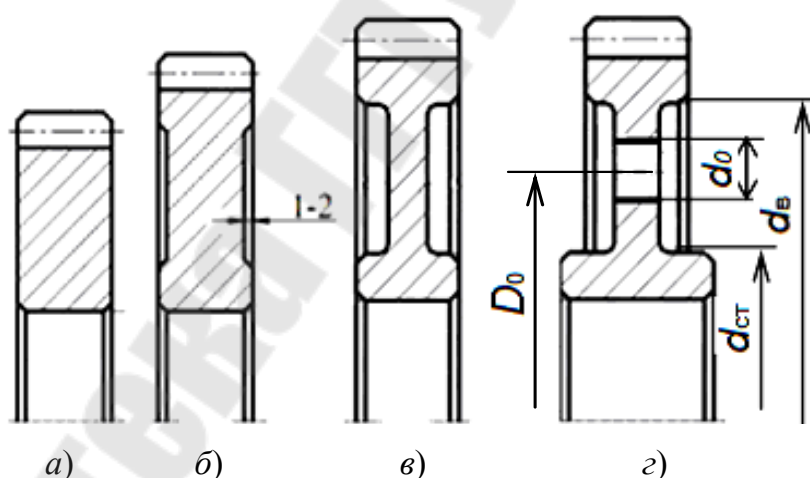


Рис. 1.4

В индивидуальном и мелкосерийном производстве колеса малых диаметров $d_a \leq 150$ мм (d_a – диаметр вершин зубьев колеса) вытачивают из круглого проката (рис. 1.4, а).

При $d_a = 150–600$ мм заготовку получают свободной ковкой в виде круглых болванок. У таких колес обрабатывают все поверхности. С целью уменьшения объема точной обработки резанием на торцах предусматривают выточки (рис. 1.4, б).

Иногда в целях уменьшения массы при размерах $d_a = 250\text{--}600$ мм глубину выточек по торцам увеличивают, в результате чего образуется колесо с диском (рис. 1.4, в). Иногда в дисках выполняют 4–6 отверстий (рис. 1.4, з).

Диаметр окружности расположения отверстий и диаметр самого отверстия рассчитывают по зависимостям:

$$D_0 = \frac{d_{\text{ст}} + d_{\text{в}}}{2}; \quad d_0 = \frac{d_{\text{в}} - d_{\text{ст}}}{4}.$$

При $d_a > 600$ мм заготовку получают сваркой.

Длину посадочного отверстия колеса $l_{\text{ст}}$ (рис. 1.5) желательно принимать равной или больше ширины зубчатого венца b_2 . Принятую длину ступицы согласуют с необходимой длиной ступицы, полученной при расчете шпоночного, шлицевого или соединения с гарантированным натягом, и с диаметром посадочного отверстия d :

$$l_{\text{ст}} = 0,8\text{--}1,5d.$$

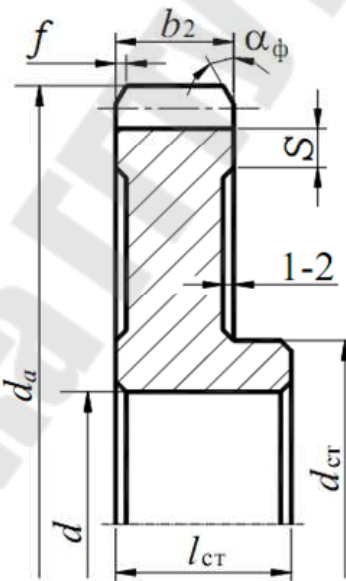


Рис. 1.5

Диаметр ступицы $d_{\text{ст}}$ зубчатого колеса назначают в зависимости от материала ступицы:

для стали $d_{\text{ст}} \approx 1,5d$;

для чугуна $d_{\text{ст}} \approx 1,6d$;

для легких сплавов $d_{\text{ст}} \approx 1,7d$.

Ширину торцов венца S принимают:

$$S = 2,5m + 0,05b_2 \text{ мм,}$$

где m – модуль зацепления цилиндрического прямозубого колеса (для цилиндрического косозубого колеса $S = 2,5m_n + 0,05b_2$ мм).

На торцах зубчатого венца выполняют фаски размером, равным $f = (0,5-0,7)m$, которые округляют до ближайшего стандартного значения (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Размеры фасок

d , мм	20–30	30–40	40–50	50–80	80–120	120–150	150–250	250–500
f , мм	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0

При твердости рабочих поверхностей зубьев $HВ < 350$ цилиндрических зубчатых колес фаску выполняют под углом $\alpha_\phi = 45^\circ$.

Острые кромки на торцах ступицы, углах обода притупляют фасками, размеры которых принимают по табл. 1.3.

В среднем, крупносерийном и массовом производствах заготовку небольших и средних размеров получают штамповкой, а больших – литьем, а также находят применение сборные конструкции, в которых зубчатый венец закрепляется на ступице болтами или с использованием посадки с гарантированным натягом.

При годовом объеме выпуска зубчатых колес более 50 штук используют ковку в простейших односторонних подкладных штампах. После дополнительной обработки на металлорежущих станках форма зубчатых колес имеет вид, представленный на рис. 1.6.

При годовом объеме выпуска более 100 штук применяют двухсторонние штампы. В этом случае получаемые формы зубчатого колеса показаны на рис. 1.7.

Для уменьшения влияния термической обработки на точность геометрической формы зубчатого колеса толщину диска рекомендуется принимать:

$$c = (0,35-0,40)b_2.$$

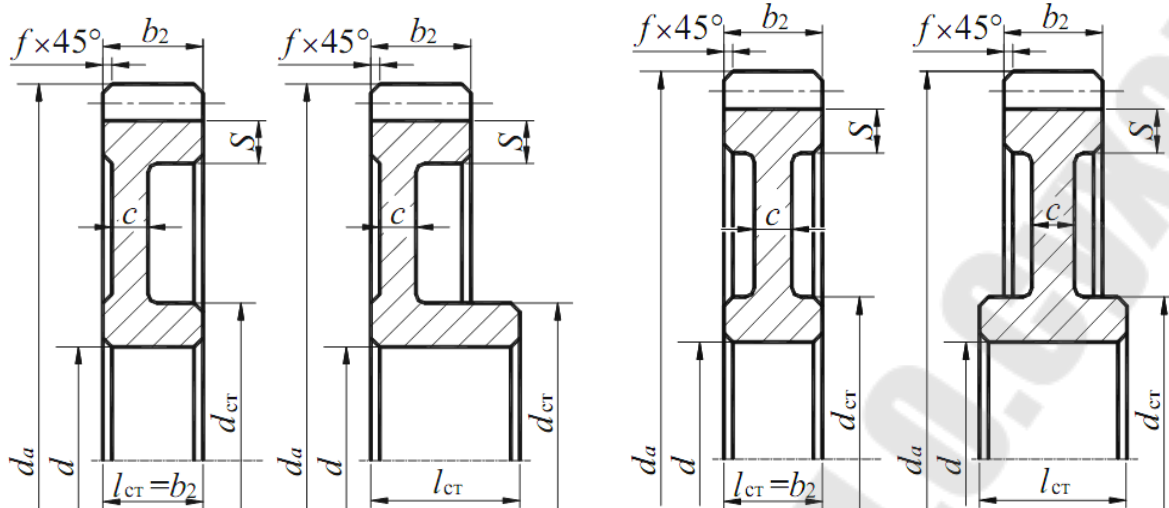


Рис. 1.6

Рис. 1.7

Для штамповочных колес (рис. 1.8) следует принимать штамповочный радиус и штамповочные уклоны соответственно:

$$R = 2-4; \quad \gamma \geq 7^\circ.$$

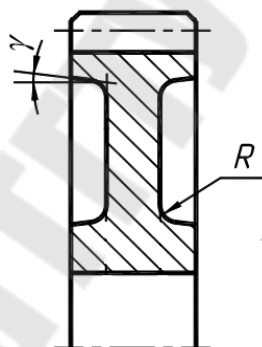


Рис. 1.8

Колеса диаметром более 400–500 мм изготавливают со спицами (рис. 1.9) различного сечения.

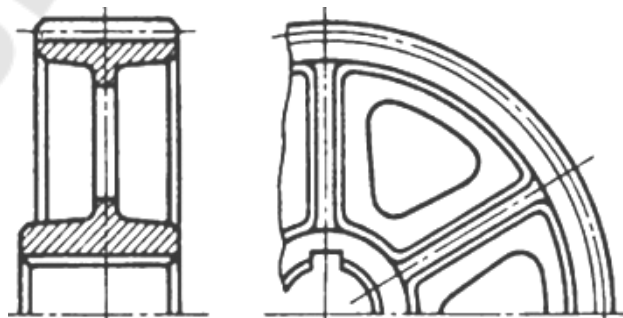


Рис. 1.9

Конструкция сварного колеса показана на рис. 1.10.

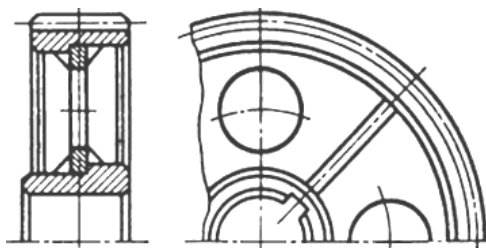


Рис. 1.10

Для экономии высокопрочных дорогостоящих материалов изготавливают сборные конструкции – бандажированные колеса (рис. 1.11). В этом случае зубчатый венец колеса изготавливают из качественной стали, а центральную часть делают из менее дорогого материала (например, чугуна).

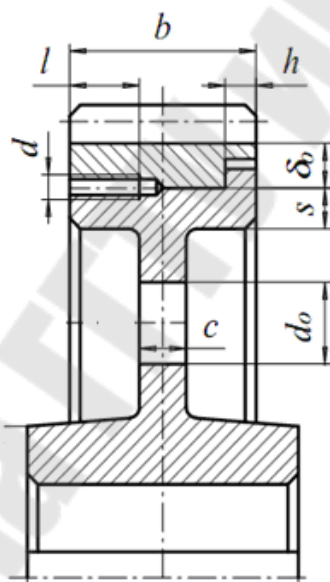


Рис. 1.11

Размеры конструктивных элементов бандажированных зубчатых колес принимают: $\delta_0 = (2,5-4,0)m$; $s = 1,2\delta_0$; $h = 0,5b$; диаметр винта $d = 0,1b$; $l = 3d$; количество винтов $z = 4-8$.

