



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология машиностроения»

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

СБОРНИК ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Минск 2010

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология машиностроения»

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Сборник практических работ

Минск 2010

УДК 621.002(076.5)

ББК 34.5я7

P17

Составители:

*Г.Я. Беляев, Г.И. Беляева, О.И. Кисель, Ю.В. Моргун,
А.Ф. Присевок, А.О. Романовский, Н.В. Руднева, Ю.В. Синькевич,
В.Г. Смирнов, И.Н. Янковский, А.А. Ярошевич*

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология металлов»
Белорусского аграрного технического университета *Л.М. Акулович*;
профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»
БНТУ, д-р техн. наук, профессор *Э.М. Дечко*

P 17 Размерный анализ технологических процессов: сборник
практических работ / сост.: Г.Я. Беляев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010. –
351 с.

Рассмотрены основные, наиболее типичные задачи размерного анализа технологических процессов. Приведены примеры их решения с помощью теории графов. Дан обширный справочно-информационный материал, необходимый для осуществления размерного анализа технологических процессов механической обработки на стадии их проектирования.

ВВЕДЕНИЕ

Условия развития машиностроения и конъюнктура рыночных отношений в настоящее время настоятельно требуют ориентации производства на всемерное повышение качества выпускаемой продукции на основе широкого использования прогрессивных технологических процессов, новейших конструкций средств технологического оснащения, новых инструментальных материалов, обладающих повышенными режущими свойствами, комплексной автоматизации производства, применения системы автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов, быстреего внедрения в производство новейших достижений естественных наук.

Все это требует подготовки высококвалифицированных специалистов, обладающих не только глубокими теоретическими знаниями, но и значительными практическими навыками и умениями, необходимыми для быстреей реализации на практике принятых технических решений.

Поэтому инженеры-механики специальностей «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование», «САПР технологических процессов» должны владеть методами оценки качества изделий, расчета размерных цепей, размерного анализа технологических процессов, анализа схем базирования заготовок, построения рациональных технологических процессов, расчета припусков и оптимальных режимов обработки, обеспечивающих заданные параметры качества изделий, основами теории принятия технических решений, знать правила и закономерности этой теории, уметь из огромного количества факторов, влияющих на формирование качества выпускаемой продукции, вычлнить главные, воздействуя на которые можно с наибольшим успехом решить задачу качества.

При проектировании технологических процессов изготовления изделий в современном производстве значительную и все возрастающую роль играют размерные расчеты выходных параметров и оценка точности всего технологического процесса в целом. Вместе с тем, как показывает практика, проектные технологические процессы всегда требуют доработок в достаточно больших объемах.

Значительно снизить затраты на внедрение технологических разработок в производство позволяет система раннего (на стадии проектирования) прогнозирования характеристик технологических процессов на основе широкого внедрения их размерного анализа.

Размерный анализ технологических процессов решает весьма обширный круг технических задач и кроме расчета размерных цепей охватывает целый комплекс технологических расчетов и специальных способов построения размерных схем технологических процессов.

Несмотря на свою достаточно большую сложность и трудоемкость, размерный анализ технологических процессов позволяет еще на стадии технологического проектирования решить важнейшие задачи, приводящие к значительной экономии материальных затрат на производство с улучшением качества проектируемых технологических процессов и изделия в целом.

В данном издании приведены основные задачи, возникающие в процессе размерного анализа технологических процессов, и даны способы их решения.

Особое внимание уделено логической последовательности и доступности изложения материала. К каждой практической работе прилагаются справочно-информационные материалы в достаточном для выполнения работы объеме.

Практическая работа № 1

РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С КОМПЕНСИРУЮЩИМИСЯ ПОГРЕШНОСТЯМИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ

Цель работы: приобретение практических навыков расчета различного рода размерных цепей с компенсирующимися и независимыми звеньями.

1.1. Основные положения

Параметры детали, указанные в чертеже, операционные размеры и технические требования, а также размеры заготовки находятся в сложной размерной зависимости. Любой из них может выступать как замыкающее или составляющее звено. В каждом звене операционной размерной цепи могут быть известны только некоторые размерные данные (например, известно наименьшее значение замыкающего звена, но не даны его колебания или известен допуск составляющего звена, но нет его номинального размера и отклонений). Поэтому в операционных размерных цепях чаще всего решаются задачи смешанного типа, т.е. такие, в которых при некоторых известных данных о замыкающем и составляющих звеньях определяются недостающие данные всех звеньев операционной размерной цепи. При решении задач смешанного типа используются основные формулы и зависимости, указанные РД–50–635–87, введенного взамен ГОСТ 16319–70 и ГОСТ 16320–70. Часто при решении размерных цепей у одной или нескольких пар звеньев могут обнаруживаться погрешности, направленные в противоположные стороны, частично или полностью компенсирующие друг друга. В технической документации и расчетах размерные параметры деталей и узлов принято задавать разными характеристиками.

1. Способ номиналов и отклонений – $A \frac{ES_A}{EI_A}$.

2. Способ координат середин полей допусков – $A + E_{сА} \pm \frac{TA}{2}$
или $A + E_{сА} \pm \frac{\omega A}{2}$.

3. Способ средних значений – $A_{ср} \pm \frac{TA}{2}$ или $A_{ср} \pm \frac{\omega A}{2}$.

4. Способ предельных значений – A_{\min} , A_{\max} .

Последним способом обычно задаются размеры зазоров, натягов, величины слоев покрытий, насыщения и т.д.

Наибольшей информативностью обладает запись размеров с тремя характеристиками – первый и второй способы задания размеров. Из этих форм задания размеров может быть получена любая другая форма, в то время как от записи размеров, имеющих только две характеристики (3-й и 4-й способы), перейти к записи по первому или второму способу невозможно. Для ускорения перехода от одной формы записи к другой можно использовать табл. 1.1, в которой по горизонтали указана исходная (заданная) форма, а по вертикали – та, к которой необходимо перейти (принимаемая форма).

Необходимо обращать внимание на то, что при исходной форме A_{EI}^{ESA} (графа 1) и $A_{\min} \dots A_{\max}$ (графа 4) перейти к формам 2 и 3 возможно только в том случае, если номинал размера A выбран по каким-либо соображениям. Если этот выбор не сделан, переход невозможен.

Для решения любых задач, в том числе и смешанного типа, могут быть составлены три основных уравнения.

1. Уравнение номиналов

$$A_0 = \sum_{j=1}^m A_j - \sum_{q=m+1}^{n-1} A_q,$$

где A_j – увеличивающие звенья;

A_q – уменьшающие;

m – количество увеличивающих звеньев;

n – общее количество звеньев;

A_0 – замыкающее (исходное) звено.

2. Уравнение координат средин допусков

$$EсA_0 = \sum_{j=1}^m EсA_j - \sum_{q=m+1}^{n-1} EсA_q,$$

где $EсA_0$, $EсA_j$ и $EсA_q$ – координаты средин полей допусков замыкающего, увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Таблица 1.1

Формулы преобразования различных форм записи точностных характеристик звеньев

Формы записи	Исходная форма			
	$A_{EI_A}^{ES_A}$	$A + EcA \pm \frac{\omega A}{2}$	$A_{cp} \pm \frac{\omega A}{2}$	$A_{min} \dots A_{max}$
$A_{EI_A}^{ES_A}$		$ES_A = EcA + \frac{\omega A}{2}$ $EI_A = EcA - \frac{\omega A}{2}$	При A выбранном $ES_A = A_{cp} - A + \frac{\omega A}{2}$ $EI_A = A_{cp} - A + \frac{\omega A}{2}$	При A выбранном $ES_A = A_{max} - A$
$A + EcA \pm \frac{\omega A}{2}$	$EcA = (ES_A + EI_A)/2$ $\frac{\omega A}{2} = \frac{ES_A - EI_A}{2}$		При A выбранном $EcA = A_{cp} - A$	При A выбранном $\frac{\omega A}{2} = \frac{A_{max} - A_{min}}{2}$ $EcA = (A_{max} + A_{min})/2$
$A_{cp} \pm \frac{\omega A}{2}$	$A_{cp} = A + \frac{(ES_A + EI_A)}{2}$ $\frac{\omega A}{2} = \frac{ES_A - EI_A}{2}$	$A_{cp} = A + EcA$		$A_{cp} = (A_{max} + A_{min})/2$ $\frac{\omega A}{2} = \frac{A_{max} - A_{min}}{2}$
$A_{min} \dots A_{max}$	$A_{min} = A - EI_A$ $A_{max} = A + ES_A$	$A_{min} = A + EcA - \frac{\omega A}{2}$ $A_{max} = A + EcA + \frac{\omega A}{2}$	$A_{min} = A_{cp} - \frac{\omega A}{2}$ $A_{max} = A_{cp} + \frac{\omega A}{2}$	

3. Уравнение погрешностей или допусков

$$\omega A_0 = TA_0 = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i ,$$

где ωA_0 , TA_0 и TA_i – погрешность и допуски замыкающего и составляющих звеньев.

Из этих уравнений могут быть определены три неизвестные характеристики размерных параметров звеньев.

1.2. Методические указания

Размерные цепи могут иметь погрешности составляющих звеньев как независимые, так и зависящие друг от друга. В первом случае отклонение какого-либо звена в пределах поля допуска не приводит к изменению отклонений других составляющих звеньев. Поэтому утверждают, что колебание (допуск) замыкающего звена равно алгебраической или вероятностной сумме колебаний составляющих звеньев [1–4].

Кроме названных цепей на практике часто встречаются такие размерные цепи, в которых погрешность одного составляющего звена неминуемо ведет за собой появление погрешности другого составляющего. Чаще всего эти погрешности в замкнутом контуре направлены в разные стороны и взаимно компенсируют друг друга. Такие погрешности принято называть компенсирующимися звеньями. Компенсирующая погрешность, проявляющаяся в некоторых составляющих звеньях, не будет вызывать дополнительной погрешности замыкающего звена.

Для пояснения сказанного рассмотрим пример по рис. 1.1.

Пусть необходимо определить величину колебаний зазора при сборке и работе узла. Известно, что в процессе работы детали узла разогреваются до некоторой температуры и в результате меняют свои размеры на определенную величину. Вал, имеющий длину ступени A_2 , установлен в корпус с размером полости A_1 . При установке и работе механизма должен быть обеспечен зазор N . Величина зазора у разных узлов будет меняться из-за колебания ω_{1A_1} и ω_{2A_2} размеров A_1 и A_2 . Тогда колебание замыкающего звена N будет:

$$\omega N = \omega_{1A_1} + \omega_{2A_2}.$$

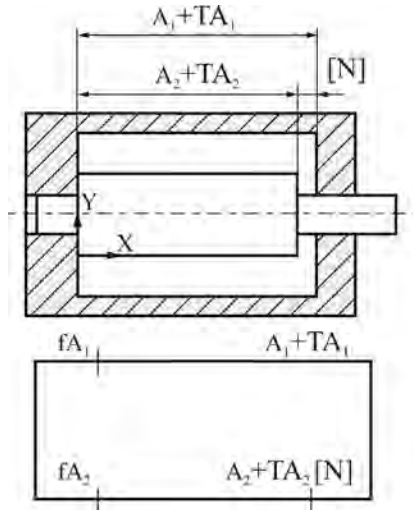


Рис. 1.1. Узел и его размерная цепь с компенсирующимися погрешностями составляющих звеньев

Допустим, что в процессе работы механизм нагревается и его размеры увеличиваются на величину f (для начала рассмотрим случай, когда удлинения звеньев A_1 и A_2 равны между собой). С учетом нагрева колебание размеров A_1 и A_2 будет:

$$\omega A_1 = \omega_1 A_1 + f; \quad \omega A_2 = \omega_1 A_2 + f.$$

Если решать такую размерную цепь обычным способом, то колебание замыкающего звена определится из уравнения

$$\omega N = \omega_1 A_1 + \omega_2 A_2 = \omega_1 A_1 + \omega_2 A_2 + 2f.$$

Вместе с тем изменение размеров A_1 и A_2 за счет теплового расширения не скажется на величине зазора, так как изменение одного из размеров на какую-либо величину влечет за собой изменение и другого размера на такую же величину. Звенья A_1 и A_2 входят в размерную цепь с разными знаками, т.к. одно из них увеличивающее, а второе уменьшающее. Поэтому погрешности f будут взаимно компенсироваться. Два названных звена и будут представлять собой звенья с компенсирующимися погрешностями на величину f .

Колебание замыкающего звена необходимо определять, вычитая компенсирующиеся погрешности из общей суммы погрешностей:

$$\omega N = \omega_1 A_1 + \omega_2 A_2 - 2f.$$

Рассмотрим тот же пример, когда величины погрешностей за счет теплового расширения у звеньев A_1 и A_2 различны. Пусть звено A_1 при расширении увеличивается на величину f_1 , а звено A_2 – на величину f_2 . Причем известно, что $f_1 > f_2$, т.е.

$$f_1 = f_2 + k.$$

В этом случае суммарное колебание звеньев A_1 и A_2 будет:

$$\omega A_1 = \omega_1 A_1 + f_1 = \omega_1 A_1 + f_2 + k, \quad \omega A_2 = \omega_1 A_2 + f_2.$$

Погрешность f_2 у обоих звеньев будет представлять собой компенсирующуюся часть общей погрешности, все остальные – независимую. В этом случае колебание зазора N определяют по формуле

$$\omega N = \omega_1 A_1 + \omega_2 A_2 - 2f_2 + k.$$

Как видно из разобранных примера, и в этом случае колебание замыкающего звена у партии деталей определяют суммированием колебаний составляющих звеньев за вычетом удвоенной компенсирующейся погрешности.

Оба этих примера относились к сборочным размерным цепям. Рассмотрим пример, связанный с механической обработкой. На рис. 1.2 показана токарная операция подрезки торцов одновременно двумя резцами.

Заданы размеры А и Б, которые необходимо обеспечить на этой операции. При поджатии детали задним центром величина усилия зажима P_1 не может быть постоянной, поэтому обрабатываемые детали в партии будут занимать различное положение. Они могут смещаться вместе со шпинделем и патроном в пределах величины t_1 . При обработке также возникает переменная сила резания P_2 . Ее величина может колебаться в определенных пределах за счет колебания припуска у разных деталей, твердости и других

технологических факторов. Благодаря этому положение детали и шпинделя может изменяться на величину t_2 . По этой же причине могут меняться и отжатия суппорта с резцами на величину t_3 .

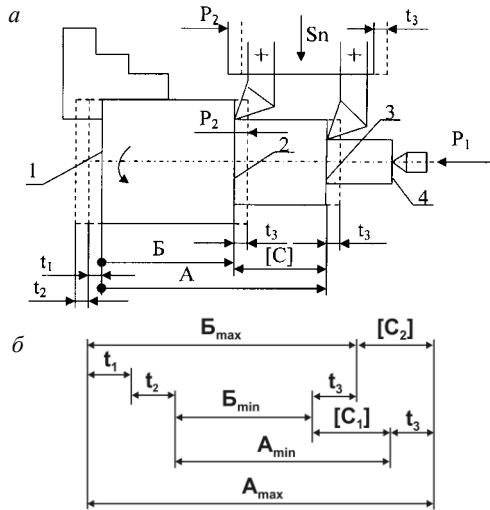


Рис. 1.2. Схема токарной обработки и размерная цепь с компенсирующимися погрешностями составляющих звеньев

Очевидно, что у партии деталей погрешности размеров A и B будут равны:

$$\omega A = t_1 + t_2 + t_3.$$

$$\omega B = t_1 + t_2 + t_3.$$

Звено C , появляющееся в результате выполнения составляющих звеньев, будет замыкающим. Из рис. 1.2 видно, что при минимальных отжимах составляющих звеньев величина замыкающего звена может быть определена по формуле

$$C_1 = A_{min} + B_{min}.$$

А для случая с максимальными отжатиями

$$C_2 = A_{max} + B_{max} = (A_{min} + t_1 + t_2 + t_3) - (B_{min} + t_1 + t_2 + t_3) = A_{min} + B_{min}.$$

Тогда погрешность замыкающего звена

$$\omega C = C_2 - C_1 = 0.$$

Следовательно, каждое из звеньев А и Б имеет погрешность, равную сумме $t_1 + t_2 + t_3$. Замыкающее же звено этих погрешностей не имеет, потому что они компенсируются на звеньях А и Б и никакого влияния на звено С не оказывают.

В реальных условиях кроме перечисленных будут возникать и другие погрешности (погрешности настройки резцов на размер, погрешности, возникающие в результате неравномерного износа инструментов и т.д.). Эти погрешности не будут компенсироваться. Тогда суммарные погрешности звеньев А и Б можно представить в следующем виде:

$$\omega A = t_1 + t_2 + t_3 + \Sigma K_1 = f + \Sigma K_1;$$

$$\omega B = t_1 + t_2 + t_3 + \Sigma K_2 = f + \Sigma K_2,$$

где f – компенсирующиеся;

K_1 и K_2 – независимые погрешности.

Погрешность замыкающего звена

$$\omega C = \Sigma K_1 + \Sigma K_2 = (\omega A - f) + (\omega B - f) = \omega A + \omega B - 2f.$$

На практике точность размера между поверхностями, образованными резцами, установленными в суппортах многорезцовых и многопозиционных станков на одной или разных позициях, почти всегда можно выдержать жестче, чем точность размера от базовой до обрабатываемой поверхности. Причиной этого и являются возникающие на этих операциях компенсирующиеся погрешности.

Ниже на рис. 1.3 и 1.4 представлены две размерные цепи с компенсирующимися звеньями. У одной из них неизвестным звеном является замыкающее звено, у другой – составляющее.

На рис.1.3 представлена размерная цепь, описываемая следующим уравнением:

$$N = A - B.$$

Размеры составляющих звеньев указаны на чертеже. Известно, что у звеньев А и Б имеются компенсирующие погрешности $f = 0,4$. Необходимо определить все характеристики замыкающего звена N . Расчет произведем через координаты середин полей допусков в следующем порядке:

$$1) (\omega_1 A)/2 = (\omega A)/2 - f/2 = (ES_A - EI_A)/2 - f/2 = (0,6 - 0 - 0,4)/2 = 0,1;$$

$$2) (\omega_1 B)/2 = (\omega B)/2 - f/2 = (ES_B - EI_B)/2 - f/2 = (0,4 - (-0,3) - 0,4)/2 = 0,15;$$

$$3) EcA = (ES_A + EI_A)/2 = (0,6 + 0)/2 = 0,3;$$

$$4) EcB = (ES_B + EI_B)/2 = (0,4 + (-0,3))/2 = 0,05;$$

$$5) EcN = EcA - EcB = 0,3 - 0,05 = 0,25;$$

$$6) N_{ном} = A_{ном} - B_{ном} = 21 - 20,0 = 1,0;$$

$$7) (\omega N)/2 = (\omega_1 A)/2 + (\omega_1 B)/2 = 0,1 + 0,15 = 0,25;$$

$$8) ES_N = EcN + (\omega N)/2 = 0,25 + 0,25 = 0,5;$$

$$9) EI_N = EcN - (\omega N)/2 = 0,25 - 0,25 = 0.$$

Искомое звено $N = 1^{+0,5}$, а без учета компенсирующих погрешностей $N = 1^{+0,9}_{-0,4}$.

На рис. 1.4 представлена та же размерная цепь, но неизвестным является составляющее звено Б. Необходимо определить характеристики этого звена с учетом того, что оба составляющих звена имеют компенсирующие погрешности $f = 0,4$. Расчет в этом случае ведется в следующем порядке:

$$1) \omega N = \omega A + \omega B - 2f, \text{ тогда } \omega B = \omega N - \omega A + 2f = 0,5 - 0,6 + 2 \cdot 0,4 = 0,7; (\omega B)/2 = 0,35;$$

$$2) EcN = (ES_N + EI_N)/2 = (0,5 + 0)/2 = 0,25;$$

$$3) EcA = (ES_A + EI_A)/2 = (0,6 + 0)/2 = 0,3;$$

$$4) EcB = EcA - EcN = 0,3 - 0,25 = 0,05;$$

$$5) ES_B = EcB + (\omega B)/2 = 0,05 + 0,35 = 0,4;$$

$$6) EI_B = EcB - (\omega B)/2 = 0,05 - 0,35 = -0,3.$$

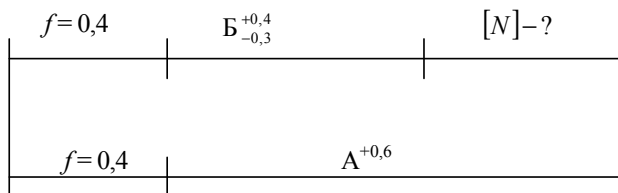


Рис. 1.3. Размерная цепь с компенсирующимися звеньями и неизвестным замыкающим звеном

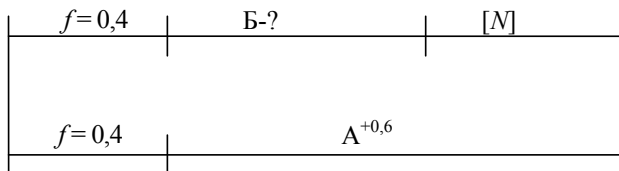


Рис. 1.4. Размерная цепь с компенсирующимися звеньями и неизвестным составляющим звеном

Искомое звено $B = 20_{-0,3}^{+0,4}$. Сравнивая значение B с тем, которое имелось ранее при решении обратной задачи, можно увидеть, что решение правильно.

В более общем случае, когда в размерной цепи n составляющих и k пар звеньев, погрешности которых взаимно компенсируются на величины f_1, f_2, \dots, f_k , поле рассеяния замыкающего звена для цепи с параллельными звеньями будет:

$$\omega A_0 = \sum_{i=1}^n \omega A_i - 2(f_1 + f_2 + \dots + f_k).$$

Если расчет ведется вероятностным методом, то формула примет следующий вид:

$$\omega A_0 = t \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^k \lambda'_{2i-1} (\omega A_{2i-1} - f_i)^2 + \lambda'_{2i} (\omega A_{2i} - f_i)^2 + \sum_{j=2k+1}^n \lambda'_j (\omega A_j)^2 \right\}}.$$

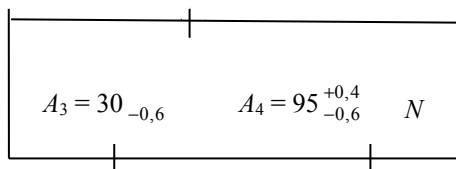
Две последние формулы пригодны для любого количества звеньев с компенсирующимися погрешностями как при расчете по методу максимум-минимум, так и при вероятностном расчете.

1.3. Варианты заданий

Задача № 1. Определить номинальный размер, координату середины поля допуска, допуск (поле рассеяния), верхнее и нижнее отклонения замыкающего (исходного) звена для трех случаев:

$$A_1 = 50 \begin{matrix} +0,2 \\ -0,3 \end{matrix}$$

$$A_2 = 80 \begin{matrix} +0,3 \\ -0,5 \end{matrix}$$



- а) при наличии компенсирующихся звеньев A_1 и A_3 , A_2 и A_4 .
 Причем $f_{1-3} = f_{3-1} = f_1 = 0,3$; $f_{2-4} = f_{4-2} = f_2 = 0,6$;
 б) при наличии независимых погрешностей звеньев $K_1 = 0,2$; $K_2 = 0,3$; $K_3 = 0,6$; $K_4 = 0,1$;
 в) при наличии и компенсирующихся и независимых погрешностей.

Задача № 2. Определить те же характеристики замыкающего звена по чертежу размерной цепи к задаче № 1 по следующим данным: $A_1 = 25_{-0,2}$; $A_2 = 65 \begin{matrix} +0,2 \\ -0,4 \end{matrix}$; $A_3 = 30 \begin{matrix} +0,1 \\ -0,2 \end{matrix}$; $A_4 = 55_{-0,4}$; по трем вариантам:

- а) при наличии компенсирующихся погрешностей $f_{1-3} = f_{3-1} = f_1 = 0,1$;
 $f_{2-4} = f_{4-2} = 0,2$;
 б) при наличии независимых погрешностей $K_1 = 0,1$; $K_2 = 0,15$;
 $K_3 = 0,2$; $K_4 = 0,25$;
 в) при отсутствии и компенсирующихся, и независимых погрешностей.

Примечание: задачу по третьему варианту решить вероятностным методом.

Задача № 3. Построить размерную цепь, состоящую из шести звеньев, причем звенья A_1 , A_2 , A_5 – увеличивающие, A_3 и A_4 – уменьшающие, N – замыкающее. Известны: $A_2 = 50_{-0,2}$; $A_5 = 70 \begin{matrix} +0,2 \\ -0,4 \end{matrix}$;
 $A_3 = 25_{-0,4}$; $A_4 = 80_{-0,6}$; $N = 40 \begin{matrix} +1,2 \\ -1,0 \end{matrix}$. Определить номинальный размер, поле рассеяния (допуск), координату середины поля допуска, верхнее и нижнее отклонения составляющего звена A_1 по трем вариантам:

а) при наличии компенсирующихся погрешностей $f_{1-3} = f_{3-1} = f_1 = 0,25; f_{2-4} = f_{4-2} = 0,4;$

б) при наличии независимых погрешностей $K_1 = 0,1; K_2 = K_3 = K_4 = 0,2; K_5 = 0,25;$

в) при отсутствии и компенсирующихся, и независимых погрешностей.

Примечание: задачу по третьему варианту решить вероятностным методом.

Задача № 4. Построить размерную цепь, состоящую из шести звеньев, причем звенья A_1, A_2, A_3 – увеличивающие, A_4 и A_5 – уменьшающие, N – замыкающее. Известны: $A_2 = 50^{+0,16}; A_3 = 95^{+0,22}; A_5 = 70_{-0,19}; A_4 = 70_{-0,19}; N = 55 \pm 0,445$. Определить номинальный размер, поле рассеяния (допуск), координату середины поля допуска, верхнее и нижнее отклонения составляющего звена A_1 по трем вариантам:

а) при наличии компенсирующихся погрешностей $f_{2-4} = f_{4-2} = f_1 = 0,1; f_{3-5} = f_{5-3} = 0,16;$

б) при наличии независимых погрешностей $K_2 = K_3 = K_4 = K_5 = 0,2;$

в) при наличии и компенсирующихся, и независимых погрешностей.

Задача № 5. Построить размерную цепь, состоящую из шести звеньев, причем звенья A_1, A_2, A_5 – увеличивающие, A_3 и A_4 – уменьшающие, N – замыкающее. Известны: $A_2 = 50_{-0,2}; A_5 = 70_{-0,4}; A_3 = 25_{-0,4}; A_4 = 80_{-0,6}; N = 40_{-1,0}^{+1,2}$. Определить номинальный размер, поле рассеяния (допуск), координату середины поля допуска, верхнее и нижнее отклонения составляющего звена A_1 по трем вариантам:

а) при наличии компенсирующихся погрешностей $f_{1-3} = 0,15; f_{3-1} = 0,2; f_{2-4} = 0,25; f_{4-2} = 0,4;$

б) при наличии независимых погрешностей $K_2 = K_3 = K_4 = 0,22; K_5 = 0,25;$

в) при отсутствии и компенсирующихся, и независимых погрешностей.

Примечание: задачу по третьему варианту решить вероятностным методом.

Задача № 6. Построить размерную цепь, состоящую из пяти звеньев, причем звенья A_1 , A_2 – уменьшающие, A_3 и A_4 – увеличивающие, N – замыкающее. Известны: $A_1 = 45_{-0,04}^{+0,054}$; $A_2 = 90_{-0,5}^{+0,054}$;

$A_3 = 55_{-0,5}^{+0,046}$; $N = 5_{-0,5}^{+0,8}$. Определить номинальный размер, поле рассеяния (допуск), координату середины поля допуска, верхнее и нижнее отклонения составляющего звена A_4 по трем вариантам:

а) при наличии компенсирующихся погрешностей $f_{1-3} = f_{3-1} = f_1 = 0,012$; $f_{2-4} = f_{4-2} = f_2 = 0,02$;

б) при наличии независимых погрешностей $K_1 = 0,2$; $K_2 = 0,1$; $K_3 = 0,4$; $K_4 = 0,1$;

в) при отсутствии и компенсирующихся, и независимых погрешностей.

Примечание: задачу по третьему варианту решить вероятностным методом.

Задача № 7. Решить задачу по условию задачи № 6 с учетом того, что погрешности f_{1-3} и f_{3-1} только частично компенсируют друг друга: $f_{1-3} = 0,015$, а $f_{3-1} = 0,02$.

Задача № 8. Построить размерную цепь, состоящую из четырех звеньев, причем звенья A_1 , A_2 – увеличивающие, A_3 – уменьшающее, N – замыкающее звено. Известны: $A_1 = 50_{-0,4}^{+0,4}$; $A_2 = 120_{-0,8}^{+0,8}$; $A_3 = 145_{-0,8}^{+0,4}$. Определить номинальный размер, поле рассеяния (допуск), координату середины поля допуска, верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена N по трем вариантам:

а) при наличии компенсирующихся погрешностей $f_{1-3} = f_{3-1} = f_1 = 0,2$; $f_{2-4} = f_{4-2} = f_2 = 0,4$;

б) при наличии независимых погрешностей $K_1 = 0,2$; $K_2 = 0,3$; $K_3 = 0,4$.

в) при отсутствии и компенсирующихся, и независимых погрешностей.

Примечание: задачу по третьему варианту решить вероятностным методом.

1.4. Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями теории размерных цепей.

2. Построить (если указано) схему размерной цепи.

3. Решить задачу относительно указанного звена размерной цепи, т.е. определить его номинальный размер, координату середины поля допуска, поле рассеяния, верхнее и нижнее предельные отклонения с учетом:

- компенсирующихся погрешностей;
- независимых погрешностей;
- при наличии или отсутствии и тех, и других.

4. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

1.5. Содержание отчета

1. Название работы.

2. Содержание задания.

3. Схема размерной цепи с размерными характеристиками заданных звеньев.

4. Расчет размерной цепи с компенсирующимися или частично компенсирующимися погрешностями.

5. Расчет размерной цепи с независимыми погрешностями.

6. Расчет размерной цепи при наличии и компенсирующихся, и независимых погрешностей или без них.

7. Анализ полученных результатов.

8. Выводы.

1.6. Контрольные вопросы

1. Какие Вы знаете способы задания размерных характеристик звеньев размерной цепи и какие из них более предпочтительны?

2. Как можно перейти от одной формы записи к другой?

3. Какие существуют основные уравнения размерных цепей?

4. Как определяются размерные характеристики замыкающего (исходного) звена?

5. Как определяются размерные характеристики составляющих увеличивающих и уменьшающих звеньев?

6. Какие погрешности называют компенсирующимися, а какие независимыми?

7. Каков порядок расчета размерных характеристик замыкающего звена при наличии компенсирующихся или частично компенсирующихся погрешностей?

8. Каков порядок расчета размерных характеристик составляющих звеньев при наличии компенсирующихся или частично компенсирующихся погрешностей?

9. Как учитываются независимые погрешности при расчете размерных цепей?

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев, В.В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков, Ю.Н. Свиридов. – Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1979. – 112 с.

2. Мордвинов, Б.С. Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки / Б.С. Мордвинов, Е.С. Огурцов. – Омск: ОмПИ, 1975. – 160 с.

3. Технология автоматизированного машиностроения. Специальная часть / под ред. А.А. Жолобова. – Минск: ДизайнПРО, 1997. – 384 с.: ил.

4. Размерный анализ конструкций: справочник / С.Г. Бондаренко [и др.]; под общ. ред. канд. техн. наук С.Г. Бондаренко. – Киев: Техника, 1989. – 150 с.

Практическая работа № 2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Цель работы: приобретение практических навыков анализа конструкторской документации с оценкой правильности простановки размеров на чертежах.

2.1. Основные положения

Чертежи деталей являются исходными документами для проектирования технологических процессов. Этим обстоятельством определяются два условия, которым с технологической точки зрения должен удовлетворять рабочий чертеж и которые в своем дальнейшем развитии приводят к принципиальным установкам, касающимся составления размерных цепей деталей. Эти условия можно сформулировать следующим образом.

1. Чертеж детали должен давать ясную, однозначную и исчерпывающую характеристику детали, т.е. точно и четко отображать те требования, которые предъявляются к детали со стороны конструкции узла и взаимозаменяемости.

2. Чертеж не должен ограничивать технологические возможности, т.е. он должен позволять применение к детали разных вариантов техпроцесса.

Из этих условий вытекает основное правило простановки размеров на чертежах: *на чертежах деталей должны проставляться конструкторские, а не производственные (технологические) размеры и допуски.*

Производственные размеры и допуски должны разрабатываться технологом, проектирующим технологический процесс, и фиксироваться в технологической документации [1, 2].

При выполнении анализа конструкторской документации технологом должен быть решен целый комплекс вопросов. Основные из них следующие.

1. Преобразование конструкторской документации в форму, удобную для принятия технологических решений.

2. Проверка правильности простановки размеров и технических требований на чертежах.

В процессе выполнения первой задачи необходимо произвести формализацию деталей и их поверхностей, для чего:

1) отнести данную деталь к соответствующему классу, подклассу и группе;

2) выделить на деталях комплексы поверхностей, образующих основные и вспомогательные базы, исполнительные поверхности и наметить размерные связи между ними;

3) разделить все поверхности на две группы: обрабатываемые резанием поверхности и поверхности, формообразование которых завершилось на стадии заготовительных операций (литье, обработка давлением и т.д.);

4) произвести классификацию всех поверхностей по определенной форме [1];

5) оценить необходимую точность и шероховатость поверхностей каждой квалификационной группы;

6) выделить поверхности, для которых заданы дополнительные требования к точности относительного расположения.

Такое преобразование конструкторской документации позволяет принимать решения не по каждой отдельной поверхности, а по группам однородных поверхностей.

На рабочих чертежах деталей из литых и получаемых обработкой давлением заготовок, часть поверхностей которых подвергается обработке резанием, проставляют две группы размеров:

1) связывающие между собой поверхности, полученные в окончательном виде на заготовительных операциях (такие размеры и поверхности называют исходными);

2) связывающие поверхности, окончательное формообразование которых завершается на стадии обработки резанием.

Эти две группы поверхностей должны быть связаны между собой только одним размером в каждой из координатных осей. При простановке размеров для группы обрабатываемых поверхностей необходимо соблюдать два правила:

а) предусмотреть возможность обработки на настроенных станках;

б) по возможности обеспечить совпадение установочной и измерительной баз. В этом случае погрешность схемы базирования будет равна нулю.

Лучше и проще всего проверку правильности простановки размеров на чертежах производить с помощью графов размерных связей. Граф на плоскости изображается множеством соответствующих поверхностям вершин, соединенных ребрами, каждое из которых обозначает размер, связывающий две поверхности.

Граф размерных связей строится для каждой из координатных осей. На рис. 2.1 приведен пример проверки правильности простановки размеров по оси z с помощью графа размерных связей [1, 2]. На эскизе детали знаком шероховатости обычно обозначают обрабатываемые поверхности. Исходные поверхности на графе размерных связей отмечены двойной окружностью. Номер внутри окружности соответствует номеру поверхности. Есть определенные особенности в обозначении на графах симметричных поверхностей, например тел вращения. Такие поверхности на графах обозначаются двумя вершинами, одна из которых представляет собой плоскость симметрии, а последняя – условную поверхность, номер которой состоит из символов O и N , где N – номер поверхности.

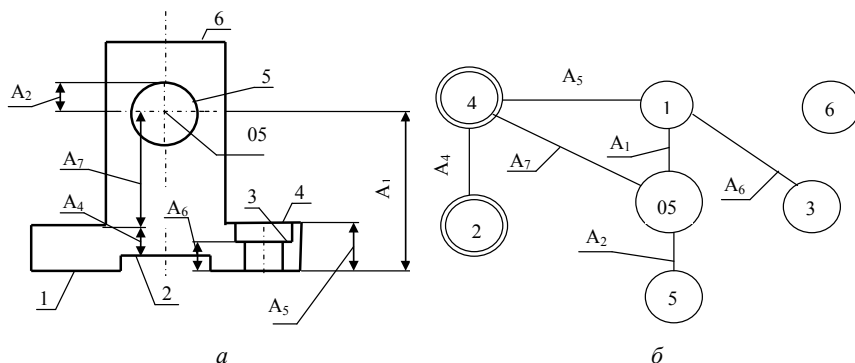


Рис. 2.1. Эскиз детали и граф размерных связей

При правильной простановке размеров граф отвечает следующим требованиям.

1. На графе нет оторванных групп вершин (если они есть, то это значит, что не хватает размеров или технических требований).

2. На графе нет замкнутых контуров (циклов). Если таковые присутствуют, то это значит, что проставлены лишние размеры.

3. Группы исходных и обработанных поверхностей имеют только одно общее ребро.

Анализируя способ простановки размеров представленной детали, изображенной на графе (см. рис. 2.1, б) можно прийти к выводу, что при простановке размеров допущено три ошибки.

1. Имеются обособленные, так называемые оторванные вершины (вершина 6 никак не связана, оторвана от общего графа).

2. Между исходными и обрабатываемыми поверхностями существует несколько связей (ребра A_5 и A_7).

3. На графе имеется замкнутый контур (цикл) 1-4-05, чего быть не должно.

Если, как в данном случае, в простановке размеров обнаружены ошибки, необходимо их устранить, разработав новую схему. Это лучше всего сделать с помощью графов размерных связей. Исправленная схема простановки размеров и граф размерных связей для детали, представленной на рис. 2.1, а, даны на рис. 2.2. На этом рисунке сохранены все обозначения размеров и поверхностей, принятые ранее. На рис. 2.2 представлен только один из возможных вариантов исправленной схемы простановки размеров и графа размерных связей. Обрабатываемые поверхности на эскизе желательно обозначать знаком шероховатости. На графе, как и в предыдущем случае, исходные (необрабатываемые) поверхности показаны двумя окружностями, обрабатываемые – одной. Симметрично расположенные поверхности, в данном случае поверхности вращения, обозначаются двумя вершинами, одна из которых – ось симметрии.

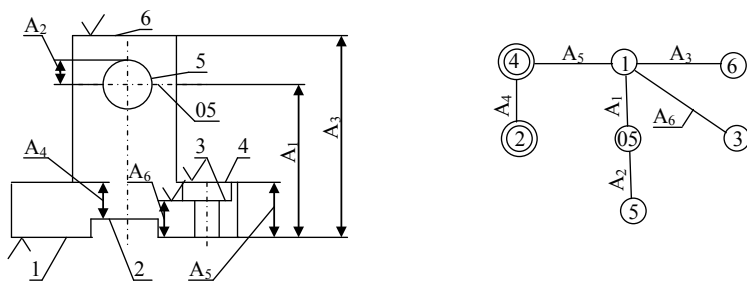


Рис. 2.2: а – эскиз детали с исправленной простановкой размеров; б – исправленный граф к эскизу; 2 и 4 – исходные (необрабатываемые) поверхности; 1, 3, 5 и 6 – обрабатываемые

Примечание: чтобы не затемнять чертеж, штриховка на обоих эскизах не наносилась.

Как видно из исправленного графа, новая простановка размеров позволила избежать ошибок, обнаруженных при анализе первой схемы.

1. На новом графе в связи с тем, что был введен размер A_3 , вершина 6 перестала быть оторванной.

2. Исчез цикл 1-4-05, так как был снят излишний размер A_7 .

3. Из-за исчезновения ребра A_7 группы обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей имеют только одно общее ребро.

Представление размерных связей в виде графа удобно и наглядно для человека. Но для машинного хранения информации и обработки ее с помощью ЭВМ непригодно. Для этого графическая информация преобразуется в матрицу смежности (рис. 2.3). Квадратная таблица вида $R_{(x,y,z)}^{CM} = \|v_{i,j}\|_{m \times m}$ называется матрицей смежности размерных связей детали, если ее элементы образуются по правилу

$$v_{i,j} = \begin{cases} A(T) \\ 0 \end{cases},$$

причем, если вершина n_i соединена с n_j ребром, и 0 – в противном случае. $A(T)$ – соответствующий размер и численное значение допуска на него (может в свою очередь иметь метку 1 или 2).

$$R_{(x,y,z)}^{CM} = \begin{array}{cccccc} & \bar{n}_i & \bar{n}_2 & \dots & \bar{n}_i & \bar{n}_m \\ \bar{n}_i & 0 & A_{1,2} & \dots & 0 & A_{1,m} \\ \bar{n}_2 & A_{1,2} & 0 & \dots & 0 & A_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{n}_i & A_{1,i} & 0 & \dots & 0 & A_{i,m} \\ \bar{n}_m & A_{1,m} & A_{2,m} & \dots & A_{mj} & 0 \end{array}$$

Рис. 2.3. Пример матрицы смежности

Строки и столбцы матрицы $R_{(x,y,z)}^{CM}$ соответствуют вершинам графа. На пересечении i -й строки и j -го столбца ставится элемент $r_{i,j}$, соответствующий численному значению допуска на размер, соединяющий вершины \bar{n}_i и \bar{n}_j . Метка 1 присваивается тому

элементу матрицы, который соединяет между собой обрабатываемые вершины. Метка 2 присваивается элементу матрицы, когда соединяются между собой необрабатываемые вершины или обрабатываемые с необрабатываемыми. На рис. 2.4 представлены матрицы смежности размеров детали, показанной на рис. 2.2.

	1	2	3	4	5	05	6		1	2	3	4	05	6	
1	0	0	A_6	A_5	0	A_1	A_3		1	0	0	1	2	0	1
2	0	0	0	A_4	0	0	0		2	0	0	0	2	0	0
3	A_6	0	0	0	0	0	0		3	1	0	0	0	0	0
4	A_5	A_4	0	0	0	0	0		4	2	2	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	A_2	0		5	0	0	0	0	1	0
05	0	0	0	0	A_2	0	0		05	1	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0		6	1	0	0	0	0	0
	<i>a</i>								<i>б</i>						

Рис. 2.4. Матрицы смежности размерных связей детали, представленной на рис. 2.2

Для оценки правильности простановки размеров с помощью матриц смежности необходимо проверить следующее.

1. Число вершин на графе должно быть на единицу больше числа ребер, т.е. должно выполняться условие $KI / 2 = m - 1$, где KI – сумма строк и столбцов, которые не равны 0. Если $KI / 2 < m - 1$, то на чертеже детали нанесено недостаточное количество размеров. Если $KI / 2 > m - 1$, то это значит, что на чертеже имеются лишние размеры.