Конструктивное исполнение колес внутреннего зацепления может быть выполнено по одному из вариантов, которые показаны на рис. 1.12, и отличающихся расположением ступицы относительно зубчатого венца.

В случае расположения ступицы внутри зубчатого колеса (рис. 1.12, а) обеспечиваются лучшие условия работы зацепления по

Размеры диаметра долбяка D_e и канавки a

m , мм	1,5	2,0	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8
D_e , мм	54	56	55	60	56	112	110	120	126	128
a , мм	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9

Размер a канавки в косозубых колесах внутреннего зацепления увеличивают на 30–40 %. Глубину канавки во всех случаях принимают $h = 2,5m$, толщину диска $c = (0,3–0,33)b_2$ или $c = (1,2–1,5)S$.

Размеры основных конструктивных элементов $d_{ст}$, $l_{ст}$, S , c , α_f и f колес внутреннего зацепления принимают, как и для колес внешнего зацепления.

Шевронные зубчатые колеса (рис. 1.14) отличаются от других цилиндрических зубчатых колес большей шириной. В зависимости от способа изготовления они могут иметь или не иметь канавку посередине зубчатого венца. Шевронные зубчатые колеса изготавливают с канавкой, которая предназначена для выхода червячной фрезы при нарезании зубьев. Если зубья колеса нарезают с помощью пальцевой фрезы, то канавка отсутствует. Шевронные зубчатые колеса без канавки изготавливают на малопроизводительных металлорежущих станках, поэтому они практически не применяются.

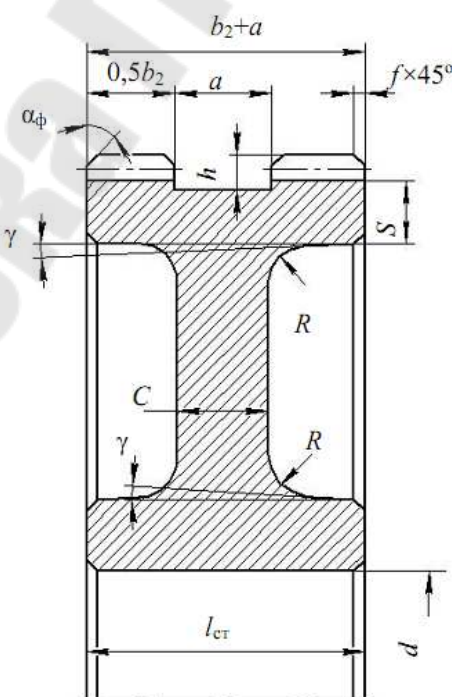


Рис. 1.14

Ширину a канавки определяют по диаметру фрезы при угле наклона зубьев $\beta_b = 30\text{--}40^\circ$ в зависимости от модуля по табл. 1.5.

Таблица 1.5

Ширина канавки a

m_n , мм	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10
a , мм	32	38	42	48	53	60	67	75	85	100

Размеры остальных элементов шевронных колес: $l_{\text{ст}} = b_2 + a$; $C = (0,3\text{--}0,35)(b_2 + a)$; $S = 2,5m_n + 0,05(b_2 + a)$; $h = 2,5m_n$.

Зубчатые колеса, у которых диаметр впадин незначительно превышает диаметр вала в месте посадки зубчатого колеса, изготавливают за одно целое с валом (рис. 1.15). Такую конструкцию называют валом-шестерней.

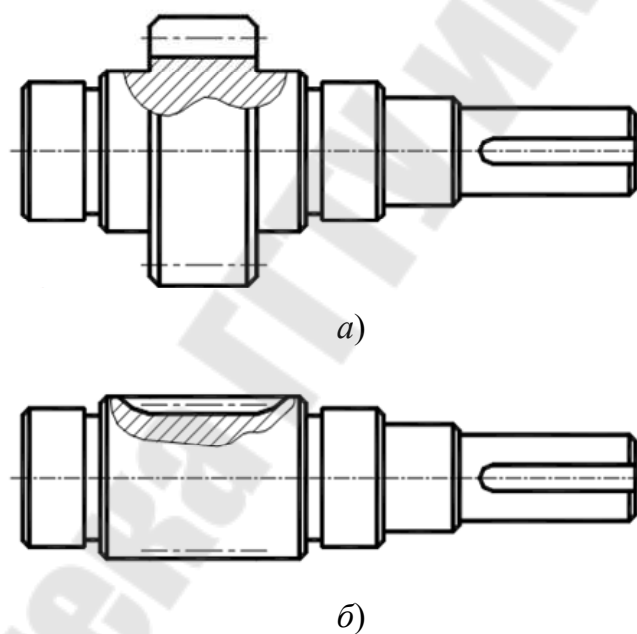


Рис. 1.15

Основным недостатком этой конструкции является то, что при выходе из строя зубчатого венца приходится менять и вал.

Конструкция вала-шестерни (рис. 1.15, *a*) позволяет нарезать зубья со свободным выходом инструмента.

Если диаметр окружности вершин зубьев мало отличается от диаметра вала, обычно наблюдается при больших передаточных числах, то вал-шестерню конструируют по рис. 1.15, *б*. В этом случае зубья нарезают на поверхности вала. Желательно избегать врезных шес-

терен, так как в этом случае затрудняется зубофрезерование и шлифовка зубьев.

При выполнении рабочего чертежа зубчатого колеса вначале указывают необходимые размеры (рис. 1.16).

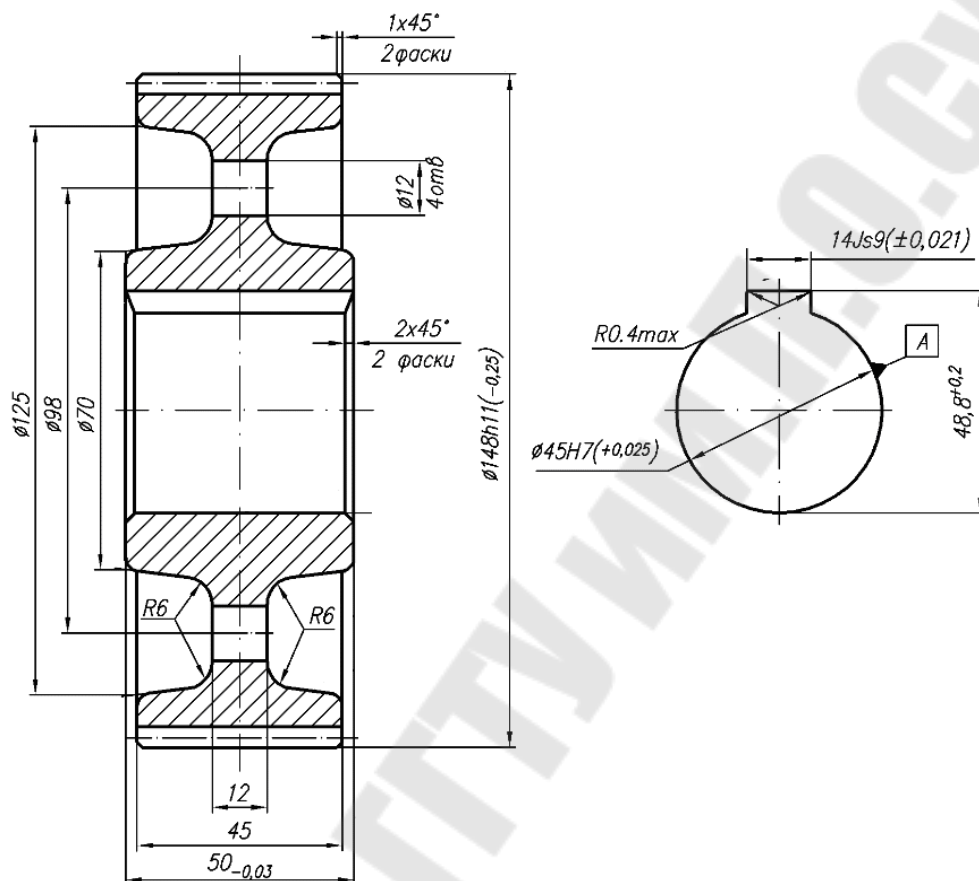


Рис. 1.16

Поле допуска ширины паза в ступице при неподвижном соединении передачи – $Js9$.

Поля допусков вершин зубьев d_a и ширины зубчатого венца b приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Поля допусков вершин зубьев и ширины зубчатого венца

Степень точности	b	d_a	
		с внешними зубьями	с внутренними зубьями
6	$h11$	$h9$	$H9$
7	$h12$	$h10$	$H10$
8	$h13$	$h11$	$H11$
9	$h14$	$h12$	$H12$

Поле допуска длины ступицы – $h12$.
 Поле допуска диаметра отверстия – $H7$.
 Предельное отклонение на размер $d_{от} + t_2$ определяют в зависимости от высоты шпонки по табл. 1.7.

Таблица 1.7

Предельное отклонение на размер $d_{от} + t_2$

Высота шпонки h , мм	Размер $d_{от} + t_2$
Свыше 2 до 6	+0,1
Свыше 6 до 18	+0,2
Свыше 18 до 50	+0,3

Остальные размеры по 14-му качеству.
 Назначение шероховатости поверхностей показано на рис. 1.17.