2. На графе не должно быть, как отмечалось ранее, оторванных вершин, т.е. в матрице не должно быть нулевой строки или столбца, как на рис. 2.5, строка и столбец 2.

3. На графе должна быть единственная связь между комплексами обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей. Это значит, что строки или столбцы матрицы, соответствующие номерам обрабатываемых поверхностей, должны иметь единственный элемент с меткой 2, а необрабатываемые – с меткой 1 (на рис. 2.6 строки (столбцы) 1 и 05).

4. На графе не должно быть замкнутых контуров. Для проверки этого условия в строке (столбце) матрицы отыскивают единственные ненулевые элементы (рис. 2.7, *a*). Далее эти строки

(столбцы) обнуляются (в графе отсекаются вершины), рис. 2.7, б. В результате появляется новая матрица, в которой соответствующие элементы строк (столбцов) нулевые. В новой матрице вновь производится обнуление конечных ветвей и т.д. до тех пор, пока на двух последних шагах не появятся две одинаковые матрицы (рис. 2.7, в).

На основании проведенного графического (с использованием графа размерных связей) и математического (с помощью матрицы смежности) анализа делается заключение о правильности назначения размеров.

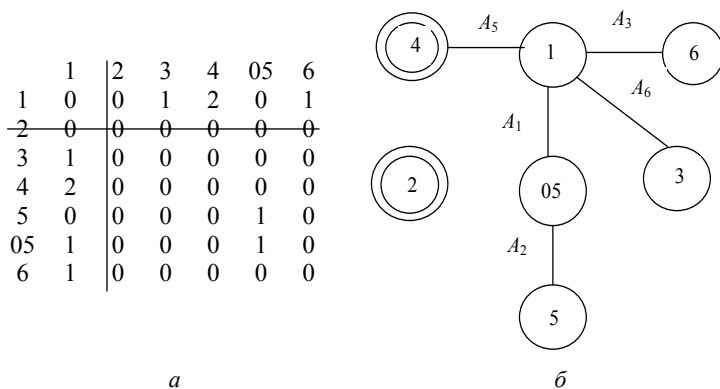


Рис. 2.5. Проверка условия на «оторванные» вершины:
a – матрица смежности; *б* – модифицированный граф

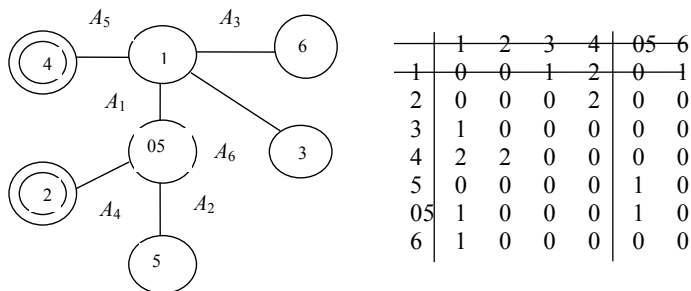
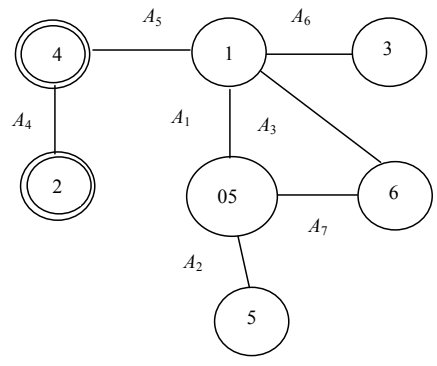


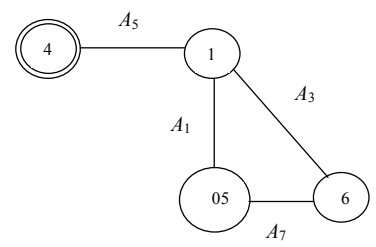
Рис. 2.6. Проверка условия отсутствия лишних связей между комплексами обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей

	1	2	3	4	5	05	6
1	0	0	1	2	0	1	1
2	0	0	0	2	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
4	2	2	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0
05	1	0	0	0	1	0	1
6	1	0	0	0	0	1	0



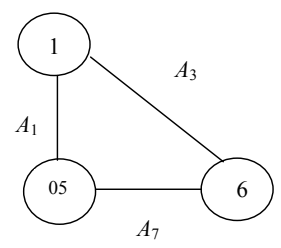
a

	1	2	3	4	5	05	6
1	0	0	0	2	0	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
05	1	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	1	0



б

	1	2	3	4	5	05	6
1	0	0	0	0	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
05	1	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	1	0



в

Рис. 2.7. Выявление замкнутого контура (цикла) с помощью графа и матрицы смежности

2.2. Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями теории размерных связей.
2. Вычертить эскиз детали в соответствии с вариантом задания.
3. Построить граф размерных связей.
4. Проверить по графу размерных связей достаточность размеров и технических требований.
5. Проверить по графу наличие замкнутых контуров.
6. Проверить, нет ли лишних ребер, соединяющих комплексы обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей.
7. Построить матрицу смежности.
- 8–10. Повторить проверки (п. 4–6) по матрице смежности.
11. Сделать заключение о правильности простановки размеров на чертеже.
12. При необходимости разработать исправленный граф и нанести новый вариант простановки размеров на чертеж детали.

2.3. Содержание отчета

1. Основные положения теории размерных связей.
2. Граф размерных связей.
3. Оценка правильности простановки размеров по созданному графу размерных связей.
4. Матрицы смежности, необходимые для оценки правильности назначения размеров.
5. Оценка с помощью матриц смежности и графов правильности простановки размеров.
6. Исправленный граф и эскиз детали с новым вариантом нанесения размеров (при необходимости).

2.4. Контрольные вопросы

1. Каким основным условиям должен соответствовать чертеж детали?
2. Как формулируется основное правило простановки размеров?
3. Какие действия должен произвести технолог при формализации деталей и их поверхностей?
4. Какие комплексы размеров могут быть проставлены на чертеже детали?

5. Какие правила необходимо соблюдать при простановке размеров на чертежах для группы обрабатываемых поверхностей?
6. Как строится граф размерных связей?
7. Как учитываются на графе оси симметрии?
8. Как определить по графу размерных связей правильность простановки и достаточность размеров?
9. Что такое матрица смежности и как она строится?
10. Как по матрице смежности определить правильность простановки и достаточность размеров?

2.5. Варианты заданий

№ п/п	Наименование детали	Координатная ось, по которой производится анализ размеров	№ п/п	Наименование детали	Координатная ось, по которой производится анализ размеров
1	Серьга <i>ТМ</i> 1.26	x	14	Клемма <i>ТМ</i> 2.73	x
2	Цанга <i>ТМ</i> 1.45	x	15	Клемма <i>ТМ</i> 2.73	z
3	Стакан <i>ТМ</i> 2.15	x	16	Цапфа <i>ТМ</i> 3.24	x
4	Корпус <i>ТМ</i> 2.24	z	17	Шпонка <i>ТМ</i> 3.26	x
5	Корпус <i>ТМ</i> 2.38	y	18	Ступица <i>ТМ</i> 4.8	x
6	Корпус <i>ТМ</i> 2.38	z	19	Вал <i>ТМ</i> 4.28	x
7	Корпус <i>ТМ</i> 2.38	x	20	Ось <i>ТМ</i> 4.36	x
8	Корпус <i>ТМ</i> 2.39	y	21	Вставка <i>ТМ</i> 5.05	x
9	Корпус <i>ТМ</i> 2.40	y	22	Шток <i>ТМ</i> 5.10	x
10	Корпус <i>ТМ</i> 2.40	x	23	Шкив <i>ТМ</i> 10.3	x
11	Корпус <i>ТМ</i> 2.44–2.52	x	24	Корпус <i>ТМ</i> 2.60–2.63	z
12	Корпус <i>ТМ</i> 2.44–2.52	z	25	Колесо зубчатое <i>ТМ</i> 2.72	x
13	Корпус <i>ТМ</i> 2.60–2.63	z			

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузанова, В.П. Размерный анализ и простановка размеров в рабочих чертежах / В.П. Пузанова. – М.-Л.: Машгиз, 1958. – 196 с.
2. Технология автоматизированного машиностроения. Специальная часть / под ред. А.А. Жолобова. – Минск: Дизайн-ПРО, 1997. – 384 с.: ил.

Практическая работа № 3

ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ОТКЛОНЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ

Цель работы: изучение теоретических основ и получение практических навыков в разработке и расчете размерных цепей отклонения расположения.

3.1. Основные положения

К отклонениям расположения относят перпендикулярность, соосность, параллельность и т.д. При размерном анализе техпроцессов часто возникает необходимость в суммировании такого рода отклонений друг с другом и с другими размерными параметрами детали. При построении и расчете размерных цепей с отклонениями расположения последние должны быть заданы не в угловых, а в линейных величинах.

В построении и расчете размерных цепей со звеньями-отклонениями расположения имеется ряд особенностей, которые проще пояснить на конкретных примерах, примеры взяты из [1, 2, 3].

На рис. 3.1 показана ступенчатая деталь с заданной величиной отклонения от соосности. Искомой (замыкающим звеном) является высота ступени А. Так как направление смещения оси поверхности 1 произвольно относительно оси поверхности 2, то размерные цепи могут быть двух видов.

Для размерной цепи, представленной на рис. 3.2, а, отклонение от соосности будет уменьшающим звеном размерной цепи. Тогда искомая величина А может быть определена из выражения

$$[A] = B - B - E_{1-2}.$$

Для цепи, изображенной на рис. 3.2, б, где отклонение от соосности будет увеличивающим звеном:

$$[A] = B - B + E_{1-2}.$$

В первом случае отклонение от соосности отрицательное, во втором – положительное.

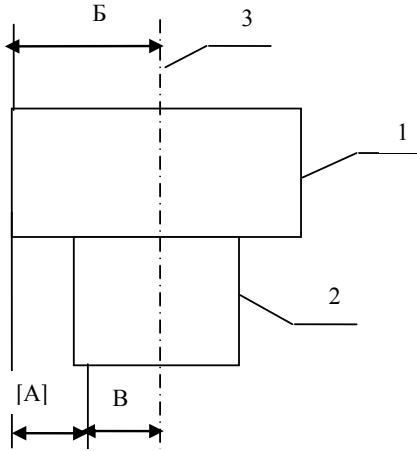


Рис. 3.1. К определению отклонений от соосности у детали типа тела вращения $E_{1-2} = 0 \pm 0,1$; $E_{1-3} = 0 \pm 0,05$

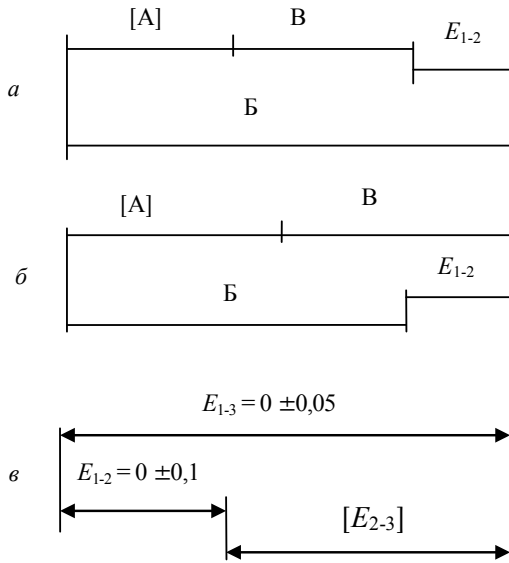


Рис. 3.2. Размерные цепи:
a – значение отклонения от соосности E_{1-2} отрицательно;
б – значение отклонения от соосности E_{1-2} положительно;
в – цепь отклонений расположения

Максимальное значение звена А для случая, когда E_{1-2} является уменьшающим звеном, будет:

$$A_{\max} = B_{\max} - B_{\min} - (E_{1-2})_{\min}.$$

Если же E_{1-2} увеличивающее звено, то

$$A_{\max} = B_{\max} - B_{\min} + (E_{1-2})_{\max}.$$

Вычитая второе уравнение из первого, получим:

$$(E_{1-2})_{\min} = -(E_{1-2})_{\max}.$$

Т.е. минимальное отклонение от соосности равно отрицательной величине.

$$(E_{1-2})_{\max} = 0,1 \text{ мм}; \quad (E_{1-2})_{\min} = -0,1 \text{ мм}.$$

В отклонениях это можно записать в виде

$$E_{1-2} = 0 \pm 0,1.$$

Как видно, значение минимального отклонения от соосности получилось меньше нуля. Исходя из физического смысла, необходимо признать, что минимальная величина отклонения от соосности равна нулю. Отрицательной она получилась потому, что знак учитывает направление смещения оси. В связи с тем, что номинал отклонений расположения равен нулю, а предельные отклонения всегда симметричны, отнесение этих звеньев к разряду уменьшающих или увеличивающих не влияет на результаты расчета.

На рис. 3.1 представлен ступенчатый вал с центровыми отверстиями. Задано смещение оси поверхности 1 относительно оси 3 центровых отверстий $E_{1-3} = 0 \pm 0,05$ мм, допусковое смещение осей поверхностей 1 и 2 $E_{1-3} = 0 \pm 0,1$ мм. Смещение оси поверхности 3 по отношению к оси поверхности 2 на чертеже детали не задано, но оно может быть определено как замыкающее звено размерной цепи, представленной на рис. 3.2, в.

Построение размерной цепи начинается с нанесения ряда вертикальных линий, отстоящих на равных расстояниях друг от друга. Количество вертикальных линий должно быть равно числу осей цилиндрических поверхностей. Считают, что каждая цилиндрическая поверхность имеет свою ось (1 и 2), центровые отверстия имеют ось 3. Затем наносятся смещения осей E_{1-2} и E_{1-3} , являющихся составляющими звеньями размерной цепи отклонений расположения. Смещение оси 2 относительно 3 (E_{2-3}) будет замыкающим звеном. Решение такого рода цепей упрощается тем, что все звенья размерной цепи имеют номинальный размер, равный нулю. Тогда и номинал, и координата середины поля допуска замыкающего звена также будут равны нулю.

Колебание отклонения расположения замыкающего звена в соответствии с уравнением погрешностей

$$\omega_{2-3} = \omega_{1-2} + \omega_{1-3} = 0,1 + 0,2 = 0,3 \text{ мм.}$$

Тогда смещение осей может быть представлено в виде номинала с предельными отклонениями:

$$E_{2-3} = 0 \pm 0,15 \text{ мм.}$$

Построение цепей отклонений расположения для корпусных деталей несколько сложнее в связи с необходимостью суммирования отклонений от перпендикулярности с отклонениями от параллельности. У прямоугольника, представленного на рис. 3.3, отклонение от перпендикулярности стороны А относительно поверхности Б, $N(A-B)$, может быть представлено как смещение точки пересечения сторон А и Б на величину $\pm \Delta_1$ от номинального положения. Отклонение от параллельности сторон А и С, $P(A-C)$, представляет собой приращение стороны Б на величину $\pm \Delta_2$. Векторы $N(A-B)$ и $P(A-C)$ могут входить в одну размерную цепь и суммироваться друг с другом. Если известны отклонения от перпендикулярности сторон А и С относительно Б, $N(A-B)$ и $N(C-B)$, то значение отклонения от параллельности сторон А и С может быть определено как замыкающее звено размерной цепи отклонений расположения, представленной на рис. 3.3, б. Вертикальные линии имитируют три стороны

А, В, С прямоугольника. Линии А и В, В и С имитируют номинально перпендикулярные друг к другу стороны прямоугольника, а линии А и С – параллельные. Горизонтальные линии, связывающие номинально перпендикулярные друг к другу поверхности, представляют собой отклонения от перпендикулярности $N(A-B)$ и $N(C-B)$. Линия, соединяющая номинально параллельные поверхности А и С, является отклонением от параллельности $P(A-C)$, которое будет замыкающим звеном размерной цепи отклонений расположения.

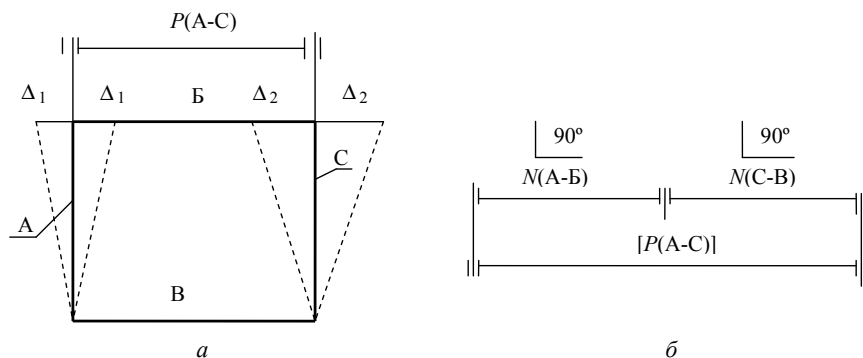


Рис. 3.3. Построение размерных цепей отклонений расположения для корпусных деталей:

- a* – схема учета отклонений от параллельности и перпендикулярности;
- б* – размерная цепь отклонений расположения

Оно может быть определено из выражения

$$[P(A - C)] = N(A - B) + N(C - B).$$

При этом всегда необходимо помнить, что отклонения от параллельности и перпендикулярности не обладают свойством обратимости. Это наглядно видно из следующего примера. На рис. 3.4, *a* представлена деталь с двумя противоположащими плоскостями 1 и 2, имеющими отклонение от параллельности $P(1-2)$ и $P(2-1)$, измеренными в линейных величинах от базовых поверхностей как приращение размера А и не равными между собой. При расчете размерных цепей отклонений расположения во избежание ошибок

необходимо, чтобы величины этих отклонений не зависели от выбора базовой поверхности.

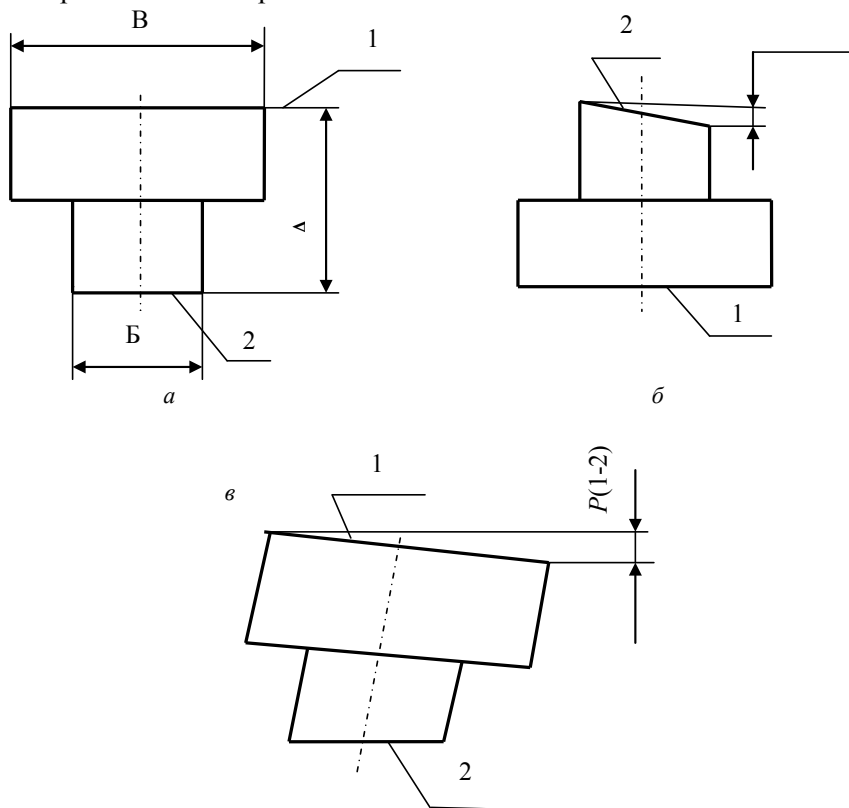


Рис. 3.4. Схема, иллюстрирующая необратимость отклонений расположения:
a – эскиз детали; *б* – измерение отклонения расположения (параллельности) поверхности 2 относительно поверхности 1; *в* – измерение отклонения от параллельности поверхности 1 относительно поверхности 2

Для того, чтобы сделать это при расчете отклонений расположения, необходимо перейти к удельным отклонениям, отнесенным к единице диаметра. Т.е.:

$$P(1-2)/B = P(2-1)/b \quad \text{или} \quad (P_{1-2})_{уд} = (P_{2-1})_{уд}.$$

На чертежах и операционных эскизах технологических процессов отклонения расположения задаются в абсолютных единицах, т.к. всегда известно, относительно какой базовой поверхности

следует определять отклонения. Переход к удельным единицам необходим только на стадии построения и расчета размерных цепей отклонений расположения. После завершения расчетов необходимо вернуться к абсолютным единицам.

На рис. 3.5 представлен ступенчатый валик в качестве примера расчета отклонений расположения. Отклонения расположения торцевых поверхностей 1-3 относительно друг друга и относительно оси центровых отверстий 4 заданы в абсолютных единицах в виде технических требований:

$$N_{3-4} = 0 \pm 0,04; \quad P_{1-3} = 0 \pm 0,06; \quad P_{1-2} = 0 \pm 0,02.$$

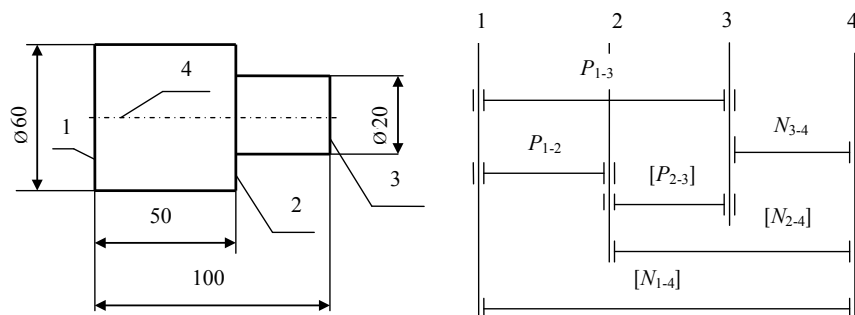


Рис. 3.5: а – эскиз детали; б – размерная схема цепей отклонения расположения

Решение. Зная N_{3-4} , P_{1-3} и P_{1-2} можно определить отклонения N_{2-4} , P_{2-3} и N_{1-4} как замыкающие звенья размерной цепи, представленной на рис. 3.5, б. Удельное отклонение от перпендикулярности торца 2 к оси 4 можно определить из уравнения

$$[N_{2-4}]_{уд} = (N_{3-4})_{уд} + (P_{1-3})_{уд} + (P_{1-2})_{уд} = (0 \pm 0,04)/20 + (0 \pm 0,06)/60 + (0 \pm 0,02)/60 = 0 \pm 0,00333.$$

А абсолютное значение отклонения от перпендикулярности торца 2 относительно оси 4 составит:

$$N_{2-4} = (N_{2-4})_{\text{уд}} \cdot 60 = (0 \pm 0,00333) \cdot 60 = 0 \pm 0,2 \text{ мм.}$$

Аналогично

$$\begin{aligned} [P_{2-3}]_{\text{уд}} &= (P_{1-2})_{\text{уд}} + (P_{1-3})_{\text{уд}} = \\ &= (0 \pm 0,06)/60 + (0 \pm 0,02)/60 = 0 \pm 0,00133. \end{aligned}$$

Абсолютное же значение отклонения от параллельности торца 2 относительно торца 3

$$(P_{2-3}) = (P_{2-3})_{\text{уд}} \cdot 60 = (0 \pm 0,00133) \cdot 60 = 0 \pm 0,0798 = 0 \pm 0,08 \text{ мм.}$$

Удельное отклонение от перпендикулярности торца 1 относительно оси 4 будет:

$$\begin{aligned} [N_{1-4}]_{\text{уд}} &= (P_{1-3})_{\text{уд}} + (N_{3-4})_{\text{уд}} = (0 \pm 0,06)/60 + (0 \pm 0,04)/20 = \\ &= 0 \pm 0,003. \end{aligned}$$

Абсолютное отклонение от перпендикулярности торца 1 относительно оси 4

$$N_{1-4} = (0 \pm 0,003) \cdot 60 = 0 \pm 0,18 \text{ мм.}$$

А абсолютное отклонение от перпендикулярности оси 4 относительно торца 1 составит:

$$N_{4-1} = (N_{4-1})_{\text{уд}} \cdot 100 = 0 \pm 0,3 \text{ мм.}$$

3.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями теории размерных цепей отклонений расположения.

2. Вычертить в соответствии с вариантом задания в необходимом количестве проекций эскизы деталей (одна деталь корпусная, другая – тело вращения).

3. Нанести на эскизы заданные отклонения расположения поверхностей и осей деталей.

4. Построить размерную схему отклонений расположения.

5. Выявить звенья размерной цепи отклонений расположения, подлежащие расчету.

6. Произвести расчет в удельных единицах.

7. Определить размерные характеристики искомых звеньев в абсолютных единицах.

8. Сделать выводы.

3.3. Содержание отчета

1. Основные правила построения и расчета размерных цепей отклонений расположения.

2. Эскизы деталей в необходимом количестве проекций с нанесением заданных отклонений расположения.

3. Размерные цепи отклонений расположения с заданными и искомыми звеньями отклонений расположения.

4. Размерные расчеты в удельных и абсолютных единицах.

5. Выводы.

3.4. Контрольные вопросы

1. Какие погрешности относят к отклонениям расположения?

2. Когда отклонения расположения положительны и когда отрицательны?

3. С чего начинается построение размерной цепи отклонений расположения?

4. Как учитываются при построении размерной цепи отдельные ступени цилиндрической поверхности?

5. В чем особенность построения размерных цепей отклонений расположения для корпусной детали?

6. С какой целью расчет размерных цепей отклонений расположения ведут в удельных единицах?

3.5. Варианты заданий

№ п/п	Наименование и шифр детали	Содержание задания
1	2	3
1	Прижим <i>ТМ</i> 2.06	1. Определить параллельность торцевых плоскостей отверстия $\varnothing 42H7$ 2. Определить перпендикулярность верхней плоскости по отношению к левому торцу прижима, если параллельность верхней плоскости нижней – 0,04 мм

Продолжение таблицы

1	2	3
2	Ушко <i>ТМ 2.28</i>	Определить параллельность осей отверстий $\varnothing 20H7$
3	Корпус <i>ТМ 2.29</i>	1. Определить перпендикулярность плоскостей Б и В 2. Параллельность боковых плоскостей 28×9 между собой – 0,05 мм. Определить их перпендикулярность плоскости основания
4	Корпус <i>ТМ 2.33</i>	Определить параллельность правого и левого торцов детали
5	Рычаг <i>ТМ 2.35</i>	1. Определить параллельность осей отверстий $\varnothing 10H9$, $\varnothing 8H9$ и $\varnothing 12H7$ 2. Определить перпендикулярность боковых сторон плоскости основания
6	Корпус <i>ТМ 2.38</i>	Параллельность плоскости основания оси В – 0,005/100. Определить ее перпендикулярность торцу бобышки
7	Корпус <i>ТМ 2.39</i>	Параллельность левой плоскости бобышки по отношению к правой – 0,02 мм. Определить перпендикулярность этой плоскости по отношению к оси отверстия В
8	Корпус <i>ТМ 2.40</i>	Параллельность оси отверстия В плоскости основания 0,05/100. Определить ее перпендикулярность торцу
9	Корпус <i>ТМ 2.41</i>	Перпендикулярность оси отверстия В к торцу – 0,08 мм. Определить параллельность оси отверстия В плоскости основания
10	Стойка <i>ТМ 2.42</i>	Параллельность верхнего торца плоскости основания – 0,05 мм. Параллельность торца бобышки $\varnothing 30$ плоскости основания – 0,1 мм. Определить перпендикулярность оси отверстия $\varnothing 28$ плоскости основания
11	Стойка <i>ТМ 2.43</i>	Параллельность верхнего торца плоскости основания – 0,05 мм. Параллельность торца бобышки $\varnothing 30$ плоскости основания – 0,1 мм. Определить перпендикулярность оси отверстия $\varnothing 11$ плоскости основания
12	Стойка <i>ТМ 2.43</i>	Параллельность верхнего торца плоскости основания – 0,05 мм. Параллельность торца бобышки $\varnothing 30$ плоскости основания – 0,1 мм. Определить параллельность осей отверстий $\varnothing 28$ и $\varnothing 11$
13	Рычаг <i>ТМ 3.01</i>	Определить параллельность осей отверстий $\varnothing 12H7$ и $\varnothing 8H9$
14	Подставка <i>ТМ 3.04</i>	Определить перпендикулярность боковых сторон плоскости основания

Окончание таблицы

1	2	3
15	Подставка <i>ТМ</i> 3.04	Определить параллельность оси отверстия $\varnothing 30$ боковым сторонам
16	Плита <i>ТМ</i> 3.08	Определить перпендикулярность левого и правого торцов нижней плоскости
17	Плита <i>ТМ</i> 3.08	Определить параллельность осей отверстий $\varnothing 120H7$ и $\varnothing 50H7$ между собой
18	Планка-направляющая <i>ТМ</i> 5.23	1. Определить параллельность верхней и нижней плоскостей 2. Определить параллельность боковых плоскостей

Литература

1. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с., ил. – (Б-ка технолога).
2. Размерный анализ технологических процессов обработки / И.Г. Фридендер [и др.]; под общ. ред. И.Г. Фридендера. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 141 с.: ил.

Практическая работа № 4

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА ПО ЛИНЕЙНЫМ РАЗМЕРАМ

Цель работы: научиться самостоятельно производить размерный анализ техпроцесса по продольным размерам.

4.1. Основные положения

Методика размерного анализа предусматривает расчет операционных размеров проектируемых техпроцессов с использованием теории размерных цепей. В основу методики размерного анализа положен дифференциально-аналитический метод расчета припусков, который отличается от классического, широко представленного в научно-технической и учебной литературе, уменьшением числа составляющих, входящих в расчетный припуск.

Считается, что для обеспечения заданного качества поверхности, обработанной без следов предшествующей обработки и дефектного слоя, необходимо в минимальную толщину удаляемого слоя включать только высоту микронеровностей R_z и глубину дефектного слоя h , полученных на предшествующих операции или переходе:

$$Z_{\min} \geq R_{z_{i-1}} + h_{i-1} .$$

При расчете операционных размеров не всегда следует учитывать обе составляющие [1]. Возможны случаи, когда $Z_{\min} = 0$ или даже $Z_{\min} < 0$. Поэтому при назначении припусков на обработку в случае применения размерного анализа рекомендовано следующее правило: при проектировании техпроцесса в качестве расчетной величины следует принимать минимально необходимый припуск.

Это значит, что при необходимости удаления следов предшествующей обработки $Z_{\min} = R_z$, а при необходимости удаления следов обработки и дефектного слоя – $Z_{\min} = R_z + h$.

Примечание. В научно-технической литературе [2, 3, 4] приводятся различные формулы для определения минимального припуска. Они справедливы для способов расчета размеров припусков,

которые предлагаются каждым автором. Для методики размерного анализа значение Z_{\min} следует принимать в соответствии с вышеизложенным правилом, т.к. прочие составляющие (ρ, ϵ) в отличие от других работ учитываются отдельно при расчете допусков на операционные размеры. Это позволяет упростить расчеты и повысить их точность [7].

4.2. Размерный анализ техпроцесса

Главная задача размерного анализа технологического процесса – правильное и обоснованное определение промежуточных и окончательных размеров и допусков на них для обрабатываемой детали. Особенно важно это для линейных размеров, связывающих неоднократно обрабатываемые противоположные поверхности. Определение припусков на такие поверхности расчетно-аналитическим или табличным методами значительно затрудняет определение промежуточных технологических размеров и их отклонений.

Последовательный размерный анализ технологического процесса состоит из трех этапов:

- разработка размерной схемы техпроцесса;
- выявление технологических размерных цепей;
- расчет технологических размерных цепей.

На рис. 4.1 приведены эскизы вала-шестерни и заготовки.

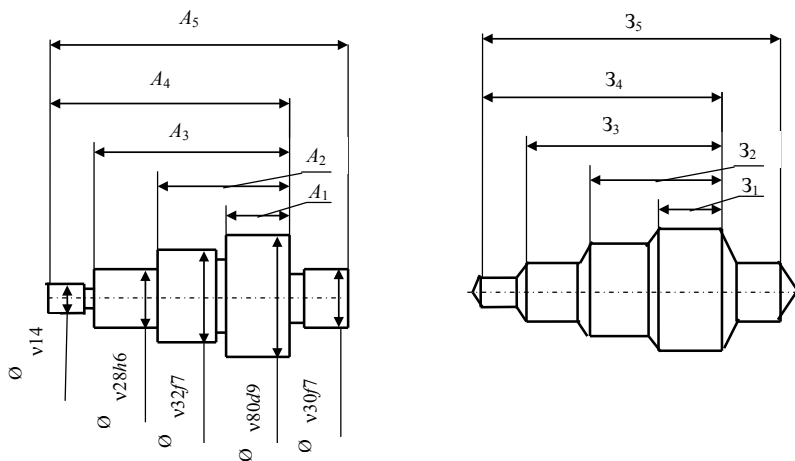


Рис. 4.1. Эскизы вала-шестерни и заготовки

Маршрут обработки состоит из 5 операций (рис. 4.2):

- 1) фрезерно-центральная;
- 2) токарная – обточка вала с правого конца на гидрокопировальном полуавтомате;
- 3) токарная – обточка вала с левого конца на аналогичном станке;
- 4) шлифовальная – шлифование ступени и правого торца на торцевругло-шлифовальном станке;
- 5) шлифовальная – шлифование ступени и левого торца на торцевруглошлифовальном станке.

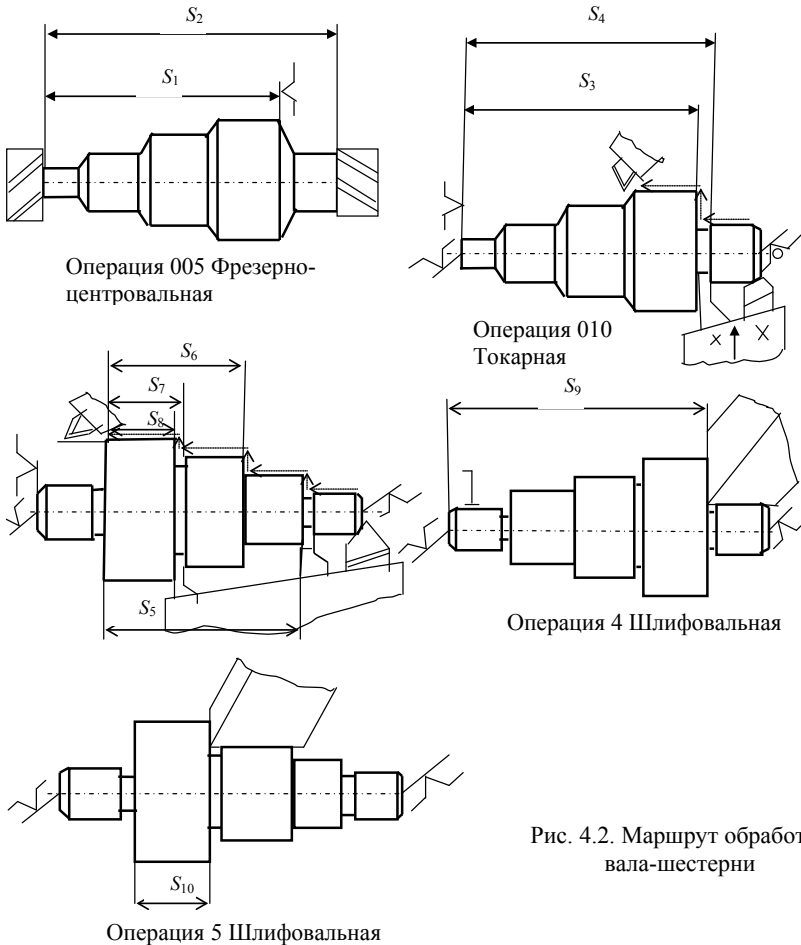


Рис. 4.2. Маршрут обработки вала-шестерни

1. Разработка размерной схемы технологического процесса и выявление технологических размерных цепей.

Размерную схему техпроцесса составляют и оформляют следующим образом.

1.1. Вычерчивают эскиз детали в одной, двух или трех проекциях. Для тел вращения обычно достаточно одной, а для корпусной детали может потребоваться и три (в зависимости от расположения длин) (рис. 4.3).

1.2. Над деталью указывают размеры длин с допусками, установленными конструкторами. Для удобства конструкторские размеры обозначаются буквой A_i , где i – порядковый номер конструкторского размера.

1.3. На эскиз детали условно наносят припуски z_m , где m – промежуточная или окончательная поверхность, к которой относится припуск.

1.4. Все поверхности детали нумеруются по порядку слева направо. Через нумерованные поверхности проводят вертикальные линии. Между вертикальными линиями по порядку снизу вверх указывают технологические размеры, получаемые при выполнении каждого технологического перехода. Технологические размеры обозначают S_k , где k – порядковый номер технологического перехода. Размеры же заготовки обозначают буквой Z_r , где r – порядковый номер поверхности заготовки.

1.5. Справа от размерной схемы техпроцесса для каждой операции составляют схемы технологических размерных цепей (рис. 4.4).

Если технологический размер совпадает с конструкторским, то получают двухзвенную размерную цепь. Замыкающие звенья на всех схемах размерных цепей заключают в квадратные скобки.

Выявление размерных цепей начинают по размерной схеме техпроцесса с последней операции, т.е. по схеме сверху вниз. В такой же последовательности рассчитывают и размерные цепи. При этом необходимо следить за тем, чтобы в каждой новой размерной цепи был неизвестен только один технологический размер или размер заготовки. Расчет размерных цепей всегда начинают с двухзвенных цепей. Таких в этом примере три: $S_{10}-A_1$, S_9-A_4 и A_5-S_2 .

В рассматриваемом примере на последней (пятой) операции выполняется размер S_{10} , совпадающий с конструкторским размером

A_1 , поэтому для его определения составляют двухзвенную цепь. На четвертой операции выполняется размер S_9 , совпадающий с конструкторским размером A_4 .

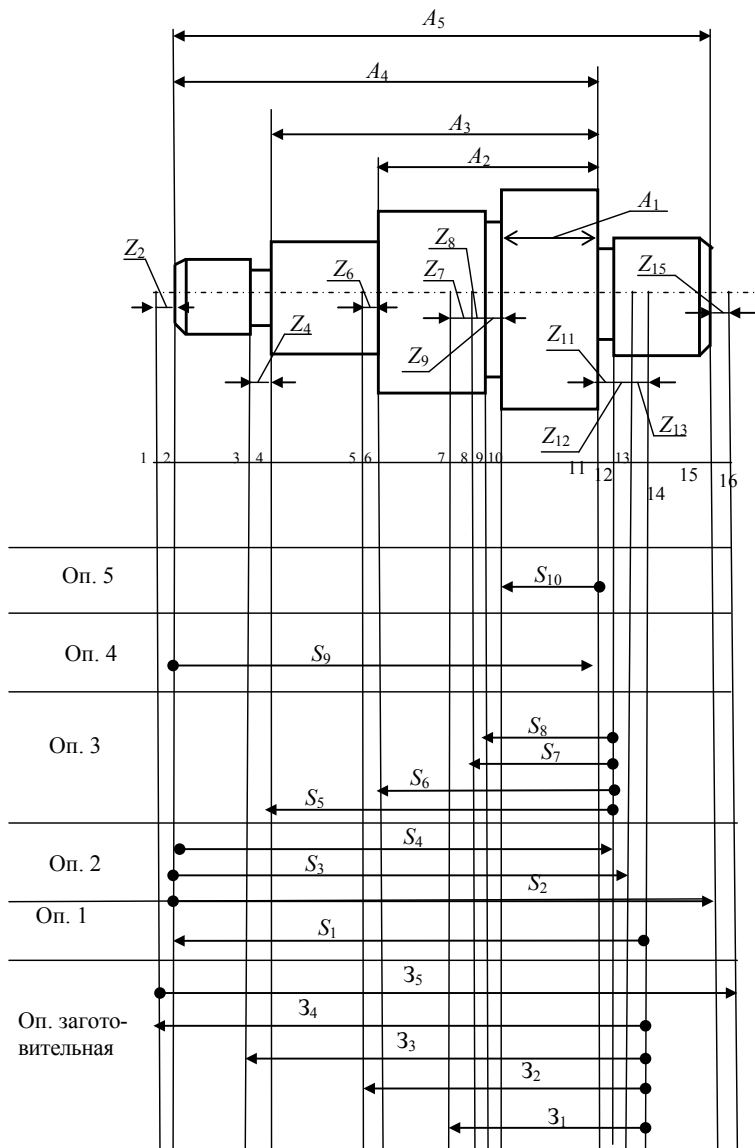


Рис. 4.3. Размерная схема техпроцесса

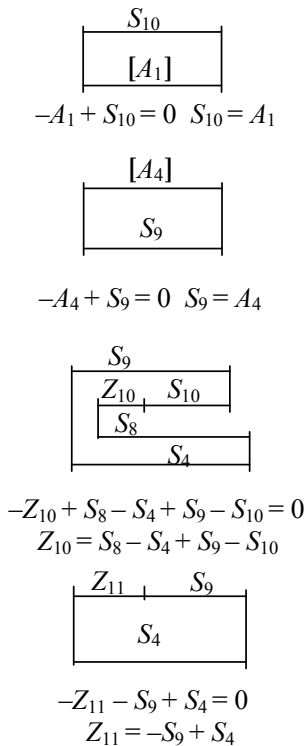


Рис. 4.4. Размерные цепи для определения S_{10} , S_9 , S_8 и S_4

Размер S_4 совместно с размером S_9 и припуском Z_{11} образуют замкнутый контур, т.е. размерную цепь. В ней размер S_9 получен из предыдущей размерной цепи, размер S_4 выполняется, а размер Z_{11} получится автоматически, т.е., он является замыкающим звеном. В результате расчета этой размерной цепи определяется номинальный размер, допуск, предельные отклонения и координата середины поля допуска размера S_4 . Технологический размер S_5 определится из размерной цепи, представляющей замкнутый контур размеров S_5 , S_4 , S_9 , и A_3 . Замыкающим звеном в ней является конструкторский размер A_3 .

Размер Z_3 может быть определен из замкнутого размерного контура размеров S_4 , S_3 , Z_{12} . Замыкающим звеном в этой размерной цепи будет размер припуска Z_{12} . Размер S_1 определяется из размерной цепи S_1 , Z_3 , Z_{13} . В этой цепи размер Z_3 получен из предыдущего контура, S_1 определяется, Z_{13} является замыкающим звеном.