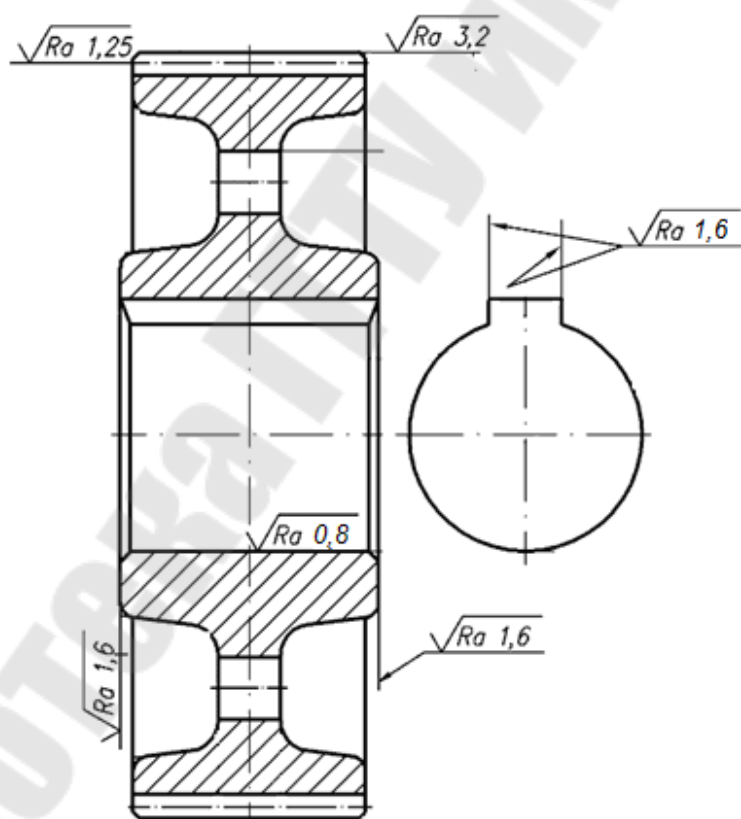


Рис. 1.17

Числовые значения параметра шероховатости R_a можно принимать для посадочных поверхностей отверстия по табл. 1.8, а для других поверхностей принимают в соответствии с табл. 1.9.

Таблица 1.8

Значение параметра шероховатости

Интервал размеров $d_{от}$, мм	Квалитеты		
	7	8	9
	R_a , мкм		
Свыше 18 до 50	0,8	1,6	3,2
Свыше 50 до 120	1,6	1,6	3,2

Таблица 1.9

Значение параметра шероховатости

Вид поверхности	R_a , мкм
Торцы ступиц зубчатых колес, базирующихся по торцу заплечиков валов, при отношении длины ступицы к диаметру отверстия: $l_{ст}/d_{от} < 0,7$ $l_{ст}/d_{от} \geq 0,7$	1,6 3,2
Торцы ступиц зубчатых колес, по которым базируются подшипники качения	1,6
Поверхности выступов зубьев колес	3,2
Рабочая поверхность зубьев в зависимости от степени точности по нормам контакта: 6 7 8 9	0,63 1,25 2,5 5,0
Поверхности шпоночных пазов в отверстиях колес: рабочая нерабочая	1,6 3,2

Геометрическая точность любой детали характеризуется не только точностью отдельных размеров, но и точностью формы и взаимного расположения образующих ее поверхностей.

Отклонения от номинальных геометрических форм и номинальных поверхностей детали, заданных чертежом, могут нарушать правильное положение ее относительно других поверхностей и препятствовать нормальной работе механизма.

Условные знаки допусков на отклонения формы и расположения поверхностей приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Условные знаки допусков на отклонения

Допуски формы	
Круглость	\bigcirc
Цилиндричность	\bigcirc/φ
Прямолинейность	—
Допуски расположения	
Параллельности	//
Перпендикулярности	\perp
Соосности	\odot
Симметричности	\equiv
Позиционный	\oplus
Суммарные допуски форм и расположения	
Радиальное и торцевое биение	\nearrow

Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Числовые значения допусков, мкм

0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80
1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
10	12	16	20	25	30	40	50	60	80

Полученные расчетные значения допусков формы и расположения поверхностей округляют в соответствии с табл. 1.12.

Таблица 1.12

Значение допуска размера

Интервалы размеров, мм	Квалитеты			
	6	7	8	9
	Допуск, мкм			
Свыше 10 до 18	11	18	27	45
Свыше 18 до 30	13	21	33	52
Свыше 30 до 50	16	25	39	62
Свыше 50 до 80	19	30	46	74
Свыше 80 до 120	22	35	54	87

На рис. 1.18 приведен чертеж зубчатого колеса с указанием отклонений форм и расположения.

Рабочей осью зубчатого колеса является ось посадочного отверстия. На чертеже она обозначена буквой **A** и является базой для оценки точности расположения поверхностей колеса.

Допуск цилиндричности T базового отверстия **A** принимают $T \approx 0,5t_a$, где t_a – допуск диаметра отверстия (табл. 1.12). Допуск цилиндричности ограничивает неравномерность контактных давлений по посадочной поверхности базового отверстия **A**.

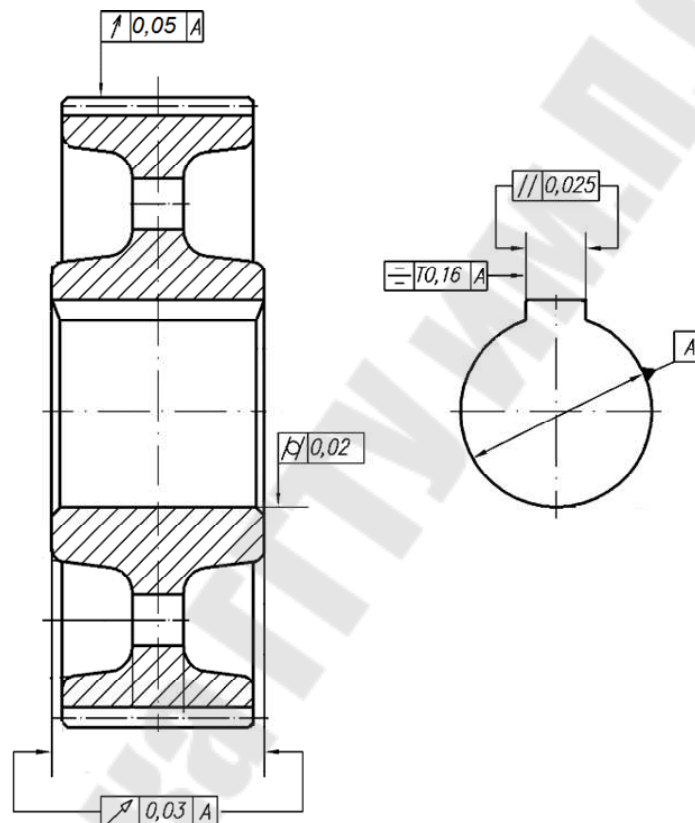


Рис. 1.18

Допуск торцевого биения T ступицы зубчатого колеса принимают в зависимости от степени кинематической точности передачи и диаметра посадочного отверстия (табл. 1.13).

Таблица 1.13

Допускаемое торцевое биение ступицы зубчатого колеса, мкм

Степень кинематической точности	Диаметр посадочного отверстия, мм		
	до 50	50–80	более 80
6 и 7	20	30	40
8 и 9	30	40	50

Допуск радиального биения T зубчатого венца принимаем в зависимости от кинематической точности передачи, модуля и делительного диаметра зубчатого колеса (табл. 1.14).

Таблица 1.14

Допуск радиального биения венца цилиндрического зубчатого колеса, мкм

Степень точности	Модуль m , мм	Делительный диаметр d , мм	
		до 125	125–400
5	От 1,0 до 3,5	16	22
	Свыше 3,5 до 6,3	16	25
	Свыше 6,3 до 10	20	28
6	От 1,0 до 3,5	25	36
	Свыше 3,5 до 6,3	28	40
	Свыше 6,3 до 10	32	45
7	От 1,0 до 3,5	36	50
	Свыше 3,5 до 6,3	40	56
	Свыше 6,3 до 10	45	63
8	От 1,0 до 3,5	45	63
	Свыше 3,5 до 6,3	50	71
	Свыше 6,3 до 10	56	80

Допуск параллельности $T \approx 0,5t_{ш}$ и симметричности $T \approx 2t_{ш}$ означают для обеспечения более равномерного контакта рабочих поверхностей шпоночного паза ступицы и шпонки, где $t_{ш}$ – допуск на ширину шпоночного паза (табл. 1.15).

Таблица 1.15

Допуск на ширину шпоночного паза

Ширина паза, мм	3–6	6–10	10–18	18–30
Допуск при соединении по $D10$	48	58	70	84
Допуск при соединении по $P9$	30	36	43	52
Допуск при соединении по I_s9	30	36	42	52

В качестве примера на рис. 1.19 приведен пример рабочего чертежа цилиндрического зубчатого прямозубого колеса.