Из размерной цепи S_1 , Z_4 и Z_2 легко определяется размер Z_4 , т.к. S_1 определен заранее, а Z_2 выступает в качестве замыкающего звена. Размер S_2 определится из двухзвенной размерной цепи S_2-A_5 . Для нахождения размера Z_5 необходимо рассмотреть более сложную размерную цепь, состоящую из пяти звеньев $Z_5-Z_4-S_1-S_2-Z_{15}$. В ней звенья Z_4 , S_1 и S_2 определены из предыдущих размерных цепей,

а размер припуска Z_{15} является замыкающим звеном. Размер S_5 определится из размерной цепи $S_1-S_5-A_3$. В этой цепи размер S_1 получен ранее, а конструкторский размер A_3 является замыкающим звеном.

Сложнее определить размер S_6 . Для этого необходимо рассмотреть четырехзвенную размерную цепь $S_9-S_4-S_6-A_2$. В этом размерном контуре три составляющих звена, из которых два (S_9 и S_4) определены раньше, звено S_6 искомое, в качестве замыкающего звена выступает конструкторский размер A_2 .

В связи со сложностью выявления технологических размерных цепей, не выступающих в явном виде, обычным для теории размерных цепей способом, чаще всего используют теорию графов.

Ребрами графа производного дерева (рис. 4.5) являются операционные технологические размеры и размеры заготовки, исходного графа (рис. 4.6) – конструкторские размеры и размеры припусков. Наложением одного графа на другой получают граф совмещенного дерева (рис. 4.7), по которому и выявляют технологические размерные цепи (рис. 4.8).

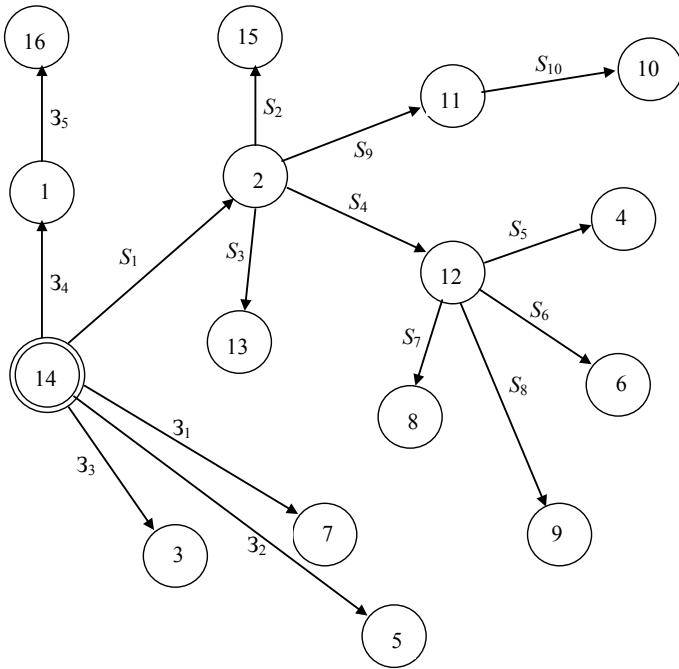


Рис. 4.5. Граф производного дерева

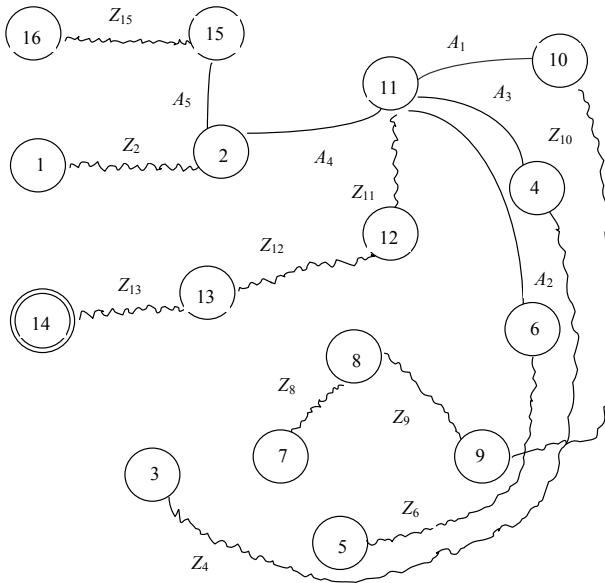


Рис. 4.6. Граф исходного дерева

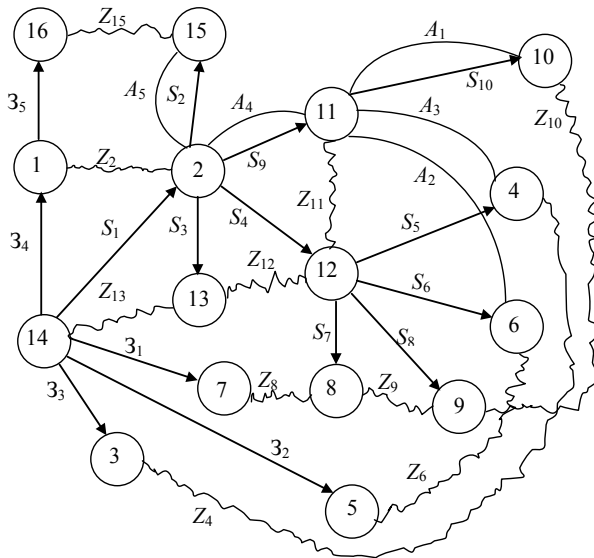
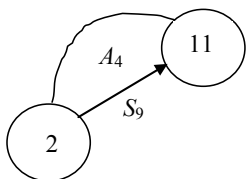
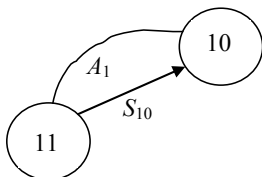


Рис. 4.7. Граф совмещенного дерева

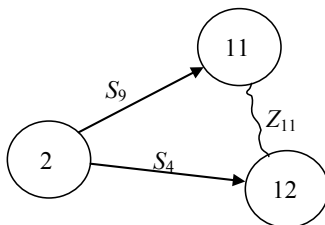
Цепь № 1
 $-A_4 + S_9 = 0 \quad S_9 = A_4$
 Z_{11}



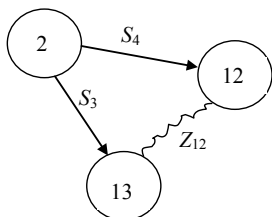
Цепь № 2
 $-A_1 + S_{10} = 0 \quad S_{10} = A_1$



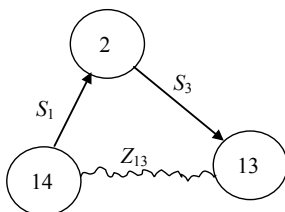
Цепь № 3
 $-Z_{11} - S_9 + S_4 = 0 \quad S_4 = S_9 + Z_{11}$



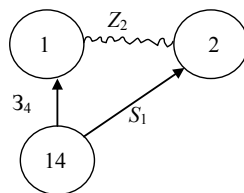
Цепь № 4
 $-Z_{12} - S_4 + S_3 = 0$
 $S_3 = Z_{12} + S_4$



Цепь № 5
 $-Z_{13} - S_3 + S_1 = 0$
 $S_1 = S_3 + Z_{13}$



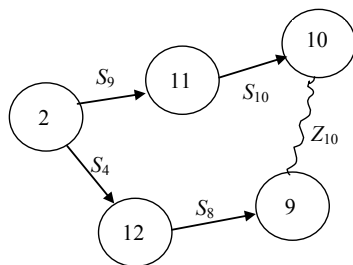
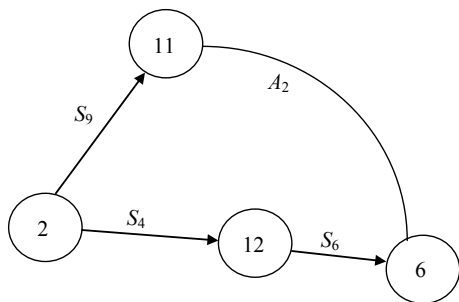
Цепь № 6
 $-Z_2 + 3_4 - S_1 = 0$
 $3_4 = S_1 + Z_2$



Цепь № 7
 $-A_5 + S_2 = 0$
 $S_2 = A_5$

Цепь № 8
 $-Z_{15} - S_2 + S_1 - 3_4 + 3_5 = 0$
 $3_5 = 3_4 + S_2 + Z_{15} - S_1$

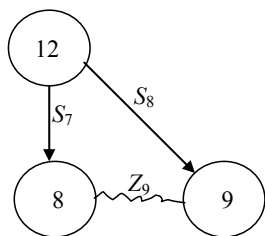
Цепь № 9
 $-A_3 + S_5 - S_4 + S_9 = 0$
 $S_5 = A_3 + S_4 - S_9$



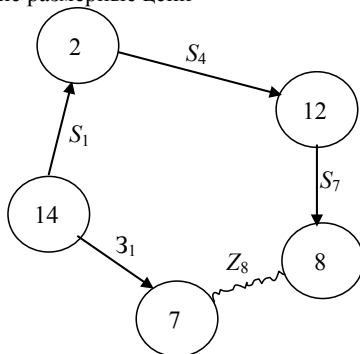
Цепь № 10
 $-A_2 + S_6 - S_4 + S_9 = 0 \quad S_6 = A_2 + S_4 - S_9$

Цепь № 11
 $-Z_{10} + S_8 - S_4 + S_9 - S_{10} = 0$
 $S_8 = S_4 + S_{10} + Z_{10} - S_9$

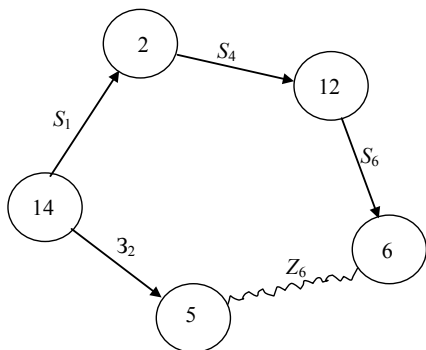
Рис. 4.8. Технологические размерные цепи



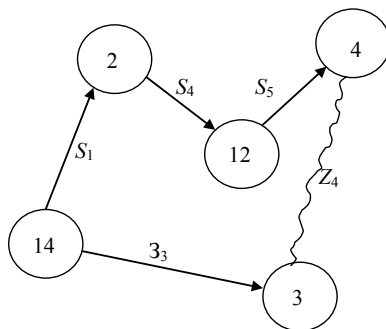
Цепь № 12
 $-Z_9 + S_7 - S_8 = 0$
 $S_7 = S_8 + Z_9$



Цепь № 13
 $-Z_8 + Z_8 + S_1 + S_4 - S_7 = 0$
 $Z_8 = S_7 - S_1 - S_4$



Цепь № 14
 $-Z_6 + Z_6 + S_1 + S_4 - S_6 = 0$
 $Z_6 = S_6 - S_1 - S_4$



Цепь № 15
 $-Z_4 + Z_4 + S_1 + S_4 - S_5 = 0$
 $Z_4 = S_5 - S_1 - S_4$

Рис. 4.8 (окончание)

Примечание: общее число размерных цепей на графе должно быть равно числу технологических размеров на размерной схеме техпроцесса.

Одновременно с этим необходимо по совмещенному графу определить знаки составляющих звеньев. Замыкающему звену присваивается знак «минус», и, начиная с этого звена, обходят замкнутый

контур в определенном направлении. Т.к. ребро замыкающего звена связывает две вершины, одна из которых имеет меньший порядковый номер, а другая – больший, то обход начинают с вершины с меньшим порядковым номером. Если в порядке обхода следующее звено будет соединять вершину меньшего порядкового номера с вершиной большего, то такому ребру присваивается знак «плюс», если же наоборот, вершину большего номера с вершиной меньшего, то «минус».

Далее составляют расчетные уравнения размерных цепей, исходя из условия, что алгебраическая сумма всех звеньев размерной цепи, включая и замыкающее, равна нулю.

Затем эти уравнения преобразовывают в исходные, т.е. составленные относительно замыкающего звена. В правой части исходного уравнения звенья, имеющие знак «плюс», являются увеличивающими, а знак «минус» – уменьшающими.

В качестве примера рассмотрим простановку размеров у цепи № 16, состоящей из ребер S_1, S_4, S_5, Z_4 и Z_3 . Замыкающему звену Z_4 присваивается знак «минус». Обход контура начинаем с вершины 3. В порядке обхода ребро Z_3 соединяет вершину 3 с вершиной 14, т.е. вершину меньшего порядкового номера с вершиной большего, поэтому ребру Z_3 необходимо присвоить знак «плюс». Ребро S_1 соединяет вершину большего номера (14) с вершиной меньшего порядкового номера (2), поэтому ему присваивается знак «минус». Ребро S_4 в порядке обхода соединяет вершину меньшего порядкового номера (2) с вершиной большего порядкового номера (12), поэтому ему присваивается знак «плюс». Ребро S_5 соединяет в порядке обхода вершину с большим порядковым номером с вершиной с меньшим порядковым номером. В связи с этим ему присваивается знак «минус». Аналогичным образом определяются знаки всех звеньев оставшихся пятнадцати размерных цепей.

Примечание. После построения каждого дерева проверяют правильность этого построения по следующим признакам.

1. Число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме техпроцесса.

2. Число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равным числу вершин без единицы.

3. К каждой вершине производного дерева, кроме корневой, должна подходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине – ни одной.

4. Деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

В качестве технологической размерной цепи принимается только такой замкнутый контур, в котором имеется только одно ребро исходного дерева, а остальные – производного. Например, ребра Z_{13} , Z_{12} , S_7 , Z_8 и Z_1 образуют замкнутый контур, однако в нем три ребра (Z_{13} , Z_{12} и Z_8) – ребра исходного дерева. И такой контур не должен служить в качестве технологической размерной цепи. Не может служить в качестве технологической размерной цепи и контур, состоящий из звеньев Z_{15} , Z_5 , S_2 и Z_2 , где два ребра (Z_{15} и Z_2) являются ребрами исходного дерева. В таком случае следует рассмотреть два замкнутых контура, у которых будет по одному ребру, т.е. Z_2 , S_1 и Z_4 и Z_{15} , S_2 , S_1 , Z_4 и Z_5 .

Заключительным этапом построения технологической схемы техпроцесса, трех графов, выявления с их помощью технологических размерных цепей и составления соответствующих уравнений является заполнение табл. 4.1.

Таблица 4.1

Расчетные зависимости для определения размерных параметров составляющих звеньев технологических размерных цепей

№ п/п	Расчетное уравнение	Исходное уравнение	Определяемый размер
1	$-A_4 + S_9 = 0$	$A_4 = S_9$	S_9
2	$-A_1 + S_{10} = 0$	$A_1 = S_{10}$	S_{10}
3	$-Z_{11} + S_4 - S_9 = 0$	$Z_{11} = S_4 - S_9$	S_4
4	$-Z_{12} - S_4 + S_3 = 0$	$Z_{12} = S_3 - S_4$	S_3
5	$-Z_{13} - S_3 + S_1 = 0$	$Z_{13} = S_1 - S_3$	S_1
6	$-Z_2 + Z_4 - S_1 = 0$	$Z_4 = S_1 + Z_2$	Z_4
7	$-A_3 + S_2 = 0$	$S_2 = A_3$	S_2
8	$-Z_{15} - S_2 + S_1 - Z_4 + Z_5 = 0$	$Z_5 = Z_4 + S_2 + Z_{15} - S_1$	Z_5
9	$-A_3 + S_5 - S_4 + S_9 = 0$	$S_5 = A_3 + S_4 - S_9$	S_5
10	$-A_2 + S_6 - S_4 + S_9 = 0$	$S_6 = A_2 + S_4 - S_9$	S_6
11	$-Z_{10} + S_8 - S_4 + S_9 - S_{10} = 0$	$S_8 = S_4 + S_{10} + Z_{10} - S_9$	S_8
12	$-Z_9 + S_7 - S_8 = 0$	$S_7 = S_8 + Z_9$	S_7

13	$-Z_8 + Z_1 - S_1 + S_4 - S_7 = 0$	$Z_1 = S_1 + S_7 + Z_8 - S_4$	Z_1
14	$-Z_6 + Z_2 - S_1 + S_4 - S_6 = 0$	$Z_2 = S_1 + S_6 + Z_6 - S_4 = 0$	Z_2
15	$-Z_4 + Z_3 - S_1 + S_4 - S_5 = 0$	$Z_3 = S_1 + S_5 + Z_4 - S_4$	Z_3

4.3. Расчет технологических размерных цепей

Технологические размерные цепи редко содержат более четырех звеньев. Поэтому их расчет чаще всего производится по методу max-min. Если число звеньев равно или более пяти, используют метод теории вероятностей и математической статистики. Его можно использовать и при меньшем количестве звеньев в том случае, когда необходимо расширить допуск составляющих звеньев. В этом случае надо вводить коэффициент относительного рассеяния как для составляющих звеньев, так и для замыкающего звена.

Методика расчета технологических размерных цепей зависит от того, является замыкающее звено размером припуска или конструкторским размером детали по чертежу. Если замыкающим звеном является припуск, то сначала надо определить его минимальное значение по приведенной выше методике или классическим образом по таблицам или по формуле

$$Z_{\min} = R_{z(i-1)} + h_{(i-1)} + \rho_{(i-1)} + \varepsilon_I,$$

где $R_{z(i-1)}$, $h_{(i-1)}$, $\rho_{(i-1)}$ ε – высота неровностей, глубина дефектного слоя и суммарное значение пространственных отклонений на обрабатываемой поверхности, полученное на предыдущем переходе;

ε_I – погрешность установки на выполняемом переходе. Значения R_z , h , ρ , ε выбираются по таблицам справочников.

Затем составляется исходное уравнение размерной цепи относительно Z_{\min} по формуле

$$Z_{\min} = \sum_{j=1}^{n_j} A_j - \sum_{g=1}^{n_g} A_g ,$$

где A_j – наименьший предельный размер увеличивающего звена размерной цепи;

A_g – наибольший предельный размер уменьшающего звена размерной цепи;

n_j – число увеличивающих звеньев размерной цепи;

n_g – число уменьшающих.

Далее необходимо решить уравнения с одним неизвестным, представляющим собой либо наименьший, либо наибольший предельный размер составляющего звена. Если определяемый размер, обозначенный через S_x , является уменьшающим звеном, величина верхнего предельного отклонения этого звена определится по следующей формуле:

$$ES_{S_x} = \sum_{n=1}^{n_j} S_j - \sum_{n=1}^{n_g} S_g - Z_{\min}.$$

В том же случае, если S_x является увеличивающим звеном:

$$EI_{S_x} = Z_{\min} - \sum_{n=1}^{n_j-1} EI_{S_j} + \sum_{n=1}^{n_g} ES_{S_g} .$$

После определения ES_{S_x} и EI_{S_x} на размер S_x устанавливают допуск T_x в зависимости от назначения технологического перехода (черновая или чистовая обработка). Для черновой обработки допуск назначают по 12-му или 14-му квалитетам точности, а для чистовой обработки – по 11-му квалитету. Предельные отклонения назначают по h , H или J_s . По величине установленного допуска T_x и по его расположению относительно S_x по одной из следующих формул:

$$S_g = S_{g_{\max}} - ES_{S_g} \text{ (для уменьшающих звеньев);}$$

$$S_j = S_{j \min} - EIS_j \text{ (для увеличивающих звеньев),}$$

где ES_{S_g} и EIS_j – верхнее и нижнее отклонение соответствующего звена.

Затем определяют номинальный размер припуска и его наибольший предельный размер. Для чего составляют исходное уравнение относительно Z с указанием для всех составляющих звеньев предельных отклонений. На основании этого уравнения суммируют номинальные размеры и предельные отклонения раздельно для увеличивающих и уменьшающих звеньев по формуле

$$Z = \left(\sum_{n=1}^{n=j} S_j \right)_{\sum_{n=1}^{n=j} EIS_j} - \left(\sum_{n=1}^{n=g} S_g \right)_{\sum_{n=1}^{n=g} EIS_g}.$$

Разность номинальных размеров дает номинальный размер припуска:

$$Z = \sum_{n=1}^{n=j} S_j - \sum_{n=1}^{n=g} S_g.$$

По разности сумм предельных отклонений увеличивающих и уменьшающих звеньев определяют предельные отклонения размера припуска, а, следовательно, и Z_{\max} :

$$ES_Z = \sum_{n=1}^{n=j} ES_{S_j} - \sum_{n=1}^{n=g} EIS_{S_g},$$

$$EIZ = \sum_{n=1}^{n=j} EIS_j - \sum_{n=1}^{n=g} ES_{S_g}.$$

Для разобранного примера примем:

$Z_{2\min} = Z_{15\min} = 1,5$ мм; $Z_{4\min} = Z_{6\min} = Z_{8\min} = Z_{13\min} = 1,0$ мм; $Z_{9\min} = Z_{12\min} = 0,5$ мм; $Z_{10\min} = Z_{11\min} = 0,05$ мм. Примем допуск на размер S_4 равным 0,26 мм с симметричным расположением поля допуска относительно нулевой линии.

Цепь № 1

$$-A_4 + S_9 = 0; S_9 = 170 \pm 0,15.$$

Цепь № 2

$$-A_1 + S_{10} = 0; S_{10} = A_1 = 60_{-0,06}^{-0,03}.$$

Цепь № 3

$$\begin{aligned} -Z_{11} - S_9 + S_4 = 0; Z_{11\min} = -S_{9\max} + S_{4\min}; S_{4\min} = S_{9\max} + Z_{11\min} = 170^{+0,15} \\ + \\ + 0,05 = 170,2. \end{aligned}$$

Номинальный размер звена, совпадающий с координатой середины поля допуска:

$$S_4 = 170,2 + 0,13 = 170,33.$$

На эскизе проставляем размер $S_4 = 170,33 \pm 0,13$.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_{11} = S_4 - S_9 = 170,33 \pm 0,13 - 170 \pm 0,15 = 0,33 \pm 0,38.$$

Цепь № 4

$$\begin{aligned} -Z_{12} - S_4 + S_3 = 0. Z_{12\min} = -S_{4\max} + S_{3\min}. S_{3\min} = Z_{12\min} + S_{4\max} = 0,5 \\ + \\ + 170,46 = 170,96. \end{aligned}$$

Принимаем допуск на размер $S_{3\min}$ по 13-му качеству, предельные отклонения по посадке h . Тогда

$$TS_{3\min} = 0,63; \quad ES = 0; \quad EI = -0,63.$$

Номинальный размер звена (он же и максимальный)

$$S_3 = 171,59_{-0,63}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_{12} = S_3 - S_4 = 171,59_{-0,63} - 170,33 \pm 0,13 = 1,26_{-0,76}^{+0,13}.$$

Цепь № 5

$$\begin{aligned} -Z_{13} - S_3 + S_1 = 0; Z_{13\min} = -S_{3\max} + S_{1\min}; S_{1\min} = Z_{13\min} + S_{3\max} = 171,59 \\ + + 1 = 172,59. \end{aligned}$$

Принимаем допуск на размер S_1 по 13-му качеству, предельные отклонения по посадке h .

$$TS_1 = 0,63; ES = 0; EI = -0,63;$$

Тогда номинальный размер и предельные отклонения звена S_1 будут:

$$S_1 = 172,59 + 0,63 = 173,22_{-0,63}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_{13} = S_1 - S_3 = 173,22_{-0,63} - 171,59_{-0,63} = 2,63 \pm 0,63.$$

Цепь № 6

$$-Z_2 - S_1 + Z_4 = 0; Z_{2\min} = -S_{1\max} + Z_{4\min}; Z_{4\min} = S_{1\max} + Z_{2\min} = 173,22 + 1,5 = 174,72.$$

Принимаем допуск и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 7505–89

$$TZ_4 = 2,2; ES_{Z_4} = +1,5; EI_{Z_4} = -0,7.$$

Номинальный размер

$$Z_4 = Z_{4\min} - EI_{Z_4} = 174,72 - (-0,7) = 175,42 \approx 175,4.$$

На эскизе заготовки будет проставлен размер

$$Z_4 = 175,4_{-0,7}^{+1,5}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_2 = -S_1 + Z_4 = 175,4_{-0,7}^{+1,5} - 173,22_{-0,63} = 2,2_{-0,7}^{+2,1}.$$

Цепь № 7

$$S_2 = A_5 = 200_{-0,72}.$$

Цепь № 8

$$-Z_{15} - S_2 + S_1 - 3_4 + 3_5 = 0; Z_{15\min} = -S_{2\max} + S_{1\min} - 3_{4\max} + 3_{5\min};$$

$$\begin{aligned} 3_{5\min} &= S_{2\max} + 3_{4\max} + Z_{15\min} - S_{1\min} = \\ &= 200 + 176,9 + 1,5 - 172,59 = 205,81 \approx 205,8. \end{aligned}$$

Допуск и предельные отклонения на заготовку определяются по ГОСТ 7505–89

$$TZ_5 = 2,4; ES_{3_4} = +1,6; EI_{3_4} = -0,8.$$

Номинальный размер звена

$$3_5 = 205,8 - (-0,8) = 206,6.$$

Окончательно на чертеже заготовки

$$3_5 = 206,6^{+1,6}_{-0,8}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$\begin{aligned} Z_{15} &= 206,6^{+1,6}_{-0,8} + 173,22_{-0,63} - 200_{-0,72} - 175,4^{+1,5}_{-0,7} = \\ &= 4,42^{+3,02}_{-2,93} \approx 4,4 \pm 3,0. \end{aligned}$$

Цепь № 9

$$-A_3 + S_5 - S_4 + S_9 = 0; S_5 = A_3 + S_4 - S_9 = 140 \pm 0,41 + 170,33 \pm 0,13 - 170 \pm 0,15 = 140,33 \pm 0,69.$$

Цепь № 10

$$-A_2 + S_6 - S_4 + S_9 = 0; S_6 = A_2 + S_4 - S_9 = 100 \pm 0,41 + 170 \pm 0,13 - 170 \pm 0,15 = 100,33 \pm 0,69.$$

Цепь № 11

$$\begin{aligned} -Z_{10} + S_8 - S_4 + S_9 - S_{10} &= 0; Z_{10\min} = S_{8\min} - S_{4\max} + S_{9\min} - S_{10\max}; \\ S_{8\min} &= S_{4\max} + S_{10\max} + Z_{10\min} - S_{9\min} = \\ &= 170,46 + 59,97 + 0,05 - 169,85 = 60,63. \end{aligned}$$

Принимаем допуск на размер S_8 по 10-му качеству, предельные отклонения – по посадке h :

$$TS_8 = 0,12; ES_{S_8} = 0; EI_{S_8} = -0,12.$$

Тогда номинальный размер и предельные отклонения звена S_8 будут:

$$S_8 = S_{8\min} + TS_8 = 60,63 + 0,12 = 60,75_{-0,12} \approx 60,8_{-0,12}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_{10} = S_8 + S_9 - S_4 - S_{10} = 60,8_{-0,12} + 170 \pm 0,15 - 170,33 \pm 0,13 - \\ - 60_{-0,06}^{-0,03} = 0,43_{-0,43}^{+0,34}.$$

Цепь № 12

$$-Z_9 + S_7 - S_8 = 0; Z_{9\min} = S_{7\min} - S_{8\max}; S_{7\min} = Z_{9\min} + S_{8\max} = 60,75 \\ + \\ + 0,5 = 61,25.$$

Назначаем допуск по 12-му качеству, предельные отклонения – по посадке h :

$$TS_7 = 0,3; ES_{S_7} = 0; EI_{S_7} = -0,3.$$

Тогда

$$S_7 = 61,55_{-0,3}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_9 = 61,55_{-0,3} - 60,75_{-0,12} = 0,8_{-0,3}^{+0,12}.$$

Цепь № 13

$$-Z_8 + Z_1 - S_1 + S_4 - S_7 = 0; Z_{8\min} = Z_{1\min} - S_{1\max} + S_{4\min} - S_{7\max}; \\ Z_{1\min} = Z_{8\min} + S_{1\max} + \\ + S_{7\max} - S_{4\min} = 173,22 + 61,6 + 1 - 170,2 = 65,62.$$

Назначаем допуск и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 7505–89:

$$T_{Z_1} = 2,0; ES_{Z_1} = +1,3; EI_{Z_1} = -0,7.$$

Номинальный размер

$$Z_1 = Z_{1\min} - EI_{Z_1} = 65,62 - (-0,7) = 66,3.$$

На чертеже заготовки

$$Z_1 = 66,3^{+1,3}_{-0,7}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_8 = 66,3^{+1,3}_{-0,7} - 173,22_{-0,63} + 170,33 \pm 0,13 - 61,6_{-0,3} = 1,81^{+2,36}_{-0,83}.$$

Цепь № 14

$$\begin{aligned} -Z_6 + Z_2 - S_1 + S_4 - S_6 &= 0; Z_{6\min} = Z_{2\min} - S_{1\max} + S_{4\min} - S_{6\max}; \\ Z_{2\min} &= S_{1\max} + S_{6\max} + Z_{6\min} - S_{4\min} = \\ &= 173,22 + 101,02 + 1 - 170,2 = 105,04. \end{aligned}$$

Назначаем допуск и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 7505–89:

$$T_{Z_2} = 2,0; ES_{Z_2} = +1,3; EI_{Z_2} = -0,7.$$

Номинальный размер звена

$$Z_2 = 105,04 - (-0,7) = 105,74 \approx 105,7.$$

Окончательно на чертеже заготовки

$$Z_2 = 105,7^{+1,3}_{-0,7}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$\begin{aligned} Z_6 &= 105,7^{+1,3}_{-0,7} - 173,22_{-0,63} + 170,33 \pm 0,13 - 100,33 \pm 0,69 = \\ &= 2,48^{+2,75}_{-1,52}. \end{aligned}$$

Цепь № 15

$$\begin{aligned}
 -Z_4 + Z_3 - S_1 + S_4 - S_5 &= 0; Z_{4\min} = Z_{3\min} - S_{1\max} + S_{4\min} - S_{5\max}; \\
 Z_{3\min} &= Z_{4\min} + S_{1\max} + S_{5\max} - S_{4\min} = \\
 &= 1 + 173,22 + 141,02 - 170,2 = 145,04 \approx 145.
 \end{aligned}$$

Назначаем допуск и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 7505–89:

$$T_{Z_3} = 2,2; ES_{Z_3} = +1,5; EI_{Z_3} = -0,7.$$

Окончательно на чертеже заготовки

$$Z_3 = 145,0 - (-0,7) = 145,7; Z_3 = 145,7^{+1,5}_{-0,7}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$\begin{aligned}
 Z_{4\min} = Z_3 - S_1 + S_4 - S_5 &= 145,7^{+1,5}_{-0,7} - 173,22_{-0,63} + 170,33 \pm 0,13 - \\
 &- 140,33 \pm 0,69 = 2,48^{+2,95}_{-1,52} \approx 2,5^{+3,0}_{-1,5}.
 \end{aligned}$$

Результаты расчетов обычно сводят в таблицу по форме табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты расчета технологических размерных цепей

Исходное звено	Размер исходного звена	Исходное уравнение	Определяемые размеры, мм			
			Номинальный размер	Допуск	Технологический размер	Предельные значения припуска

Расчет операционных технологических размерных цепей заканчивается построением сводной таблицы.

Если при расчете номинальный размер припуска окажется меньше единицы, может случиться, что минимальный припуск

равен нулю или даже меньше нуля. В этом случае требуется корректировка номинального размера припуска.

4.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями размерного анализа технологических процессов.
2. Составить маршрут обработки заданной детали (из приложения к практической работе № 4).
3. Построить размерную схему техпроцесса.
4. Выявить технологические размерные цепи без применения графов.
5. Построить граф производного дерева.
6. Построить граф исходного дерева.
7. Совместить оба графа.
8. По совмещенному графу выявить технологические размерные цепи, вычертить их и записать расчетные и исходные уравнения.
9. Заполнить табл. 4.1.
10. Определить припуски на обрабатываемые поверхности по таблицам.
11. Произвести расчет технологических размерных цепей.
12. Заполнить табл. 4.2.

4.5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Размерная схема техпроцесса.
3. Схемы размерных цепей, выявленных без применения теории графов.
4. Граф исходного дерева.
5. Граф производного дерева.
6. Совмещенный граф.
7. Схемы размерных контуров для определения технологических размерных цепей, расчетные и исходные уравнения.
8. Результаты выявления размерных цепей, оформленные в виде табл. 4.1.
9. Определение припусков на обрабатываемые продольные размеры табличным методом.

10. Расчет технологических размерных цепей.
11. Результаты расчета, оформленные в виде табл. 4.2.

4.6. Контрольные вопросы

1. Цели и задачи размерного анализа.
2. Основные правила построения размерной схемы техпроцесса.
3. Правила построения производного дерева.
4. Правила построения исходного дерева.
5. С каких размерных контуров начинается выявление технологических размерных цепей?
6. Порядок выявления размерных цепей, основные правила, которые необходимо при этом соблюдать.
7. Правило обхода размерного контура и правило знаков.
8. Правило расчета припусков при размерном анализе.
9. Особенности расчета технологических размерных цепей в случае, если замыкающим звеном является размер припуска.
10. Как назначаются допуски и предельные отклонения на операционные технологические размеры?
11. Как определяются допуски и предельные отклонения на размеры заготовок?

4.7. Задания к практической работе

Варианты	Детали и их обозначения	Вид заготовки	Предлагаемый маршрут обработки
1	2	3	4
1	Упор <i>ТМ 1.63–1.68</i>	Прокат	Торцы левый, $\varnothing 34 \times \varnothing 28f9$, $\varnothing D \times \varnothing 34$ – точение черновое и чистовое, правый торец – точение черновое, шлифование черновое и чистовое
2	Стержень <i>ТМ 1.62</i>	Прокат	Левый торец – точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое, торцы правый и $\varnothing 8h6 \times \varnothing 5$ – точение черновое
3	Вал <i>ТМ 1.2</i>		Правый и левый торцы и торец $\varnothing 25h6 \times \varnothing 20f7$ – точение черновое, торец $\varnothing 25h6 \times \varnothing 30$ – точение черновое, шлифование черновое и чистовое
4	Винт <i>ТМ 7.01</i>		Правый и левый торцы, торцы $\varnothing 18d11 \times \varnothing 30, 2_{-0,25}$, $\varnothing 35h6 \times \varnothing 40f7$ – точение черновое, торцы $\varnothing 40f7 \times \varnothing 63$

			и $\text{Ø}63 \times \text{Ø}40js6$ – точение черновое, чистовое и шлифование
5	Вал <i>ТМ 7.04</i>		Правый и левый торцы – точение черновое, торцы $M33 \times 1,5-6g \times \text{Ø}36k6$ и $\text{Ø}36k6 \times \text{Ø}40k6$ – точение черновое и чистовое, торцы $\text{Ø}40k6 \times \text{Ø}48$ и $\text{Ø}48 \times \text{Ø}36k6$ – точение черновое, чистовое и шлифование
6	Вал <i>ТМ 1.1</i>		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, торцы $M24 \times 1,5-8g \times \text{Ø}32js6$ и $\text{Ø}32js6 \times \text{Ø}40js6$ – точение черновое и чистовое, торцы $\text{Ø}40js6 \times \text{Ø}48,7$ и $\text{Ø}48,7 \times \text{Ø}40js6$ – точение черновое, чистовое и шлифование

Продолжение табл. 4.7

1	2	3	4
7	Вал <i>ТМ 7.03</i>		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, торцы $\text{Ø}60k6 \times \text{Ø}70k6$, $\text{Ø}70k6 \times \text{Ø}80$, $\text{Ø}70k6 \times \text{Ø}60k6$ – точение черновое, чистовое и шлифование
8	Червяк <i>ТМ 3.23</i>		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, остальные торцевые поверхности – черновое и чистовое точение
9	Вал-шестерня <i>ТМ 3.27</i>		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, остальные торцевые поверхности – черновое и чистовое точение
10	Вал <i>ТМ 4.50</i>		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, торцы $M20 \times 1,5-6g \times \text{Ø}25k6$ и $\text{Ø}25k6 \times \text{Ø}35k6$, $\text{Ø}32k6 \times \text{Ø}20k6$ – точение черновое и чистовое, торцы $\text{Ø}35k6 \times \text{Ø}45$ и $\text{Ø}45 \times \text{Ø}32k6$ – точение черновое, чистовое и шлифование
11	Шестерня <i>ТМ 4.53</i>		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, торцы $\text{Ø}90k6 \times \text{Ø}104$ и $\text{Ø}104 \times \text{Ø}90k6$ – точение черновое и чистовое и шлифование, торцы зубчатого венца – точение черновое и чистовое

12	Вал <i>ТМ</i> 4.51		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, торцы $\varnothing 22h6 \times \varnothing 35k6$ и $\varnothing 20k6 \times \varnothing 25k6$ – точение черновое и чистовое, торцы $\varnothing 35k6 \times \varnothing 45$ и $\varnothing 45 \times \varnothing 25k6$ – точение черновое, чистовое и шлифование
13	Шестерня <i>ТМ</i> 7.07		Правый и левый торцы – фрезерование однократное, правый торец зубчатого венца и торец $\varnothing 40k6 \times \varnothing 35js6$ – точение черновое, чистовое и шлифование, остальные торцовые поверхности – точение черновое
14	Вал эксцентриковый <i>ТМ</i> 3.10		Правый и левый торцы – точение черновое, остальные торцы – точение черновое и чистовое

Продолжение табл. 4.7

1	2	3	4
15	Валик <i>ТМ</i> 5.13		Правый и левый торцы – точение черновое, остальные торцевые поверхности – точение черновое и чистовое
16	Валик центральной <i>ТМ</i> 4.26		Правый и левый торцы – точение черновое и чистовое, торцы $\varnothing 12 \pm 0,6 \times \varnothing 19 \pm 0,26$ и $\varnothing 20 \pm 0,007 \times \varnothing 25d11$ – точение черновое, чистовое и шлифование
17	Кольцо подшипника <i>ТМ</i> 2.5		Торцы А, Б и В – точение черновое, шлифование черновое и чистовое, торец $\varnothing 36,5_{-0,17} \times \varnothing 39_{-0,025}$ – точение черновое и чистовое
18	Ось <i>ТМ</i> 4.36		Правый и левый торцы – точение черновое, остальные торцы – точение черновое и чистовое
19	Вал <i>ТМ</i> 5.15		Правый и левый торцы – точение черновое, торец $\varnothing 49,6 \times M33 \times 1,5-6h$ – точение черновое и чистовое, торец $\varnothing 40d6 \times \varnothing 50$ – точение черновое и чистовое и шлифование
20	Втулка <i>ТМ</i> 1.57		Правый и левый торцы – точение черновое и чистовое, торец $\varnothing 40 \times \varnothing 30k6$ – точение черновое и чистовое и шлифование
21	Цанга <i>ТМ</i> 1.45		Левый и правый торцы и торец $M12 \times 0,75 - 8g \times \varnothing 16$ – точение

			черновое и чистовое, $\varnothing 16 \times \varnothing 12Г6$ – точение черновое и чистовое и шлифование
22	Втулка <i>ТМ 3.06–3.07</i>		Все торцевые поверхности – точение черновое и чистовое
23	Крышка <i>ТМ 3.05</i>		Все наружные торцы – точение черновое и чистовое
24	Фланец <i>ТМ 2.08</i>		Оба торца – точение (фрезерование), шлифование черновое и чистовое
25	Шкив <i>ТМ 10.3</i>		Точение черновое и чистовое всех торцов
26	Шпонка <i>ТМ 3.26</i>		Левый и правый торцы – точение черновое и чистовое, торец $\varnothing 25h6 \times \varnothing 55$ – точение черновое и чистовое и шлифование

Окончание табл. 4.7

1	2	3	4
27	Ступица <i>ТМ 4.8</i>		Левый и правый торцы – точение черновое, торцы $\varnothing 80,1h6 \times \varnothing 105,1$ и внутренние торцы – точение черновое и чистовое и шлифование
28	Гильза <i>ТМ 3.22</i>		Левый и правый торцы – точение черновое и чистовое, торцы $\varnothing 63H9 \times$ $\varnothing 85H9$ и $\varnothing 85H9 \times \varnothing 95H9$ – точение черновое и чистовое и шлифование
29	Колесо зубчатое <i>ТМ</i> 2.72		Торец правый и торец $\varnothing 817_{-0,56} \times \varnothing 720,9_{-0,5}$ – точение черновое, левый наружный торец и внутренние торцы $\varnothing 280H7 \times \varnothing 255$ – точение черновое и чистовое и шлифование
30	Корпус <i>ТМ 2.60</i>		Все плоскости – фрезерование черновое и чистовое

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузанова, В.П. Размерный анализ и проstanовка размеров в рабочих чертежах / В.П. Пузанова. – М.-Л.: Машгиз, 1958. – 196 с.
2. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 560 с.

3. Кован, В.М. Расчет припусков на обработку в машиностроении / В.М. Кован. – М.: Машгиз, 1953. – 207 с.
4. Коганов, И.А. Расчет припусков на механическую обработку / И.А. Коганов, А.А. Станкеев. – Тула: изд-во Тульского политехнического института, 1973. – 192 с.
5. Дунаев, П.Ф. Размерные цепи / П.Ф. Дунаев. – М.: Машгиз, 1963. – 308 с.
6. Мальков, Н.П. Выбор оптимального варианта схемы механической обработки по размерным связям: сб. трудов ОМПИ «Вопросы прикладной механики и технологии машиностроения» / Н.П. Мальков. – Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во., 1966. – С. 12–21.
7. Матвеев, В.В. Расчет припусков и операционных размеров технологических процессов механической обработки / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков. – Челябинск: ЧПИ, 1970. – 116 с.
8. Матвеев, В.В. Размерный анализ технологических процессов механической обработки / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 125 с.
9. Матвеев, В.В. Расчет операционных допусков и припусков при проектировании технологических процессов / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков. – Челябинск: ЧПИ, 1977. – 47 с.
10. Матвеев, В.В. Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей машин / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков, Ю.Н. Свиридов. – Челябинск: ЧПИ, 1977. – 47с.
11. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.: ил. – (Б-ка технолога).

Таблица П4.1

Припуски на промежуточные операции при обработке плоскостей (мм)

Длина плоскости	Пределы припуска	Под чистовое фрезерование после черного			Под чистовое строгание после черного			Под чистовое шлифование после чистового фрезерования или чистового строгания					
		Чугунных и стальных сырых плоскостей			Стальных закаленных плоскостей			Чугунных и стальных сырых плоскостей		Стальных закаленных плоскостей			
		Ширина плоскости											
		до 100	101–200	св. 200	до 100	101–200	св. 200	до 100	101–200	св. 200	до 100	101–200	св. 200
До 100	Наибольший	0,90	–	–	0,70	–	–	0,27	–	–	0,30	–	–
	Наименьший	0,75	–	–	0,60	–	–	0,20	–	–	0,23	–	–
101–250	Наибольший	1,00	1,20	–	0,80	0,90	–	0,30	0,40	–	0,35	0,45	–
	Наименьший	0,80	0,90	–	0,60	0,70	–	0,20	0,25	–	0,25	0,30	–
251–500	Наибольший	1,20	1,30	1,40	1,00	1,00	1,00	0,40	0,45	0,50	0,45	0,50	0,60
	Наименьший	0,90	1,00	1,00	0,70	0,75	0,80	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	0,40
Св. 500	Наибольший	1,40	1,50	1,50	1,10	1,20	1,20	0,50	0,50	0,55	0,55	0,60	0,65
	Наименьший	1,00	1,10	1,10	0,80	0,90	0,90	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45

Таблица П4.2

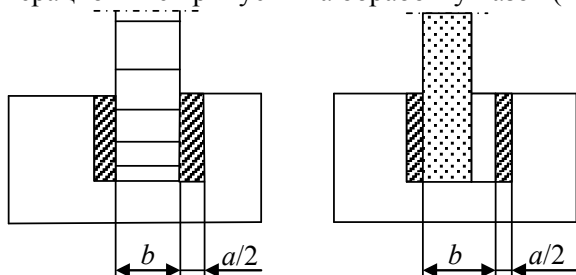
Припуски на плоское шлифование для деталей 7-го–9-го квалитетов точности (мм)

Длина изделия L , мм	Заготовка	Толщина δ и ширина H								
		δ до 20				$\delta = 21-50$				
		H до 100	$H = 101-250$	$H = 251-500$	$H = 501-800$	H до 100	$H = 101-250$	$H = 251-500$	$H = 501-800$	
Припуски на сторону и допуск на размер										
До 100	Сырая	0,35–0,2	–	–	–	0,35–0,2	–	–	–	–
	Каленая	0,5–0,2	–	–	–	0,5–0,2	–	–	–	–
101–250	Сырая	0,4–0,2	0,5–0,2	–	–	0,35–0,2	0,4–0,2	–	–	–
	Каленая	0,6–0,2	0,7–0,2	–	–	0,5–0,2	0,6–0,2	–	–	–
251–500	Сырая	0,5–0,2	0,6–0,2	0,7–0,2	–	0,4–0,2	0,5–0,2	0,6–0,2	0,7–0,3	–
	Каленая	0,7–0,2	0,8–0,2	0,9–0,2	–	0,6–0,2	0,7–0,2	0,8–0,2	0,9–0,3	–
501–1000	Сырая	0,6–0,2	0,7–0,2	0,8–0,2	–	0,5–0,2	0,6–0,2	0,7–0,2	0,8–0,3	–
	Каленая	0,8–0,2	0,9–0,2	1,0–0,2	–	0,7–0,2	0,8–0,2	0,9–0,2	1,0–0,3	–
До 100	Сырая	0,3–0,25	–	–	–	0,3–0,25	–	–	–	–
	Каленая	0,4–0,25	–	–	–	0,35–0,25	–	–	–	–
101–250	Сырая	0,3–0,25	0,35–0,25	–	–	0,3–0,25	0,35–0,25	–	–	–
	Каленая	0,45–0,25	0,5–0,25	–	–	0,4–0,25	0,4–0,35	–	–	–
251–500	Сырая	0,35–0,25	0,4–0,25	0,5–0,25	0,6–0,3	0,3–0,25	0,35–0,25	0,4–0,25	0,5–0,3	–
	Каленая	0,5–0,25	0,6–0,25	0,7–0,25	0,8–0,3	0,45–0,25	0,5–0,25	0,6–0,25	0,7–0,3	–
501–1000	Сырая	0,4–0,25	0,5–0,25	0,6–0,25	0,7–0,35	0,35–0,25	0,4–0,25	0,5–0,25	0,6–0,3	–
	Каленая	0,6–0,25	0,7–0,27	0,8–0,25	0,9–0,3	0,5–0,25	0,6–0,25	0,7–0,25	0,8–0,3	–

Примечание. На детали с минусовым допуском, имеющие 11-й–14-й квалитеты точности, шероховатость $Ra = 1,6-0,80$ мкм и повышенную точность по плоскостности и параллельности (линейки, планки, рейки и т.д.), припуск под шлифование необходимо назначать менее основного варианта, выбранного по таблице: для деталей 11-го квалитета – на 15 %, для деталей 12-го–14-го квалитетов точности – на 30 %.

Таблица П4.3

Операционные припуски на обработку пазов (мм)



Размеры паза, мм		Припуск на ширину b , мм		Допуск на ширину паза b , мм	
Глубина h , мм	Ширина b , мм	Чистовое фрезерование после черного	Шлифование термически обработанных и необработанных после чистового фрезерования	Черновое фрезерование, 12-й квалитет	Чистовое фрезерование, 11-й квалитет
		До 60	От 3 до 6	1,5	0,5
Св. 6 до 10	2,0		0,7	+0,20	+0,10
Св. 10 до 18	3,0		1,0	+0,24	+0,12
Св. 18 до 30	3,0		1,0	+0,28	+0,14
Св. 30 до 50	3,0		1,0	+0,34	+0,17
Св. 50 до 80	4,0		1,0	+0,40	+0,20
Св. 80 до 120	4,0		1,0	+0,46	+0,23

Таблица П4.4

Рекомендуемые минимальные припуски на сторону при обработке плоскостей деталей на фрезерных позициях автоматических линий из агрегатных станков

Фрезерование	Припуски на обработку при наибольшем размере обрабатываемой поверхности, мм				
	2	3	4	5	6
Черновое	1,0	1,2	1,5	2,2	3,1
	0,7	0,8	0,9	1,2	1,4
Отливок, полученных литьем:					

Окончание табл. П4.4

1	2	3	4	5	6
В песчаные формы 1-го класса точности	1,1	1,3	1,6	2,4	3,2
	–	–	–	–	–
В кокиль	0,8	0,9	1,2	1,8	2,4
	0,4	0,5	0,6	1,0	1,2
В оболочковые формы	0,5	0,6	0,8	1,4	2,0
	0,4	0,5	0,6	1,0	1,2
По выплавляемым моделям	0,35	0,45	0,5	0,8	1,0
	0,25	0,35	0,0,4	0,6	0,8
Под давлением	–	–	–	–	–
	0,2	0,25	0,35	0,6	0,8
Получистовое	0,3	0,35	0,4	0,7	1,0
	0,15	0,25	0,3	0,5	0,8
Чистовое	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
	0,1	0,1	0,15	0,0,25	0,35

Примечание. В верхней строке даны припуски для обработки заготовок из черных сплавов, в нижней – для обработки заготовок из цветных сплавов.

Таблица П4.5

Припуски на черновую обработку торцов (мм)

Диаметр обрабатываемой детали	Припуск	Диаметр обрабатываемой детали	Припуск
До 20	1,0	Св. 75 до 125	2,0
Св. 20 до 30	1,5	Св. 125 до 150	2,0
Св. 30 до 45	1,5	Св. 150	2,5
Св. 45 до 75	1,5		

Таблица П4.6

Припуски на чистовую подрезку и шлифование торцов (мм)

Диаметр обрабатываемой детали	Общая длина обрабатываемой детали					
	До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500
	Припуски					
1	2	3	4	5	6	7
Чистовая подрезка						
До 30	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2

Окончание табл. П4.6

1	2	3	4	5	6	7
Св. 30 до 50	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
Св. 50 до 120	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3
Св. 120 до 260	0,7	0,9	1,0	1,0	1,2	1,4
Св. 260	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5
Допуск на длину	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8
Шлифование						
До 30	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
Св. 30 до 50	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
Св. 50 до 120	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6
Св. 120 до 260	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
Св. 260	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7
Допуск на длину	-0,12	-0,17	-0,23	-0,3	-0,4	-0,5

Практическая работа № 5

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА ПО ДИАМЕТРАЛЬНЫМ РАЗМЕРАМ

Цель работы: ознакомиться с основными теоретическими положениями, приобрести практические навыки в построении и расчете технологических размерных цепей по диаметральным размерам.

5.1. Основные положения

Размерную схему техпроцесса по диаметральным размерам строят примерно так же, как и по продольным размерам (размерам длин). Вместе с тем имеются и определенные отличия. Обычно справа от размерной схемы техпроцесса проводят вертикальные линии, имитирующие оси каждой цилиндрической поверхности и каждой центральной фаски, если таковые имеются. Обычно код оси обозначается той же цифрой, что и код цилиндрической поверхности, к которой справа добавлен ноль.

В операционных размерных цепях диаметральных размеров более удобно оперировать звеньями-радиусами, а не звеньями-диаметрами. Это вызвано целым рядом обстоятельств. Во-первых, при расчете припусков на валы через диаметральные размеры уравнение замыкающего звена (припуска) записывается для его удвоенной величины:

$$2Z = D_{\text{п}} - D_{\text{в}},$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр, полученный на предшествующей операции;

$D_{\text{в}}$ – диаметр на выполняемой операции.

После нахождения $2Z$ находят Z как половину от $2Z$. Однако из-за несоосности поверхностей 1 и 2 величина Z_1 никогда не будет равной Z_2 . Это значит, что значения Z_1 и Z_2 , полученные при расчете через удвоенный припуск будут неточными. При решении целого ряда технических задач такая погрешность оказывается недопустимой. Например, если после обработки на одной из обработанных поверхностей должен появиться слой цементации, то определение его глубины через усредненный припуск может привести к нежелательным результатам.

С целью унификации методики расчетов размерные цепи диаметральных размеров рассчитываются через радиусы. Для определения радиуса с отклонениями берут половину номинального размера диаметра и половину отклонения с теми же знаками. Если диаметр $D = 30_{-0,06}$, радиус $r = 15_{-0,03}$, если диаметр $D = 20_{+0,08}^{+0,04}$, то радиус $r = 10_{+0,02}^{+0,04}$.

Обычно построение размерной схемы техпроцесса по диаметральным размерам, выявление размерных цепей и их расчет выполняют с учетом возможных эксцентриситетов (как заданных конструктором, так и появившихся в процессе получения заготовки и ее механической обработки). В данной работе расчет в учебных целях ведется только с учетом одних диаметральных размеров. Поэтому все технологические операционные размеры будут отсчитываться от единой оси.

5.2. Построение размерной схемы техпроцесса

Как и обычно при проведении размерного анализа техпроцесса, в том числе и по диаметральным размерам, вначале строят технологическую размерную схему, в которой обозначают буквами S технологические операционные размеры, Z – размеры заготовок, A – конструкторские размеры, Z – припуски на обработку (рис. 5.1).

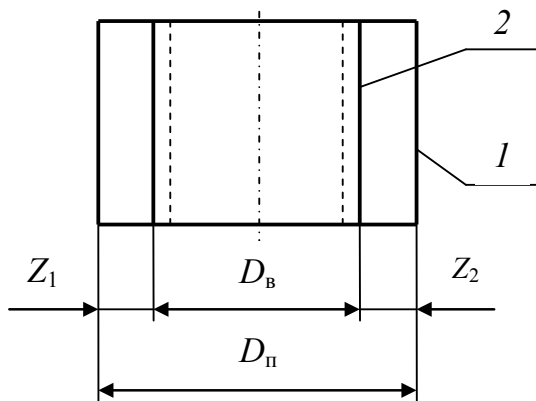


Рис. 5.1. Припуск на цилиндрической поверхности

Построение размерной схемы техпроцесса, выявление размерных цепей и построение графа разберем на конкретном примере. Допустим, необходимо обработать представленную на рис. 5.2 деталь, выдержав размеры $D_1 = 40^{+0,025}$, $D_2 = 60_{-0,030}$, $D_3 = 80_{-0,190}$ и $D_4 = 120_{-0,230}$.

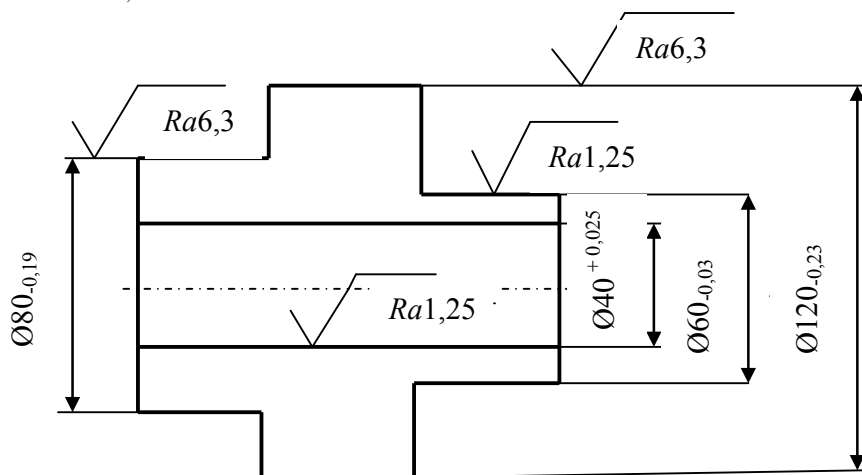


Рис. 5.2. Эскиз обрабатываемой детали

Заготовка втулки получена штамповкой на горизонтально-ковочной машине с прошитым отверстием. На размерной схеме техпроцесса (рис. 5.3) размеры заготовки обозначены ориентированными стрелками Z_1 , Z_2 , Z_3 и Z_4 .

Технологический процесс механической обработки втулки содержит три операции. На первой токарной операции заготовка устанавливается в трехкулачковом патроне по поверхности 5 с упором в торец. Производится однократное обтачивание двух больших ступеней заготовки в окончательные размеры D_3 и D_4 , зенкерование и развертывание отверстия. На размерной схеме эта операция показана ориентированными стрелками S_1 , S_2 , S_3 и S_4 . На следующей операции заготовка базируется на разжимной оправке по отверстию диаметром D_1 . Производится черновое и чистовое обтачивание ступени меньшего диаметра (на размерной схеме это показано ориентированными стрелками S_5 и S_6). На третьей операции производится шлифование ступени меньшего диаметра в окончательный размер D_2 .

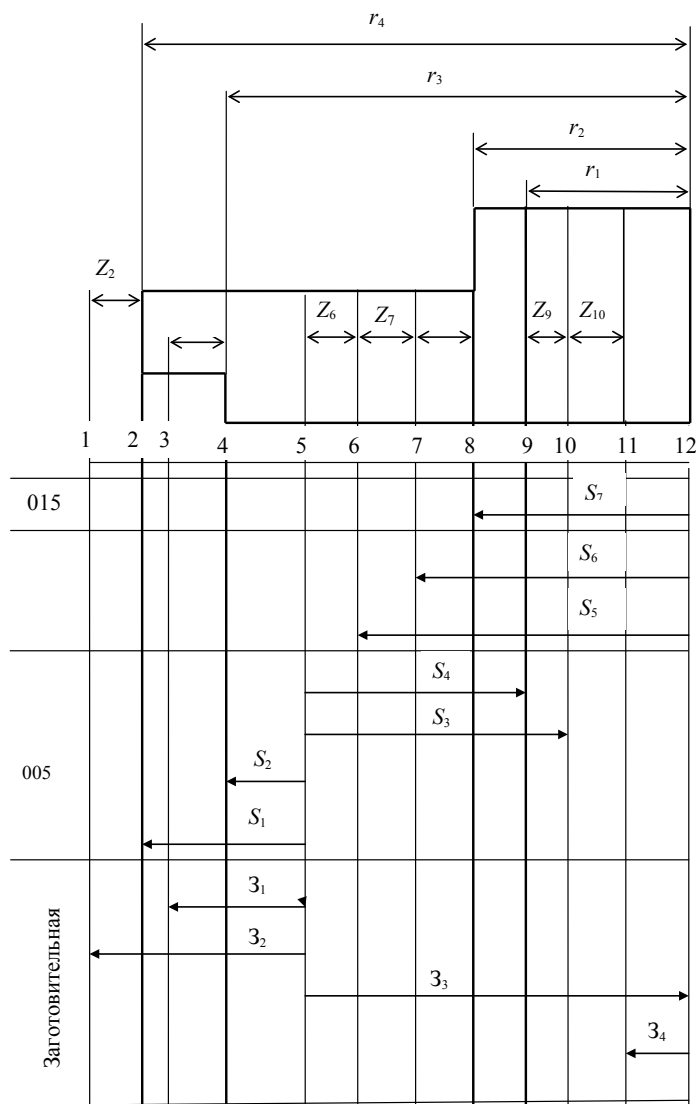


Рис. 5.3. Размерная схема техпроцесса по диаметральным размерам

В соответствии со сказанным выше на размерной схеме указаны не заданные конструктором размеры диаметров, а соответствующие им радиусы r_1 , r_2 , r_3 и r_4 .

5.3. Построение графов размерных цепей

Оси отдельных цилиндрических поверхностей на размерной схеме техпроцесса по диаметральным размерам условно объединены с самими диаметральными размерами.

Построение размерной схемы, как и для случая с продольными размерами, начинают снизу по схеме с заготовительных операций, постепенно приближаясь к финишным операциям. При этом поверхность, на которую базируют заготовку в процессе выполнения операции, обозначают точкой, а стрелка своим острием должна касаться поверхности, которая образуется в результате выполнения данной операции или перехода.

Сначала строится граф производного дерева (рис. 5.4), на котором технологические размеры и размеры заготовки показываются ориентированными стрелками. Необходимо учитывать, что число вершин на графе должно быть на единицу больше числа размерных линий-стрелок. Число вершин должно соответствовать количеству обрабатываемых поверхностей. На графе не должно быть разрывов и циклов.

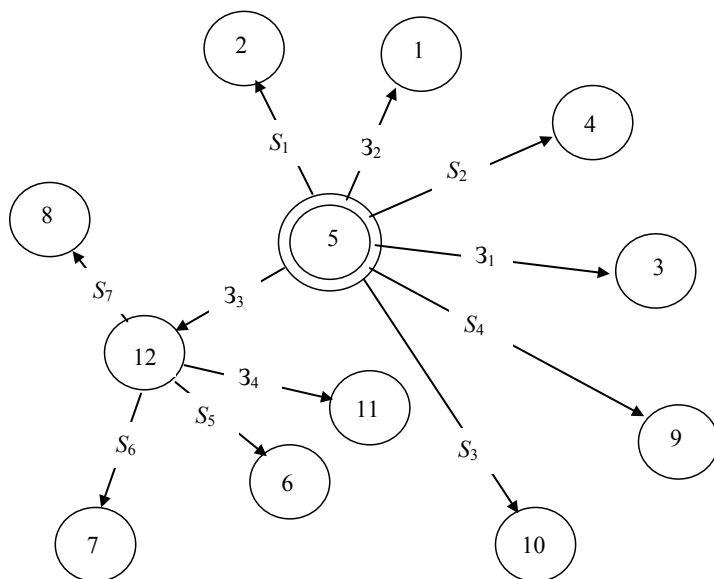


Рис. 5.4. Граф производного дерева

После этого строят граф исходного дерева (рис. 5.5). На нем стремятся расположить вершины так же, как и на графе производного дерева. Ребрами графа выступают конструкторские размеры (в данном случае радиусы) и припуски на обработку. Конструкторские размеры обозначаются неориентированными дугами, а припуски – волнистой линией.

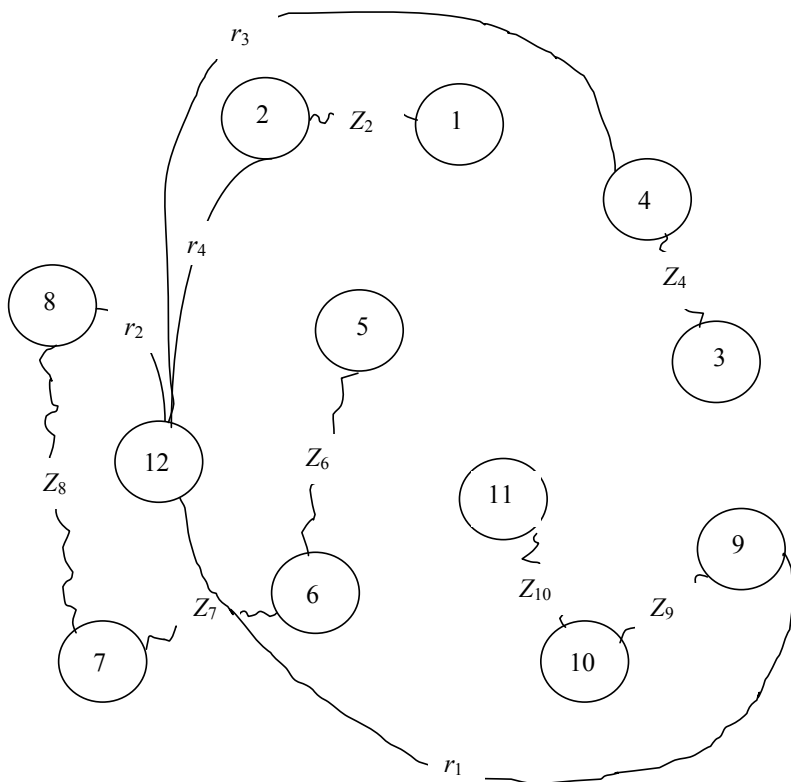


Рис. 5.5. Граф исходного дерева

Далее следует один граф наложить на другой. Выявление технологических размерных цепей начинают с последней операции, т.е. по размерной схеме сверху вниз. Сначала находят двухзвенные размерные цепи. Например, цепь 12-8, в которую входят один технологический размер (ребро S_7) и один конструкторский размер (звено r_2).

При построении совмещенного графа (рис. 5.6) необходимо соблюдать следующие правила.

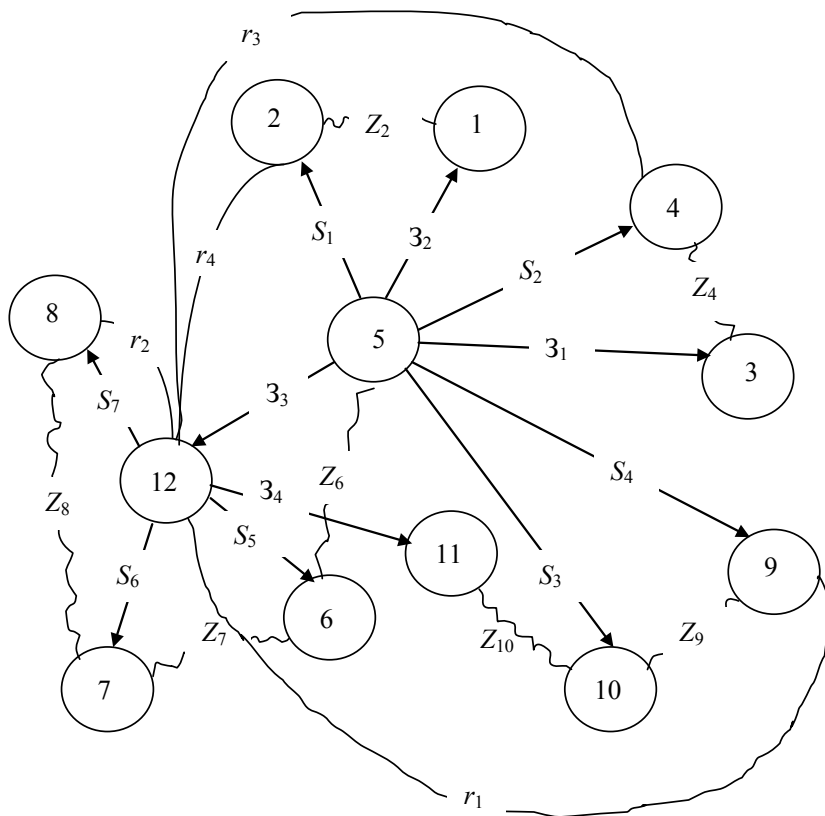


Рис. 5.6. Граф совмещенного дерева

1. Число вершин на всех трех графах должно быть одинаковым и равным числу поверхностей на размерной схеме техпроцесса.

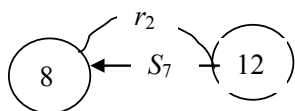
2. Число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равным числу вершин без единицы.

3. К каждой вершине производного дерева (кроме корневой) должна подходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой (вершина 5) – ни одна.

4. Деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

5.4. Выявление технологических размерных цепей

Выявление технологических размерных цепей по диаметральному размеру производится в том же порядке, что и для размерных цепей продольных размеров, т.е. по размерной схеме техпроцесса сверху вниз. В первую очередь отыскивают двухзвенные размерные цепи. Такая цепь (рис. 5.7) в данном примере всего одна – 12-8. Она образована конструкторским размером r_2 и технологическим операционным размером S_7 .

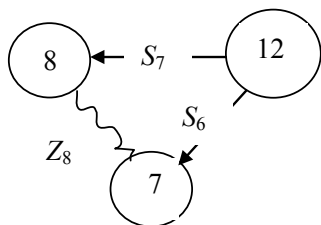


$$S_7 - r_2 = 0;$$

$$S_7 = r_2$$

Рис. 5.7. Цепь № 1

обработку Z_8 . Технологический размер S_7 получен на предыдущей операции (или переходе), размер S_6 выполняется, припуск выступает в роли замыкающего звена. Так как размерный контур имеет всего одно неизвестное звено – технологический размер S_6 и один припуск Z_8 , то такой контур может быть принят в качестве размерной цепи. Из нее может быть определен размер S_6 .



$$S_6 - S_7 - Z_8 = 0;$$

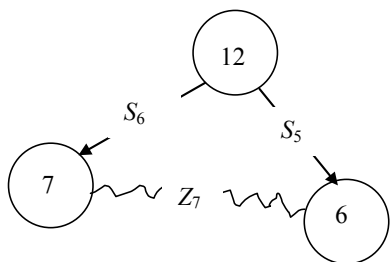
$$S_6 = S_7 - Z_8$$

Рис. 5.8. Цепь № 2

остальные составляющие звенья должны быть определены заранее. Кроме того, в каждой размерной цепи (рис. 5.8–5.17) может быть только одно замыкающее звено (конструкторский размер или размер припуска).

Причем конструкторские размеры являются замыкающими звеньями, а технологические – составляющими. Вершины 12 и 8 объединены ориентированным ребром-стрелкой S_7 и дугой r_2 . В размерной цепи 12-8-7 имеется три звена: два технологических S_6 и S_7 и одно – припуск на

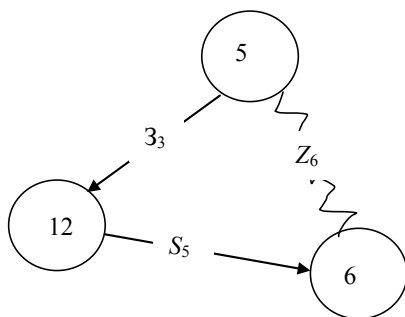
При выявлении технологических размерных цепей необходимо соблюдать определенную последовательность: в каждой новой цепи должно быть не более одного неизвестного составляющего звена (технологического операционного размера или размера заготовки). Все



$$S_5 - S_6 - Z_7 = 0;$$

$$S_5 = S_6 + Z_7$$

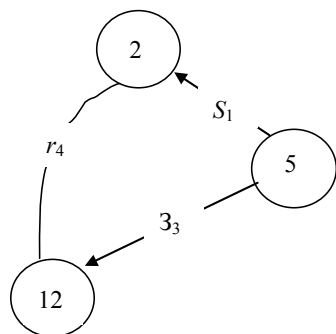
Рис. 5.9. Цепь № 3



$$Z_3 - S_5 - Z_6 = 0;$$

$$Z_3 = S_5 + Z_6$$

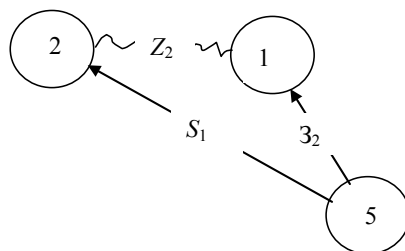
Рис. 5.10. Цепь № 4



$$S_1 + Z_3 - r_4 = 0;$$

$$S_1 = r_4 - Z_3$$

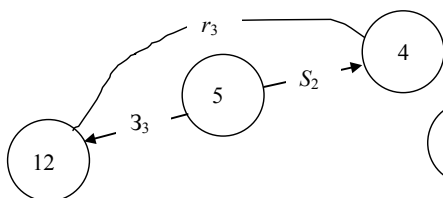
Рис. 5.11. Цепь № 5



$$Z_2 - S_1 - Z_2 = 0;$$

$$Z_2 = S_1 + Z_2$$

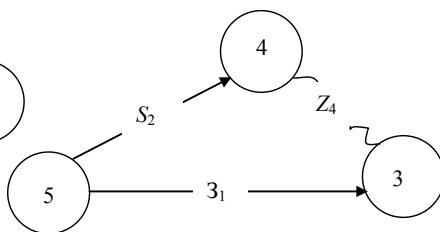
Рис. 5.12. Цепь № 6



$$S_2 + Z_3 - r_3 = 0;$$

$$S_2 = r_3 - Z_3$$

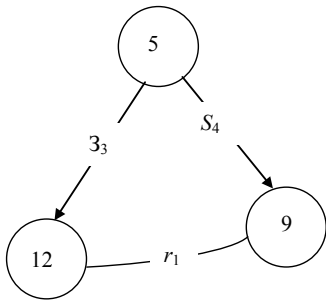
Рис. 5.13. Цепь № 7



$$Z_1 - S_2 - Z_4 = 0;$$

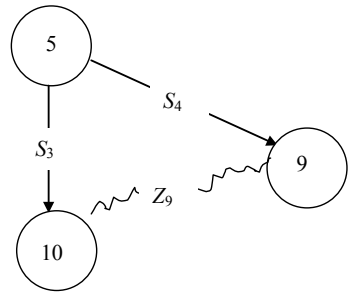
$$Z_1 = S_2 + Z_4$$

Рис. 5.14. Цепь № 8



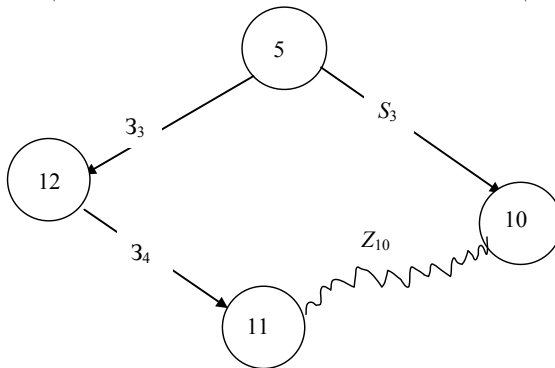
$$\begin{aligned}
 -S_4 + 3_3 - r_1 &= 0; \\
 S_4 &= 3_3 - r_1
 \end{aligned}$$

Рис. 5.15. Цепь № 9



$$\begin{aligned}
 -S_4 + S_3 - Z_9 &= 0; \\
 S_3 &= S_4 + Z_9
 \end{aligned}$$

Рис. 5.16. Цепь № 10



$$\begin{aligned}
 -S_3 + 3_3 - 3_4 - Z_{10} &= 0; \\
 3_4 &= 3_3 - S_3 - Z_{10}
 \end{aligned}$$

Рис. 5.17. Цепь № 11

Одновременно с этим, при составлении расчетных уравнений необходимо соблюдать правило обхода и правило знаков. Замыкающее звено соединяет две вершины, одну с большим, а вторую с меньшим порядковым номером. Обход необходимо начинать с вершины с меньшим порядковым номером по размерной цепи в сторону от замыкающего звена. Правило знаков гласит: если в направлении обхода следующее звено цепи будет соединять вершину меньшего порядкового номера с вершиной большего номера, то такому ребру присваивается знак плюс, если наоборот – минус.

Замыкающее звено всегда принимается со знаком минус.

Общее число размерных цепей на графе должно быть равно числу технологических размеров на размерной схеме техпроцесса.

При составлении расчетных уравнений размерных цепей исходят из условия, что алгебраическая сумма всех звеньев размерной цепи, включая и замыкающее, равна нулю.

После выявления технологических размерных цепей и составления расчетных уравнений определяют исходные уравнения (решаемые относительно замыкающих звеньев) и искомые звенья.

Обычно эта часть работы оформляется в виде табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты работы по выявлению технологических
размерных цепей диаметральных размеров

№ п/п	Расчетное уравнение	Исходное уравнение	Искомый размер
1	$-r_2 + S_7 = 0$	$r_2 = S_7$	S_7
2	$S_6 - S_7 - Z_8 = 0$	$Z_8 = S_6 - S_7$	S_6
3	$S_5 - S_6 - Z_7 = 0$	$Z_7 = S_5 - S_6$	S_5
4	$Z_3 - S_5 - Z_6 = 0$	$Z_6 = Z_3 - S_5$	Z_3
5	$S_1 + Z_3 - r_4 = 0$	$r_4 = S_1 + Z_3$	S_1
6	$-S_1 + Z_2 - Z_2 = 0$	$Z_2 = -S_1 + Z_2$	Z_2
7	$S_2 + Z_3 - r_3 = 0$	$r_3 = S_2 + Z_3$	S_2
8	$Z_1 - S_2 - Z_4 = 0$	$Z_4 = Z_1 - S_2$	Z_1
9	$-S_4 + Z_3 - r_1 = 0$	$r_1 = -S_4 + Z_3$	S_4
10	$-S_4 + S_3 - Z_9 = 0$	$Z_9 = -S_4 + S_3$	S_3
11	$-S_3 + Z_3 - Z_4 - Z_{10} = 0$	$Z_{10} = -S_3 + Z_3 - Z_4$	Z_{10}

**5.5. Решение технологических размерных цепей
по диаметральным размерам**

Решение такого рода цепей незначительно отличается от расчета размерных цепей по продольным размерам. Отличие в основном состоит в том, что определяемые по нормативам припуски и допуски на технологические диаметральные размеры необходимо пересчитывать на радиусные. После определения размерных

параметров их значения приходится удваивать, переводя снова в диаметральные.

Как и при расчете размерных цепей по продольным размерам, порядок расчета зависит от того, что является замыкающим звеном размерной цепи конструкторский размер или допуск. Во втором случае расчет несколько сложнее.

Порядок расчета продемонстрирован на конкретном примере.

Из эскиза детали, представленной на размерной схеме техпроцесса, известно: $r_1 = 20^{+0,0125}$; $r_2 = 30_{-0,015}$; $r_3 = 40_{-0,095}$ и $r_4 = 60_{-0,115}$. Примем $Z_{2 \min} = Z_{4 \min} = Z_{6 \min} = 1,0$ мм; $Z_{7 \min} = 0,4$ мм; $Z_{8 \min} = 0,15$ мм; $Z_{10 \min} = 0,8$ мм и $Z_{9 \min} = 0,15$ мм.

Цепь № 1

$$-r_2 + S_7 = 0, \text{ тогда } S_7 = r_2 = 30_{-0,015}.$$

Цепь № 2

$$-Z_{8 \min} + S_{6 \max} - S_{7 \min} = 0; S_{6 \min} = Z_{8 \min} + S_{7 \max} = 0,15 + 30 = 30,15.$$

Назначаем допуск на размер S_6 по 9-му качеству, предельные отклонения – по посадке h . Тогда допуск и предельные отклонения размера S_6 в расчете на диаметр $T_{S_6} = 0,074$ мм, $es_{S_6} = 0$, $ei_{S_6} = -0,074$. В пересчете на радиус

$$T'_{S_6} = 0,037;$$

$$es'_{S_6} = 0; ei'_{S_6} = -0,037.$$

Номинальный размер звена

$$S_6 = 30,15 + 0,037 = 30,187, \text{ т.е. } S_6 = 30,187_{-0,037}.$$

В пересчете на диаметр $S_6 = 60,374_{-0,074}$ или после округления $S_6 = 60,37_{-0,07}$.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_8 = S_6 - S_7 = 30,187_{-0,037} - 30_{-0,015} = 0,187_{-0,037}^{+0,015}.$$

В расчете на диаметр

$$2Z_8 = 0,374_{-0,074}^{+0,03} \text{ или после округления } 2Z_8 = 0,37_{-0,07}^{+0,03}.$$

Цепь № 3

$$S_{5 \min} - S_{6 \max} - Z_7 = 0; \quad Z_{7 \min} = S_{5 \min} - S_{6 \max}, \quad \text{т.е. } 0,4 = S_{5 \min} - 30,187;$$

$$S_{5 \min} = 30,587.$$

Назначаем допуск на размер S_5 по 12-му качеству, предельные отклонения по посадке h .

$$T'_{S_5} = 0,15; \quad es'_{S_5} = 0; \quad ei'_{S_5} = -0,15.$$

Номинальный (он же и максимальный) размер звена $S_5 = S_{5 \max} = 30,587 + 0,15 = 30,737$. Окончательно $S_5 = 30,74_{-0,15}$. В пересчете на диаметр $S_5 = 61,48_{-0,30}$.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_7 = S_5 - S_6 = 30,737_{-0,15} - 30,187_{-0,037} = 0,55_{-0,15}^{+0,037}.$$

В расчете на диаметр

$$2Z_7 = 1,10_{-0,30}^{+0,08} \text{ (после округления).}$$

Цепь № 4

$$Z_3 - S_5 - Z_6 = 0; \quad Z_{6 \min} = Z_{3 \min} - S_{5 \max};$$

$$1,0 = Z_{3 \min} - 30,737; \quad Z_{3 \min} = 31,737.$$

Назначаем допуски и предельные отклонения на размер Z_3 по ГОСТ 7505–89. Допуск на диаметр $T_{Z_3} = 1,8$ мм, предельные отклонения $es_{Z_3} = 1,2$ мм и $ei_{Z_3} = -0,6$ мм.

В пересчете на радиус

$$T'_{Z_3} = 0,9 \text{ мм}; \quad es'_{Z_3} = 0,6 \text{ мм}; \quad ei'_{Z_3} = -0,3 \text{ мм}.$$

Номинальный размер звена

$$Z_3 = 31,737 + 0,3 = 32,037 \approx 32,04.$$

Максимальный размер

$$Z_{3\max} = 32,04 + 0,6 = 32,64.$$

После округления для диаметра Z_3 получим:

$$Z_3 = 64 \begin{matrix} +1,2 \\ -0,6 \end{matrix}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_6 = Z_3 - S_5 = 32 \begin{matrix} +0,6 \\ -0,3 \end{matrix} - 30,74 \begin{matrix} -0,15 \\ -0,15 \end{matrix} = 1,26 \begin{matrix} +0,75 \\ -0,3 \end{matrix}.$$

В пересчете на диаметр

$$2Z_6 = 2,52 \begin{matrix} +1,5 \\ -0,6 \end{matrix}.$$

Цепь № 5

$$\begin{aligned} r_4 = S_1 + Z_3; \quad S_1 = r_4 - Z_3 &= 60 \begin{matrix} -0,115 \\ -0,115 \end{matrix} - 32,04 \begin{matrix} +0,6 \\ -0,3 \end{matrix} = \\ &= 27,96 \begin{matrix} +0,3 \\ -0,715 \end{matrix} \approx 28 \begin{matrix} +0,3 \\ -0,72 \end{matrix}. \end{aligned}$$

В пересчете на диаметр

$$S_1 = 56 \begin{matrix} +0,6 \\ -1,44 \end{matrix}.$$

Цепь № 6

$$Z_2 - S_1 - Z_{2\min} = 0; \quad Z_{2\min} = Z_{2\min} - S_{1\max}; \quad 1,0 = Z_{2\min} - 28,03;$$

$$Z_{2\min} = 29,03 \approx 29.$$

Назначаем на размер Z_2 допуски и предельные отклонения по ГОСТ 7505-89. Допуск на диаметр $T_{Z_2} = 1,8$ мм, $es_{Z_2} = 1,2$ мм, $ei_{Z_2} = -0,6$ мм. В пересчете на радиус

$$T'_{Z_2} = 0,9 \text{ мм}, \quad es_{Z_2} = 0,6 \text{ мм}, \quad ei'_{Z_2} = -0,3 \text{ мм}.$$

Номинальный размер звена в радиусном измерении

$$Z_2 = Z_{2\min} - ei'_{Z_2} = 29 - (-0,3) = 29,3, \quad \text{т.е. } Z_2 = 29,3^{+0,6}_{-0,3}.$$

Максимальный размер звена в радиусном измерении

$$Z_{2\max} = Z_2 + es'_{Z_2} = 29,3 + 0,6 = 29,9.$$

Размер заготовки в диаметральном выражении

$$Z_2 = 58,6^{+1,2}_{-0,6}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска в радиусном измерении

$$Z_2 = Z_2 - S_1 = 29,3^{+0,6}_{-0,3} - 28_{-0,42} = 1,3^{+1,02}_{-0,3}.$$

В диаметральном измерении

$$2Z_2 = 2,6^{+2,04}_{-0,6}.$$

Цепь № 7

$$r_3 = S_2 + Z_3; \quad S_2 = r_3 - Z_3 = 40_{-0,095} - 32^{+0,6}_{-0,3} = 8^{+0,3}_{-0,695} \approx 8^{+0,3}_{-0,7}.$$

В диаметральном измерении

$$S_2 = 16_{-1,4}^{+0,6}.$$

Цепь № 8

$$Z_{4\min} = Z_{1\min} - S_{2\max}; \quad 1,0 = Z_{1\min} - 8,3; \quad Z_{1\min} = 9,3.$$

Назначаем допуск на размер заготовки Z_1 по ГОСТ 7505–89. Допуск на диаметр $T_{Z_1} = 1,8$ мм, $ES_{Z_1} = 1,2$ мм, $EI_{Z_1} = -0,6$ мм. В пересчете на радиус

$$T'_{Z_1} = 0,9 \text{ мм}, \quad ES'_{Z_1} = 0,6 \text{ мм}, \quad EI'_{Z_1} = -0,3 \text{ мм}.$$

Номинальный размер

$$Z'_1 = Z'_{1\min} - ES'_{Z_1} = 9,3 - (-0,6) = 9,6.$$

Максимальный размер

$$Z'_{1\max} = Z'_1 + ES'_{Z_1} = 9,6 + 0,6 = 10,2.$$

В радиусном измерении

$$Z'_1 = 9,6_{-0,3}^{+0,6}.$$

На чертеже заготовки

$$Z_1 = 19,8_{-0,6}^{+1,2}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_4 = Z_1 - S_2 = 9,6_{-0,3}^{+0,6} - 8_{-0,095}^{+0,3} = 1,6_{-0,6}^{+0,695} \approx 1,6_{-0,6}^{+0,7}.$$

В пересчете на диаметр

$$2Z_4 = 3,2_{-1,2}^{+1,4}.$$

Цепь № 9

$$r_1 = -S_4 + 3_3; \quad S_4 = 3_3 - r_1 = 32,037_{-0,3} - 20^{+0,0125} = 12,037_{-0,3125} \approx 12,031.$$

На операционном эскизе в диаметральном измерении

$$S_4 = 24_{-0,62}.$$

Цепь № 10

$$Z_{9\min} = S_{3\min} - S_{4\max}; \quad 0,15 = S_{3\min} - 12; \quad S_{3\min} = 12,15.$$

Назначаем допуск на размер S_3 по 11-му качеству, предельные отклонения по посадке H . В диаметральном измерении $T_{S_3} = 0,13$; $ES_{S_3} = 0,13$; $EI_{S_3} = 0$.