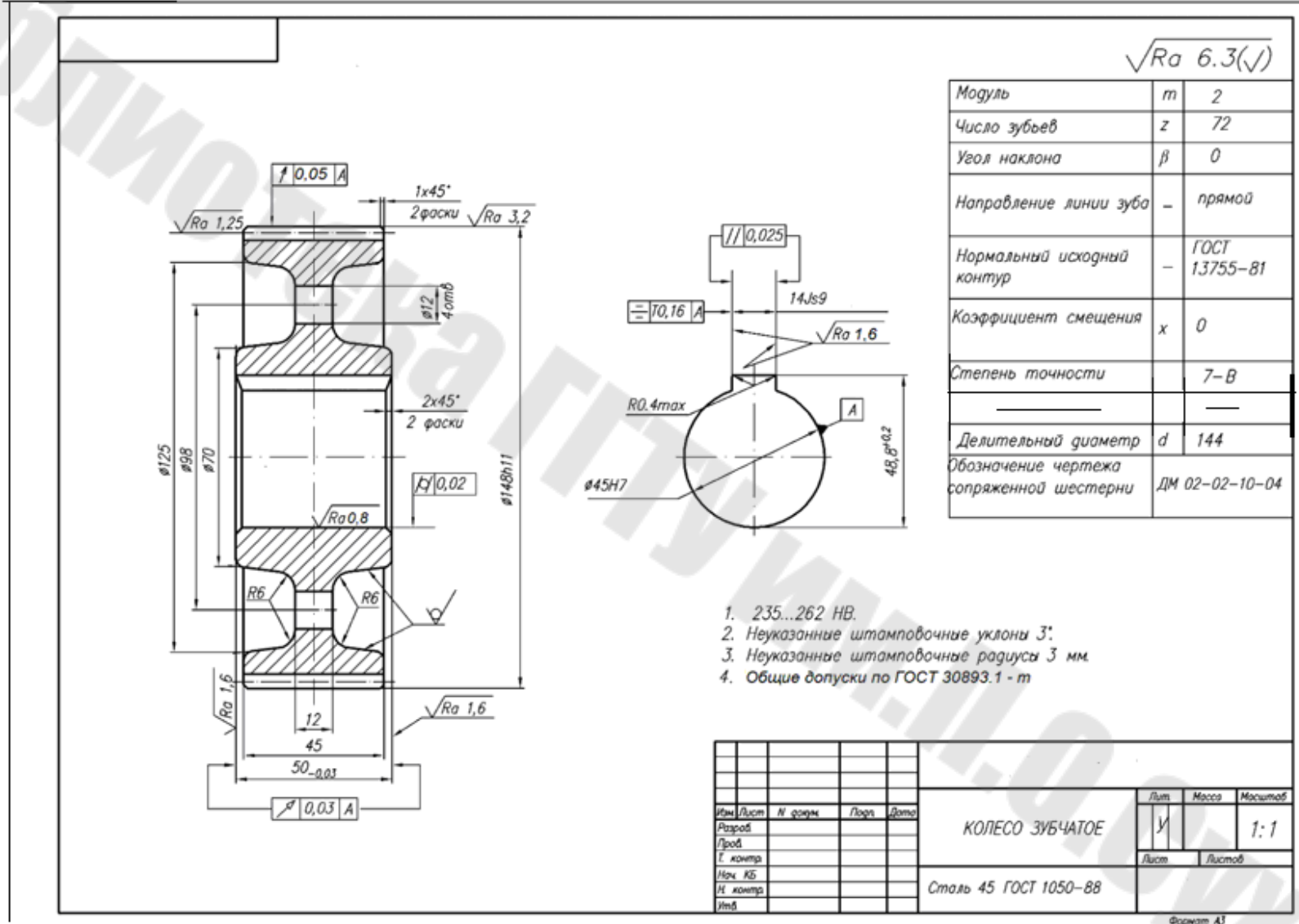


Рис. 1.19

2. Конические зубчатые колеса

Конструктивные формы конических зубчатых колес обычно выбирают в зависимости от внешнего диаметра вершин зубьев d_{ae} и угла начального конуса δ .

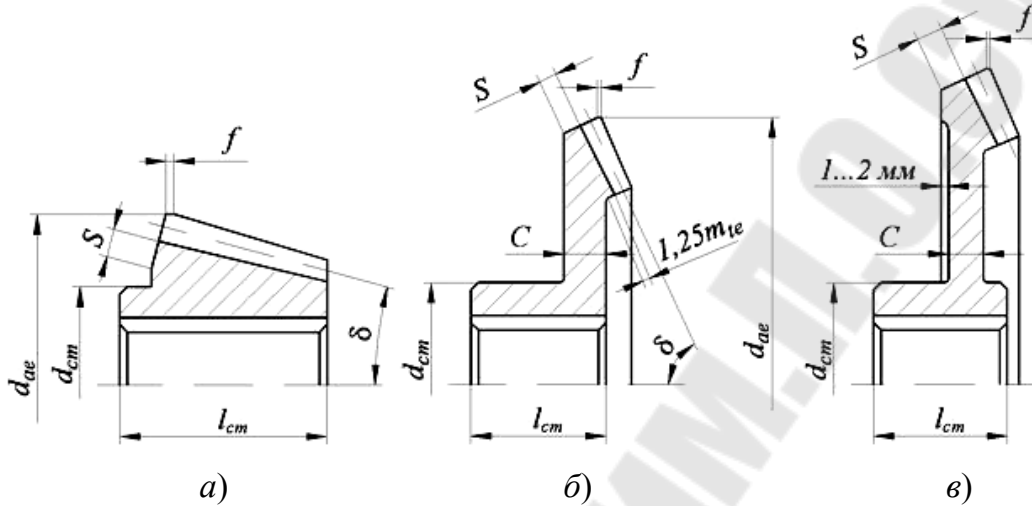


Рис. 2.1

Конструкция конического колеса при внешнем диаметре вершин зубьев $d_{ae} \leq 120$ мм и угле делительного конуса $\delta \leq 30^\circ$ показана на рис. 2.1, а. Если угол начального конуса $\delta \geq 45^\circ$, то применяют конструкцию конического зубчатого колеса, изображенную на рис. 2.1, б.

При угле начального конуса $30^\circ < \delta < 45^\circ$ можно применять обе конструкции.

При диаметре вершин зубьев $d_{ae} > 120$ мм применяют конструкцию, представленную на рис. 2.1, в.

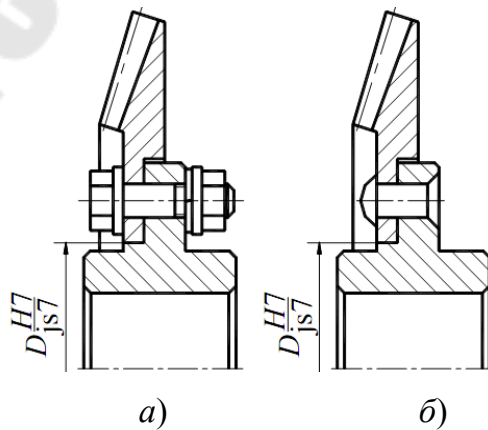


Рис. 2.2

При $d_{ae} > 180$ мм для экономии дорогостоящих сталей иногда применяют составную конструкцию колес. В этом случае зубчатый венец крепится к диску с помощью призонных болтов (рис. 2.2, а), установленных без зазора, или заклепок (рис. 2.2, б).

Размеры $d_{ст}$, $l_{ст}$, C и другие размеры основных конструктивных элементов колес принимают по соотношениям для цилиндрических колес.

При любой форме колес внешние углы притупляются фаской $f \approx 0,5m_{te}$. Толщину обода принимают: $S = 2,5m_{te} + 2$ мм.

Конические колеса при единичном и мелкосерийном производстве при небольших диаметрах получают точением из проката, при больших диаметрах – свободной ковкой с последующей токарной обработкой (рис. 2.3, а). При крупносерийном производстве заготовки получают литьем или штамповкой, при этом в конструкции необходимо предусмотреть литейные (или штамповочные) уклоны γ и радиусы закругления R по рекомендациям для цилиндрических зубчатых колес (рис. 2.3, б).

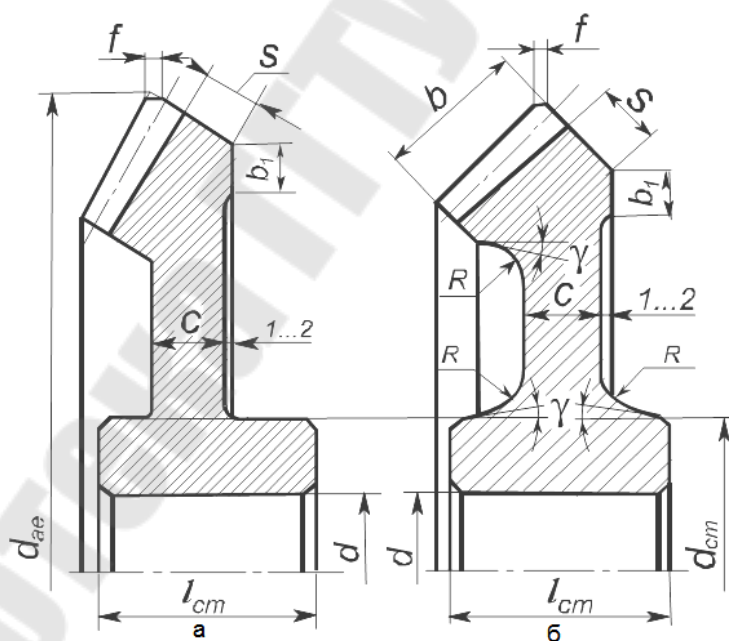


Рис. 2.3

Торец зубчатого венца шириной $b_1 \approx S$ используют для установки при нарезании зубьев. Для уменьшения объема точной механической обработки выполняют выточку глубиной 1–2 мм.

Конструкция конического вала-шестерни показана на рис. 2.4.

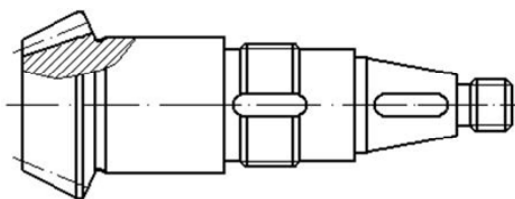


Рис. 2.4

При выполнении рабочего чертежа конического колеса простановка осевых и радиальных размеров зависит от способа изготовления колеса.

На чертеже конического кругом обработанного колеса проставляют осевые размеры по рис. 2.5, а радиальные размеры – по рис. 2.6.

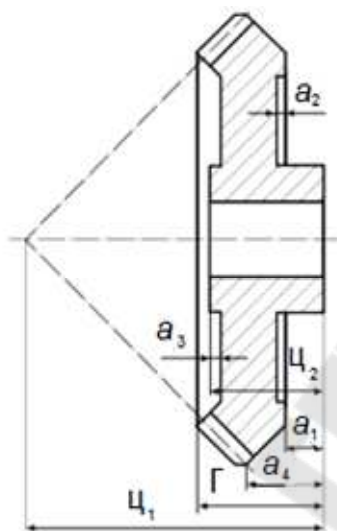


Рис. 2.5

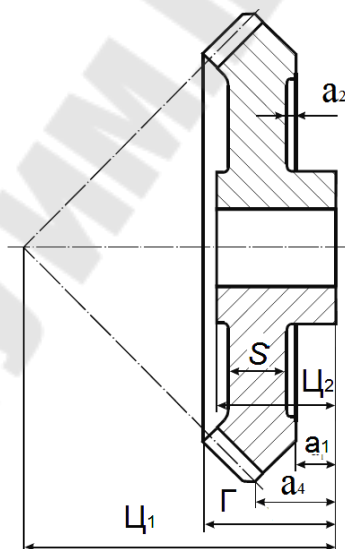


Рис. 2.6

На этих рисунках показаны следующие размеры: Ψ_1 – цепочный размер, определяющий положение вершины начального конуса колеса; Ψ_2 – цепочный размер, определяющий положение венца относительно ступицы; a_1 – размер, координирующий положение венца относительно ступицы; a_2, a_3 – размеры, определяющие глубину канавок; a_4 – размер, координирующий осевое положение зуба относительно ступицы колеса; Γ – габаритный размер; S – размер, определяющий толщину диска.

На рабочем чертеже кроме осевых размеров проставляют размеры, определяющие форму и величину колеса, а также внешние диаметры d_{ae}, d'_{ae} , ширину венца b , угол конуса вершин δ_a , угол внеш-

него дополнительного конуса $90^\circ - \delta_a$ и размеры для справок, которые помечают звездочкой (рис. 2.7).