В радиусном измерении

$$T'_{S_3} = 0,065; \quad ES'_{S_3} = 0,065; \quad EI'_{S_3} = 0;$$

$$S_3 = 12,15^{+0,065}.$$

На операционном эскизе

$$S_3 = 24,3^{+0,13}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_9 = 24,3^{+0,13} - 24_{-0,62} = 0,3^{+0,75}.$$

В расчете на диаметр

$$2Z_9 = 0,6^{+1,5}.$$

Цепь № 11

$$-S_3 + 3_3 - 3_4 - Z_{10} = 0;$$

$$Z_{10\min} = 3_{3\min} - S_{3\max} - 3_{4\max}; \quad 0,8 = 31,737 - 12,28 - 3_{4\max}; \\ 3_{4\max} = 18,657 \approx 18,7.$$

Назначаем допуски на размер заготовки Z_4 по ГОСТ 7505–89. В диаметральном измерении $T_{Z_4} = 1,8$; $ES_{Z_4} = +0,6$; $EI_{Z_4} = -1,2$. В пересчете на радиус $T_{Z_4} = 0,9$; $ES'_{Z_4} = +0,3$; $EI'_{Z_4} = -0,6$.

Номинальный размер

$$Z'_4 = 18,7 - 0,3 = 18,4, \quad \text{т.е. } Z'_4 = 18,4^{+0,3}_{-0,6}.$$

На операционном эскизе

$$Z_4 = 36,8^{+0,6}_{-1,2}.$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_{10} = 32,037_{-0,3} - 12,15^{+0,13} - 18,4^{+0,3}_{-0,6} = 1,487^{+0,6}_{-0,73} \approx 1,5^{+0,6}_{-0,73}.$$

В пересчете на диаметр

$$2Z_{10} = 3^{+1,2}_{-1,46}.$$

Все полученные данные сводим в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Результаты расчетов технологических размерных цепей
диаметральных размеров

№ п/п	Расчетное уравнение	Исходное уравнение	Определяемый размер	Значение
1	$-r_2 + S_7 = 0$	$r_2 = S_7$	S_7	$30_{-0,015}$
2	$-Z_8 + S_6 - S_7 = 0$	$Z_8 = S_6 - S_7$	S_6	$60,37_{-0,07}$
3	$-Z_7 + S_5 - S_6 = 0$	$Z_7 = S_5 - S_6$	S_5	$61,5_{-0,3}$
4	$-Z_6 + 3_2 - S_5 = 0$	$Z_6 = 3_2 - S_5$	3_2	$64^{+1,2}_{-0,6}$
5	$-r_3 + S_1 = 0$	$r_3 = S_1$	S_1	$40_{-0,095}$
6	$-Z_4 + 3_3 - S_1 = 0$	$Z_4 = 3_3 - S_1$	3_3	$82,7^{+1,3}_{-0,7}$
7	$-r_2 + S_2 = 0$	$r_2 = S_2$	S_2	$120_{-0,3}$

8	$-Z_2 + 3_4 - S_2 = 0$	$Z_2 = 3_4 - S_2$	3_4	$122,7^{+1,5}_{-0,7}$
9	$-r_1 + S_4 = 0$	$r_1 = S_4$	S_4	$20^{+0,0125}$
10	$-Z_9 + S_4 - S_3 = 0$	$Z_9 = S_4 - S_3$	S_3	$39,45^{+0,25}$
11	$-Z_{10} + S_3 - 3_1 = 0$	$Z_{10} = S_3 - 3_1$	3_1	$19,2^{+1,2}_{-0,6}$

5.6. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями теории технологических размерных цепей по диаметральным размерам.
2. Вычертить эскиз детали в соответствии с заданием.
3. Совместно с преподавателем выбрать метод получения заготовки.
4. Определить по нормативам величины припусков на технологические операционные размеры и размеры заготовки.
5. Рассчитать радиусы обрабатываемых поверхностей и половинные значения припусков и их предельных отклонений.
6. Назначить по таблицам экономической точности маршрут обработки каждой поверхности.
7. Построить размерную схему техпроцесса.
8. Разработать исходный, производный и совмещенный графы.
9. По совмещенному графу выявить технологические операционные цепи диаметральных размеров. Вычертить каждую размерную цепь и записать расчетные и исходные уравнения. Заполнить табл. 5.1.
10. Определить размерные характеристики искомых звеньев и припусков на обработку этих поверхностей. Заполнить табл. 5.2.
11. Сделать заключение о работе.

5.7. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Эскиз детали с указанием размерных характеристик, подлежащих расчету звеньев, и шероховатости поверхностей.
3. Маршрут обработки каждой поверхности.
4. Припуски на обработку заданных поверхностей (определить табличным методом).
5. Размерная схема техпроцесса.
6. Исходный, производный и совмещенный графы.

7. Выявленные размерные цепи.
8. Табл. 5.1.
9. Расчеты размерных характеристик составляющих звеньев и припусков.
10. Табл. 5.2.
11. Выводы.

5.8. Контрольные вопросы

1. Какие особенности расчета технологических размерных цепей диаметральных размеров Вам известны?
2. Как назначается маршрут обработки элементарных поверхностей?
3. Что является определяющим при назначении припусков табличным методом?
4. Как строится размерная схема техпроцесса по диаметральным размерам? В чем особенности ее построения?
5. Как строятся графы (производный, исходный и совмещенный)?
6. Какой контур может быть принят за технологическую размерную цепь?
7. Каким должен быть порядок выявления размерных цепей?
8. Как определяется порядок обхода и знаки звеньев, входящих в размерную цепь? Какое звено принимается за замыкающее?
9. Какие Вы знаете особенности расчета технологических размерных цепей диаметральных размеров?
10. Как назначаются допуски на промежуточные операционные размеры?
11. В чем отличие в расчете размерных цепей с замыкающими звеньями-радиусами и с замыкающими звеньями-припусками?

5.9. Варианты заданий

№ варианта	Наименование и номер детали	Метод получения заготовки	Примечания
1	2	3	4
1–6	Упор <i>ТМ</i> 1–63–1.68	ГКМ	
7	Вставка <i>ТМ</i> 5.05	ГКМ	
8	Корпус <i>ТМ</i> 2.29	КГШП	
9	Вал <i>ТМ</i> 1.1	Поперечно-клиновой прокат	
10	Ступица <i>ТМ</i> 4.8	ГКМ	

11	Вал-шестерня	ГКМ	
12	Вал <i>ТМ 4.50</i>	Поперечно-клиновой прокат	
13	Шестерня <i>ТМ 3.53</i>	ГКМ	
14	Шестерня <i>ТМ 7.07</i>	ГКМ	
15	Вал эксцентриковый <i>ТМ 3.10</i>	Прокат горячекатаный	

Окончание таблицы

1	2	3	4
16	Колесо зубчатое <i>ТМ 2.72</i>	Поковка	
17	Кольцо подшипника <i>ТМ 2.5</i>	КГШП	
18	Ось <i>ТМ 4.36</i>	Прокат горячекатаный	
19	Втулка <i>ТМ 1.57</i>	Прокат горячекатаный	
20	Цанга <i>ТМ 1.57</i>	ГКМ	
21–24	Ролик <i>ТМ 1.58–1.61</i>	КГШП	
25	Шпонка <i>ТМ 3.26</i>	Прокат горячекатаный	

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – 5-е изд. перераб. и доп. – М., 2001. – Т.1. – 912 с.
2. Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки заготовок деталей машин / Б.С. Мордвинов [и др.]. – Омск, 1972. – 160 с.
3. Матвеев, В.В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков, Ю.Н. Свиридов. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1979. – 111 с.
4. Проектирование техпроцессов механической обработки в машиностроении / под ред. В.В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 256 с.
5. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / И.П. Филонов [и др.]; под общ. ред. И.П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.

Приложение к практической работе № 5

Таблица П5.1

Припуски на механическую обработку валов (наружные поверхности вращения)

Размеры, мм							
Номи- нальный диаметр	Способ обработки поверхности	Припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св.1250 до 2000
1	2	3	4	5	6	7	8
Точение проката повышенной точности							
До 30	Черновое и однократное	1,2	1,7	–	–	–	–
		1,1	–	–	–	–	–
	Чистовое	0,25	0,3	–	–	–	–
		0,25	–	–	–	–	–
	Тонкое	0,12	0,15	–	–	–	–
		0,12	–	–	–	–	–
Св. 30 до 50	Черновое и однократное	1,2	1,5	2,2	–	–	–
		1,1	1,4	–	–	–	–
	Чистовое	0,3	0,3	0,35	–	–	–
		0,25	0,25	–	–	–	–
	Тонкое	0,15	0,16	0,20	–	–	–
		0,12	0,13	–	–	–	–
Св. 50 до 80	Черновое и однократное	1,5	1,7	2,3	3,1	–	–
		1,1	1,5	2,1	–	–	–
	Чистовое	0,25	0,3	0,3	0,4	–	–
		0,20	0,25	0,3	–	–	–
	Тонкое	0,14	0,15	0,17	0,23	–	–
		0,12	0,13	0,16	–	–	–
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	1,6	1,7	2,0	2,5	3,3	–
		1,2	1,3	1,7	2,3	–	–
	Чистовое	0,25	0,3	0,3	0,3	0,35	–
		0,25	0,25	0,3	0,3	–	–
	Тонкое	0,14	0,15	0,16	0,17	0,20	–
		0,13	0,13	0,15	0,17	–	–
Точение проката обычной точности							
До 30	Черновое и однократное	1,3	1,7	-	-	-	-
		1,1	-	-	-	-	-

Продолжение табл. П5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
До 30	Получистовое	0,45	0,50	–	–	–	–
		0,45	–	–	–	–	–
	Чистовое	0,25	0,25	–	–	–	–
		0,20	–	–	–	–	–
	Тонкое	0,13	0,15	–	–	–	–
0,12		–	–	–	–	–	
Св. 30 до 50	Черновое и однократное	1,3	1,6	2,2	–	–	–
		1,1	1,4	–	–	–	–
	Получистовое	0,45	0,45	0,50	–	–	–
		0,45	0,45	–	–	–	–
	Чистовое	0,25	0,25	0,30	–	–	–
		0,20	0,25	–	–	–	–
	Тонкое	0,13	0,14	0,16	–	–	–
0,12		0,13	–	–	–	–	
Св. 50 до 80	Черновое и однократное	1,5	1,7	2,3	3,1	–	–
		1,1	1,5	2,1	–	–	–
	Получистовое	0,45	0,50	0,50	0,55	–	–
		0,45	0,45	0,50	–	–	–
	Чистовое	0,25	0,30	0,30	0,35	–	–
		0,20	0,25	0,30	–	–	–
	Тонкое	0,13	0,14	0,18	0,20	–	–
0,12		0,13	0,16	–	–	–	
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	1,8	1,9	2,1	2,6	3,4	–
		1,2	1,3	1,7	2,3	–	–
	Получистовое	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55	–
		0,45	0,45	0,50	0,50	–	–
	Чистовое	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	–
		0,25	0,25	0,25	0,30	–	–
	Тонкое	0,15	0,15	0,16	0,18	0,20	–
0,12		0,13	0,14	0,17	–	–	
Св. 120 до 180	Черновое и однократное	2,0	2,1	2,3	2,7	3,5	4,8
		1,3	1,4	1,8	2,3	3,3	–
	Получистовое	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,65
		0,45	0,45	0,50	0,50	0,55	–
	Чистовое	0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40
		0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	–
	Тонкое	0,16	0,16	0,17	0,18	0,21	0,27
0,13		0,13	0,15	0,17	0,20	–	

Продолжение табл. П5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Св. 180 до 260	Черновое и однократное	2,3	2,4	2,6	2,9	3,6	5,0
		1,4	1,5	1,8	2,4	3,2	4,6
Св. 180 до 260	Получистовое	0,50	0,50	0,50	0,55	0,60	0,65
		0,45	0,45	0,50	0,50	0,55	0,65
	Чистовое	0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40
		0,25	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40
	Тонкое	0,17	0,17	0,18	0,19	0,22	0,27
		0,13	0,14	0,15	0,17	0,20	0,26
Точение штампованных заготовок							
До 18	Черновое и однократное	1,5	1,9	–	–	–	–
		1,4	–	–	–	–	–
	Чистовое	0,25	0,30	–	–	–	–
		0,25	–	–	–	–	–
	Тонкое	0,14	0,15	–	–	–	–
		0,14	–	–	–	–	–
Св. 18 до 30	Черновое и однократное	1,6	2,0	2,3	–	–	–
		1,5	1,8	–	–	–	–
	Чистовое	0,25	0,30	0,30	–	–	–
		0,25	0,25	–	–	–	–
	Тонкое	0,14	0,15	0,16	–	–	–
		0,14	0,14	–	–	–	–
Св. 30 до 50	Черновое и однократное	1,8	2,3	3,0	3,5	–	–
		1,7	2,0	2,7	–	–	–
	Чистовое	0,30	0,30	0,30	0,35	–	–
		0,25	0,30	0,30	–	–	–
	Тонкое	0,15	0,16	0,19	0,21	–	–
		0,15	0,15	0,17	–	–	–
Св. 50 до 80	Черновое и однократное	2,2	2,9	3,4	4,2	5,0	–
		2,0	2,6	2,9	3,6	–	–
	Чистовое	0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	–
		0,30	0,0	0,30	0,35	–	–
	Тонкое	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	–
		0,16	0,17	0,18	0,20	–	–
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	2,6	3,3	4,3	5,2	6,3	8,2
		2,3	3,0	3,8	4,5	5,2	–
	Чистовое	0,30	0,30	0,40	0,45	0,50	0,60
		0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	–
	Тонкое	0,17	0,19	0,23	0,26	0,30	0,38
		0,17	0,18	0,21	0,24	0,26	–

Продолжение табл. П5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Св. 120 до 180	Черновое и однократное	3,2	4,6	5,0	6,2	7,5	–
		2,8	4,2	4,5	5,6	6,7	–
	Чистовое	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	–
		0,30	0,30	0,40	0,45	0,55	–
	Тонкое	0,20	0,24	0,25	0,30	0,35	–
		0,20	0,22	0,23	0,27	0,32	–
Шлифование заготовок							
До 30	Предварительное после термообработки	0,30	0,60	–	–	–	–
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	–	–	–	–
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	–	–	–	–
Св. 30 до 50	Предварительное после термообработки	0,25	0,50	0,85	–	–	–
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	–	–	–
Св. 30 до 50	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	–	–	–
Св. 50 до 80	Предварительное после термообработки	0,25	0,40	0,75	1,2	–	–
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	–	–

Окончание табл. П5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Св. 50 до 80	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	–	–
Св. 80 до 120	Предварительное после термообработки	0,20	0,35	0,65	1,00	1,55	–
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	–
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	–
Св. 120 до 180	Предварительное после чистового точения	0,17	0,30	0,55	0,85	1,30	2,10
	Предварительное после термообработки	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Примечание. 1. Припуски при точении в числителе указаны при установке заготовки в центрах, в знаменателе – в патроне. 2. Если величина припуска при шлифовании не может быть снята за один проход, то 70 % его удаляют на первом проходе и 30 % – на втором. 3. Величины припусков на обработку конических поверхностей принимать те же, что и на обработку цилиндрических, устанавливая их по наибольшему диаметру.

Таблица П5.2

Операционные припуски на бесцентровое шлифование валов
после чистового обтачивания (мм)

Диаметр вала	Операционные припуски при длине вала			
	до 100	св. 100 до 250	св. 250 до 500	св. 500 до 1000
Шлифование сырых валов				
От 6 до 10	0,25	0,30	-	-
Св. 10 до 18	0,30	0,35	-0,45	--
Св. 18 до 30	0,35	0,40	0,50	0,55
Св. 30 до 50	0,40	0,45	0,55	0,60
Св. 50 до 80	0,45	0,50	0,55	0,60
Св. 80 до 120	0,50	0,55	0,60	0,65
Св. 120 до 180	0,55	0,60	0,65	0,70
Шлифование закаленных валов				
От 6 до 10	0,30	0,35	-	-
Св. 10 до 18	0,35	0,40	-	-
Св. 18 до 30	0,40	0,45	0,5	-
Св. 30 до 50	0,45	0,50	0,55	0,60
Св. 50 до 80	0,50	0,55	0,60	0,65
Св. 80 до 120	0,55	0,60	0,65	0,70
Св. 120 до 180	0,60	0,65	0,70	0,75

Таблица П5.3

Припуски на обработку отверстий (мм)

Припуски для заготовок, полученных литьем или штамповкой

Вид обработки отверстия	Припуск на диаметр для интервала диаметров				
	от 30 до 50	от 50 до 80	от 80 до 120	от 120 до 180	от 180 до 260
1	2	3	4	5	6
Черновое растачивание или зенкерование отливок:					
из серого чугуна	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
ковкого чугуна	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5
бронзы	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
горячештампованных заготовок	1,6	2,5	2,5	3,5	4,0
заготовок после свободнойковки	3,0	3,0	3,0	3,5	5,5

Окончание табл. П5.3

1	2	3	4	5	6
Чистовое растачивание или зенкерование:					
после сверления	1,5	1,7	–	–	–
чернового растачивания или зенкерования	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0
Развертывание:					
после зенкерования	0,45	0,55	0,65	–	–
чистового растачивания	0,40	0,45	0,55	–	–
Шлифование незакаленных заготовок при длине обработки					
от 100 до 200	0,35	0,35	0,40	0,45	0,50
св. 200 до 300	–	0,40	0,50	0,50	0,55
Шлифование закаленных заготовок при длине обработки					
от 50 до 100	0,35	0,40	0,60	0,60	0,65
св. 100 до 200	0,35	0,40	0,65	0,65	0,70
св. 200 до 300	–	0,50	0,70	0,70	0,75

Примечание. Припуски на черновую обработку даны без учета глубины дефектного слоя

Припуски для заготовок из проката

Вид обработки отверстия	Припуск на диаметр для интервала диаметров, мм						
	от 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 260
Развертывание:							
черновое	0,15	0,20	0,24	0,27	0,30	–	–
чистовое	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	–	–
Растачивание под шлифование при длине обработки, мм:							
до 50	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	0,60
св. 50 до 100	0,30-	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60	0,60
св. 100 до 300	-	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70
св. 300 до 500	–	–	–	–	0,60	0,60	0,70
Шлифование до термической обработки	0,30	0,30	0,30	0,40	0,50	0,50	–
Шлифование после термической обработки:							
черновое	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	-
чистовое	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	-
Притирка	0,01	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	-

Припуски на диаметр под тонкое (алмазное) растачивание

Материал заготовки	Обработка	Припуск на диаметр при диаметре отверстия, мм				
		до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
Алюминий	черновая	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5
	чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Баббит	черновая	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
	чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Бронза и чугун	черновая	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
	чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Сталь	черновая	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
	чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблица П5.4

Припуски на хонингование отверстий, мм

Диаметр отверстия	После тонкого растачивания	После чистового развертывания	После внутреннего шлифования	Допуск (+) на предварительную обработку по H7
До 50	0,09/0,06	0,09/0,07	0,08/0,05	0,025
Св. 50 до 80	0,1/0,07	0,1/0,08	0,09/0,05	0,030
Св. 80 до 120	0,11/0,08	0,11/0,09	0,1/0,06	0,035
Св. 120 до 180	0,12/0,09	0,12/-	0,11/0,07	0,040
Св. 180 до 250	0,12/0,09	—	0,12/0,08	0,046

Примечание. В числителе приведены припуски для чугуна, в знаменателе – для стали.

Таблица П5.5

Кривизна профиля сортового проката (мкм на 1 мм длины)

Точность проката	Длина проката, мм				
	До 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Обычная	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Повышенная	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Высокая	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Таблица П5.6

Отклонение от соосности (мм) элементов, штампуемых в разных половинах штампа, для поковок типа валов различной точности [5]

Масса штамповки, кг	Точность штамповки			
	На молотах		На прессах	
	повышенная	нормальная	повышенная	нормальная
До 0,25	0,30	0,40	0,20	0,30
Св. 0,25 до 0,63	0,35	0,50	0,25	0,40
Св. 0,63 до 1,60	0,40	0,60	0,30	0,50
Св. 1,60 до 2,50	0,45	0,80	0,35	0,60
Св. 2,50 до 4,00	0,50	1,00	0,40	0,7
Св. 4,00 до 6,30	0,63	1,10	0,45	0,8
Св. 6,30 до 10	0,70	1,20	0,50	0,9
Св. 10 до 16	0,80	1,30	0,60	1,0
Св. 16 до 25	0,90	1,40	0,70	1,1
Св. 25 до 40	1,00	1,60	0,80	1,2
Св. 40 до 63	1,20	1,80	–	–
Св. 63 до 100	1,40	2,20	–	–
Св. 100 до 125	1,60	2,40	–	–
Св. 125 до 160	1,80	2,70	–	–
Св. 160 до 200	2,20	3,20	–	–

Таблица П5.7

Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) для поковок

Вид обработки	Диаметр или размер, мм				
	До 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 500
Ковка	3,00	2,00	1,00	0,80	0,60
Механическая обработка:					
обдирочная	1,50	1,00	0,50	0,40	0,30
черновая	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10
получистовая	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
После термообработки (закалка и правка)	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02

Таблица П5.8

Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) для поковок типа валов

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

Таблица П5.9

Отклонение от concentричности отверстий $\Delta_{экс}$ и коробление $\Delta_{кор}$ высадки поковок типа дисков и рычагов, получаемых на прессах, различной точности

Толщина поковок, мм	$\Delta_{экс}$, мм	$\Delta_{кор}$, мм
1	2	3
До 50	0,5/0,8	0,5/0,5
Св. 50 до 120	0,63/1,4	0,5/0,5

Окончание табл. П5.9

1	2	3
Св. 120 до 180	0,80/2,0	0,5/0,7
Св. 180 до 260	1,00/2,8	0,6/0,9
Св. 260 до 360	1,5/3,2	0,7/1,0
Св. 360 до 500	2,5/3,6	0,8/1,1

Таблица П5.10

Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) на горизонтально-ковочной машине

Длина стержня, мм	Диаметр стержня, мм				
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120
До 120	6	8	12	16	20
Св. 120 до 180	4	6	8	12	16
Св. 180 до 500	2	4	4	6	6
Св. 500 до 1000	1	2	3	3	3

Таблица П5.11

Смещение $\Delta_{см}$ (мм) оси фланца относительно стержня
при высадке его на ГКМ

Высота фланца H , мм	Диаметр фланца, мм		
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260
До 18	0,25	0,25	0,50
Св. 18 до 50	0,25	0,50	0,50
Св. 50 до 120	0,50	0,50	0,75
Св. 120 до 180	0,50	0,75	0,75

Таблица П5.12

Отклонение от перпендикулярности Δ_n (мкм на 1мм радиуса)
торца фланца к оси поковки

Масса поковки, кг	При штамповке	
	На прессе	На ГКМ
1	2	3
До 0,25	0,2	0,3
Св. 0,25 до 1,6	0,3	0,5

Окончание табл. П5.12

1	2	3
Св. 1,6 до 4	0,4	0,7
Св. 4 до 10	0,5	0,9
Св. 10 до 25	0,6	1,1
Св. 25 до 40	0,7	1,2

Таблица П5.13

Кривизна поковки Δ_k после ковки на ВРКМ

Диаметр поковки, мм	Δ_k , мкм на 1 мм длины
До 60	2
Св. 60	1

Таблица П5.14

Удельное коробление отливок

Детали	Δ_k , мкм на 1мм длины
Корпусные	0,7–1,0
Плиты	2–3

Примечание.

1. Величина смещения отливок по плоскости разъема определяется по ГОСТ 26645–85.

2. Базирование заготовки по черному отверстию следует использовать только на первой операции.

Таблица П5.15

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

Технологический переход	K_y
1	2
Однократное и черновое точение штампованных заготовок, заготовок из горячекатаного проката, предварительное шлифование проката	0,06

1	2
Получистовая обработка заготовок из проката, штампованных заготовок, рассверливания отверстий, смещение оси отверстия после черновой обработки	0,05
Чистовое точение заготовок из сортового проката обыкновенного качества, штампованных заготовок, после первого технологического перехода обработки литых заготовок, после чистового шлифования проката	0,04
Двукратное обтачивание калиброванного проката или двукратное шлифование заготовок после токарной обработки	0,02
Получистовая обработка (зенкерование и черновое развертывание) отверстий	0,005
Чистовая обработка – развертывание отверстий	0,002

Таблица П5.16

**Погрешность установки заготовок в патронах
и на оправках без выверки**

Тип патрона или оправки	Квалитет базы заготовки	Погрешность установки, мкм, для направления	
		радиального	осевого
1	2	3	4
Цанговые оправки при диаметре установочной поверхности: до 50 св. 50 до 200	7–9	10–35 20–60	20 50
Трехкулачковые патроны с незакаленными кулачками или разрезными втулками при диаметре до 120 мм	При зазоре до закрепления погрешность 0,02–0,10 мм	10–30	10–120
Двухкулачковые патроны при диаметре детали 200 мм: с винтами с рейками	11–13	100–200 20–60	60–10 15–40

Окончание табл. П5.16

1	2	3	4
Цилиндрические оправки с гайками (установка на оправку с зазором)	8–11	В пределах допуска зазора	10
Конусные оправки при длине отверстия менее $1,5 d$	7	30	Определяется размерами деталей и оправок
Патроны и оправки с упругими втулками и гидропластмассой при отверстии длиной: до $0,5 d$ свыше $3,0 d$	7–9	3–10 10–20	– –
Патроны и оправки с пластинчатыми (тарельчатыми) пружинами	7–11	10–20	–
Патроны и оправки с упругими втулками и роликами, опирающимися на тела, имеющие форму гиперболоида вращения	7–8	3–8	–
Мембранные патроны	7–9	3–8	–
Патроны и оправки с упругими элементами гофрированного типа	5–7	2–5	–

Примечание. Применение пневматических и гидравлических силовых узлов позволяет уменьшить погрешность установки на 20–40 %. Обработку с использованием незакаленных кулачков и втулок применяют при партии деталей не более 80–120 шт.

Практическая работа № 6

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССОВ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Цель работы: ознакомиться с основными теоретическими, конструктивными и технологическими особенностями размерного анализа деталей сложной формы, научиться производить размерные расчеты такого рода деталей.

6.1. Основные особенности конструкции и расчета деталей типа корпусов, плит, рычагов и вилок

В предыдущих практических работах рассматривались детали сравнительно простой формы, что позволяло рассчитывать отдельно линейные размеры, отдельно – диаметры и эксцентриситеты. На практике встречается большое количество более сложных деталей (корпусы, плиты, различного рода рычаги, вилки и т.д.). В таких деталях невозможно отдельно рассчитывать линейные размеры, отдельно смещения, диаметры и эксцентриситеты.

Это объясняется тем, что в такого рода деталях плоские и цилиндрические поверхности геометрически связаны между собой. Анализ такой геометрической структуры и основанный на нем расчет линейных и диаметральных размеров имеет свои особенности, обусловленные конструктивными и технологическими признаками.

В деталях сложной формы чаще всего обрабатываются плоскости и отверстия, размеры и положение которых задаются линейными размерами, диаметрами и различными техническими условиями на допустимые отклонения расположения.

На рис. 6.1 представлена деталь с двумя линейными размерами, двумя диаметрами и техническим условием на допустимое смещение оси отверстия относительно оси бобышки.

Перечислить и учесть в расчетах все возможные конструктивные особенности деталей сложного профиля не представляется возможным. Однако некоторые наиболее характерные из них следует отметить.

1. Смешанное задание координат детали в виде линейных размеров, диаметральных размеров и эксцентриситетов (рис. 6.1). На нем представлена деталь с двумя линейными, двумя диаметральными размерами и техническим требованием на допустимое смещение оси отверстия относительно оси бобышки.

2. Размеры и технические условия на чертежах указываются от скрытых баз – координатных осей или осей симметрии (рис. 6.2). Допустимые смещения отверстия ($2E_2$) и внутренней полости ($2E_1$) относительно наружных поверхностей задано в форме, принятой при построении схем обработки.

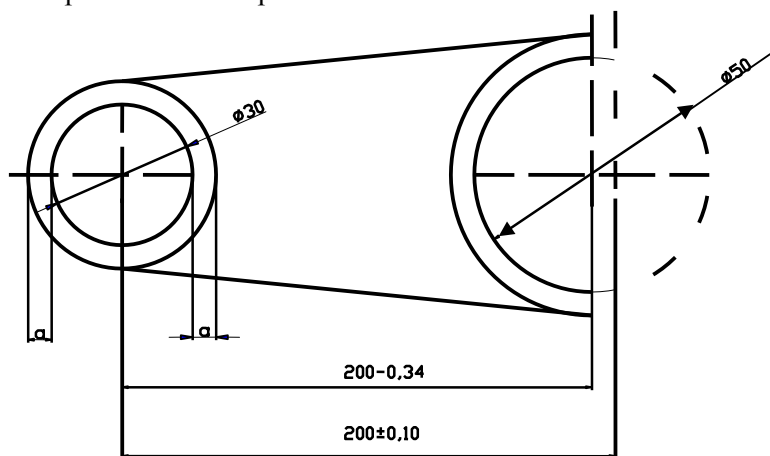


Рис. 6.1. Эскиз детали

Смещение осей и на схеме обработки, и в расчетах необходимо удваивать, т.к. каждое смещение может располагаться в любую сторону от номинала. Следовательно, расстояние между двумя предельными положениями оси равно удвоенной величине смещения. Номинальная величина смещения всегда равна нулю. Например, на рис. 6.1 допуском (равным 1,0 мм) задано допустимое смещение оси отверстия относительно оси бобышки на величину $0 \pm 0,5$.

3. Зачастую несколько поверхностей координируется одним размером. Так, на рис. 6.3 представлена деталь с размером S_1 от левой стороны наружного контура до осей двух отверстий. Если эти отверстия обрабатываются по-разному, то для расчетов эти отверстия на схеме должны обозначаться двумя равными по величине размерами (рис. 6.3, б).

4. При наличии симметричных поверхностей размеры, заданные на чертеже, бывает удобнее на схеме обработки разделить на два размера (рис. 6.4).

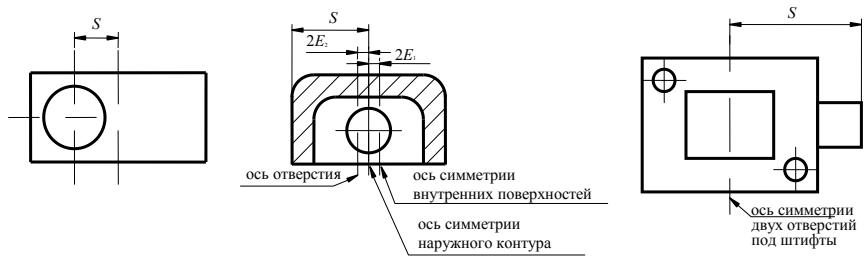


Рис. 6.2. Примеры деталей с размерами от осей симметрии

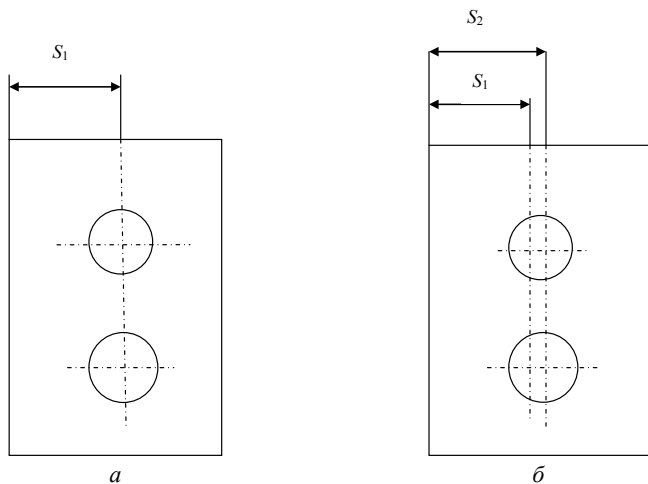


Рис. 6.3: *a* – размеры на чертеже детали; *б* – размеры на схеме обработки

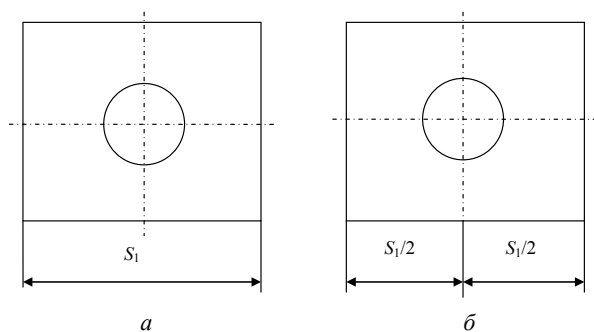


Рис. 6.4: *a* – размеры на чертеже детали; *б* – размеры на схеме обработки

6.2. Технологические особенности деталей сложной формы и их отражение в расчетах

Т.к. в деталях сложной формы чаще всего обрабатываются плоскости и отверстия, то возникает необходимость рассчитывать линейные размеры, диаметры и их эксцентриситеты (смещения от некоторого номинального положения).

Припуски при обработке плоскостей как в размерной схеме техпроцесса, так и в расчете учитываются так же, как и при расчете линейных размеров.

При обработке отверстий припуски непосредственно в схему обработки не входят. Однако при каждом новом переходе обработки отверстия необходимо указывать новую ось и рассчитывать ее смещение относительно прежнего положения (т.е. необходимо определить эксцентриситет припуска так, как это делается при расчете диаметральных размеров и эксцентриситетов).

На рис. 6.5, к примеру, показана схема обработки пластины, где $A_{0,1}$ – координата отверстия в заготовке; $A_{1,1}$ и S_1 – координата отверстия в готовой детали; $2ez_{1,1}$ – удвоенный эксцентриситет припуска. Отверстие на схеме рисуется только один раз, но указываются все оси поверхностей, образующихся при обработке. Указывать диаметральные размеры не требуется.

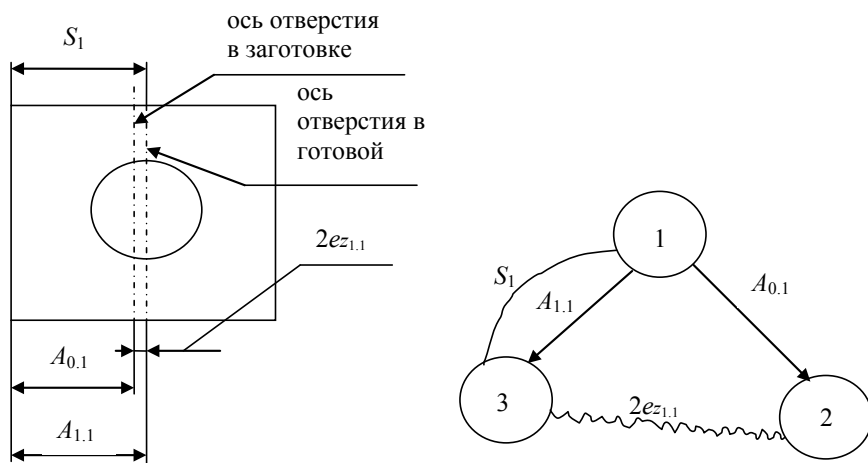


Рис. 6.5. Схема обработки и граф размерных связей для детали с отверстием

В технологических расчетах часто приходится вводить и рассчитывать смещение осей, возникающих в процессе обработки. В качестве примера на рис. 6.6 показаны два смещения: $2e_{0,1}$ – образуется при получении заготовки, $2e_{1,1}$ – при установке кондуктора с выверкой по наружному контуру детали. Величины этих смещений определяют по справочным данным.

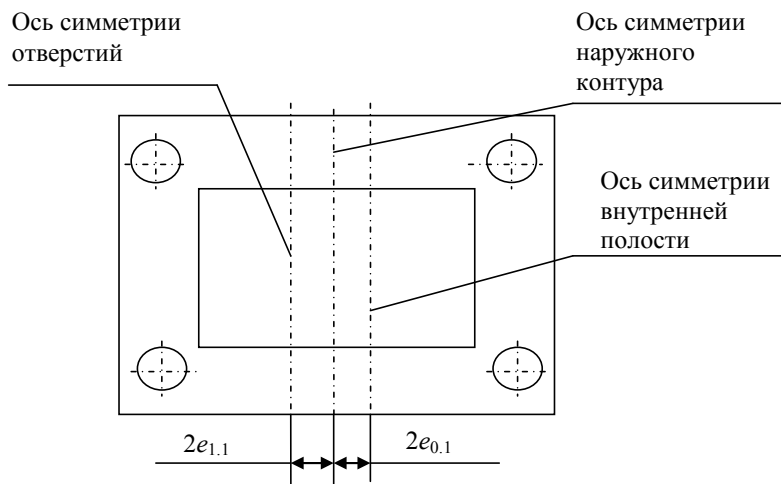


Рис. 6.6. Смещение осей в заготовке и при обработке детали

Особенности технологии изготовления заготовок и их механической обработки следует учитывать в расчетах в соответствии с конкретными условиями выполнения технологического процесса.

Замыкающими звеньями такого рода цепей являются технические условия на отклонение от симметричности, смещение, разностенность и т.д., торцевые припуски и эксцентриситеты диаметральных размеров. В роли составляющих звеньев будут выступать линейные технологические размеры, смещение осей в заготовках при установке в приспособлениях и при механической обработке.

Как обычно, перед началом расчета строят размерную схему техпроцесса и граф размерных цепей (см. рис. 6.5). Расчет ведется традиционно, но в расчетные уравнения включают величины смещения осей ($2e_i$).

Все остальные особенности рассмотрим на конкретных примерах.

6.3. Расчет линейных размеров (к рис. 6.5)

Пусть задано, что $S_1 = 50 \pm 0,1$.

Допуски на технологические размеры определяются обычным образом в соответствии с чертежом и принятыми методами обработки. Примем $T_{A_{0.1}} = 0,5$ мм, $T_{A_{1.1}} = 0,2$ мм.

Из уравнения размерной цепи $S_1 = A_{1.1}$. Из него можно определить ожидаемую погрешность замыкающего звена

$$\varepsilon_S = T_{A_{1.1}} = 0,2 \text{ мм.}$$

Для расчета размеров составляют расчетные уравнения. Как уже было отмечено выше, $A_{1.1} - S_1 = 0$. С другой стороны

$$A_{1.1} = A_{0.1} + 2e_{Z1.1}.$$

Тогда

$$A_{0.1} + 2e_{Z1.1} - S_1 = 0.$$

Номинальное значение размера

$$A_{1.1} = S_1 = 50.$$

Так как принятый допуск $T_{A_{1.1}} = 0,2$ мм, то

$$A_{1.1} = 50 \pm 0,1 \text{ мм.}$$

Из данного примера видно, что при отсутствии припусков на торцовых поверхностях номинальные величины размеров A_i не меняются. Отличаются только допуски на эти размеры. Номинальная же величина эксцентриситетов в уравнениях должна приниматься равной нулю.

6.4. Расчет диаметров (к рис. 6.5)

Пусть известно, что $d = 20^{+0,14}$ мм, $Z_{\min} = 0,1$ мм.

Допуск на отверстие в заготовке и при обработке принимается в соответствии с чертежом и с точностью принятых методов обработки:

$$T_{d0.1} = 0,28 \text{ мм; } T_{d1.1} = 0,14 \text{ мм.}$$

Диаметр $d_{1.1}$ равен чертежному конструкторскому размеру, т.е.:

$$d_{1.1} = 20^{+0,14} \text{ мм.}$$

Диаметр $d_{0.1}$ рассчитывается по известной формуле для отверстий

$$d_{0.1} = d_{1.1} - 2(Z_{\min} + e_{z1.1}) - T_{d0.1}.$$

Величина $e_{z1.1}$ определяется из размерной цепи на графе

$$2e_{z1.1} = T_{A_{1.1}} + T_{A_{0.1}} = 0,2 + 0,5 = 0,7 \text{ мм.}$$

Следовательно

$$e_{z1.1} = 0,35 \text{ мм.}$$

Тогда

$$d_{0.1} = 20 - 2(0,1 + 0,35) - 0,28 = 18,82 \approx 18,8 \text{ мм.}$$

Т.е.

$$d_{0.1} = 18,8^{+0,28} \text{ мм.}$$

Проверка:

$$\begin{aligned} Z_{1.1} &= \frac{1}{2} d_{1.1} - \frac{1}{2} d_{0.1} - 2 e_{z1.1} = \\ &= 10^{+0,7} - 9,4^{+0,14} - 0 \pm 0,35 = 0,6_{-0,49}^{+0,42} \text{ мм.} \end{aligned}$$

Получилось, что расчетный минимальный припуск на сторону на 0,01 мм больше, чем задано ($Z_{\min \text{ расч}} = 0,6 - 0,49 = 0,11$ мм). Это объясняется тем, что размер $d_{0.1}$ был округлен на 0,02 мм, т.е. припуск на диаметр при округлении был изменен на 0,02 мм.

Рассмотрим более сложный пример, когда при обработке детали меняются линейные размеры, а в технологии меняется положение осей.

На рис. 6.7 показана схема обработки вилки с двумя линейными размерами S_1 и S_2 , двумя диаметрами и техническим условием на

смещение отверстия относительно бобышки ($2TE$). Здесь S_1 – расстояние между осями отверстия и бобышки, S_2 – расстояние от оси отверстия до торцов полуотверстия вилки.

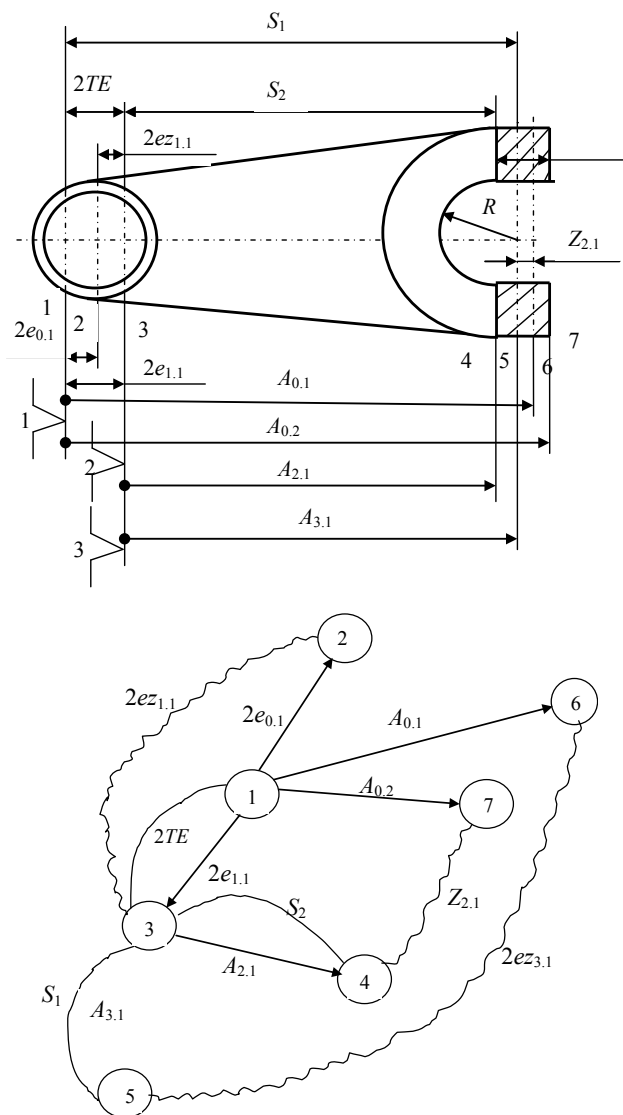


Рис. 6.7. Схема обработки вилки и граф размерных связей

В заготовке смещение осей равно $2e_{0,1}$, при обработке – $2e_{1,1}$. Линейные размеры A_i соответствуют заготовке и двум операциям механической обработки.

По графу размерных цепей рассчитываются все размеры заготовки. Уравнения для расчета размеров заготовки имеют вид

$$A_{0,2} - Z_{2,1} - A_{2,1} - 2e_{1,1} = 0;$$

$$A_{0,1} - 2ez_{3,1} - A_{3,1} - 2e_{1,1} = 0.$$

Расчет производится по средним размерам. Средняя величина припуска определяется по формуле

$$Z_{2,1} = Z_{\min} + (\rho z_{2,1})/2.$$

В свою очередь

$$\rho z_{2,1} = TA_{2,1} + 2e_{1,1} + TA_{0,1}.$$

В данном случае $2e_{1,1}$ – не нуль, а удвоенная величина смещения оси отверстия при установке детали в приспособление для обработки отверстия.

Средняя величина $2e_{1,1}$ и $2ez_{3,1}$ равна нулю. Для проверки полученных при расчете размеров составляются уравнения размерных цепей. Например, для проверки правильности определения припуска $Z_{2,1}$ примем $Z_{\min} = 0,25$; $A_{0,2} = 201 \pm 0,5$; $A_{2,1} = 200_{-0,34}$; $2e_{1,1} = 0 \pm 0,25$.

Тогда

$$Z_{2,1} = 201 \pm 0,5 - 200_{-0,34} - 0 \pm 0,25 = 1_{-0,75}^{+1,09};$$

$$Z_{\min} = 1,0 - 0,75 = 0,25.$$

Для расчета диаметров необходимо знать $ez_{1,1}$ и $ez_{3,1}$.

$$2ez_{1,1} = 2e_{0,1} + 2e_{1,1};$$

$$2ez_{3,1} = TA_{3,1} + 2e_{1,1} + TA_{0,1}.$$

Все остальные расчеты стандартные.

6.5. Пример расчета размеров корпусной детали

6.5.1. План обработки

Заготовкой детали-кронштейна, выбранной в качестве примера, является отливка в земляные формы. Маршрут ее обработки следующий.

Операция 005 Протягивание плоскости основания.

Операция 010 Сверление, зенкерование, развертывание отверстия $\varnothing 17$ и зенкование выборок $\varnothing 26$ на агрегатном станке.

Операция 015 Фрезерование торца бобышки.

Операция 020 Черновое растачивание отверстия $\varnothing 60$ и выточки $\varnothing 70$ на агрегатном станке.

Операция 025 Чистовое растачивание тех же отверстий на агрегатном станке.

Операция 030 Моющая.

Операция 035 Слесарная.

Операция 040 Тонкая расточка отверстия $\varnothing 60$ на алмазно-расточном станке.

Базами при протягивании являются «черные» поверхности платиков. На операции 010 базами служат обработанное основание и необработанные торцы платиков. На всех остальных операциях базирование производится по плоскости основания и двум отверстиям $\varnothing 17$.

6.5.2. Разработка схемы обработки кронштейна в плоскости, параллельной основанию.

В этой плоскости расположены координаты всех отверстий, поэтому можно рассчитать их диаметры. Для этого необходимо построить схему обработки (рис. 6.8).

В отливке координаты отверстий заданы размерами $A_{0.1}$ и $A_{0.2}$, показанными на схеме. Затем на эту схему наносятся размеры, полученные при обработке заготовки на второй механической операции (010), – обработка отверстий $\varnothing 17$. Обработка выборок $\varnothing 26$ не показана.

На агрегатном станке базовый торец платика (поверхность 1 на рис. 6.8) закоординирован относительно кондукторной плиты размером $A'_{2.0}$, а между кондукторными втулками задан размер $A''_{2.0}$ (рис. 6.8). Сверла и зенкер смещаются относительно этих втулок на величины $2ez_1$, $2ez_2$, $2ez_3$ и $2ez_4$. Развертки устанавливаются свободно по оси отверстия (т.е. их смещения $2e_{2.5}$ и $2e_{2.6}$ равны нулю).

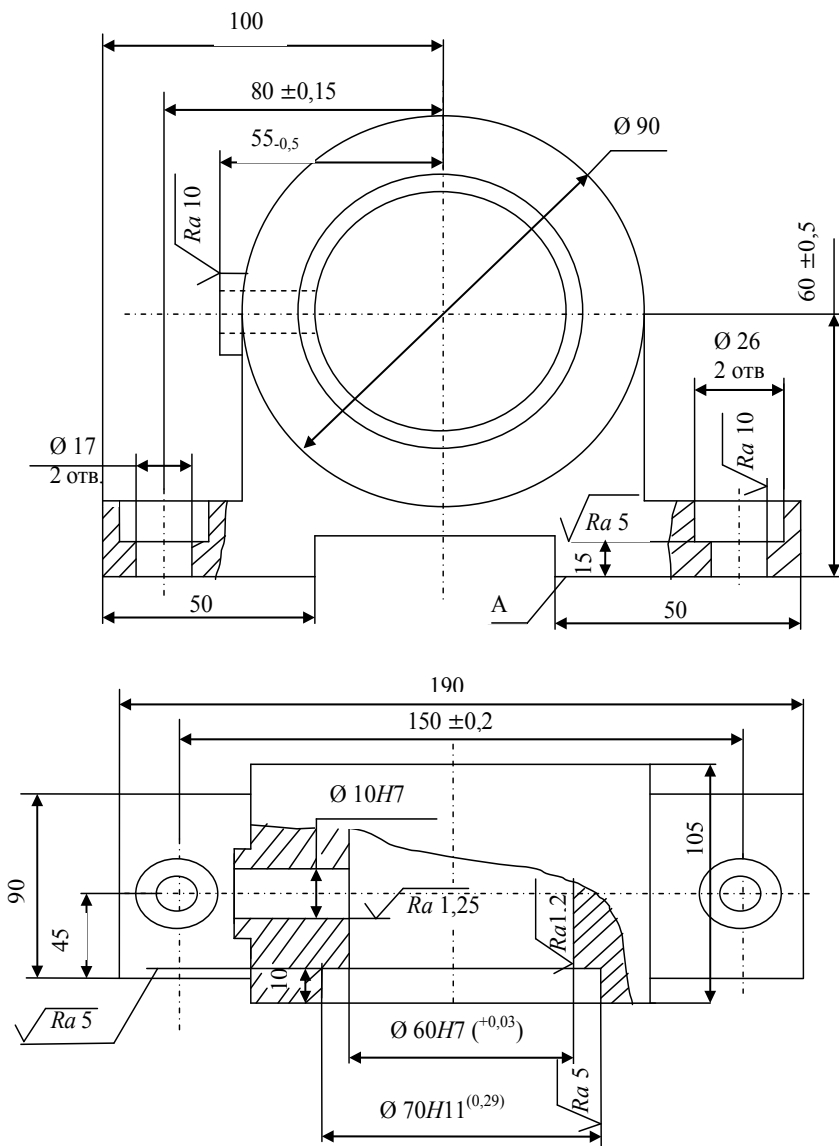


Рис. 6.8. Кронштейн

1. Материал СЧ15.

2. Неуказанные радиусы – 10 мм.

3. Параллельность оси отверстия $\varnothing 60H7$ относительно плоскости $A - 0,02$ не более.

4. Несоосность отверстий $\varnothing 60H7$ и $\varnothing 70H11 - 0,2$ не более.

На остальных операциях на базе уже развернутого отверстия (ось 5 на рис. 6.9) растачиваются основные отверстия на координаты $A_{4.1}$, $A_{5.1}$, $A_{8.1}$, а торец бобышки фрезеруется в размер $A_{3.1}$.

Обработка выточки $\varnothing 70$ осуществляется за одну установку с обработкой отверстия $\varnothing 60$, поэтому смещение оси выточки указано на схеме относительно оси этого отверстия (на рис. 6.9 $2e_{4.2}$ и $2e_{5.2}$).

Такая подробная схема обработки построена для того, чтобы показать методические возможности расчетно-аналитического метода размерного анализа применительно к сложным деталям.

Для данной детали можно было бы построить более простую схему обработки, ограничившись менее точными расчетами, не вводя в схему обработки размерные связи приспособления и не рассчитывая припуски на крепежные отверстия.

6.6. Построение графа размерных связей и расчет прогнозируемых погрешностей и размеров

На рис. 6.10 построен граф размерных цепей для размеров, параллельных плоскости основания. На нем в качестве замыкающих звеньев указаны основные размеры чертежа и все эксцентриситеты диаметральных припусков. После выявления размерных цепей можно рассчитать ожидаемую погрешность всех замыкающих звеньев. С этой целью на всех технологических размерах A_i и $2e_i$ указаны их допуски, которые взяты из столбца 2 табл. 6.1.

Величины этих допусков определяются обычным способом, т.е. в соответствии с точностью принятых методов обработки и условиями выполнения конкретных операций. Расчет технологических размеров A_i , припуска $Z_{3.1}$, эксцентриситетов припусков $2ez_i$ и ожидаемых погрешностей замыкающих звеньев приведен в столбцах 3 и 4 той же таблицы.

Из этих расчетов видно, что технические требования чертежа выдерживаются.

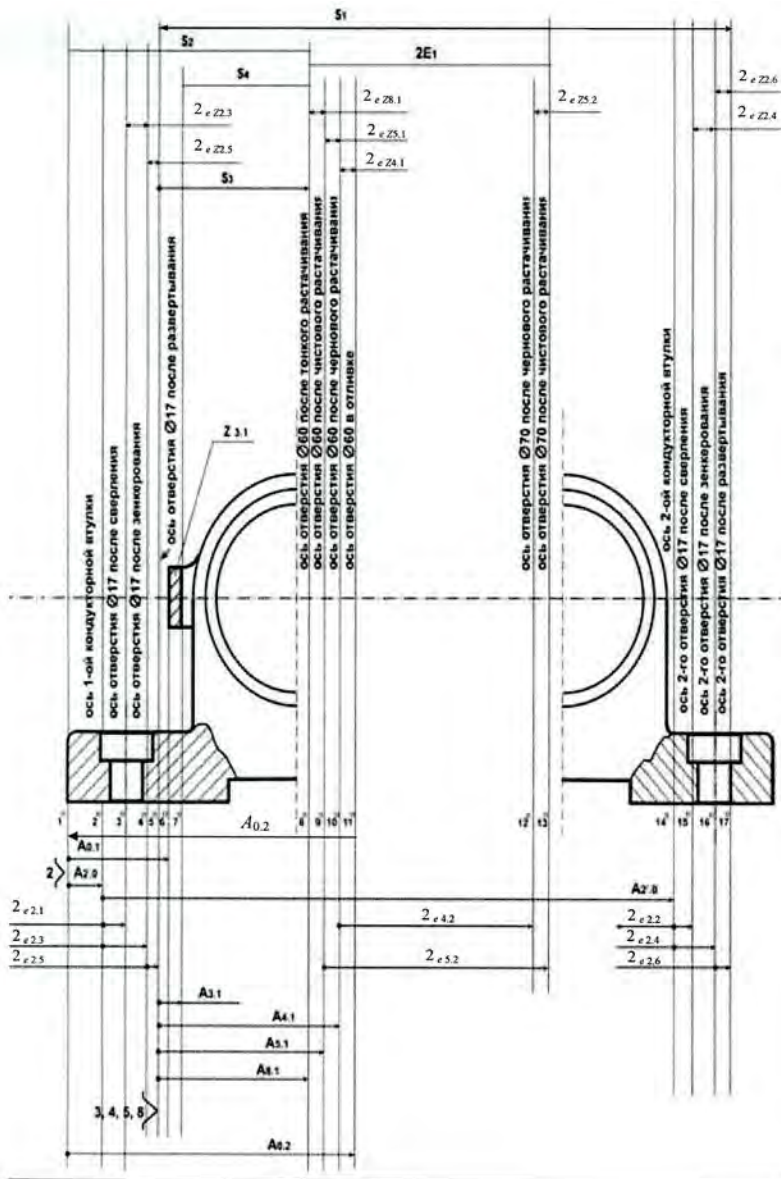


Рис. 6.9. Размерная схема технологического процесса обработки кронштейна

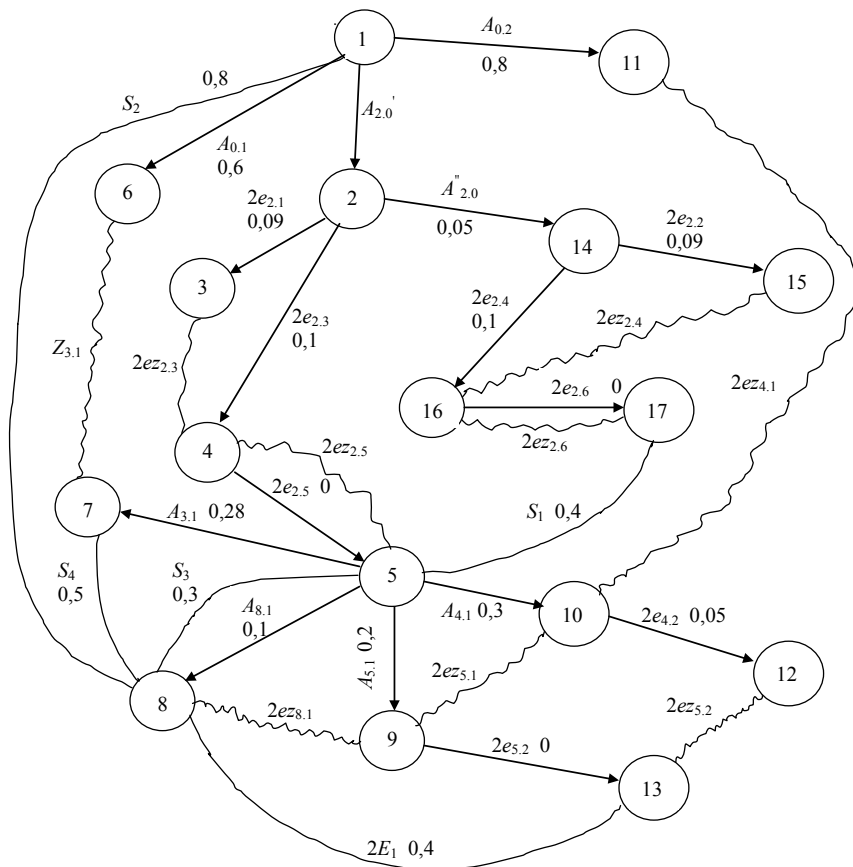


Рис. 6.10. Граф размерных цепей кронштейна

Таблица 6.1

Размерные расчеты для детали «кронштейн»

Обозначение	Отклонение ε погрешности	Расчетные уравнения	Размер
1	2	3	4
$A_{0,1}$	$\pm 0,3$	$A_{0,1} + Z_{3,1} + S_4 - S_2 = 0$	$43,8 \pm 0,3$
$A_{0,2}$	$\pm 0,4$	$A_{0,2} - 2ez_{4,1} - A_{4,1} + S_3 - S_2 = 0$	$100 \pm 0,4$
$A'_{2,0}$	$\pm 0,25$	$A'_{2,0} + 2ez_{2,3} + 2ez_{2,5} + S_3 - S_2 = 0$	$20 \pm 0,25$

1	2	3	4
$A''_{2.0}$	$\pm 0,025$	$A''_{2.0} + 2e_{2.4} + 2e_{2.6} - S_1 - 2e_{2.5} - 2e_{2.3} = 0$	$150 \pm 0,025$
$2e_{2.1}$	–	$2\sqrt{[c_0^2 + (\Delta y \cdot L)^2]} = 2\sqrt{[0,02^2 + (1,3 \cdot 0,03)^2]}$	0,09
$2e_{2.2}$	–	то же	0,09
$2e_{2.3}$	$2\epsilon_{\text{инд}} = 2 \cdot 0,05$	$2e_{2.3} = 2e_{2.3} + 2e_{2.1} = 0,1 + 0,09 = 0,19$	0,19
$2e_{2.4}$	то же	$2e_{2.4} = 2e_{2.4} + 2e_{2.2} = 0,1 + 0,09 = 0,19$	0,19
$2e_{2.5}$	0	$2e_{2.5} = 2e_{2.5} = 0$	0
$2e_{2.6}$	0	$2e_{2.6} = 2e_{2.6} = 0$	0
$A_{3.1}$	$-0,28$	$A_{3.1} + S_4 - S_3 = 0 \quad A_{3.1} = 25,1 - 0,28$	$25,1_{-0,28}$
$A_{4.1}$	$\pm 0,15$	$A_{4.1} - 2e_{5.1} - A_{5.1} = 0 \quad A_{4.1} = 80 \pm 0,15$	$80 \pm 0,15$
$2e_{4.2}$		$2\Delta y = 2(K_{\text{гр}} \cdot e_{z5.1}) = 2 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = 0,05$	0,05
$A_{5.1}$	$\pm 0,1$	$A_{5.1} - 2e_{z8.1} - S_3 = 0 \quad A_{5.1} = 80 \pm 0,1$	$80 \pm 0,1$
$2e_{z5.2}$	0	$2e_{z5.2} = 1,2\sqrt{[2e_{5.2}^2 + (TA_{5.1})^2 + (TA_{4.1})^2 + 2e_{4.2}^2]} = 1,2\sqrt{[0^2 + 0,2^2 + 0,3^2 + 0,05^2]} \approx 0,44$	0,44
$A_{8.1}$	$\pm 0,05$	$A_{8.1} - S_3 = 0 \quad A_{8.1} = 80 \pm 0,05$	$80 \pm 0,05$
$2e_{z4.1}$		$2e_{z4.1} = 1,2\sqrt{[(TA_{4.1})^2 + (2e_{2.5})^2 + (2e_{2.3})^2 + (TA_{2.0})^2 + (TA_{0.2})^2]} = 1,2\sqrt{[0,3^2 + 0^2 + 0,1^2 + 0,5^2 + 0,8^2]} \approx 1,2$	1,2
$2e_{z5.1}$		$2e_{z5.1} = TA_{4.1} + TA_{5.1} = 0,3 + 0,2 = 0,5$	0,5
$2e_{z8.1}$		$2e_{z8.1} = TA_{5.1} + TA_{8.1} = 0,2 + 0,1 = 0,3$	0,3
$Z_{3.1}$	$Z_{\text{min}3.1} = 0,6$	$\rho_{z3.1} = 1,2\sqrt{[TA_{3.1}^2 + (2e_{2.5})^2 + (2e_{2.3})^2 + (TA_{2.0})^2 + TA_{0.1}^2]} = 1,2\sqrt{[0,28^2 + 0^2 + 0,1^2 + 0,5^2 + 0,5^2]} \approx 1,0$	1,0
S_1	$150 \pm 0,2$	$\rho_{S_1} = 1,2\sqrt{[(2e_{2.6})^2 + (2e_{2.4})^2 + (TA_{2.0})^2 + (2e_{2.3})^2 + (2e_{2.5})^2]} = 1,2\sqrt{[0^2 + 0,1^2 + 0,05^2 + 0,1^2 + 0^2]} \approx 0,18$	0,18
S_2	$100 \pm 0,4$	$\rho_{S_2} = 1,2\sqrt{[(TA_{8.1})^2 + (2e_{2.5})^2 + (2e_{2.3})^2 + (TA_{2.0})^2]} = 1,2\sqrt{[0,1^2 + 0^2 + 0,1^2 + 0,5^2]} \approx 0,625$	0,625
S_3	$80 \pm 0,15$	$\rho_{S_3} = TA_{8.1} = 0,1$	0,1
S_4	$55_{-0,6}$	$\rho_{S_4} = TA_{8.1} + TA_{3.1} = 0,1 + 0,28 = 0,38$	0,38
$2E_1$	0,4	$\rho_{2E_1} = TA_{8.1} + TA_{5.1} + 2e_{5.2} = 0,1 + 0,2 + 0 = 0,3$	0,3

Для расчета диаметров необходимо воспользоваться стандартной расчетной таблицей. Все необходимые данные для ее заполнения имеются. В качестве примера определяется диаметр чистового растачивания отверстия $\varnothing 60H7$.

$$\begin{aligned} D_{5.1} &= D_{8.1} - [2(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + 2ez_{8.1} + TD_{5.1}] = \\ &= 60 - (2 \cdot 0,02 + 0,3 + 0,12) = 59,54. \end{aligned}$$

После округления получим:

$$D_{5.1} = 59,5^{+0,12}.$$

Кроме диаметров отверстий необходимо рассчитать линейные размеры $A_{3.1}$ и $A_{0.1}$ и координаты осей отверстий $A_{8.1}$, $A_{5.1}$ и т.д. Расчетные уравнения составляются по графу размерных цепей (см. рис. 6.10).

Например, по графу находится уравнение размерного контура для определения $A_{0.2}$:

$$D_{5.1} = 59,5^{+0,12}.$$

$$A_{0.2} - 2ez_{4.1} - A_{4.1} + S_3 - S_2 = 0.$$

$$A_{0.2} = 2ez_{4.1} + A_{4.1} - S_3 + S_2 = 100 + 80 + 0 - 80 = 100.$$

Окончательно получим:

$$A_{0.2} = 100 \pm 0.4.$$

Средние значения звеньев S_3 и S_2 взяты из столбца 2 табл. 6.1, а значения $A_{4.1}$ – из столбца 4. Среднее же значение любого эксцентриситета припуска равно нулю.

Анализируя таблицу, можно прийти к выводу, что размеры A_i и $2e_i$ рассчитывать, чаще всего, не приходится, т.к. номинальное значение e_i равно нулю, а размеры A_i соответствуют координатам чертежа детали. В данном случае расчет размера $A_{0.2}$ приведен из чисто методических соображений.

При размерном анализе техпроцесса обработки корпусных деталей в основном необходимо рассчитывать эксцентриситеты припусков, необходимых для расчета диаметров.

Расчет эксцентриситетов проводят только в одной плоскости. Однако более точные результаты дает расчет эксцентриситетов припусков в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а затем – их квадратичное суммирование.

6.7. Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями и особенностями размерных расчетов деталей сложной формы.
2. Вычертить эскиз детали в соответствии с заданием.
3. Составить техпроцесс обработки по указанным координатным осям.
4. Нанести все необходимые оси симметрии, проставить размеры и припуски.
5. Построить граф размерных цепей детали.
6. Пользуясь табл. П6.1, составить уравнения размерных цепей и произвести необходимые расчеты.
7. Свести результаты расчетов в таблицу.
8. Оформить отчет о работе.

6.8. Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.
2. Основные особенности размерного анализа техпроцессов деталей сложной формы.
3. Эскиз детали.
4. Размерная схема техпроцесса.
5. Граф размерных цепей.
6. Размерные цепи и уравнения для расчета размеров.
7. Расчеты заданных размеров, сведенные в таблицу.
8. Выводы.

6.9. Контрольные вопросы

1. Каковы особенности расчета размерных цепей деталей сложной формы?
2. Какие особенности расчета припусков при обработке отверстий в деталях сложной формы вам известны?
3. Как оформляется эскиз детали симметричной формы?

4. Как строится граф размерных цепей деталей сложной формы?
5. Как рассчитываются размеры, припуски и их эксцентриситеты?
6. Как подразделяются эксцентриситеты припусков при размерных расчетах?

6.10. Задания к практической работе № 6

Во всех заданиях необходимо определить линейные, диаметральные размеры, а также эксцентриситеты припусков.

1. Шестерня *ТМ* 4.53, заготовка – штамповка на ГКМ.

Операция 005 Точение черновое $\varnothing 90k6$, $\varnothing 104$ и $\varnothing 134,4_{-0,25}$, растачивание черновое $\varnothing 57$ и $\varnothing 67$, снять фаску в отверстии. Базы – $\varnothing 104$ и левый торец.

Операция 010 Повторить переходы 1–3 и 5, 6 при установке на $\varnothing 90k6$ и правый торец.

Операция 015 Повторить переходы 1–3 операции 005 (чистовое точение) при установке в центрах с упором в левый торец.

Операция 020 Повторить переходы 1 и 2 операции 005 (чистовое точение) при установке в центрах с упором в правый торец.

Операция 025 Протянуть фигурное отверстие. Базы – протягиваемое отверстие и торец шестерни.

Операция 030 Зубофрезерная.

Операция 035 Шлифование черновое $\varnothing 90k6$ с двух сторон одновременно. Базы – центровые фаски.

2. Валик *ТМ* 5.13, заготовка – поперечно-винтовой прокат.

Операция 005 Фрезерно-центровальная. Фрезеровать торцы и центровать с двух сторон. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 010 $\varnothing 30$, $\varnothing 26k6$, $\varnothing 20k6$ и $\varnothing 17k6$ – точение чистовое. Базы – центровые отверстия и торец.

Операция 015 Шлифование черновое $\varnothing 26k6$, $\varnothing 20k6$ и $\varnothing 17k6$ с переустановкой. Базы – центровые отверстия.

Операция 020 Шлифование чистовое $\varnothing 26k6$, $\varnothing 20k6$ и $\varnothing 17k6$ с переустановкой. Базы – центровые отверстия.

Операция 025 Шлифование тонкое $\varnothing 26k6$, $\varnothing 20k6$ и $\varnothing 17k6$ с переустановкой. Базы – центровые отверстия.

3. Кольцо подшипника *ТМ* 2.5, заготовка – штамповка на кривошипном горячештамповочном прессе.

Операция 005 Растачивание $\varnothing 31^{+0,064}_{+0,028}$ черновое, проточка канавки и подрезка доньшка. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 010 Точение $\varnothing 39_{-0,025}$ и $\varnothing 36,5^{+0,17}$ черновое. Базы – отверстие $\varnothing 31^{+0,064}_{+0,028}$ и торец доньшка.

Операция 015 Растачивание $\varnothing 31^{+0,064}_{+0,028}$ чистовое и подрезка доньшка. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 020 Точение $\varnothing 39_{-0,025}$ и $\varnothing 36,5^{+0,17}$ чистовое. Базы – отверстие $\varnothing 31^{+0,064}_{+0,028}$ и торец доньшка.

Операция 025 Химико-термическая обработка.

Операция 030 Бесцентровое шлифование $\varnothing 39_{-0,025}$ и $\varnothing 36,5^{+0,17}$ черновое. Базы – $\varnothing 39_{-0,025}$ и торец кольца.

Операция 035 Шлифование $\varnothing 31^{+0,064}_{+0,028}$ и торца доньшка. Базы – наружный диаметр и торец кольца.

Операция 040 Бесцентровое шлифование $\varnothing 39_{-0,025}$. Базы – наружный диаметр и торец кольца.

Операция 045 Шлифование $\varnothing 31^{+0,064}_{+0,028}$ чистовое и шлифование доньшка.

4. Крестовина *ТМ 1.25*. Заготовка – штамповка на кривошипном горячештамповочном прессе.

Операция 005 Поочередное попарное черновое фрезерование шипов на специальном барабанно-фрезерном станке ГФ 1080 с переустановкой. Базы – наружные поверхности шипов и буртики. Разность размеров от оси до торцов шипов не более 1 мм.

Операция 010 Попарное поочередное центрование четырех отверстий на специальном агрегатно-сверлильном станке ХА 8179. Симметричность центровых отверстий относительно оси детали – 0,3 мм. Пересечение осей шипов – 0,16 мм не более.

Операция 015 Поочередное точение четырех шипов $\varnothing 60f7$ и ступени $\varnothing 70h12$, выдерживая размер 150 от торцов шипов до оси. Станок 1Н713, базы – центровые отверстия и торец шипа.

Операция 020 Попарное поочередное чистовое фрезерование торцов шипов на специальном барабанно-фрезерном станке ГФ 1080 с переустановкой. Базы – цилиндрические поверхности шипов и один из торцов. Разность размеров от оси до торцов – 0,5 не более.

Операция 025 Зачистить заусенцы в четырех отверстиях.

Операция 030 Точить поочередно четыре шипа с переустановкой $\varnothing 60f7$, $\varnothing 70h12$, выдерживая размеры 130, $150h11$, 65, $75h11$, 260. Базы – центровые отверстия и торец.

Операция 035 Бесцентровое попарное поочередное шлифование наружных поверхностей шипов с переустановкой. Базы – $\varnothing 60f7$ и торец.

Операция 040 Протянуть попарно 4 торца шипов, выдерживая размер $261,4 \pm 0,1$. Вертикально-протяжной станок 775ДН102, базы – цилиндрические поверхности шипов и торец.

Операция 045 Зачистить заусенцы в центровых отверстиях и на шипах.

Операция 050 Шлифовать попарно 4 торца с переустановкой, выдерживая размер $260,8 \pm 0,06$ на специальном торцешлифовальном станке СА-41-Н. Базы – цилиндрические поверхности шипов и торец. Разность размеров от торцов шипов до оси детали – не более 0,12. Перпендикулярность торцов осей шипов – 0,15 на длине 100 мм.

Операция 055 Шлифовать попарно по два шипа с переустановкой на бесцентрово-шлифовальном станке, выдерживая размер $\varnothing 60,06_{-0,03}$. Базы – цилиндрические поверхности шипов и торец. Эллипсность и конусность шипов – 0,015 мм. Проверять на длине 25 мм от торца.

Операция 060 Шлифовать попарно по два шипа с переустановкой на бесцентрово-шлифовальном станке, выдерживая размер $\varnothing 60,06_{-0,02}$. Базы – цилиндрические поверхности шипов и торец. Эллипсность и конусность шипов – 0,012 мм. Проверять на длине 25 мм от торца.

Операция 065 Шлифовать попарно по два шипа с переустановкой на бесцентрово-шлифовальном станке, выдерживая размер $\varnothing 60_{-0,06}^{-0,03}$. Базы – цилиндрические поверхности шипов и торец. Эллипсность и конусность шипов – 0,008 мм не более. Проверять на длине 25 мм от торца.

Операция 070 Шлифовать попарно по 2 торца с переустановкой на специальном торцешлифовальном станке СА-41-1Н, выдерживая размер $L = 260_{-0,05}$. Разность размеров от поверхностей торцов шипов до оси детали – не более 0,1 мм. Перпендикулярность торца к оси шипа – 0,1 мм на длине 100 мм.

5. Ролики *ТМ* 1.58–1.61. Заготовка – пруток горячекатаный для ролика *ТМ* 1.58, штамповка на горизонтально-ковочной машине – для остальных.

Операция 005 Точение черновое и чистовое диаметра D , сверление отверстия диаметром d для ролика *ТМ* 1.58 и зенкерование черновое – для остальных, подрезка торца, снятие фасок в отверстии. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 010 Зенкерование, подрезка торца и снятие фаски для *ТМ* 1.58 и черновое развертывание – для остальных центрального отверстия. Для ролика *ТМ* 1.58 – отрезка Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 015 Развертывание черновое для *ТМ* 1.58, для остальных – точение черновое и чистовое диаметра D , одновременная подрезка торцов ступицы и венца, снятие фасок. Базы: для *ТМ* 1.58 – наружный диаметр и торец, для остальных – отверстие диаметра d и фаски.

Операция 020 Химико-термическая обработка.

Операция 025 Шлифование диаметра d с подшлифовкой торца. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 030 Шлифование диаметра D черновое. Базы – отверстие диаметра d и торец.

Операция 035 Шлифование диаметра d с подшлифовкой второго торца, выдерживая размер 20f_9 . Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 040 Шлифование диаметра D черновое. Базы – отверстие диаметра d и торец.

Операция 040 Шлифование диаметра D чистовое. Базы – отверстие диаметра d и торец.

6. Сergyа *ТМ* 1.26. Заготовка – штамповка на КГШП без прошивки отверстия $\text{Ø}20\text{H}8$.

Операция 005 Сверление, зенкерование, снятие фасок в отверстии и развертывание отверстия $\text{Ø}20\text{H}8$, зенкерование выточки $\text{Ø}30$. Базы – наружный диаметр детали и торец.

Операция 010 Точение однократное $\text{Ø}50$ и $\text{Ø}55$. Базы – отверстие $\text{Ø}20\text{H}8$ и торец.

Операция 015 Фрезерование черновое наружных плоскостей проушин и паза $32\text{H}12$. Базы – отверстие $\text{Ø}20\text{H}8$, торец с разворотом по радиусным поверхностям проушин.

Операция 020 Сверление, зенкерование и развертывание черновое отверстий $\varnothing 25H7$ в проушинах. Базы – отверстие $\varnothing 20H8$, торец с разворотом по радиусным поверхностям проушин.

Операция 025 Термическая обработка.

Операция 030 Шлифование паза $32H12$. Базы – отверстие $\varnothing 20H8$, торец с разворотом по радиусным поверхностям проушин.

Операция 035 Растачивание чистовое $\varnothing 20H8$. Базы – $\varnothing 50$ и торец детали.

Операция 040 Растачивание тонкое отверстий $\varnothing 25H7$. Базы – отверстие $\varnothing 20H8$, торец и поверхность паза $30H12$.

7. Втулки *ТМ* 3.06 и 3.07. Заготовка – пруток горячекатаный.

Операция 005 Черновое точение $\varnothing D_2$, подрезка торца, сверление отверстий $\varnothing d$, $\varnothing d_2$ и $\varnothing d_3$, растачивание отверстия $\varnothing d$ и канавки, снятие фаски $1 \times 45^\circ$. Отрезка заготовки. Базы – наружный диаметр прутка и торец.

Операция 010 Черновое точение $\varnothing D$, $\varnothing D_1$, проточка канавки $0,5 \times 45^\circ$, снятие фасок $s \times 30^\circ$, подрезка торца. Базы – $\varnothing d$ и торец.

Операция 015 Точение чистовое $\varnothing D$. Базы – $\varnothing d$ и торец.

Операция 020 Растачивание чистовое $\varnothing d$. Базы – $\varnothing D$ и торец.

Операция 025 Фрезерование двух пазов $b \times l$. Базы – $\varnothing d$ и торец.

Операция 030 Термическая обработка.

Операция 035 Бесцентровое шлифование черновое $\varnothing D$. Базы – $\varnothing D$ и торец.

Операция 040 Шлифование чистовое (алмазное растачивание) $\varnothing d$. Базы – $\varnothing D$ и торец.

Операция 045 Бесцентровое шлифование чистовое $\varnothing D$. Базы – $\varnothing D$ и торец.

8. Крышка *ТМ* 3.05. Заготовка – отливка в земляные формы.

Операция 005 Точение черновое $\varnothing 40f9$, подрезка торца, сверление центрального отверстия, расточка выточки $\varnothing 20$. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 010 Точение однократное $\varnothing 66$, подрезка торца, снятие фасок $1 \times 45^\circ$ по наружному диаметру и в центральном отверстии. Базы – диаметр $\varnothing 40f9$ и торец.

Операция 015 Точение чистовое $\varnothing 40f9$ и подрезка торца. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 020 Сверление четырех отверстий $\varnothing 4,5$, Цекование четырех отверстий $\varnothing 8$, нарезание резьбы $M8-7H$. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 025 Шлифование $\varnothing 40f9$ с подшлифовкой торца на торцекруглошлифовальном станке. Базы – наружный диаметр и торец.

9. Фланец *ТМ 2.08*. Заготовка – штамповка из листа с прошивкой центрального отверстия.

Операция 005 Шлифование торцовых поверхностей черновое на магнитной плите.

Операция 010 Шлифование торцовых поверхностей чистовое на магнитной плите.

Операция 015 Растачивание $\varnothing 70H6$ черновое и чистовое комплектом по 10 штук. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 020 Точение $\varnothing 160$ черновое и чистовое комплектом по 10 штук на разжимной оправке. Базы – отверстие и торец.

Операция 025 Сверление, снятие фасок и нарезание резьбы в 12 отверстиях *М8–7Н*, сверление и снятие фасок в двух отверстиях $\varnothing 9$.

Операция 030 Шлифование $\varnothing 160$ на разжимной оправке набором из 10 штук. Базы – $\varnothing 70H6$ и торец.

Операция 035 Шлифование $\varnothing 70H6$ черновое с подшлифовкой торца. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 040 Шлифование $\varnothing 70H6$ чистовое с подшлифовкой второго торца. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 045 Шлифование $\varnothing 70H6$ тонкое. Базы – наружный диаметр и торец. Проверить расчетом эксцентриситета припуска возможность обеспечения технических требований.

10. Крышка *ТМ 2.14*. Штамповка с образованием выемки $\varnothing 60 \times 9$ и четырех пазов.

Операция 005 Точение черновое и чистовое $\varnothing 152g6$ с образованием фаски $2 \times 15^\circ$, черновое точение выточки $\varnothing 90$. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 010 Точение черновое и чистовое конической поверхности $10 \times 8^\circ$, торца, противоположного базовому, расточка выточки $\varnothing 60 \times 9$. Базы – наружный диаметр и торец *В*.

Операция 015 Сверление всех отверстий в соответствии с таблицей координат, цекование отверстий $\varnothing 6,6 \times 11$, под резьбу *М6–7Н*, нарезание резьбы *М6–7Н*. Базы – наружный диаметр и торец *В*.

Операция 020 Фрезерование пазов и расточка выемок *R25*. Базы – торец *В* и $\varnothing 152g6$.

Операция 025 Термообработка.

Операция 030 Шлифование торца, противоположного торцу *B*. Базы – торец *B* и Ø152g6.

Операция 035 Шлифование Ø152g6 черновое. Базы – коническая поверхность выточки Ø60 × 9.

Операция 040 Шлифование Ø152g6 чистовое. Базы – коническая поверхность выточки Ø60 × 9.

Операция 045 Шлифование Ø152g6 тонкое с подшлифовкой торца *B*. Базы – коническая поверхность выточки Ø60 × 9.

11. Цапфа *ТМ* 3.24. Заготовка – прокат холоднотянутый.

Операция 005 Шлифование бесцентровое черновое Ø50h8. Базы – Ø50h8 и торец.

Операция 010 Шлифование бесцентровое чистовое Ø50h8. Базы – Ø50h8 и торец.

Операция 015 Подрезка правого и левого торцов с переустановкой, снятие фасок 0,6 × 450. Базы – Ø50h8 и торец.

Операция 020 Фрезерование лыски 80 × 38. Базы – Ø50h8 и торец.

Операция 025 Фрезеровать шпоночный паз 14 × 54. Базы – Ø50h8, левый торец и плоская поверхность лыски.

Операция 030 Сверлить и зенкеровать отверстие Ø12H9 по кондуктору. Базы – Ø50h8, левый торец и плоская поверхность лыски.

12. Ступица *ТМ* 4.8. Заготовка – штамповка на ГКМ.

Операция 005 Точение черновое Ø80,1h6, подрезка торцов Ø80,1h6×Ø40H7 и Ø105,1×Ø80,1h6, сверление отверстия Ø20, черновое растачивание выточки Ø40H7 с одной стороны. Базы – Ø105,1 и левый торец.

Операция 010 Точение черновое Ø90,1h6, подрезка торцов Ø90,1h6×Ø40H7 и Ø105,1×Ø90,1h6, рассверливание отверстия Ø34, черновое растачивание выточки Ø40H7 с другой стороны. Базы – Ø80,1h6 и правый торец.

Операция 015 Точение чистовое Ø80,1h6, подрезка торцов Ø80,1h6×Ø40H7 и Ø105,1×Ø80,1h6, чистовое растачивание выточки Ø40H7 с одной стороны, проточка канавок В, Д и Г. Базы – Ø105,1 и левый торец.

Операция 020 Точение чистовое Ø90,1h6, подрезка торцов Ø90,1h6×Ø40H7 и Ø105,1×Ø90,1h6, чистовое растачивание выточки

Ø40H7 с другой стороны, проточка канавок В и Д. Базы – Ø80,1h6 и правый торец.

Операция 025 Сверление четырех отверстий Ø10 по кондуктору, снятие фасок Ø18×90° в четырех отверстиях. Базы – Ø80,1h6 и правый торец.

Операция 030 Шлифование выточек Ø40H7 с двух сторон с переустановкой. Базы – Ø80,1h6, Ø90,1h6 и торцы.

Операция 035 Шлифование черновое Ø80,1h6 с подшлифовкой торца. Базы – цилиндрические поверхности выточек Ø40H7 и торец.

Операция 040 Шлифование черновое Ø90,1h6 с подшлифовкой торца. Базы – цилиндрические поверхности выточек Ø40H7 и торец.