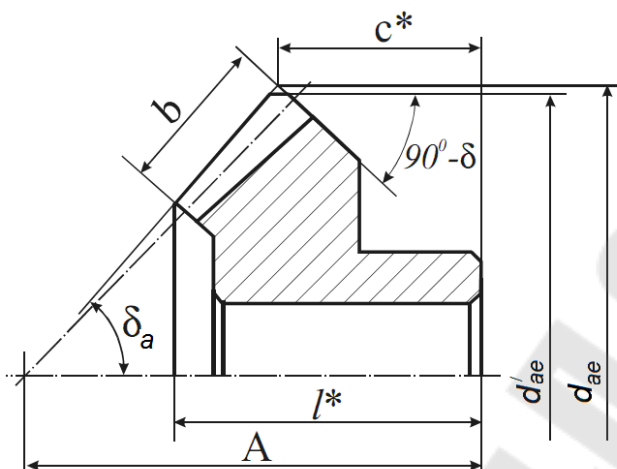


Рис. 2.7

Допуск на угол конуса вершин зубьев при значениях внешнего окружного модуля $m_{te} \geq 1,5$ мм принимают равным $\Delta\delta_a = \pm 8'$, а на дополнительный угол $\gamma = 90^\circ - \delta$ допуск $\Delta\delta = \pm 15'$.

Предельные отклонения внешнего диаметра вершин d_{ae} принимают по табл. 2.1 в зависимости от степени кинематической точности передачи.

Таблица 2.1

Предельные отклонения внешнего диаметра вершин, мм

Степень кинематической точности	Делительный диаметр, мм			
	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 200	свыше 200 до 320
6	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06
7	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08
8	-0,07	-0,08	-0,09	-0,11
9	-0,12	-0,14	-0,17	-0,20

Рабочей осью конического зубчатого колеса (рис. 2.8) является ось посадочного отверстия, на чертеже оно обозначено буквой A и является базой для оценки точности расположения поверхностей конического зубчатого колеса.

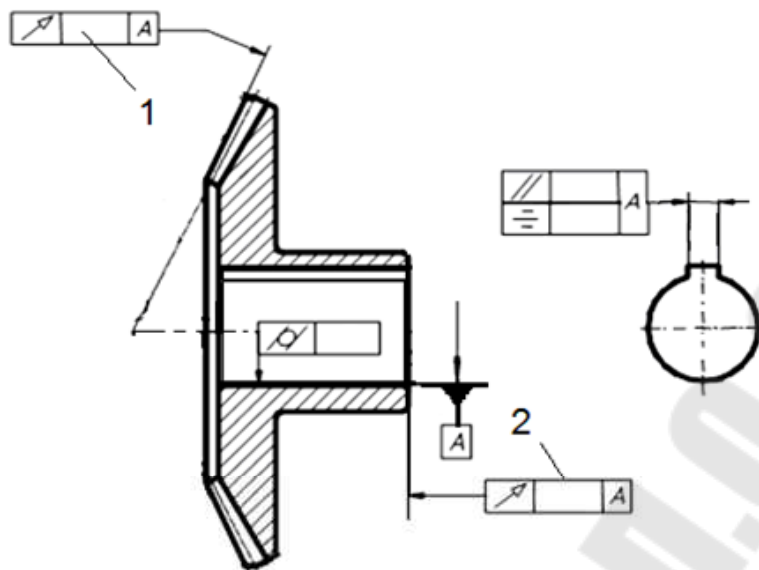


Рис. 2.8

Цилиндричность базового отверстия, параллельность и симметричность расположения шпоночного паза определяют по аналогии с цилиндрическим зубчатым колесом.

Допуск цилиндричности T базового отверстия A принимают $T \approx 0,5t_a$, где t_a – допуск диаметра отверстия (см. табл. 1.12).

Допуск параллельности $T \approx 0,5t_{ш}$ и симметричности $T \approx 2t_{ш}$, где $t_{ш}$ – допуск на ширину шпоночного паза (см. табл. 1.15).

Радиальное биение конуса вершин влияет на точность и дисбаланс передачи. Значение радиального биения в мкм принимают в зависимости от степени кинематической точности и вида сопряжения по табл. 2.2.

Таблица 2.2

Допуск радиального биения конуса вершин, мкм

Степень кинематической точности	Вид сопряжений	Внешний диаметр вершин зубьев, мм		
		свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 200
7	H, C, B, A	25	26	30
8	C, B, A	32	36	43
9	B, A	44	53	65

Допуск торцевого биения ступицы зубчатого колеса (поз. 2) принимают в зависимости от степени кинематической точности передачи и диаметра посадочного отверстия (см. табл. 1.13).

Параметры шероховатости обрабатываемых поверхностей конических зубчатых колес назначают в зависимости от степени точности по нормам контакта (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Параметры шероховатости, мкм

Поверхность	Степень точности по нормам контакта			
	6	7	8	9
Рабочая поверхность зубьев	0,63	1,25	2,5	5,0
Конус вершин зубьев	2,5	2,5	2,5	5,0
Внешний дополнительный конус	2,5	2,5	2,5	5,0
Базовый торец	2,5	2,5	2,5	2,5

Параметры шероховатости других поверхностей конического колеса принимают по табл. 1.8 и 1.9. На рис. 2.9 изображено колесо с указанием шероховатости поверхностей.

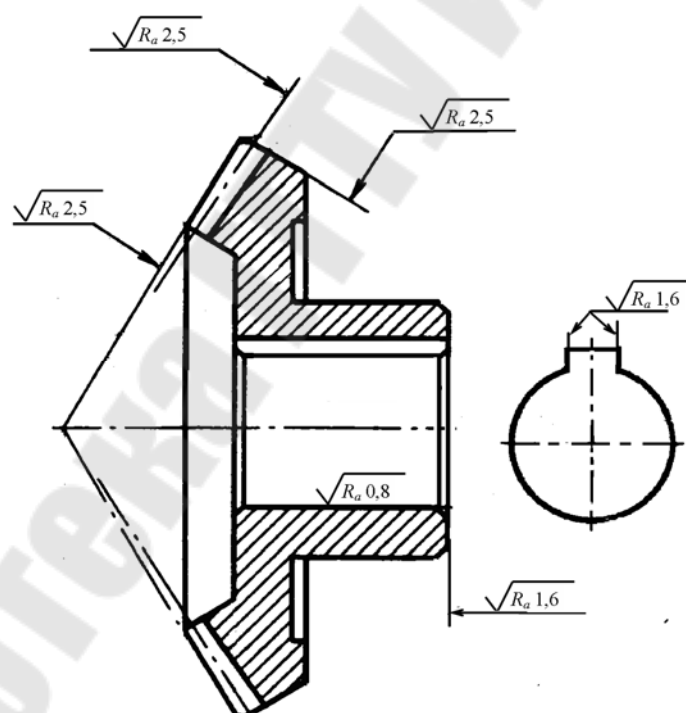


Рис. 2.9

На рабочем чертеже приводится таблица параметров зубчатого колеса, которая состоит из трех частей и расположена в правом верхнем углу поля чертежа в соответствии с рис. 2.10.

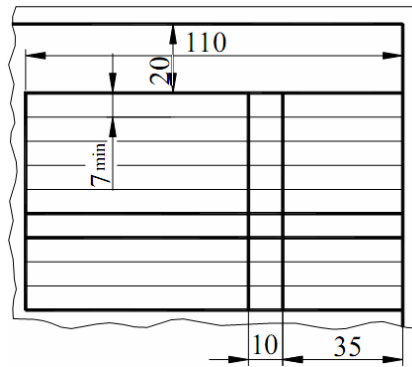


Рис. 2.10

Для цилиндрического колеса в первой части таблицы приводят: модуль m ; число зубьев z ; угол наклона β ; направление линии зуба; нормальный исходный контур со ссылкой на ГОСТ 13755–81; коэффициент смещения x ; степень точности, вид сопряжения и обозначение стандарта на нормы точности – ГОСТ 1643–81.

Средний нормальный модуль	m_n	4
Число зубьев	z	36
Тип зуба	—	круговой
Осевая форма зуба по ГОСТ 19325-73	—	II
Средний угол наклона зуба	β_n	35°
Направление линии зуба	—	левое
Исходный контур	—	ГОСТ16202-81
Коэффициент смещ.	x_n	-0,29
Угол делительного конуса	δ	63°29'40"
Степень точности	—	7-6-6-C
—	—	—
Межосевой угол передачи	Σ	90°
Внешний окружной модуль	m_{te}	5,67
Внешнее конусное расстояние	R_e	113,98
Среднее конусное расстояние	R_m	97,98
Средний делительный диаметр	d_m	175,79
Угол конуса впадин	δ_f	59°58'40"
Внешняя высота зуба	h_e	10,633
Обозначение чертежа сопряженного колеса		

Рис. 2.11

Во второй части таблицы одну-две строки оставляют свободными.

В третьей части таблицы приводят делительный диаметр d и обозначение чертежа сопряженного колеса.

Таблица параметров конического зубчатого колеса с круговыми зубьями приведена на рис. 2.11.

Оформление рабочего чертежа конического колеса аналогично оформлению рабочего чертежа цилиндрического колеса (см. рис. 1.19).

3. Валы

Для поддержания вращающихся деталей в конструкциях используют валы и оси. Отличие вала от оси заключается в том, что вал всегда вращается и кроме изгибающей нагрузки передает вращающий момент, а также может воспринимать осевую нагрузку.

Валы по форме оси подразделяются на прямые, коленчатые и гибкие валы. Прямые валы бывают гладкими (рис. 3.1, *а*) и ступенчатыми (рис. 3.1, *б*). Наиболее распространены прямые ступенчатые валы, в которых фиксирующие уступы препятствуют осевому перемещению установленных на вал деталей, а переходные уступы разграничивают участки с различными диаметрами и допусками.

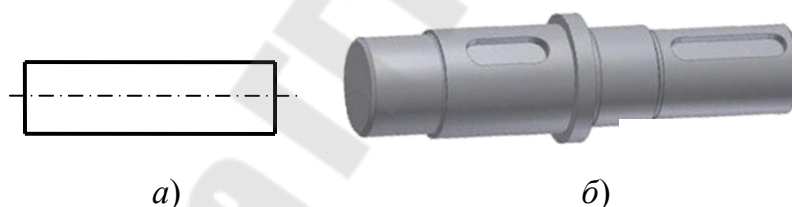


Рис. 3.1

Коленчатый вал (рис. 3.2) имеет ломаную ось и применяется для преобразования в машине возвратно-поступательного движения во вращательное движение или наоборот.