Операция 045 Шлифование черновое Ø80,1h6 с подшлифовкой торца. Базы – цилиндрические поверхности выточек Ø40H7 и торец.

Операция 050 Шлифование черновое Ø90,1h6 с подшлифовкой торца. Базы – цилиндрические поверхности выточек Ø40H7 и торец.

Операция 055 Фрезерование шпоночного паза. Базы – цилиндрические поверхности выточек Ø40H7 и торец.

Операция 060 Химико-термическая обработка.

Операция 065 Зачистка фасок Ø18×90° в четырех отверстиях. Базы – наружный диаметр и торец.

13. Гильза *ТМ* 3.22. Заготовка – штамповка на ГКМ из трубы.

Операция 005 Черновое зенкерование (растачивание) Ø63H9 до Ø59, растачивание черновое Ø85H9 до Ø80, выточки Ø95H9 до Ø90, снятие фасок в отверстиях, точение черновое Ø105, подрезка левого торца. Базы – Ø80h6 и правый торец гильзы.

Операция 010 Точение черновое наружного контура (Ø80h6, Ø86, Ø80, скоса под углом 45°), подрезка правого торца, снятие фасок 1,6×450. Базы – отверстие Ø63H9 и левый торец гильзы.

Операция 015 Растачивание полуступовое Ø63H9 до Ø61, Ø85H9 до Ø83, выточки Ø95H9 до Ø93. Базы – Ø80h6 и правый торец гильзы.

Операция 020 Точение чистовое Ø80h6. Базы – отверстие Ø63H9 и левый торец гильзы.

Операция 025 Растачивание чистовое Ø63H9, Ø85H9, выточки Ø95H9. Базы – Ø80h6 и правый торец гильзы.

Операция 030 Сверление отверстия Ø55 до Ø23, рассверливание Ø55 (фрезерование отверстия Ø55). Базы – Ø80h6 и правый торец выступа Ø86.

Операция 035 Фрезерование четырех скосов в размер 98. Базы – Ø80h6, правый торец гильзы, отверстие Ø55.

Операция 040 Сверление по кондуктору и развертывание отверстия Ø5Н9. Базы – Ø80h6, правый торец гильзы и отверстие Ø55.

Операция 045 Химико-термическая обработка отверстия Ø63Н9.

Операция 050 Шлифование отверстия Ø63Н9, выточек Ø85Н9 и Ø95Н9 с подшлифовкой торца выточки Ø95Н9. Базы – Ø80h6 и правый торец гильзы.

Операция 050 Шлифование черновое Ø80h6. Базы – Ø63Н9 и левый торец гильзы.

Операция 050 Шлифование чистовое Ø80h6 и правого торца выступа Ø86. Базы – Ø63Н9 и левый торец гильзы.

14. Колесо зубчатое ТМ 2.72. Заготовка – штамповка на молотах в подкладных штампах.

Операция 005 Точение черновое правого торца, Ø817_{-0,56} до кулачков, растачивание однократное отверстия Ø255, растачивание черновое Ø280Н7, растачивание выточки Ø735×Ø340, снятие фасок 2×45°. Базы – Ø817_{-0,56} и левый торец.

Операция 010 Точение черновое Ø817_{-0,56}, левого торца, Ø720_{-0,5}, Ø280Н7, точение однократное выточки Ø316,4×5, снятие фасок 1×45°. Базы – Ø817_{-0,56} и правый торец.

Операция 015 Чистовое точение Ø817_{-0,56} до кулачков, правого торца, Растачивание чистовое Ø280Н7. Базы – Ø817_{-0,56} и левый торец.

Операция 020 Точение чистовое Ø817_{-0,56}, левого торца и ступени Ø720,9_{-0,5}, проточка четырех канавок на Ø720,9_{-0,5}, растачивание чистовое Ø280Н7. Базы – Ø817_{-0,56} и правый торец.

Операция 025 Растачивание черновое двух отверстий Ø70,1 до Ø66, растачивание получистовое до Ø68, чистовое растачивание до Ø69,5, растачивание тонкое Ø70Н7. Базы – Ø280Н7 и правый торец.

Операция 030 Сверление, зенкерование, цекование и нарезание резьбы в двух отверстиях М60×1–7Н×Ø28×120°. Базы – Ø280Н7 и правый торец.

Операция 035 Фрезерование черновое и чистовое зубьев $m = 8$, $z = 100$. Базы – Ø280Н7 и правый торец.

Операция 040 Растачивание тонкое отверстия с двух сторон одновременно. Базы – зубчатый венец и торец.

Операция 045 Хонингование зубчатого венца $m = 8$, $z = 100$. Базы – Ø280Н7 и правый торец.

15. Полушфута ТМ 2.29. Заготовка – пруток горячекатаный.

Операция 005 Точение $\text{Ø}110h7$ черновое, подрезка торцов $\text{Ø}45 \times \text{Ø}18H7$ и $\text{Ø}18H7 \times 25$, сверление отверстия $\text{Ø}17$, зенкерование $\text{Ø}17,85$; снятие фасок $2 \times 45^\circ$, отрезка заготовки. Базы – наружная поверхность прутка и торец.

Операция 010 Протягивание отверстия $\text{Ø}18H7$ и шпоночного паза. Базы – отверстие $\text{Ø}18H7$ и торец.

Операция 015 Точение чистовое правого торца и диаметра $\text{Ø}110h7$, снятие фаски $0,5 \times 45^\circ$. Базы – отверстие $\text{Ø}18H7$ и торец.

Операция 020 Сверление 8 отверстий $\text{Ø}10H7$ до $\text{Ø}9,8$ по кондуктору, снятие фасок $3 \times 30^\circ$, развертывание 8 отверстий $\text{Ø}10H7$. Базы – отверстие $\text{Ø}18H7$, шпоночный паз и правый торец полумуфты.

Операция 025 Шлифование $\text{Ø}110h7$ и правого торца. Базы – отверстие $\text{Ø}18H7$ и торец.

16. Корпус *ТМ* 1.29. Заготовка – штамповка на ГKM с прошивкой отверстия.

Операция 005 Растачивание черновое $\text{Ø}120H7$ до $\text{Ø}115$ и $\text{Ø}90$ до $\text{Ø}85$, второе черновое растачивание до $\text{Ø}118$ и $\text{Ø}88$, проточка канавки $b = 8$, снятие фаски $1,6 \times 45^\circ$, точение правого торца черновое. Базы – наружный диаметр и левый торец.

Операция 010 Точение черновое $\text{Ø}250f7$, проточка канавки $25 \times 45^\circ$, левого торца, снятие фасок. Базы – отверстие $\text{Ø}120H7$ и правый торец.

Операция 015 Растачивание чистовое $\text{Ø}120H7$ до $\text{Ø}119,3$, подрезка правого торца. Базы – наружный диаметр и левый торец.

Операция 020 Точение чистовое $\text{Ø}250f7$, левого торца. Базы – отверстие $\text{Ø}120H7$ и правый торец.

Операция 025 Сверление, снятие фасок и нарезание резьбы в двух отверстиях $M8-7H \times 15-19$. Базы – наружный диаметр и левый торец.

Операция 030 Шлифование отверстия $\text{Ø}120H7$ и доньшка. Базы – наружный диаметр и левый торец.

Операция 035 Шлифование $\text{Ø}250f7$ и левого торца. Базы – отверстие $\text{Ø}120H7$ и правый торец.

Операция 040 Шлифование правого торца на магнитной плите.

17. Стакан *ТМ* 4.39. Заготовка – литье в земляные формы.

Операция 005 Сверление отверстия $\text{Ø}30_{+0,002}^{+0,015}$ диаметром $\text{Ø}18$, рассверливание $\text{Ø}28$, зенкерование $\text{Ø}29,8$, проточка канавки под уплотнение, расточка кармана $\text{Ø}50$, проточка правого торца, развертывание отверстия $\text{Ø}30_{+0,002}^{+0,015}$. Базы – поверхность диаметра $\text{Ø}48$ и торец.

Операция 010 Точение черновое $\varnothing 40g6$ с подрезкой торца $\varnothing 40g6 \times \varnothing 48$, $\varnothing 48$, подрезка левого торца. Базы – отверстие $\varnothing 30^{+0,015}_{+0,002}$ и правый торец.

Операция 015 Точение $\varnothing 40g6$ чистовое, прорезка канавок Б и В, снятие фасок. Базы – отверстие $\varnothing 30^{+0,015}_{+0,002}$ и правый торец.

Операция 020 Фрезерование двух пазов. Базы – поверхность диаметра $\varnothing 48$ и торец.

Операция 025 Сверление четырех отверстий $\varnothing 9$, цекование $\varnothing 13$. Базы – поверхность диаметра $\varnothing 48$ и торец.

Операция 030 Шлифование черновое $\varnothing 40g6$. Базы – отверстие $\varnothing 30^{+0,015}_{+0,002}$ и правый торец.

Операция 035 Шлифование чистовое $\varnothing 40g6$. Базы – отверстие $\varnothing 30^{+0,015}_{+0,002}$ и правый торец.

18. Корпус *ТМ 2.24*. Заготовка – литье в земляные формы.

Операция 005 Растачивание однократное $\varnothing 34$ и $\varnothing 30$, зенкерование отверстия $\varnothing 28H7$ до $\varnothing 27,8$, развертывание отверстия $\varnothing 27,94$, чистовое развертывание $\varnothing 28H7$, черновое точение плоскости основания, снятие фаски в отверстии. Базы – наружный диаметр и торец.

Операция 010 Черновое и чистовое точение торца $\varnothing 40 \times \varnothing 28H7$. База – отверстие $\varnothing 28H7$ и плоскость основания.

Операция 015 Фрезерование боковых плоскостей в размер 54 набором фрез. База – отверстие $\varnothing 28H7$ и верхняя плоскость.

Операция 020 Сверлить и цековать два отверстия $\varnothing 6,6 \times \varnothing 12$ по кондуктору. База – отверстие $\varnothing 28H7$, плоскость основания, боковая плоскость.

Операция 020 Шлифование чистовое плоскости основания. База – отверстие $\varnothing 28H7$ и верхняя плоскость.

19. Корпуса 2.60–2.63. заготовка – вырубка из листа.

Операция 005 Фрезерование черновое и чистовое плоскости основания и левого торца. Базы – верхняя плоскость, боковая сторона и правый торец.

Операция 010 Фрезерование черновое и чистовое верхней плоскости, уступа 30×28 , полки $H \times B \times L = 10 \times 28 \times 32$, левого торца. Базы – плоскость основания, правый торец и боковая сторона.

Операция 015 Фрезерование двух скосов. Базы – плоскость основания, правый торец и боковая сторона.

Операция 020 Фрезерование черновое и чистовое боковых сторон с переустановкой. Базы – плоскость основания, левый торец и боковая сторона.

Операция 025 Фрезерование паза 12Н9. Базы – плоскость основания, правый торец и боковая сторона.

Операция 030 Сверление по кондуктору и цекование двух отверстий $\varnothing 6,6 \times \varnothing 11$. Базы – плоскость основания, левый торец и боковая сторона.

Операция 035 Сверление по кондуктору и цекование отверстия $\varnothing 8 \times \varnothing 12$, сверление и нарезание резьбы М4–7Н. Базы – плоскость основания, левый торец и боковая сторона.

Операция 040 Сверление, снятие фасок с двух сторон и развертывание отверстий $\varnothing 8Н7$ и $\varnothing 2Н7$. Базы – плоскость основания, правый торец и боковая сторона.

20. Корпуса ТМ 2.53–2.57. Заготовка – литье в кокиль.

Операция 005 Фрезерование черновое плоскости основания. Базы – плоскости полков, торец призмы, боковая сторона.

Операция 010 Фрезерование черновое и чистовое контура призмы набором фрез в размеры $b_1 \times h$, углы $60^\circ \pm 25'$, Н. Базы – плоскость основания, боковая и торцовые поверхности полков.

Операция 015 Для ТМ 2.53 – сверление $\varnothing 26$, зенкерование $\varnothing 27,8$; развертывание $\varnothing 28Н7$. Для ТМ 2.54 – растачивание черновое $\varnothing 36$, растачивание чистовое $\varnothing 37,75$; развертывание черновое $\varnothing 37,93$; развертывание чистовое $\varnothing 38Н7$.

Для ТМ 2.55 – растачивание черновое первое $\varnothing 51$, растачивание черновое второе $\varnothing 53$; растачивание чистовое $\varnothing 54,5$; развертывание черновое $\varnothing 54,92$; развертывание чистовое $\varnothing 55Н7$.

Для ТМ 2.56 и ТМ 2.57 – растачивание черновое первое $\varnothing 61$, растачивание черновое второе $\varnothing 63$; растачивание чистовое $\varnothing 64,5$; развертывание черновое $\varnothing 64,92$; развертывание чистовое $\varnothing 65Н7$. Базы – плоскость основания, боковая и торцовые поверхности полков.

Операция 020 Сверление и цекование четырех отверстий $\varnothing 9 \times 15$. Базы – плоскость основания, боковая и торцовые поверхности полков.

Операция 025 Фрезерование чистовое плоскости основания. Базы – отверстия $\varnothing d$ и их торцовые поверхности.

Операция 030 Шлифовать плоскость основания в размеры h и H . Базы – отверстия $\varnothing d$ и их торцовые поверхности.

21. Призмы *ТМ* 2.44–2.52. Заготовка – штамповка на молоте в подкладных штампах.

Операция 005 Фрезерование черновое плоскости основания и выемки в основании. Базы – поверхности полок, боковые и торцовые поверхности призмы.

Операция 010 Фрезерование боковых сторон призмы с переустановкой в размер L . Базы – плоскость основания, боковая и торцевая поверхности призмы.

Операция 015 Фрезерование черновое верхней плоскости, угловой выемки $c \times 90^\circ \pm 30'$, паза шириной " b ", снятие двух фасок $2 \times 45^\circ$, двух фасок $1 \times 45^\circ$. Базы – плоскость основания, боковая и торцевая поверхности призмы.

Операция 020 Фрезерование двух пазов $h1 \times l$ с переустановкой. Базы – плоскость основания, боковая и торцевая поверхности призмы.

Операция 025 Чистовое фрезерование плоскости основания и выемки $h = 1$ мм. Базы – угловая поверхность призмы и боковая сторона.

Операция 030 Чистовое фрезерование верхней плоскости, угловой выемки $c \times 90^\circ \pm 30'$ и паза " b ". Базы – плоскость основания, боковая и торцевая поверхности призмы.

Операция 035 Сверление и цекование " n " отверстий $d1 \times d$ по кондуктору. Базы – плоскость основания, боковая и торцевая поверхности призмы.

Операция 040 Фрезерование торцевых поверхностей призмы одновременно в размер $B1$. Базы – плоскость основания, боковая и торцевая поверхности призмы.

Операция 045 Фрезерование торцевых поверхностей основания в размер B . Базы – угловая поверхность призмы и боковая сторона.

22. Шпонка *ТМ* 1.46–1.50. Заготовка – прокат горячекатаный.

Операция 005 Точение черновое в размер $L + 2$. Точение черновое за " n " рабочих ходов и чистовое поверхности диаметра d , подрезка правого торца, проточка канавки «ж», $c \times 45^\circ$, черновое и чистовое фрезерование контура в размеры $B \times L$, фрезерование фаски $1 \times 45^\circ$ Отрезка заготовки. Базы – наружная поверхность и левый торец.

Операция 010 Точение чистовое левого торца. Базы – поверхность диаметра d и примыкающий к ней торец размера $B \times L$.

Операция 015 Сверлить и цековать $\varnothing d1 \times \varnothing d2$ по кондуктору, сверлить, снять фаску и нарезать резьбу $M3-7H$. Базы – поверхность диаметра d и примыкающий к ней торец размера $B \times L$.

Операция 020 Фрезеровать выступ $b \times h1$. Базы – наружный контур шпонки и торец.

Операция 025 Шлифовать поверхность диаметра d . Базы – наружный контур шпонки и торец.

Операция 025 Шлифовать по контуру выступ $b \times h1$. Базы – наружный контур шпонки и торец. Торец размера $B \times L$.

Операция 020 Фрезеровать выступ $b \times h1$. Базы – наружный контур шпонки и торец.

Операция 025 Шлифовать поверхность диаметра d . Базы – наружный контур шпонки и торец.

Операция 025 Шлифовать по контуру выступ $b \times h1$. Базы – наружный контур шпонки и торец.

23. Корпус $TM 2.38-2.39$. Заготовка – литье в земляные формы.

Операция 005 Фрезерование черновое плоскостей основания, боковых сторон полок и паза $12H7$. Базы – полки, боковые стороны и торец корпуса.

Операция 010 Фрезерование боковых плоскостей корпуса в размер 136. Базы – плоскость основания, паз $12H7$ и торец корпуса.

Операция 015 Фрезерование чистовое плоскостей основания, боковых сторон полок и паза $12H7$. Базы – поверхность радиуса $R30$, боковая сторона и торец корпуса.

Операция 020 Зенкерование (расточивание) чистовое до $\varnothing 39,75$; развертывание черновое $\varnothing 39,93$; развертывание чистовое $\varnothing 40H7$, торцевание второй бобышки, расточка выточки $\varnothing 24$, сверление, снятие фасок и нарезание резьбы в четырех отверстиях $M4-7H$. Базы – плоскость основания, паз $12H7$ и торец корпуса.

Операция 025 Фрезерование чистовое плоскости основания, паза $12H7$. Базы – поверхность $R30$, боковая сторона и торец корпуса.

Операция 035 Сверление $\varnothing 9,8$; развертывание $\varnothing 10H9$, растачивание $\varnothing 32$, растачивание черновое и чистовое $\varnothing 40H9$, растачивание выточки $\varnothing 55,5$. Базы – плоскость основания, паз $12H7$ и торец корпуса.

Операция 040 Сверление и развертывание $\varnothing 5H9$, сверление, снятие фасок и нарезание резьбы в двух отверстиях $M5-7H$ в поворотном кондукторе. Базы – плоскость основания, паз $12H7$ и торец корпуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мордвинов, Б.С. Сборник практических работ по технологии машиностроения: учебно-методическое пособие / Б.С. Мордвинов, Р.Г. Подкорытова. – Омск: Полиграфлаборатория ОмПИ, 1974. – 100 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Т. 1. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.: ил.
3. Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки заготовок деталей машин / Б.С. Мордвинов [и др.]. – Омск, 1972. – 160 с.
4. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / И.П. Филонов [и др.]; под общ. ред. И.П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
5. Матвеев, В.В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков, Ю.Н. Свиридов. – Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1979. – 111 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – 5-е изд. перераб. и доп. – М., 2001. – Т. 1. – 912 с.
7. Проектирование техпроцессов механической обработки в машиностроении / под ред. В.В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 256 с.

Таблица П6.1

Формулы для расчета эксцентриситетов и погрешностей формы [1, 3]

Заготовки		Эксцентриситет		Погрешность формы		Номер формулы
Вид	Характеристика	Между осями каких поверхностей	Обозначение	l/d	Формула	
1	2	3	4	5	6	7
Прокат	Пруток	Одна ось (поверхность)	-	≤ 2	0	1
				> 2	$\Delta \hat{e} \cdot \hat{O}$	2
	Бандаж Труба	Между осями внутренней и наружной поверхностей	$\frac{1}{2} T_A$	≤ 2	$\frac{1}{2} T_{\text{эксц}}$	3
				> 2	$\sqrt{(\Delta k \cdot x)^2 + \left(\frac{1}{2} T_{\text{эксц}}\right)^2}$	4
Поковки, штамповки, отливки	Заготовки, получаемые в одной части штампа (формы)	Одна ось (поверхность)	-	≤ 2	0	1
				> 2	$\Delta k \cdot X$	2
		Между осями любых двух поверхностей	0	> 2	$\Delta k \cdot X$	5
	Заготовки, плоскость разреза которых расположена параллельно оси	Между осями любой поверхности и поверхности, принятой за корневую (ступенчатые валы, коренные шейки коленчатых валов)	0	> 2	$\sqrt{(\Delta k \cdot X)^2 + \rho_{\text{см}}^2}$	6

Продолжение табл. П6.1

1	2	3	4	5	6	7
		Между осями любой шатунной шейки и корневой поверхностью (коленчатые валы, кривошипы)	$\frac{1}{2} T_A$	> 2	$\sqrt{(\Delta K \cdot X)^2 + \rho_{\text{см}}^2}$	7
Поковки, штамповки, отливки	Заготовки с плоскостью разъема, перпендикулярной оси и проходящей по цилиндрической поверхности или торцу	Между осями пары поверхностей, полученных в разных частях штампа (формы)	$\rho_{\text{см}}$	≤ 2	0	12
				> 2	$\Delta K \cdot X$	13
		Между осями части поверхности и поверхности облоя	$\rho_{\text{обл}}$	≤ 2	0	10
				> 2	$\Delta K \cdot X$	11
		Между осями отверстия и любой поверхности	$\rho_{\text{эксц}}$	≤ 2	0	15
				> 2	$\Delta K \cdot X$	16
			$\frac{1}{2} T_A$	≤ 2	0	8
				> 2	$\Delta K \cdot X$	9
Между осями пары поверхностей одной части штампа	$\frac{1}{2} T_A$	≤ 2	0	14		
		> 2	$\Delta K \cdot X$	5		
Поковки, отливки, штамповки	Заготовки, получаемые на ГКМ	Между осями пары поверхностей, полученных в матрице и пуансоне или в матрице и плавающих губках	$\rho_{\text{см}}$	≤ 2	$\Delta K \cdot X$	13
				> 2	$\sqrt{(\Delta K \cdot X)^2 + \rho_{\text{см}}^2}$	17

Окончание табл. Пб.1

1	2	3	4	5	6	7
	Заготовки деталей симметричной формы	Между: а) осями симметрии наружных и внутренних поверхностей (2 и 3); б) осью симметрии наружных поверхностей (2) и осью отверстия (1) в корпусах	$\rho_{\text{см}}$	≤ 2	0	12
				> 2	$\Delta \hat{e} \cdot \hat{O}$	13
Поковки, отливки, штамповки	Заготовки деталей симметричной формы	Между торцом (1) и остальными поверхностями (2-3) в крестовинах, тройниках и т.д.	0	≤ 2	$\rho_{\text{см}}$	18
				> 2	$\sqrt{(\Delta_K \cdot X)^2 + \rho_{\text{см}}^2}$	6
		Между пером и замком лопатки	0	> 2	$\Delta \hat{e} \cdot \hat{O}$	5

Таблица П6.2

Формулы для расчета эксцентриситетов и погрешностей формы
при механической обработке заготовок

Характеристика обработки	Наименование перехода или метода обработки	Эксцентриситет, возникающий между осями		Погрешности формы поверхности после обработки		Номер формулы	
		УБ и ПО ₁ (1-й переход операции, установки, позиции)	ПО ₂ и ПО _i (2-й и последующие переходы операций, установки, позиции)	Однократной	Многократной		
1	2	3	4	5	6	7	
Заготовка вращается, инструмент – неподвижный	Проточка шеек, расточка и зенкерование отверстий в заготовках деталей типа гладких и ступенчатых валов, втулок, дисков	$\epsilon_y + \Delta y$		$K_{yt} \cdot \rho_{i-1}$		1	
			Δy	$K_{yt} \cdot \rho_{i-1}$		2	
			0		0	3	
		$\epsilon_y + \Delta y$			0	4	
			Δy		0	5	
	Сверление отверстий	$\epsilon_y + C_0 + \Delta y \cdot L$			0		5
			$C_0 + \Delta y \cdot L$		0		23

1	2	3	4	5	6	7	
Заготовка вращается, инструмент неподвижен	Зацентровка, проточка шеек, расточка и зенкерование отверстий в заготовках эксцентричных деталей (кривошипы, коленчатые валы и т.д.)	$\varepsilon_y + \Delta y$		$K_{yT} \cdot \rho_{i-1}$		1	
		$0,5 T_A$		$K_{yT} \cdot \rho_{i-1}$		15	
			Δy	$K_{yT} \cdot \rho_{i-1}$		2	
			0	$K_{yT} \cdot \rho_{i-1}$		17	
		$0,5 T_A$			0	16	
		$\varepsilon_y + \Delta y$			0	4	
Заготовка неподвижна, инструмент подвижен	Установка заготовок по двум поверхностям вращения	y_i		-		14	
	Зацентровка валов, проката	$0,25\sqrt{T_A^2 + 1}$		0		11	
	Точение центровых фасок	$\varepsilon_y + \Delta y$		0		4	
	Фрезерование и протягивание плоскостей лопаток, крестовин и др., расточка и зенкерование отверстий (в спутниках автоматических линий, на агрегатных станках)	$\varepsilon_y + \Delta y + \Delta n + \varepsilon_{инд}$			$K_{yT} \cdot \rho_{i-1}$		18
						0	24
			$\Delta y + \Delta n + \varepsilon_{инд}$		$K_{yT} \cdot \rho_{i-1}$		25
							19

1	2	3	4	5	6	7
	Сверление отверстий на агрегатных станках и др.	$\varepsilon_y + C_o + \Delta y \cdot L + \Delta n + \varepsilon_{инд}$	0	0		20
			$C_o + \Delta y \cdot L + \Delta n + \varepsilon_{инд}$	0		26
	Расточка и зенкерование отверстий	$\varepsilon_y + \Delta y + \Delta n$		$K_{yT} \cdot \rho_{i-1}$		21
		$\varepsilon_y + \Delta y + \Delta n$			0	22
УБ инструмента, ПО	Восстановление центров, развертывание, протягивание отверстий, бесцентровое шлифование, зубошевингование и т.д.	0		0	0	3
Термообработка	Жестких деталей	ε_i – прежние		ρ_i		7
	Жестких деталей типа втулок, дисков и т.п.	ε_i – прежние		$0,5T_{экс}$		8
	Нежестких деталей типа валов	ε_i – прежние		$\sqrt{\rho_{i-1}^2 + (\Delta_k^{TO} \cdot x)^2}$		12

1	2	3	4	5	6	7
Правка после термообработки	Нежестких деталей типа втулок, дисков и т.д.	ε_i – прежние		$0,5\rho_{пр}$		9
	Нежестких деталей типа валов	ε_i – прежние		$\sqrt{\rho_{i-1}^2 + (\Delta_k^{TO} \cdot x)^2}$		12
–	Зубофрезерование, зубодолбление, зубострогание	$\varepsilon_y + \rho_{обр}$		0	0	10
	Шлифование	$\varepsilon_y + \Delta_y$		0		4

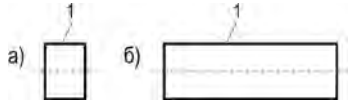
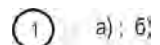
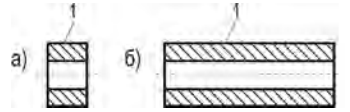
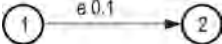
Примечание: $\rho_{см}$ – смещение в плоскости разъема частей штампа, литейной формы или стержней; $\rho_{эксц}$ – эксцентricность прошитого отверстия; $\rho_{обл}$ – эксцентricность поверхности после отрезки облоя; T_A – допуск на разностенность внутренней и наружной поверхностей или на расстояние между осями несоосных цилиндрических поверхностей (коленчатые валы, кривошпы и т.д.); $\Delta\tilde{O}$ – удельная кривизна; X – расстояние от искомого сечения до ближайшей из опор.

УБ – установочная база заготовки или режущего инструмента; ПО – поверхность, обработанная; индекс [1] – на первом переходе, индекс [i] – на текущем переходе,

индекс [i – 1] – на предыдущем переходе; ε_y – погрешность установки; Δ_y – погрешность от упругих деформаций системы СПИД; C_0 – смещение оси отверстия при сверлении; L – длина сверления; Δ_y – увод оси отверстия при сверлении; $\rho_{обр}$ – погрешность обработки, вызываемая геометрическими погрешностями кинематики станка или изготовления режущего инструмента.

Таблица П6.3

Примеры геометрических структур заготовок деталей тел вращения
и деталей симметричной формы

Заготовки			Эскиз дерева	Эскиз	Эксцентриситет	Погрешность формы	Формулы
Вид	Характер	Эскиз					
1	2	3	4	5	6	7	8
Прокат	Пруток			a	-	$\rho_1 = 0$	1
				б		$\rho_1 = \Delta k \cdot x$	2
Паковки, штамповки, основники	Груба бандаж			a	$e_{0.1} = \frac{T_A}{2}$	$\rho_{1,2} = 0,5T_{\text{экс}}$	3
				б		$\rho_{1,2} = \sqrt{(\Delta k \cdot x)^2 + \frac{T_{\text{экс}}^2}{4}}$	4

1	2	3	4	5	6	7	8
	Заготовки получен. в одной части штампа (формы)			a	-	$\rho_1 = 0$	1
				б		$\rho_1 = \Delta k \cdot x$	2
				в	$e_{0.1;0.2} = 0$	$\rho_{1;2;3} = \Delta k \cdot x$	5
Паковки, штамповки, отливки	Заготовки с плоскостью разреза, расположенной параллельно оси			a	$e_{0.1} = 0$	$\rho_{1,2} = \sqrt{\rho_{\text{CM}}^2 + (\Delta k \cdot x)^2}$	3
				б, в	$e_{0.1} = \frac{T \cdot A}{2}$		7
				а, в	$e_{0.2} = 0$	$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{CM}}^2 + (\Delta k \cdot x)^2}$	6

1	2	3	4	5	6	7	8
				<i>a</i>	$e_{0,2} = 0$	$\rho_4 = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + (\Delta k \cdot x)^2}$	6
				<i>в</i>	$e_{0,2} = \frac{T_A}{2}$		7
				<i>a, в</i>	$e_{0,4} = 0$	$\rho_5 = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + (\Delta k \cdot x)^2}$	6
				<i>в</i>	$e_{0,1} = \frac{1}{2}T$	$\rho_{1;2} = 0$	8
				-		$\rho_{1;2} = \Delta k \cdot x$	9
				Поковки, штамповки, отливки	Заготовки с плоскостью разреза, расположенной перпендикулярно оси		
<i>д</i>	$\rho_3 = \Delta k \cdot x$	11					
<i>a;</i> <i>б;</i> <i>г;</i> <i>д</i>	$e_{03} = \rho_{\text{см}}$	$\rho_4 = 0$	12				
<i>д;</i> <i>ж</i>		$\rho_4 = \Delta k \cdot x$	13				
<i>г;</i> <i>е</i>	$e_{0,4;0,5} = 0$	$\rho_{6;7} = 0$	14				
<i>д;</i> <i>ж</i>		$\rho_{6;7} = \Delta k \cdot x$	5				
<i>б;</i> <i>г;</i> <i>е</i>	$e_{06} = \rho_{\text{экс}}$	$\rho_7 = 0$	15				
<i>д;</i> <i>ж</i>		$\rho_7 = \Delta k \cdot x$	16				


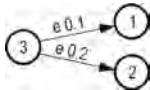
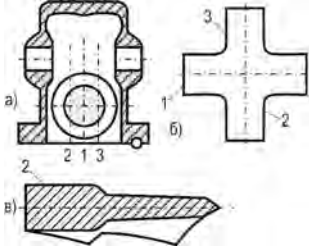
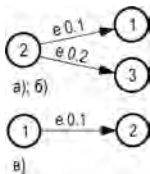
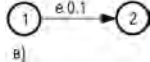
1	2	3	4	5	6	7	8
	Заготовки, полученные на ГКМ				$e_{01;03} = \rho_{см}$	$\rho_1 = \Delta k \cdot x$	13
	Заготовки деталей симметричной формы			<i>a</i>		$\rho_{1;2;3} = 0$	12
					<i>б</i>	$\rho_{0.1;0.2} = 0$	

Таблица П6.4

Примеры геометрических структур механической обработки заготовок деталей тел вращения и деталей симметричной формы

№ переходов	Наименование перехода	№ осей поверхностей	Эскиз обработки	Дерево эксцентриситетов	№ эскиза	Эксцентриситеты	Погрешности формы	Формулы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	Проточка (расточка)	2			a, б, в, з	$e_{1,1} = \varepsilon_y + \Delta y$	$\rho_2 = K_{yt} \rho_{i-1}$	1
1.2	Проточка (расточка)	3			б, в	$e_{1,2} = \Delta y$	$\rho_3 = K_{yt} \rho_{i-1}$	2
1.3	Проточка (расточка)	4			a, з	$e_{1,2} = 0$	$\rho_3 = 0$	3
1.4	Проточка	5			a, б, в, з	$e_{1,3} = 0$	$\rho_4 = 0$	3
					a, б	$e_{2,1} = \varepsilon_y + \Delta y$	$\rho_5 = 0$	4
			в, з		$\rho_5 = K_{yt} \rho_{i-1}$	1		

1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1.1	Сверление	2			<i>a, б</i>	$e_{1.1} = \varepsilon_y + C_0 + \Delta y L$	$\rho_3 = 0$	5		
1.2	Зенкерование (расточивание)	3			<i>a, б</i>	$e_{1.2} = \Delta y$	$\rho_3 = 0$	6		
1.3	Развертывание	4			<i>a</i>	$e_{1.3} = 0$	$\rho_4 = 0$	3		
2	Термическая обработка	1;4					<i>б</i>	e_i – прежние	ρ_i – прежние	7
									$\rho_i = 1/2T_{\text{эп}}$	8
						$\rho_i = 1/2\rho_{\text{пр}}$	9			
1.1	Бесцентровое шлифование Протягивание	2			<i>a, б</i>	$e_{1.1} = 0$	$\rho_2 = 0$	3		
1.1	Фрезерование	2			–	$e_{1.1;2.1} = \varepsilon_y + \rho_{\text{обр}}$	$\rho_{2;3} = 0$	10		
2.1	Зубодолбление	3								
3.1	Зубошевирование	4					–	$e_{3.1} = 0$	$\rho_4 = 0$	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.1	Термообработка	1; 4			<i>После термической обработки</i>			
5.1	Шлифование	5			-	e_i – прежние	$\rho_i = 1/2T_{эл}$	8
6.1	Зубошлифование	5			-	$e_{5.1;6.1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_{5;6} = 0$	4
1.1	Зацентровка	4; 5			$a, б, в$	$e_{1.1} = 0,25\sqrt{\delta_{Д}^2 + 1}$	$\rho_{4;5} = 0$	1
2.1	Проточка	6			$a, б, в$	$e_{2.1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_6 = K_{yt} \cdot \rho_{i-1}$	1
2.2	Проточка	7			$a, б, в$	$e_{2.2} = \Delta y$	$\rho_7 = K_{yt} \cdot \rho_{i-1}$	2
3.1	Проточка	8			$a, б$	$e_{2.2} = 0$	$\rho_7 = 0$	3
4	Термодинамическая обработка	9, 10			$a, б, в$	$e_{3.1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_8 = K_{yt} \cdot \rho_{i-1}$	1
					<i>После термической обработки</i>			
5.1	Восстановление центров	9, 10			$a, б, в$	e_i – прежние	$\rho_i = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + (\Delta_k^{T0} \cdot x)^2}$	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Восстановление центров после правки				<i>a, б, в</i>	e_i – прежние	$\rho_i = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + (\Delta_k^{TO} \cdot x)^2}$	13
					<i>a, б</i>	$e_{5,1} = 0$	$\rho_{9;10} = 0$	3
						<i>б</i>	$e_{5,1} = \varepsilon_y + \Delta y$	$\rho_{9;10} = 0$
1.1	Зацентрировка	6;7			-	y_{i-1} – по эюре	-	14
2.1	Точение	8			-	$e_{1,1} = 0,25\sqrt{\delta\Delta^2 + 1}$	$\rho_{6;7} = 0$	11
2.2	Точение	9			-	$\varepsilon_{2,1} = \varepsilon_y + \Delta y$	$\rho_8 = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	1
3.1	Точение	10			-	$\varepsilon_{2,2} = \Delta y$	$\rho_9 = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	2
4.1	Точение	11			-	$\varepsilon_{3,1} = \varepsilon_y + \Delta y$	$\rho_{10} = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	1
4.2	Точение	12			-	y_i – по эюре	-	14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
					-	$e_{4,1} = 1/2 T A_{4.1}$	$\rho_{11} = k_{y,т} \cdot \rho_{i-1}$	15
					-	$e_{4,2} = 0$	$\rho_{12} = k_{y,т} \cdot \rho_{i-1}$	17
1.1	Фрезерование	3			-	$e_{1,1} = \epsilon_y + \Delta y + \Delta_n + \epsilon_{инд}$	$\rho_3 = k_{y,т} \cdot \rho_{i-1}$	18
1.2	Протягивание	4			-	$\epsilon_{1,2} = \Delta y + \Delta_n + \epsilon_{инд}$	$\rho_4 = 0$	19
2.1	Обработка пера лопатки	5			-	$\epsilon_{2,1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_4 = k_{y,т} \cdot \rho_{i-1}$	1
2.1	Сверление	4			-	$\epsilon_{2,1} = \epsilon_y + c_o + \Delta y L + \Delta_n + \epsilon_{инд}$	$\rho_4 = 0$	20
2.2	Зенкерование	5			-	$\epsilon_{2,2} = \Delta y + \Delta_n + \epsilon_{инд}$	$\rho_5 = 0$	19
2.3	Развертывание отверстий под пальцы	6			-			

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.1	Расточка	7 8			-	$\epsilon_{2,3} = 0$	$\rho_6 = 0$	3
3.2	Расточка				-	$\epsilon_{3,1} = \epsilon_y + \Delta y + \Delta_H$	$\rho_7 = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	21
					-	$\epsilon_{3,2} = \epsilon_y + \Delta y + \Delta_H$	$\rho_8 = 0$	22
1.1	Зацентровка	6;7			-	y_{i-1} – по эмпуре	-	14
2.1	Проточка	8			-	$e_{1,1} = 0,25\sqrt{\delta\Delta^2 + 1}$	$\rho_{6;7} = 0$	11
3.1	Проточка	9			-	$e_{2,1;3,1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_{8;9} = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	1
4.1	Сверление	10			-	y_i – по эмпуре	-	14
5.1	Точение фаски	11			-	$e_{4,1} = \epsilon_y + c_o + \Delta y \cdot L$	$\rho_{10} = 0$	5
6.1	Точение фаски	12			-	$e_{5,1;6,1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_{11;12} = 0$	4
7.1	Проточка	13			-	ϵ_{i+1} – по эмпуре	-	14
8.1	Проточка	14			-	$e_{7,1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_{13} = 0$	4
					-	$e_{8,1} = \epsilon_y + \Delta y$	$\rho_{14} = 0$	4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	Проточка	3			a	$e_{1,1} = \frac{1}{2} T A_{1,1}$	$\rho_3 = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	15
					б		$\rho_3 = 0$	16
2.1	Проточка			a); б)	a, б	$e_{2,1} = \frac{1}{2} T A_{2,1}$	$\rho_4 = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	15
1.1	Зацентрировка	3; 4			-	y_{i-1} – по эюре	-	14
2.1	Зацентрировка	5; 6			-	$e_{1,1} = 0.25 \sqrt{T \Delta^2 + 1}$	$\rho_{3;4} = 0$	11
3.1	Проточка	7			-	$e_{2,1} = \frac{1}{2} T A_{2,1}$	$\rho_{5;6} = 0$	16
4.1	Проточка	8			-	$e_{3,1;4,1} = \varepsilon_y + \Delta y$	$\rho_{7;8} = k_{y,T} \cdot \rho_{i-1}$	1

Практическая работа № 7

ВЫБОР МАРШРУТА ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Цель работы: получить практические навыки разработки маршрута обработки элементарных поверхностей с использованием табличного способа выбора варианта маршрута и его оценки по трудоемкости.

7.1. Основные положения

Предварительный выбор соответствующего маршрута обработки конкретной поверхности может производиться на основе данных справочных таблиц экономической точности обработки [1], на основе обобщенных таблиц примерных маршрутов обработки [2] или на основе расчетов коэффициентов точности и трудоемкости обработки различных методов обработки [3, 4].

В основе разработки такого рода таблиц следующие положения. Для каждого вида поверхностей находят типичного представителя, т.е., такую поверхность, которая удовлетворяет наиболее жестким требованиям по точности взаимного положения поверхностей, формы, размеров и шероховатости. Исходя из этого назначают несколько вариантов окончательной обработки (последнюю операцию или переход). К этому времени уже известен метод получения заготовки, что дает основание определить первую операцию обработки данной поверхности. Количество и состав промежуточных операций (переходов) зависят от точности исходной заготовки и требований к точности и качеству обрабатываемой поверхности. В зависимости от требований, предъявляемых к точности размеров, формы, расположения и параметров шероховатости поверхностей детали с учетом ее размеров, массы и конфигурации, типа производства, выбирают один или несколько вариантов обработки и тип соответствующего оборудования. Число предполагаемых вариантов обработки может быть достаточно большим. Путем логических рассуждений стремятся ограничить их количество, принимая во внимание следующее:

– возможность обработки данной поверхности за несколько последовательных переходов на одном станке за один установ;

- возможность ее параллельной обработки совместно с другими поверхностями за один установ;
- ограничения из-за недостаточной жесткости детали, допустимой глубины дефектного слоя;
- ограничения, которые накладывает шероховатость поверхности и т.д.

Каждому методу обработки соответствует определенный диапазон значений параметров точности. Для черновых операций это обусловлено в основном различной точностью исходных заготовок, получаемых разнообразными методами, для чистовых – отличиями в условиях обработки. Точность линейных размеров в результате выполнения каждого последующего технологического перехода обработки данной элементарной поверхности обычно повышается на 2–4 квалитета при черновой обработке и на 1–2 квалитета при чистовой и отделочной обработке [5].

Маршрут обработки отдельной поверхности выбирают исходя из требований чертежа детали и принятого метода получения заготовки. При выборе маршрута обработки в первую очередь намечается план обработки – структура операции. Последняя характеризуется своим построением, обеспечивающим рациональное сочетание и взаимосвязь основных и вспомогательных переходов.

Возможны структуры операций двух типов: простая, состоящая из одного-двух переходов, и сложная. Кроме того, для обоих типов структур обработка может быть одно- и многопоточной. При многопоточной обработке несколько деталей изготавливают по одинаковым переходам. К тому же технологический процесс может осуществляться по одно- и многоместной схеме, т.е., на каждой рабочей позиции может обрабатываться одна или несколько деталей одновременно.

Проектирование операционного технологического процесса обработки элементарной поверхности состоит из трех этапов. На первом этапе формируют элементарные структуры, реализующие простейшие технологические операции. На втором рассматривают возможность и целесообразность их укрупнения путем объединения элементарных однотипных операций, сочетающих обработку отдельных поверхностей. На третьем этапе формируют структуру операции за счет объединения различных методов и видов обработки.