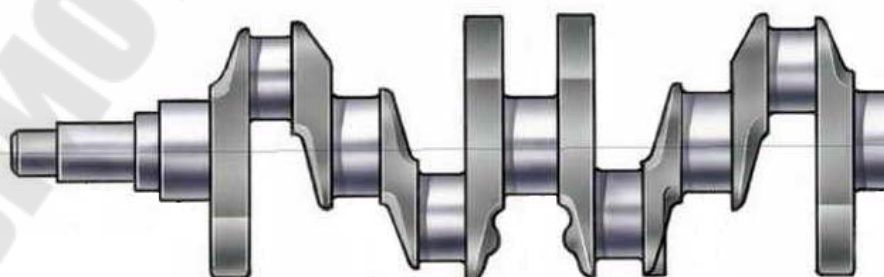


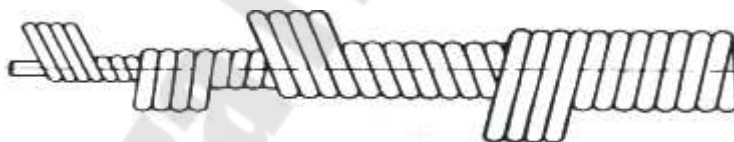
Рис. 3.2

Гибкие валы (рис. 3.3, *a*) имеют изменяемую форму геометрической оси при работе и применяются для передачи крутящего момента между узлами машин или агрегатами, меняющими свое относительное положение при работе. Основные области их применения: механизированный инструмент, станки с переставными шпинделями, вибраторы, приборы дистанционного управления и контроля, следящие приводы. Основным свойством является малая жесткость при изгибе и значительная жесткость при кручении. Они состоят из нескольких плотно навитых слоев (рис. 3.3, *б*), каждый из которых состоит из проволок. Таким образом, гибкие валы представляют собой многослойные многозаходные витые пружины кручения. Толщина проволок наружных слоев больше, чем внутренних. Соседние слои имеют противоположное направление навивки. У валов правого вращения наружный слой навит в левую сторону, у валов левого вращения – в правую сторону, поэтому при передаче крутящего момента наружный слой уплотняет внутренние слои вала.

Такие валы обладают высокой жесткостью при кручении и малой жесткостью при изгибе.



a)



б)

Рис. 3.3

Элементы конструкции ступенчатого вала показаны на рис. 3.4.

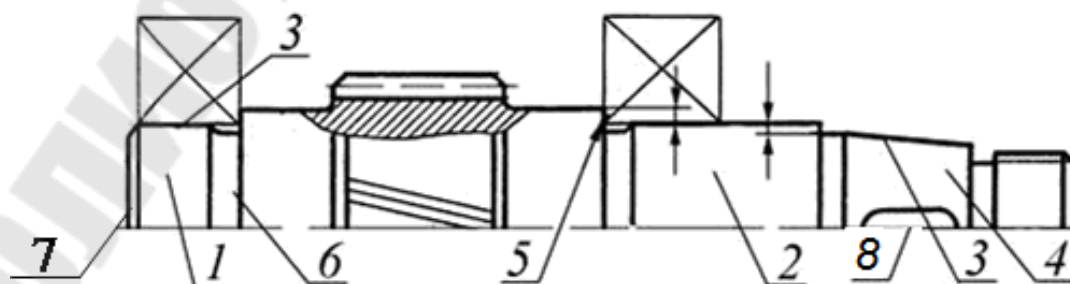


Рис. 3.4

Опорные части валов называются цапфами. При этом концевые цапфы 1 называются *шипами*, промежуточные 2 – *шейками*, а осевые – *пяты*. Пяты бывают *сплошные* и *кольцевые*. На *посадочных поверхностях* 3 располагают насаживаемые детали (подшипники, муфты и т. д.).

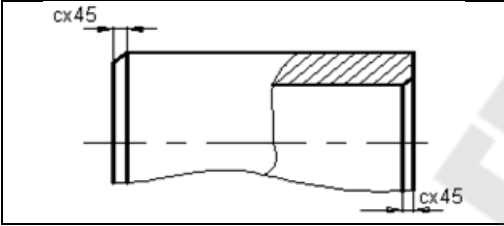
Выходные концы 4 валов бывают цилиндрические и конические. Конические концы валов изготавливают с конусностью 1 : 10. Их применяют для облегчения монтажа устанавливаемых на вал деталей.

Переходные участки между ступенями валов выполняют в виде буртиков 5, канавок 6 (рис. 3.4) или галтелей (рис. 3.5 (*а* – постоянно-го радиуса; *б* – переменного радиуса)). На торце валов выполняют фаски 7. Передача вращающего момента от ступицы к валу осуществляется с помощью шпонки. Для установки шпонки на валу выполняется шпоночный паз 8.

Фаски – скошенные кромки вала или отверстия. Выполняются для удобства соединения вала с другими деталями. Нормальные размеры фасок приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Номинальные размеры фасок, мм

	1 ряд	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0	10,0
	2 ряд	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0

Галтели представляют собой криволинейные поверхности плавного перехода от меньшего сечения вала к плоской части заплечика или буртика.

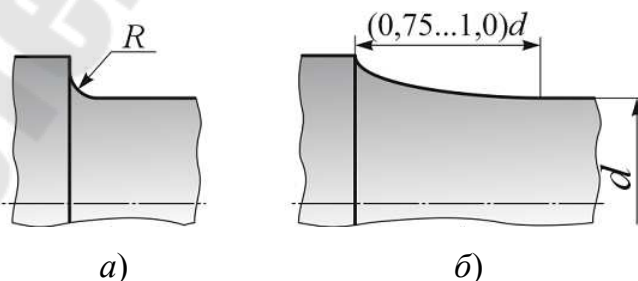


Рис. 3.5

Размеры галтелей постоянного радиуса и фасок приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Размеры галтелей и фасок, мм

Параметр					
	d	20–40	40–60	60–80	80–100
R	1–2	2–3	3–5	4–7	5–8
c	1–2	2–3	3–5	4–7	5–8

Высоту заплечика h принимают конструктивно, $(2,0–2,5)R$. Диаметры остальных участков вала определяем последовательно с учетом высоты заплечиков каждой ступени. Длины участков валов определяются с помощью прорисовки с учетом габаритов насаживаемых деталей, их взаимного расположения, величины необходимых зазоров между ними и т. д.

Если участок вала необходимо при изготовлении шлифовать, вместо обычного перехода предусматривают канавку для выхода шлифовального круга. Размеры канавки приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Размеры канавки, мм

Параметр			
	d	Свыше 10 до 50	Свыше 50 до 100
b	3,0	5,0	8,0
h	0,25	0,5	0,5
R	1,0	1,6	2,0

При выполнении рабочего чертежа вала число размеров должно быть минимальным, но достаточным для его изготовления.

Для всех размеров, нанесенных на чертеже, указывают предельные отклонения. Допускается не указывать предельные отклонения на

размерах, определяющих зоны различной шероховатости, термической обработки и т. д. В этих случаях непосредственно у таких размеров наносится знак \approx . Предельные отклонения многократно повторяющихся размеров относительно низкой точности на чертеже не наносят, а указывают их в технических требованиях, где делается запись «Общие допуски по ГОСТ 30983.1 – m », что соответствует среднему классу точности.

Предельные отклонения линейных размеров можно указывать одним из следующих случаев, например: $40h$, $40_{-0,025}$ или $40h_{(-0,025)}$.

Способы задания осевых размеров вала показаны на рис. 3.6 и 3.7.

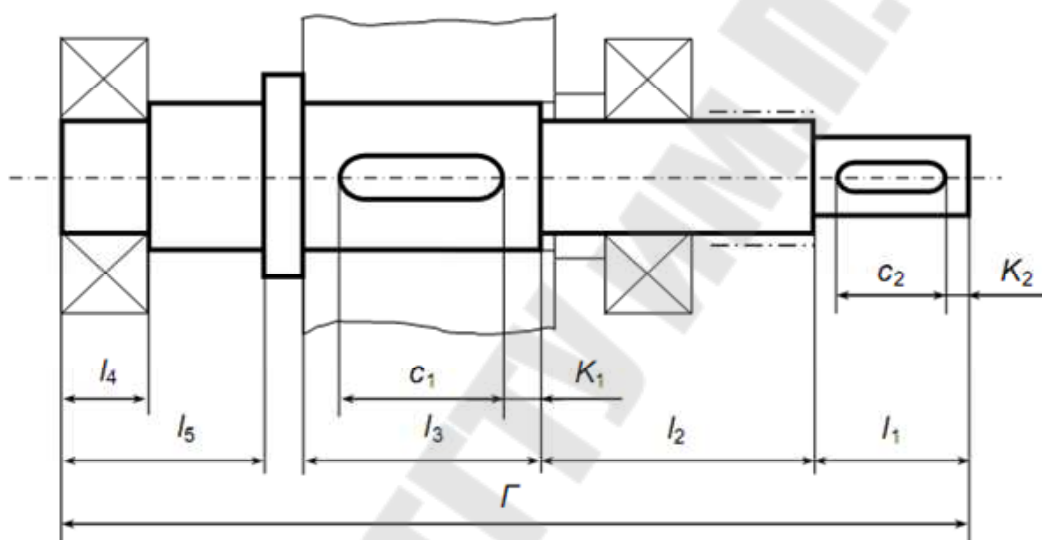


Рис. 3.6

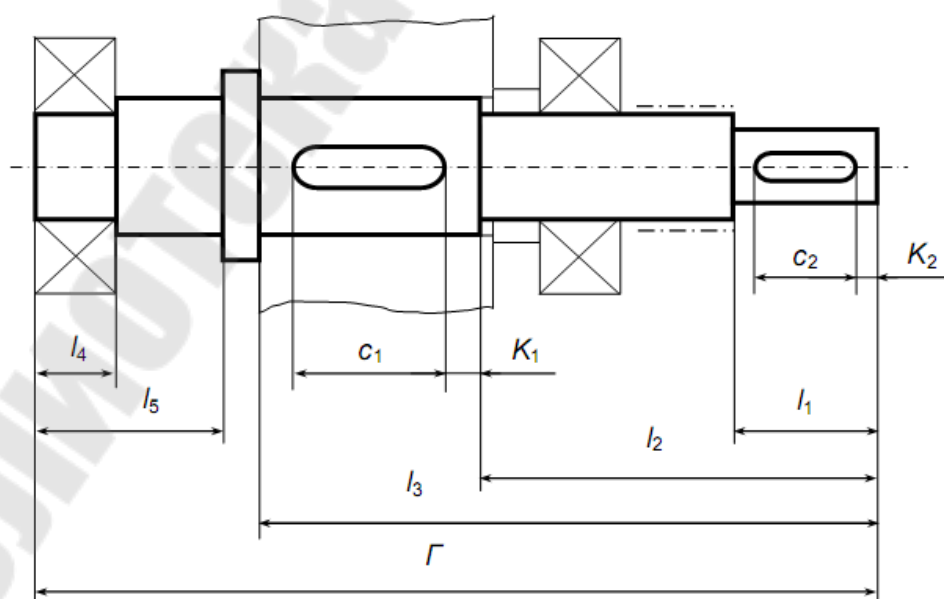


Рис. 3.7

Более предпочтительным является способ, изображенный на рис. 3.6. При этом способе показаны размеры: Γ – габаритный; присоединительный l_1 , посадочные l_2 , l_3 , l_4 , сопряженные c_1 , c_2 и координирующие K_1 , K_2 .

На рабочем чертеже указывают глубину шпоночного паза t_1 (рис. 3.8, а).

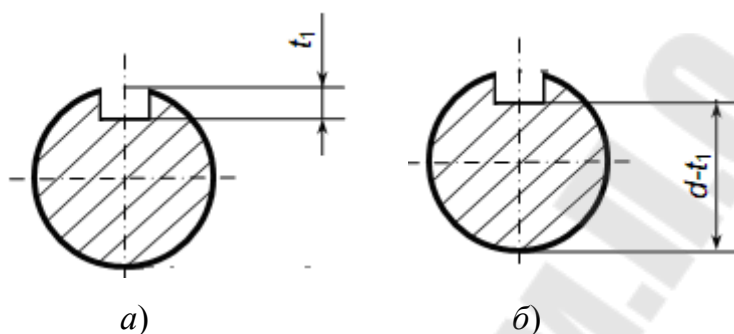


Рис. 3.8

При расположении паза на конце вала предпочтительно задавать размер $d - t_1$ (рис. 3.8, б). Предельные отклонения размеров глубины шпоночного паза приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Предельные отклонения размеров, мм

Размер сечения шпонки $b \times h$	Предельные отклонения размеров	
	t_1	$d - t_1$
$< 6 \times 6$	+0,1	-0,1
$\geq 6 \times 6$	+0,2	-0,2

При механической обработке возникают погрешности не только линейных размеров, но и геометрической формы, а также погрешности в относительном расположении осей, поверхностей и конструктивных элементов вала. Эти погрешности при определенных условиях снижают работоспособность деталей машин.

Так, например, погрешность расположения поверхности заплечика приводит к перекосу колец подшипника, в результате чего увеличивается сопротивление вращению вала, потери энергии и их долговечности.

Рабочей осью вала является общая ось посадочных поверхностей для подшипников качения. Эта ось обозначается АБ (рис. 3.9).

На этом рисунке в рамках приведены условные обозначения допусков формы и расположения, а также некоторые геометрические размеры вала.

Допуски расположения элементов вала для базирования подшипников качения зависят от типа подшипников, которые условно делятся на три группы:

I – подшипники шариковые радиальные и радиально-упорные;

II – подшипники радиальные роликовые с короткими цилиндрическими роликами;

III – подшипники роликовые с коническими роликами.

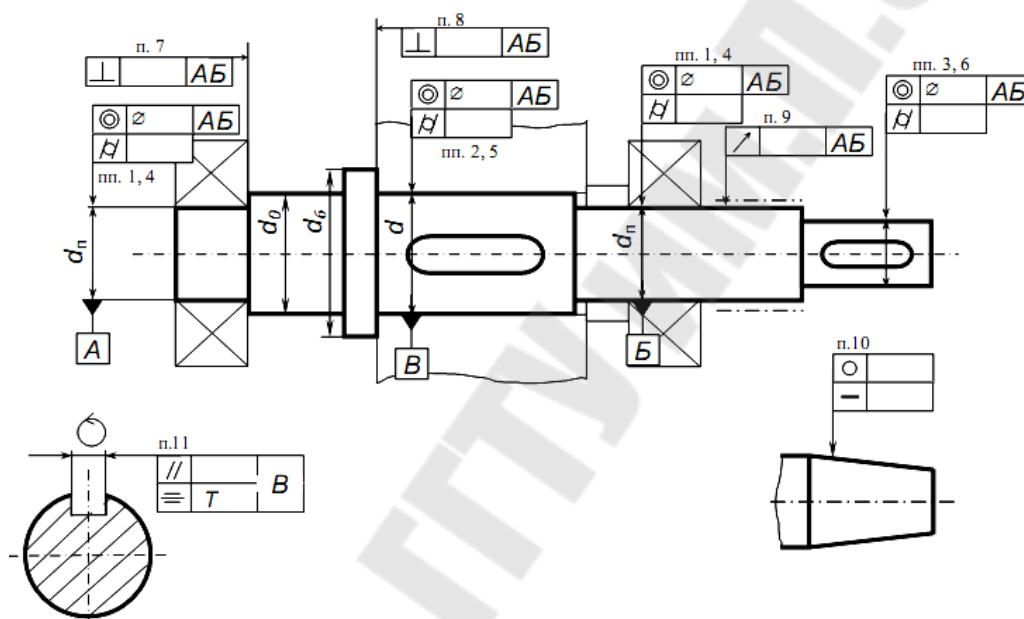


Рис. 3.9

Каждому допуску на рис. 3.9 соответствует определенная позиция.

Позиция 1. Допуск цилиндричности посадочных поверхностей для подшипников качения задают для ограничения отклонения геометрической формы этих поверхностей с целью ограничения отклонений формы дорожек качения колец подшипников.

Позиции 2, 3. Допуск цилиндричности посадочных поверхностей для зубчатых и червячных колес, шкивов, звездочек и муфт, устанавливаемых с натягом, задают с целью ограничения концентрации давления на контактируемых поверхностях.

Эти допуски рассчитывают по зависимости

$$T \approx 0,3t,$$

где t – допуск размера посадочной поверхности вала (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Значение допуска размера

Интервалы размеров, мм	Квалитеты			
	6	7	8	9
	Допуск, мкм			
Свыше 3 до 6	8	12	18	30
Свыше 6 до 10	9	15	22	36
Свыше 10 до 18	11	18	27	45
Свыше 18 до 30	13	21	33	52
Свыше 30 до 50	16	25	39	62
Свыше 50 до 80	19	30	46	74
Свыше 80 до 120	22	35	54	87
Свыше 120 до 180	25	40	63	100

Позиция 4. Допуск соосности на диаметре $d_{\text{п}}$ (табл. 3.6) посадочных поверхностей для подшипников качения относительно их общей оси задают с целью ограничения перекоса колец подшипников качения в зависимости от степени их точности (табл. 3.7).

Таблица 3.6

Допуск соосности

Интервалы размеров	Степень точности допуска соосности		
	5	6	7
	Допуск соосности, мкм		
Свыше 16 до 30	10	16	25
Свыше 30 до 50	12	20	30
Свыше 50 до 120	16	25	40

Таблица 3.7

Степень точности допуска соосности

Группа подшипников	Степень точности допуска соосности
I	7
II	6
III	5

Позиция 5. Допуск соосности (табл. 3.9) посадочной поверхности для зубчатого и червячного колес задают с целью обеспечения норм кинематической точности и нормы контакта зубчатых и червячных передач. Степень точности для допуска соосности посадочных поверхностей зубчатых и червячных колес определяют по табл. 3.8.

Таблица 3.8

Степень точности допусков соосности

Степень кинематической точности	Диаметр делительной окружности	
	свыше 50 до 125	свыше 125 до 280
	Степень точности допусков соосности	
6	5	6
7	6	7
8	7	7
9	7	8

Таблица 3.9

Допуск соосности

Интервалы размеров	Степень точности допусков соосности				
	5	6	7	8	9
	Допуск соосности, мкм				
Свыше 16 до 30	10	16	25	40	60
Свыше 30 до 50	12	20	30	50	80
Свыше 50 до 120	16	25	40	60	100

Позиция 6. Допуск соосности посадочной поверхности для полумуфты, шкива и звездочки задают при частоте вращения вала $n \geq 1000$ об/мин с целью снижения дисбаланса вала и деталей, установленных на этой поверхности вала. В этом случае допуск соосности посадочной поверхности в миллиметрах рассчитывают по зависимости $T \approx 48/n$.

Позиция 7. Допуск перпендикулярности базового торца вала назначают с целью уменьшения перекоса колец подшипников и искажения геометрической формы дорожки качения внутреннего кольца подшипника. Допуск перпендикулярности на диаметре вал d_0 определяют по табл. 3.11 в зависимости от степени точности групп подшипников (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Степень точности допуска перпендикулярности

Группа подшипников	Степень точности допуска перпендикулярности
I	8
II	7
III	6

Таблица 3.11

Допуски перпендикулярности

Интервалы размеров	Степень точности допуска перпендикулярности					
	5	6	7	8	9	10
	Допуски перпендикулярности, мкм					
Свыше 16 до 25	4	6	10	16	25	40
Свыше 25 до 40	5	8	12	20	30	50
Свыше 40 до 63	6	10	16	25	40	60
Свыше 63 до 100	8	12	20	30	50	80
Свыше 100 до 160	10	16	25	40	60	100

Позиция 8. Допуск перпендикулярности базового торца вала на диаметре d_6 задают с целью обеспечения выполнения норм контакта зубьев в передачи только для узких колес, для которых $l/d_6 < 0,8$.

Степень точности допуска перпендикулярности в этом случае определяют по табл. 3.12, а допуск перпендикулярности – по табл. 3.11.

Таблица 3.12

Степень точности допуска перпендикулярности

Тип колес	Степень точности передач по нормам контактов		
	6	7, 8	9
	Степень точности допуска перпендикулярности		
Зубчатые	5	6	7
Червячные	6	7	8

Позиция 9. Допуск радиального биения поверхности вала, расположенной под резиновым сальником задают только при частоте вращения вала $n \geq 1000$ об/мин с целью ограничения амплитуды колебания рабочей кромки сальника, вызывающих ее усталостное разрушение. В этом случае допуск радиального биения поверхности вала в миллиметрах рассчитывают по зависимости $T \approx 48/n$.