Усложнение структуры операции является одним из важнейших резервов повышения производительности труда. Это достигается применением многоинструментной, многопозиционной, многоместной и многопоточной обработок, совмещением рабочих переходов, рациональным распределением по времени основных и вспомогательных рабочих ходов.

Обычно все переходы операции включают три последовательных этапа:

- 1) предварительная обработка;
- 2) чистовая обработка;
- 3) нарезание (накатывание) резьбы и отрезка.

Канавки и фаски рекомендуется выполнять после предварительной обработки перед чистовой.

Порядок и особенности обработки поверхностей внутри каждого из названных этапов выбираются в соответствии со следующими рекомендациями.

1. Чтобы уменьшить суммарную длину рабочих ходов при обработке ступенчатых поверхностей, наружное продольное точение необходимо начинать с меньшей ступени (если нет ограничения по глубине резания), а затем последовательно увеличивать диаметр обработки; последовательное сверление набором сверл осуществляют в обратном порядке (от большего диаметра к меньшему).

2. Перед сверлением отверстия диаметром менее 10 мм проводится центрование коротким жестким сверлом с углом в плане 90° на глубину, обеспечивающую образование фаски заданного размера.

3. При сверлении глубоких отверстий (отношение длины к диаметру более 10) необходимо предусматривать промежуточный вывод сверла для его очистки от стружки (первый – после достижения глубины отверстия $l = 3d$, второй – после приращения длины на $l = 2d$, третий и последующие – после каждого приращения на $l = d$).

4. При работе фасонным инструментом, центровании, точении канавок и фасок, а также при поперечном накатывании необходимо предусматривать останов суппорта на 4–5 оборотов шпинделя.

5. Обтачивание заготовок с отношением длины к диаметру большим 5 следует выполнять с применением люнетных державок, люнетов или заднего центра.

6. Применять комбинированный инструмент (сверло-зенкер, зенкер-развертку и т.д.) следует при нехватке числа позиций на станке.

Существует достаточно много способов выбора маршрута и структуры операции обработки элементарных поверхностей. Одним из наиболее простых и наглядных является табличный способ. Он позволяет назначать рациональные маршруты обработки плоских, а также наружных и внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин. Этот способ учитывает вид заготовки, шероховатость, точность размеров, формы и относительного расположения обрабатываемых поверхностей, позволяет дать экономическую оценку различным вариантам маршрута, назначить технические требования на каждый переход или операцию. Исходными данными для разработки маршрута являются чертеж детали и технические требования, определяющими из которых являются точностные, вид, метод получения, точностные параметры заготовки и технические требования, предъявляемые к ней.

7.2. Методические указания

7.2.1. Содержание таблиц для выбора маршрутов обработки

Таблицы выбора маршрута обработки состоят из основного и дополнительного полей, разделенных между собой двойной горизонтальной сплошной линией. Основное поле предназначено для выявления различных вариантов маршрутов, дополнительное – для оценки трудоемкости, точности и качества обработки по технологическим переходам или операциям. Таблицы имеют столбцы с номерами и наименованиями переходов (операций) обработки и строки основного и дополнительного полей.

Строки основного поля характеризуют вид заготовки и ее состояние. Цифрами в клетках основного поля отмечены переходы (операции), которые относятся к данному варианту выбираемых маршрутов обработки. Строки дополнительного поля определяют коэффициент трудоемкости, точность и шероховатость обработки.

7.2.2. Порядок пользования таблицами

1. Определяют коэффициенты K_1 и K_2 , учитывающие размеры детали (последняя строка таблицы).

Для плоских поверхностей

$$K_1 = 0,002A + 1; K_2 = 0,02Г + 1;$$

для наружных цилиндрических поверхностей

$$K = 0,004Г + 1;$$

для отверстий

$$K_1 = 0,02Г + 1; K_2 = 0,002d + 1,$$

где A – расстояние от технологической базы;

$Г$ – наибольший технологический размер,

d – диаметр отверстия.

Коэффициенты K_1 и K_2 позволяют оценить точность обработки, т.к. величина погрешности во многом зависит от номинальных размеров поверхностей.

2. В соответствии с видом заготовки, материалом детали и ее состоянием в основном поле находят строку, в которой расположен искомый маршрут обработки.

3. Находят столбец, который соответствует тому технологическому переходу, который обеспечивает заданную точность и шероховатость обработанной поверхности. Проверка этого условия производится в дополнительном поле таблицы. Пересечение этого столбца с соответствующей строкой таблицы образует клетку с цифрами, обозначающими варианты рекомендуемых маршрутов обработки.

4. Выбрав любую цифру, указанную в клетке, и двигаясь по данной строке слева направо, фиксируют номера столбцов, в которых имеется выбранная цифра, и записывают номера технологических переходов.

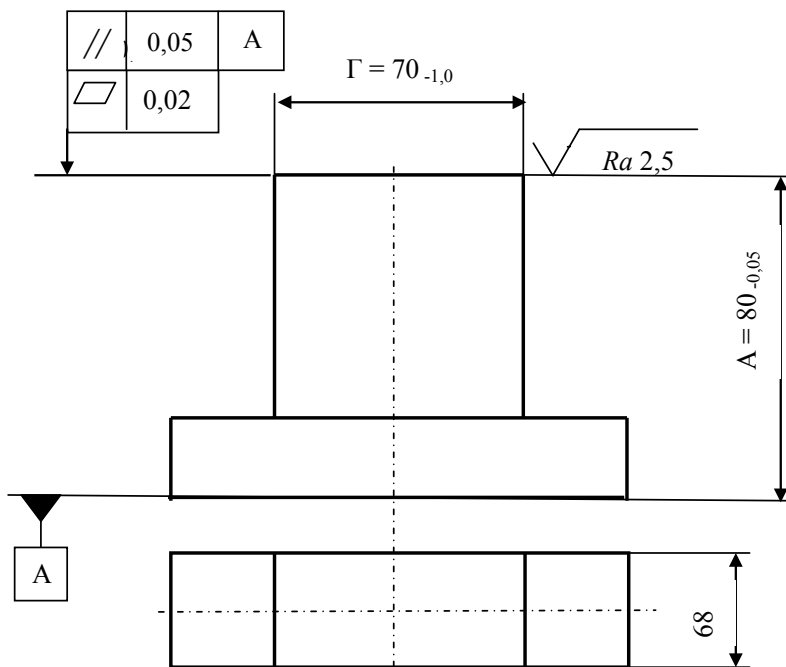
Эти действия повторяют для всех цифр, отмеченных в клетке. Таким образом формируется массив возможных вариантов маршрута обработки заданной поверхности.

5. Сравнивают варианты возможных маршрутов по величине суммарного коэффициента трудоемкости. Значения коэффициентов трудоемкости отдельных переходов (операций) приводятся в таблице.

Наивыгоднейшим считается тот вариант, у которого суммарный коэффициент трудоемкости минимален.

Пример

Дан эскиз детали



Материал детали – сталь 45Х ГОСТ 4543–71, 45-50 HRC.

Заготовка – поковка обычной точности.

1. Определяют коэффициенты K_1 и K_2 , учитывающие размеры детали (строка 17 табл. П7.1):

$$K_1 = 0,002A + 1 = 0,002 \cdot 80 + 1 = 1,16 \approx 1,2;$$

$$K_2 = 0,02\Gamma + 1 = 0,02 \cdot 70 + 1 = 2,4.$$

2. Исходя из материала и состояния детали, вида заготовки находят рекомендуемый маршрут обработки (сталь закаленная, заготовка-штамповка) – строка 2 табл. П7.1.

3. Конечный технологический переход расположен в таблице правее столбца 10 (закалка), ближайший соответствует столбцу 11 (шлифование чистовое).

4. Проверяют соответствие полученных точностных параметров при выполнении данного маршрута обработки требованиям чертежа.

Шероховатость поверхности (строка 11 графы 11) $Ra = 0,63-2,5$ мкм, что соответствует требованиям чертежа.

Погрешность размера, соединяющего установочную и измерительную базы, (строка 12 графы 11 табл. П7.1):

$$TA = 0,03 \cdot K_1 = 0,03 \cdot 1,2 = 0,036 < 0,05 \text{ мм,}$$

что также соответствует требованиям чертежа.

Плоскостность обрабатываемой поверхности (строка 16 столбца 11 табл. П7.1):

$$0,003 \cdot K_2 = 0,003 \cdot 2,4 = 0,0072 < 0,02 \text{ мм.}$$

Таким образом, выбранный маршрут обработки данной поверхности по всем параметрам соответствует требованиям чертежа, поэтому конечный маршрут определяется строка 2 графы 11. Здесь проставлены номера маршрутов 1; 4; 6.

Перемещаясь по строке 2, фиксируют столбцы, в которых присутствует цифра 1. Это столбцы 3; 8; 10; 11. Они определяют маршрут обработки: фрезерование черновое и чистовое, термообработка (закалка) и шлифование.

Далее выбирают столбцы с цифрой 4. Это 4; 8; 10 и 11. Они представляют второй маршрут обработки, состоящий из строгания, фрезерования чистового, термообработки и шлифования.

Третий маршрут исключается, так как он представляет маршрут обработки тел вращения.

Далее делается проверка 1-го и 2-го вариантов по трудоемкости.

Для первого варианта суммарный коэффициент трудоемкости (коэффициенты указаны в столбцах 3; 8; 11 табл. П7.1):

$$\sum K_1 = 1,0 + 1,5 + 1,0 = 3,5.$$

Для второго варианта коэффициенты указаны в столбцах 4; 8; 11:

$$\sum K_2 = 2,0 + 1,5 + 1,0 = 4,5.$$

Окончательно выбирается первый вариант, т.к. у него суммарный коэффициент трудоемкости меньший.

Пример расчета технических требований приведен в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Расчет технических требований принятого варианта обработки корпусной детали

№ операции	Эскиз обработки	Технические требования
1	2	3
1. Фрезерование черновое		$TA_1 = 0,18 \cdot K_1 =$ $= 0,18 \cdot 1,2 = 0,22$ Параллельность поверхности 1 относительно поверхности А $0,04 \cdot K_2 = 0,04 \cdot 2,4 =$ $= 0,096 \approx 0,1$ Плоскостность поверхности 1 $0,02 \cdot K_2 = 0,02 \cdot 2,4 =$ $= 0,048$
2. Фрезерование чистовое		$TA_2 = 0,12 \cdot K_1 =$ $= 0,12 \cdot 1,2 = 0,15$ Параллельность поверхности 1 относительно поверхности А: $0,02 \cdot K_2 = 0,02 \cdot 2,4 =$ $= 0,048 \approx 0,05$ Плоскостность поверхности 1: $0,01 \cdot K_2 = 0,01 \cdot 2,4 =$ $= 0,024$

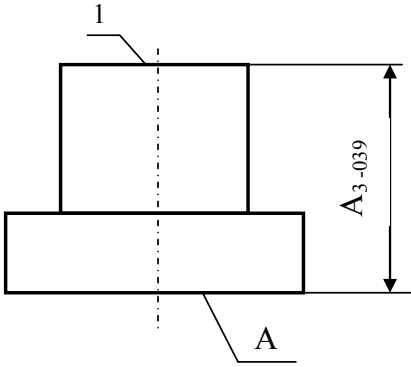
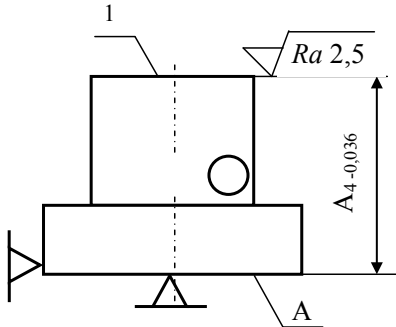
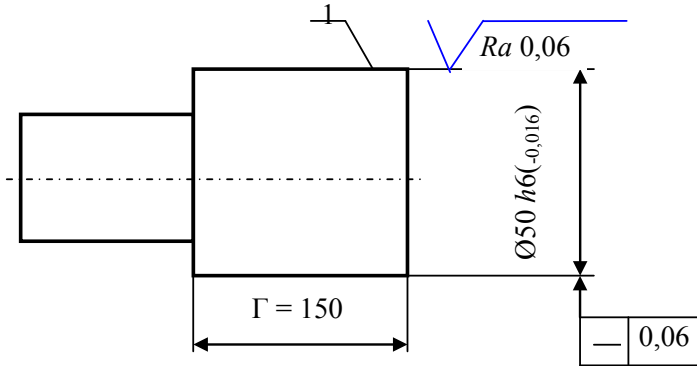
1	2	3
3. Термообработка		$TA_3 = \text{исх.} + 0,2 \cdot K_1 =$ $= 0,15 + 0,2 \cdot 1,2 =$ $= 0,15 + 0,2 \cdot 1,2 = 0,39$ Параллельность поверхности 1 относительно поверхности А: исх. + 0,2 · K ₁ = = 0,05 + 0,2 · 1,2 = 0,29 Плоскостность поверхности 1: исх. + 0,2 · K ₁ = 0,024 + + 0,2 · 1,2 = 0,26
4. Шлифование		$TA_4 = 0,03 \cdot K_1 =$ $= 0,03 \cdot 1,2 = 0,036$ Параллельность поверхности 1 относительно поверхности А: 0,006 · K ₂ = 0,006 · 2,4 = = 0,0144 Плоскостность поверхности 1: 0,003 · K ₂ = 0,003 · 2,4 = = 0,007

Таблица выбора маршрута обработки (П7.1) позволяет найти оптимальную схему обработки и назначить все технические требования на каждый технологический переход, а также произвести экономическую оценку выбранного варианта техпроцесса на основе расчета суммарного коэффициента трудоемкости.

7.3. Выбор маршрута обработки цилиндрической поверхности (табл. П7.2)

Дан эскиз цилиндрической детали



Материал детали – сталь 40Х, ГОСТ 4543–71, 45–50 HRC, заготовка – штамповка обычной точности, получаемый после штамповки размер $\varnothing 54$.

1. Коэффициент K , учитывающий наибольший габаритный размер обрабатываемой поверхности заготовки, определяют по строке 19:

$$K = 0,004 \cdot \Gamma + 1 = 0,004 \cdot 150 + 1 = 1,6.$$

2. Искомый (рекомендуемый) маршрут обработки находят в строке 2 (закаленная сталь, штамповка).

3. Конечный технологический переход находится по той же таблице после столбца 8 (закалка). Ближайший переход соответствует столбцу 10 (шлифование чистовое).

4. Проверяют выполнение технических требований, которые обеспечивают выбранный переход (операцию).

Получаемая точность *IT6* соответствует требованиям чертежа.

Шероховатость поверхности обработки (строка 11) $Ra = 0,032$ – $1,25$ не удовлетворяет требованиям чертежа. Таким образом, доминирующим техническим требованием является шероховатость поверхности. Требуемую шероховатость можно обеспечить

отделочными методами обработки (столбцы 13–15). Среди них наименьший коэффициент трудоемкости (строка 10) имеет суперфиниширование (столбец 12).

Принимают в качестве окончательного технологического перехода суперфиниш (строка 2 столбца 12).

В этой клетке указаны рекомендуемые номера маршрутов обработки – 1 и 2.

5. Перемещаясь по строке 2, определяют номера столбцов, в которых встречается цифра 1. Это номера 3; 7; 8; 9; 10; 11; 12. Они и определяют первый из двух возможных маршрутов обработки: точение черновое, шлифование предварительное, термообработка (закалка), исправление центровых фасок, шлифование чистовое, шлифование тонкое, суперфиниширование.

Второй маршрут определяют столбцы, в которых встречается цифра 2. Это столбцы с номерами 3; 5; 8; 9; 10; 12. Они соответствуют следующим операциям: точение черновое, точение чистовое, закалка, исправление фасок, шлифование чистовое и суперфиниширование.

6. Сопоставляют экономичность обоих вариантов по суммарному коэффициенту трудоемкости. Коэффициенты трудоемкости для каждой операции первого маршрута: точение черновое – 1,0; шлифование предварительное – 0,9; закалка и исправление центров не нормируются; шлифование чистовое – 1,2; шлифование точное – 2,0; суперфиниш – 1,0. Суммарный коэффициент для первого маршрута обработки

$$\sum K_1 = 1,0 + 0,9 + 1,2 + 2,0 + 1,0 = 6,1.$$

Аналогично подсчитывается суммарный коэффициент трудоемкости для второго маршрута

$$\sum K_2 = 1,0 + 1,2 + 1,2 + 1,0 = 4,4.$$

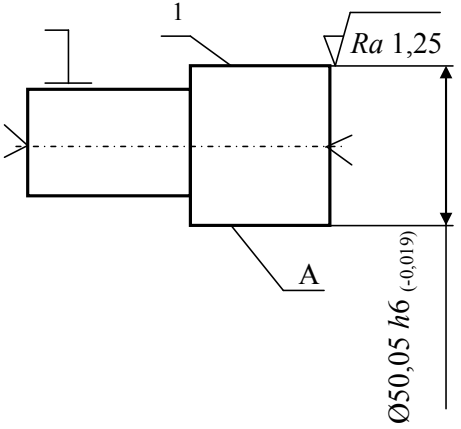
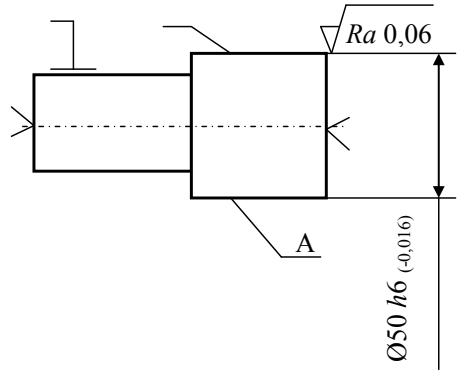
Так как суммарный коэффициент трудоемкости для второго варианта оказался меньшим, принимается к разработке второй вариант.

Пример расчета технических требований маршрута обработки приведен в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Расчет технических требований маршрута обработки наружной цилиндрической поверхности $\varnothing 50h6$

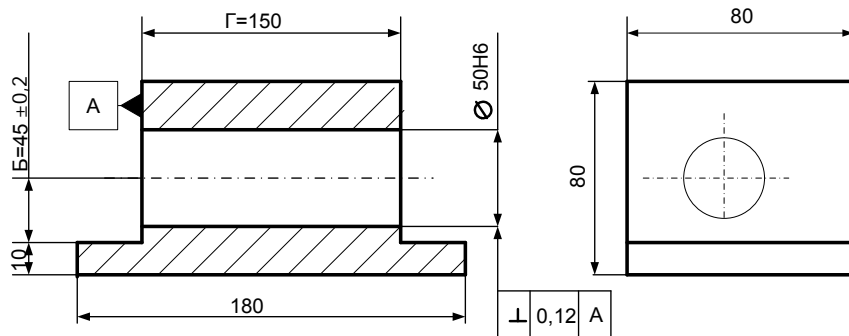
№ перехода или операции	Эскиз обработки	Технические требования
1	2	3
1. Точение черновое		<p>Точность $IT\ 12$</p> <p>Прямолинейность оси обрабатываемой поверхности $0,02 \cdot K = 0,02 \cdot 1,6 = 0,032\ \text{мм}$</p>
2. Точение чистовое		<p>Прямолинейность оси обрабатываемой поверхности $0,02 \cdot K = 0,03 \cdot 1,6 = 0,032\ \text{мм}$</p>
3. Термо-обработка	<p>Точность: $\text{исх.} + 1\ \text{кв.} = IT9 + 1\ \text{кв.} = IT10$</p>	<p>Прямолинейность оси $\text{Исх.} + 0,02 \cdot K = 0,064\ \text{мм}$</p>

1	2	3
<p>4. Шлифование чистовое</p>		<p>Прямолинейность оси обрабатываемой поверхности $0,005 \cdot K =$ $= 0,005 \cdot 1,6 =$ $= 0,008 \text{ мм}$</p>
<p>5. Суперфиниширование</p>		<p>Точность сохраняется от предыдущей операции IT6 Величина прямолинейности оси обрабатываемой поверхности сохраняется от предыдущей операции, т.е., 0,008 мм</p>

7.4. Выбор маршрута обработки детали с отверстием (табл. П7.3)

Пример

Дан эскиз обрабатываемой детали с отверстием



Материал детали – сталь 40Х ГОСТ 4543–71, 45-50 *HRC*.

Заготовка – штамповка без отверстия.

Выбирают маршрут.

1. Коэффициенты K_1 и K_2 , учитывающие габаритные размеры обрабатываемого отверстия, выбирают по строке 22 табл. П7.3.

$$K_1 = 0,02 \cdot \Gamma + 1 = 0,02 \cdot 150 + 1 = 4;$$

$$K_2 = 0,002 \cdot d + 1 = 0,002 \cdot 50 + 1 = 1,1.$$

2. Маршрут обработки находят в строке 2.

3. В качестве предполагаемого конечного перехода (операции) обработки выбирают ближайшую операцию или переход, следующий за термообработкой. По табл. П7.3 термообработка (закалка) находится в столбце 12, ближайший соответствующий порядку выбора – столбец 13, который определяет конечную операцию – шлифование.

4. Этой операцией проверяют выполняемость технических требований.

Шероховатость поверхности определяется по столбцу 14. Согласно таблице шлифование отверстия дает $Ra = 0,63-1,25$ мкм, по чертежу детали требуется $Ra = 0,32$ мкм, т.е., шлифование как конечная операция не обеспечивает требований чертежа детали. В связи с этим, необходимо выбрать отделочные операции, которые в столбцах 14, 15 и 16 значатся как хонингование, доводка неразмерная и доводка размерная.

5. Сопоставляют три доводочные операции по коэффициентам трудоемкости (по строке 13). Для хонингования (строка 14 столбца 13) коэффициент трудоемкости равен 1, для доводки черновой (строка 15 столбца 13) – 5 и для доводки чистой (строка 16 столбца 13) – 10. Как видно, наименьший коэффициент трудоемкости имеет операция хонингования. Она и принимается в качестве конечной.

Конечный маршрут находим в строке 2 столбца 14, где стоит шесть цифр: 1; 2; 3; 4; 5 и 6, что соответствует шести вариантам маршрута обработки отверстия. Как и в предыдущих примерах, окончательный выбор наиболее рационального варианта техпроцесса производят сравнивая суммарные коэффициенты трудоемкости всех выбранных маршрутов. Результаты расчетов приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Сравнение вариантов маршрута обработки отверстия по суммарным коэффициентам трудоемкости

№ варианта	Номера операций (столбцов)	Расчет суммарных коэффициентов трудоемкости
1	4; 7; 12; 13; 14	$1,2 + 0,8 + 2,8 + 1 = 5,8$
2	4; 5; 12; 13; 14	$1,2 + 1,4 + 2,8 + 1 = 6,4$
3	4; 10; 12; 14	$1,2 + 0,3 + 1 = 2,5$
4	8; 9; 12; 14	$1 + 0,6 + 1 = 2,6$
5	4; 5; 6; 12; 14	$1,2 + 1,4 + 2,3 + 1 = 5,9$
6	4; 7; 9; 12; 14	$1,2 + 0,8 + 0,6 + 1 = 3,6$

Как видно из таблицы, наименьшей трудоемкостью обладает маршрут № 3. После этого следует проверить соответствие выбранного маршрута техническим требованиям чертежа.

Позиционное отклонение (погрешность координат) оси отверстия относительно базы на первой операции (сверлении)

$$0,1 \cdot K_2 = 0,1 \cdot 1,1 = 0,11.$$

Величина этой же погрешности на второй операции (протягивании)

$$\text{Исходн.} + 0,02 \cdot K_2 = (0,11 + 0,02 \cdot 1,1) = 0,13.$$

На третьей операции (закалке)

$$\text{Исходн.} + 0,02 \cdot K_1 = (0,13 + 0,02 \cdot 4) = 0,21,$$

что соответствует требованиям чертежа.

Перпендикулярность оси отверстия относительно поверхности А (строка 19):

при сверлении – $0,12 \cdot K_2 = 0,12 \cdot 1,1 = 0,132;$

при протягивании – $0,05 \cdot K_2 = 0,05 \cdot 1,1 = 0,055;$

после закалки – $\text{исходн.} + 0,02 \cdot K_1 = (0,055 + 0,02 \cdot 4) = 0,135.$

Для базовой поверхности с габаритами 80×80 перпендикулярность составляет

$$0,135/80 = 0,0016,$$

что больше допустимой техническими требованиями

$$0,18/150 = 0,0012.$$

Несмотря на самую малую трудоемкость третий вариант приходится отклонить из-за невыполнения технических требований.

Ближайший по минимальной трудоемкости маршрут № 4, состоящий из операций 8; 9; 12 и 14 (сверление, развертывание, закалка и хонингование).

Как и в предыдущем случае, проверяют выполняемость технических требований чертежа по точности относительного положения отверстия.

1. Отклонение позиционное (погрешность координат).

1.1. Сверление отверстия – $0,1 \cdot K_2 = 0,1 \cdot 1,1 = 0,11.$

1.2. Развертывание – (исходн. + 0,02 · K2) = (0,11 + 0,02 · 1,1) = 0,132.

1.3. Хонингование – сохраняется прежняя величина.

2. Перпендикулярность оси отверстия относительно базовой поверхности А.

2.1. Сверление – $0,02 \cdot K_2 = 0,02 \cdot 1,1 = 0,022$.

2.2. Развертывание – сохраняется без изменений.

2.3. Закалка – (исходн. + 0,02 · K1) = (0,022 + 0,02 · 4) = 0,102.

2.4. Хонингование – сохраняется прежняя величина.

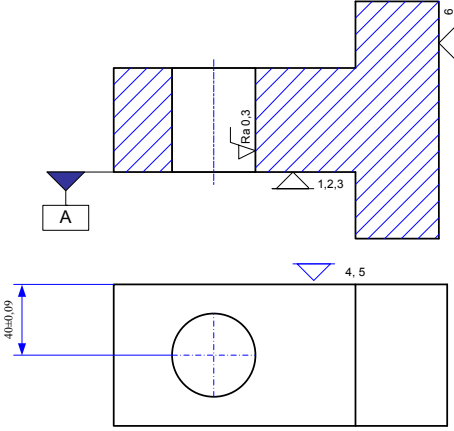
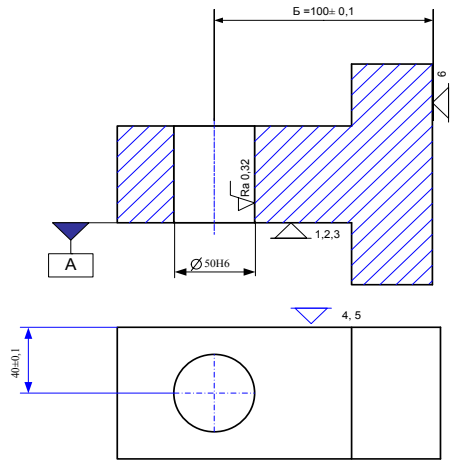
Очевидно, что четвертый вариант маршрута обработки удовлетворяет всем техническим требованиям чертежа и одновременно является одним из наиболее экономичных.

В табл. 7.4, приводятся эскизы и расчет технических требований при обработке отверстия $\varnothing 60h6$.

Таблица 7.4

Расчет технических требований при обработке по маршруту № 4

№ операции или перехода	Эскиз обработки	Расчет технических требований
1	2	3
<p>005 Сверление глубокое</p>		$T_B = 0,06 \cdot K_2 =$ $= 0,06 \cdot 1,1 =$ $= 0,066$ <p>Перпендикулярность относительно поверхности А</p> $A \ 0,02 \cdot K_2 =$ $= 0,02 \cdot 1,1 = 0,022$

1	2	3
<p>010 Развертывание</p>		$T_B = \text{исх.} + 0,02 \cdot K_2$ $= 0,066 + 0,022 = 0,088$ <p>Перпендикулярность оси относительно поверхности А $0,02 \cdot K_2 = 0,02 \cdot 1,1 = 0,022$</p>
<p>015 Закалка</p>	$T_B = \text{исх.} + 0,01 \cdot K_2 = 0,088 + 0,01 \cdot 1,1 = 0,099 \approx 0,1$ <p>Перпендикулярность относительно поверхности А $\text{исх.} + 0,01 \cdot K_2 = 0,022 + 0,01 \cdot 1,1 = 0,033$</p>	
<p>20 Хонингование</p>		<p>Перпендикулярность относительно поверхности А – 0,033</p>

7.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с общими теоретическими положениями и методическими указаниями табличного выбора маршрута обработки элементарных поверхностей, изложенными в начале работы.
2. Вычертить эскиз детали из табл. П7.1 по первой части задания (по указанию преподавателя).
3. По табл. П7.1 определить коэффициенты K_1 и K_2 , учитывающие размеры обрабатываемой поверхности детали (плоскости или торца).
4. По табл. П7.1 определить возможные маршруты обработки заданной поверхности.
5. По суммарному коэффициенту обработки выбрать наиболее экономичный вариант обработки, обеспечивающий выполнение требований чертежа по точности размеров, формы и взаимному расположению поверхностей.
6. Вычертить эскизы обработки принятого маршрута и произвести расчет технических требований.
7. Вычертить эскиз второй (цилиндрической) детали из табл. П7.2.
8. По табл. 7.2 определить коэффициент K , учитывающий наибольший габаритный размер обрабатываемой поверхности.
9. По табл. 7.2 определить возможные маршруты обработки заданной цилиндрической поверхности.
10. По суммарному коэффициенту обработки выбрать наиболее экономичный вариант обработки, обеспечивающий выполнение требований чертежа по точности размеров, формы и взаимному расположению поверхностей.
11. Вычертить эскизы обработки принятого маршрута с определением технических требований.
12. Выполнить эскиз корпусной детали из табл. П7.3.
13. По табл. П7.3 определить коэффициенты K_1 и K_2 , учитывающие размеры обрабатываемой поверхности детали.
14. По табл. П7.3 определить возможные маршруты обработки заданного отверстия.
15. По суммарному коэффициенту обработки выбрать наиболее экономичный вариант обработки, обеспечивающий выполнение требований чертежа по точности размеров, формы и взаимному расположению поверхностей.

16. Вычертить эскизы обработки принятого маршрута с определением технических требований.

17. Проанализировать полученные результаты.

7.5. Содержание отчета о работе

1. Название работы.

2. Содержание задания и эскизы деталей с необходимыми размерами и техническими требованиями.

3. Расчет коэффициентов и выбор маршрутов обработки заданных поверхностей (плоской поверхности, наружной цилиндрической и отверстия). Расчет суммарных коэффициентов трудоемкости и технических требований.

4. Вычертить эскизы обработки элементарных поверхностей с полученными значениями точности обработки и технических требований.

5. Заключение.

7.6. Вопросы для самопроверки

1. В зависимости от чего выбирается первая операция механической обработки?

2. Что влияет на выбор последней операции механической обработки?

3. Как должны выбираться промежуточные операции механической обработки?

4. От чего зависит выбор коэффициентов K_1 и K_2 при обработке плоскостей?

5. Как определяются возможные маршруты обработки плоскостей?

6. Что является определяющим при выборе наиболее экономичного варианта техпроцесса?

7. Какие особенности накладывает конфигурация детали при выборе маршрута обработки наружных цилиндрических поверхностей?

8. В чем состоит особенность выбора маршрута обработки отверстий?

9. Как определяются погрешности формы и взаимного расположения поверхностей для всех трех случаев обработки поверхностей?

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т. 1. – 914 с.
2. Технология машиностроения: сборник задач и упражнений: учебное пособие / В.И. Аверченков [и др.]; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 288 с. – (Высшее образование).
3. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 204 с.
4. Мордвинов, Б.С. Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки / Б.С. Мордвинов. – Омск, 1975.
5. Руководство к дипломному проектированию по технологии машиностроения, металлорежущим станкам и инструментам: учебное пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / Л.В. Худобин [и др.]; под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.: ил.

Приложение к практической работе № 7

Таблица П7.1

Выбор маршрута обработки плоскостей и торцев

Вид заготовки	Материал детали и его состояние	№ строк	Технологические переходы (операции), изменяющие точность												
			Черновые, термические, чистовые										Отделочные		
			Фрезерование черновое	Строгание	Шлифование черновое	Точение торцов черновое	Точение торцов чистовое	Фрезерование чистовое	Протягивание	Закалка, закалка с цементацией	Шлифование чистовое	Шлифование тонкое	Полирование	Доводка неразмерная	Доводка размерная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Отливка, поковка, штамповка	Сталь незакаленная	1	1; 2; 3	4; 5	-	6	6	1; 2; 3; 4	2; 5	-	1; 3; 4	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6
	Сталь закаленная	2	1; 2; 3	4; 5	3	6	6	1; 2; 4	2; 5	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 4; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6
	Чугун	3	1; 2	3; 4	-	5	5	1; 3	2; 4	-	1; 3; 4; 5	1; 3; 4; 5	1; 2; 3; 4; 5;	1; 2; 3; 4; 5;	1; 2; 3; 4; 5;
	Сталь незакаленная	4	1*; 2*; 3*	4*; 5*	-	6	6	1; 2; 3; 4	2; 5	-	1; 3; 4;	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6

1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Сталь закаленная	5	1*; 2*; 3*	4*; 5*	3	6	6	1; 4	2; 5	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 4; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6
	Чугун	6	1*; 2*	3*; 4*	–	5	5	1; 3	2; 4	–	1; 3; 4; 5	1; 3; 4; 5	1; 2; 3; 4; 5;	1; 2; 3; 4; 5;	1; 2; 3; 4; 5;
	Цветные металлы	7	1*	3*	–	2*	2	1; 3	1; 3	–	–	–	1; 2; 3	–	–
Прокат	Сталь незакаленная	8	1*; 2*; 3*	4*; 5*	6	7	7	1; 2; 3	2; 5	–	1; 3; 4; 6; 7;	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7
	Сталь закаленная	9	1*; 2*	4*; 5*	3	6	6	1; 4	2; 5	1; 2; 3; 4; 5; 6;	1; 2; 3; 4; 5; 6;	1; 2; 3; 4; 5; 6;	1; 2; 3; 4; 5; 6;	1; 2; 3; 4; 5; 6;	1; 2; 3; 4; 5; 6;
Коэффициент трудоемкости	10	1,0	2,0	0,8	1,0	1,5	1,5	0,6	–	1,0	1,5	3,0	5,0	10,0	
Шероховатость, Ra	11	12,5–20	12,5–20	2,5–6,3	12,5–20	1,25–2,5	1,25–2,5	0,63–2,5	Сох-ран.	0,63–2,5	0,16–1,75	0,02–0,1	0,02–0,1	0,02–0,1	
Погрешность размера (от технологической базы)	12	$0,18 \times K_1$	$0,35 \times K_1$	$0,05 \times K_1$	$0,2 \times K_1$	$0,12 \times K_1$	$0,12 \times K_1$	$0,1 \times K_1$	Исх. + $0,2K_1$	$0,03 \times K_1$	$0,01 \times K_1$	Сох-ран.	Сох-ран.	$0,001 \times K_1$	

Окончание табл. П7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Погрешность размера от настроечной базы (в одной позиции)	13	$0,15 \times K_1$	$0,2 \times K_1$	$0,04 \times K_1$	$0,12 \times K_1$	$0,08 \times K_1$	$0,08 \times K_1$	$0,06 \times K_1$	Исх. + $0,2K_1$	$0,02 \times K_1$	$0,01 \times K_1$	Сох-ран.	Сох-ран.	Сох-ран.
Погрешность размера от настроечной базы (с разных позиций)	14	–	–	–	$0,2 \times K_1$	$0,12 \times K_1$	–	–	Исх. + $0,2K_1$	–	–	–	–	–
Перпендикулярность и параллельность относительно базы	15	$0,04 \times K_2$	$0,06 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,04 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,01 \times K_2$	Исх. + $0,2K_1$	$0,006 \times K_2$	$0,003 \times K_2$	Сох-ран.	Сох-ран.	$0,02 \times K_2$
Плоскостность	16	$0,02 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,01 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,01 \times K_2$	$0,01 \times K_2$	$0,004 \times K_2$	Исх. + $0,2K_1$	$0,003 \times K_2$	$0,002 \times K_2$	$0,002 \times K_2$	$0,0005 \times K_2$	$0,0005 \times K_2$
Коэффициенты, учитыв. размеры	17	$K_1 = 0,002A + 1$, где А – расстояние до базы; $K_2 = 0,02Г + 1$, где Г – наибольший габаритный размер обработыв. поверхн.												

Примечание. * отмечены операции (переходы), которые используются для удаления напусков или увеличенных припусков.

Выбор маршрута обработки наружных цилиндрических поверхностей

Вид заготовки	Материал детали и его состояние	№ строк	Технологические операции или переходы, изменяющие точностные параметры												
			Черновые, термические и чистовые									Отделочные			
			Точение черновое	Шлифование черновое	Точение чистовое	Точение тонкое	Шлифование предварительное	Закалка, закалка с цементацией	Исправление центровых фасок	Шлифование чистовое	Шлифование точное	Суперфиниш	Полирование	Доводка неразмерная	Доводка размерная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Отливка, поковка, штамповка обычной точности	Сталь незакаленная	1	1; 2; 3; 4; 5; 6	–	1; 2; 4; 5	4; 5	3; 6	–	–	1; 2; 3; 6	1; 4; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 4; 6
	Сталь закаленная	2	1; 2	–	2	–	1	1; 2	1; 2	1; 2	1	1; 2	1; 2	1; 2	1
	Чугун	3	1; 2; 3	–	1; 3	1	2	–	–	2; 3	1	1; 2; 3	1; 2; 3	1; 2; 3	1

Продолжение табл. П7.2

1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Точная отливка, точная штамповка	Сталь незакален- ная	4	1*; 2*; 3*; 4*; 5*; 6*	–	1; 2; 4; 5	4; 5	3; 6	–	–	1; 2; 3; 6	1; 4; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 4; 6
	Сталь закален- ная	5	1*; 2*	–	2	–	1	1; 2	1; 2	1; 2	1	1; 2	1; 2	1; 2	1
	Чугун	6	1*; 2*; 3*; 4*; 5*; 6*	–	1; 2; 3; 4; 5	1; 2; 3	4; 6	–	–	4; 5; 6	1; 2; 3; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 6
	Цветные металлы	7	1*; 2*	–	1; 2	1; 2	–	–	–	–	–	–	1	2	–
Круглый прокат	Сталь незакален- ная	8	1*; 2*; 3*; 4*; 5*; 6*	1; 2	4; 5	4; 5	3; 6	–	–	1; 2; 3; 6	1; 4; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 4; 6
	Сталь закален- ная	9	1*; 2*; 3*; 4*	4	2; 3	–	1; 4	1; 2; 3; 4	1; 2; 3	1; 2; 3; 4	1; 2; 4	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4	1; 2; 4
Коэффициент трудоемкости	10	1	0,8	1,2	2,0	0,9	–	–	1,2	2,0	1,0	2,0	5,0	10,0	
Шероховатость	11	<i>Ra</i> 12,5– 20	<i>Ra</i> 2,5– 6,3	<i>Ra</i> 1,25– 2,5	<i>Ra</i> 0,63– 2,5	<i>Ra</i> 1,25– 2,5	Сохр.	–	<i>Ra</i> 0,32– 1,25	<i>Ra</i> 0,08– 0,32	<i>Ra</i> 0,02– 0,08	<i>Rz</i> 0,02– 0,1	<i>Rz</i> 0,02– 0,1	<i>Rz</i> 0,02– 0,1	
Точность (кавалитет) диаметра	12	12–14	11–12	9–11	6–7	9–11	Исход. + + 1 квал.	–	6–8	4–7	Сохр.	Сохр.	Сохр.	3	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Отклонение соосности относительно линии центров	13	0,1× ×К	0,05× ×К	0,06× ×К	0,03× ×К	0,02× ×К	Исход. + +0,02× ×К	0,03	0,01× ×К	0,005× ×К	Сохр.	Сохр.	Сохр.	Сохр.
Соосность относительно базы (в патроне или приспособлении)	14	0,25× ×К	–	0,1× ×К	0,05× ×К	0,03× ×К	Исход. + +0,01× ×К	–	0,02× ×К	0,02× ×К	Сохр.	Сохр.	Сохр.	Сохр.
Соосность относительно базы (в цанге)	15	0,15× ×К	–	0,06× ×К	0,03× ×К	0,02× ×К	Исход.+ +0,01× ×К	–	0,02× ×К	0,02× ×К	Сохр.	Сохр.	Сохр.	Сохр.
Прямолинейность оси	16	0,02× ×К	0,02× ×К	0,02× ×К	0,015× ×К	0,01× ×К	Исход. +0,02× ×К	–	0,005× ×К	0,003× ×К	Сохр.	Сохр.	0,001× ×К	0,001× ×К
Цилиндричность поверхности	17	0,05× ×К	0,03× ×К	0,02× ×К	0,015× ×К	0,01× ×К	Исход. +0,02× ×К	–	0,006× ×К	0,004× ×К	Сохр.	Сохр.	0,001× ×К	0,001× ×К
Смещение оси при бесцентровой обработке	18	–	0,03× ×К	–	–	0,02× ×К	–	–	0,01× ×К	0,005× ×К	Сохр.	Сохр.	Сохр.	Сохр.
Коэффициент, учитывающий размер	19	К = 0,004Г + 1, где Г – наибольший габаритный размер обрабатываемой поверхности												

Примечание. * отмечены операции (переходы), которые используются при удалении напусков или увеличенных припусков.

Таблица П7.3

Выбор маршрута обработки сквозных отверстий ($8 \leq d \leq 400$)

Вид заготовки	Материал детали и его состояние	№ строк	Технологические операции или переходы, изменяющие точностные параметры													
			Черновые, термические и чистовые										Отделочные			
			Растачивание	Сверление (расверливание $d \leq 50$)	Растачивание чистовое	Алмазное растачивание	Зенкерование $d \leq 50$	Сверление глубокое $d \leq 50$	Развертывание $d \leq 50$	Протягивание $l/d \leq 5$	Раскатка (дорнование)	Закалка, закалка с цементацией	Шлифование	Хонингование $d \geq 40$	Доводка неразмерная	Доводка размерная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Литье в земпо, штамповка (без отверстий)	Сталь незакаленная	1	–	1; 2; 3; 4; 5; 7; 8	2; 3; 7; 8	2; 7	1; 4; 5	6	1; 3; 6	4; 5	4; 7	–	8	1; 2; 3; 5