Позиция 10. Для конического конца вала устанавливают допуск круглости поперечного сечения конуса и прямолинейности его образующих (табл. 3.13).

Допуски формы круглости и прямолинейности конуса

Обозначение конуса	Степень точности				
	3	4	5	6	7
<i>Допуск прямолинейности, мкм</i>					
30; 35	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0
40; 45	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0
50; 60	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0
60; 65	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0
<i>Допуск круглости, мкм</i>					
30; 35; 40	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0
45; 50	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0
55; 60	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0

Позиция 11. Допуск параллельности $T \approx 0,5t_{\text{ш}}$ и симметричности $T \approx 2t_{\text{ш}}$ назначают для обеспечения более равномерного контакта рабочих поверхностей шпоночного паза ступицы и шпонки, где $t_{\text{ш}}$ – допуск на ширину шпоночного паза (см. табл. 1.15).

Для обозначения шероховатости на валу можно использовать следующие знаки (рис. 3.10).

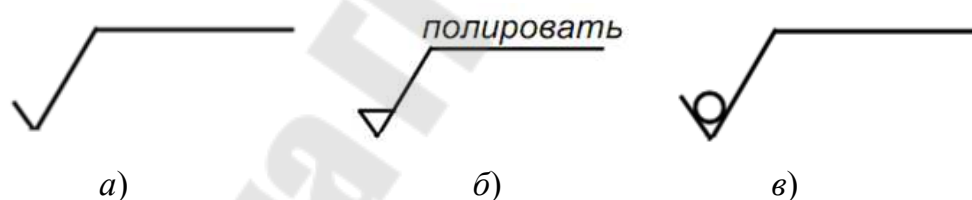


Рис. 3.10

Знак, изображенный на рис. 3.10, а, применяют в том случае, если вид обработки поверхности не устанавливается. Применение этого знака предпочтительно. Если для получения требуемой шероховатости поверхности необходимо удалить часть слоя материала, то используют знак, изображенный на рис. 3.10, б. Знак обозначения шероховатости, изображенный на рис. 3.10, в, применяют в том случае, если обработку поверхности осуществляют без снятия слоя материала.

Из числа параметров шероховатости, установленные ГОСТ 2.309–73, наибольшее применение в машиностроении нашли следующие параметры: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, мкм; R_z – высота неровностей профиля, мкм.

Предпочтительно нормировать параметр R_a , числовые значения которого для валов принимают в соответствии с табл. 3.14.

Таблица 3.14

Числовые значения параметра шероховатости R_a

Вид поверхности	R_a , мкм
Торцы заплечиков валов для базирования: подшипников качения класса точности 0	1,6
зубчатых и червячных колес при отношении длины ступицы к диаметру: $l/d < 0,8$ $l/d \geq 0,8$	1,6 3,2
Поверхности валов под резиновые манжеты	0,2
Поверхности шпоночных пазов на валах: рабочие нерабочие	3,2 6,3
Цилиндрические центрирующие поверхности	0,8
Цилиндрические нецентрирующие поверхности	3,2

Для получения требуемых механических свойств валы подвергают термообработке. Если при этом применяется термообработка одного вида, то в технических требованиях чертежа приводится значение получаемой твердости, например: 260–285 НВ, кроме мест, указанных особо.

Если термообработке подвергают отдельный участок, то его обозначают на чертеже утолщенной штрихпунктирной линией, а на полке линии-выноски наносят показатели свойств материала (рис. 3.11).

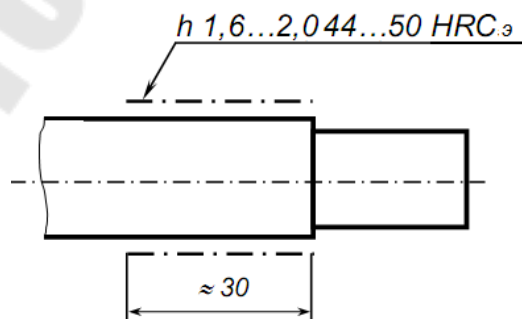


Рис. 3.11

На рис. 3.12 приведен пример рабочего чертежа вала.

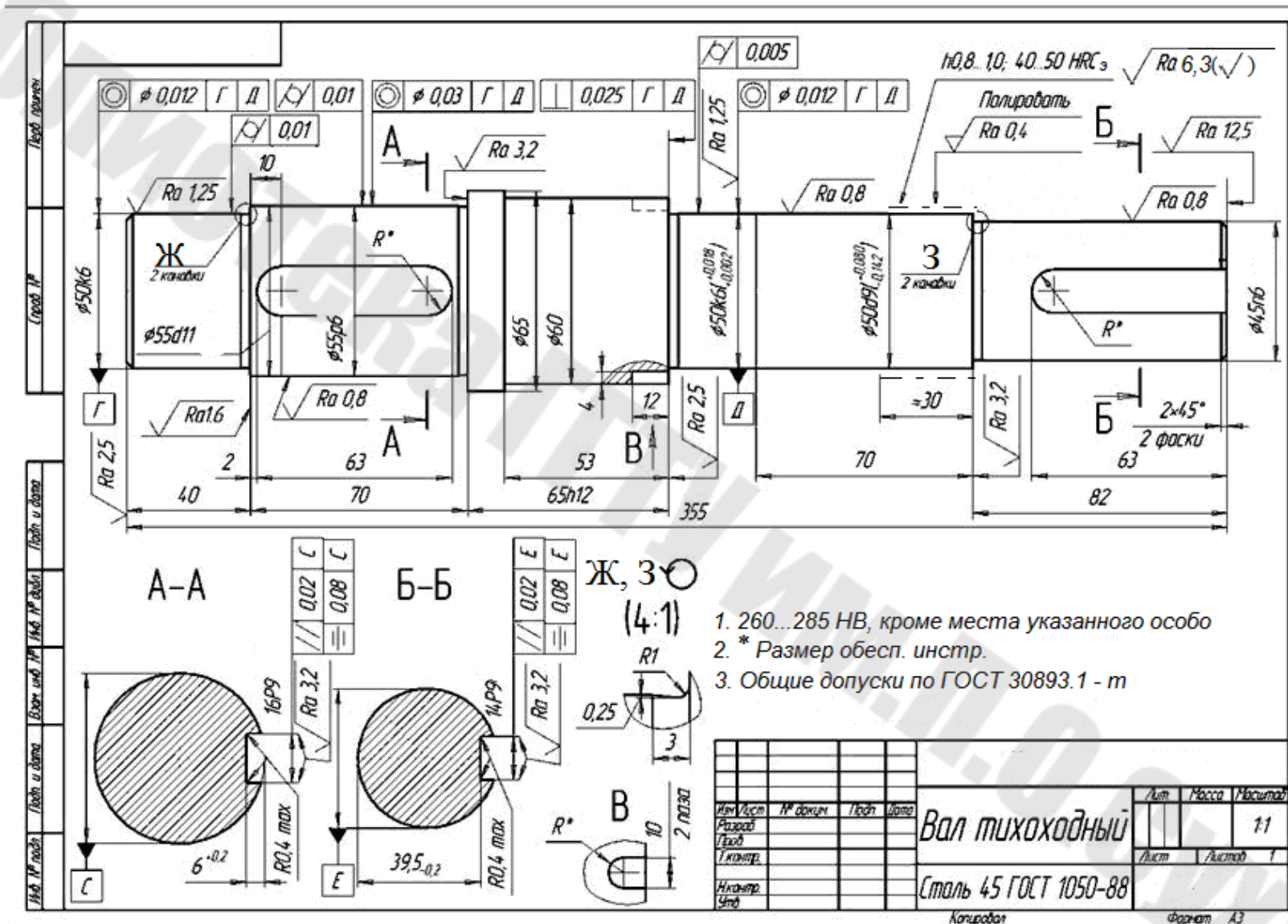


Рис. 3.12

Литература

1. Курсовое проектирование деталей машин : учеб. пособие для учащихся машиностроит. специальностей техникумов / С. А. Чернавский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 416 с.
2. Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин : учеб. пособие для техникумов / А. Е. Шейнблит. – М. : Высш. шк., 1991. – 432 с.
3. Дунаев, П. Ф. Детали машин. Курсовое проектирование / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М. : Высш. шк., 1984. – 336 с.
4. Проектирование механических передач / под ред. С. А. Чернавского. – 5-е изд. – М. : Машиностроение, 1984. – 558 с.
5. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. пособие для студентов техн. специальностей вузов / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М. : Академия, 2004. 496 с.
6. Иванов, М. Н. Детали машин. Курсовое проектирование / М. Н. Иванов, В. Н. Иванов. – М., 1975. – 551 с.
7. Курсовое проектирование деталей машин / под ред. В. Н. Кудрявцева. – Л., 1983. – 400 с.
8. Мурин, А. В. Основы конструирования деталей и узлов машин: Курсовое проектирование : учеб. пособие / А. В. Мурин, В. А. Осипов ; под ред. А. В. Мурина. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – 322 с.
9. Курсовое проектирование деталей машин : учеб. пособие для студентов машиностроит. специальностей вузов / В. Н. Кудрявцев [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Кудрявцева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 400 с.
10. Конструирование и расчет валов. Подбор подшипников качения : метод. указания к контрол. работе по разделу «Валы, оси и их опоры» для студентов машиностроит. специальностей заоч. формы обучения / авт.-сост. А. И. Столяров. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 77 с.
11. Гурин, В. В. Детали машин. Курсовое проектирование : учебник : в 3 кн. / В. В. Гурин, В. М. Замятин, А. П. Попов. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. – Кн. 1. – 378 с.
12. Разработка чертежей деталей и сборочных единиц при курсовом и дипломном проектировании : справоч. метод. пособие для студентов техн. специальностей / Л. П. Субботина [и др.]. – Краматорск : ДГМА, 2003. – 144 с.

Содержание

1. Цилиндрические зубчатые колеса	3
2. Конические зубчатые колеса	20
3. Валы.....	27
Литература	40

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Бельский Алексей Тимофеевич

**ВАЛЫ И ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА.
РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ**

**Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология
машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое
оборудование машиностроительного производства»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 10.04.17.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 1,98.

Изд. № 91.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель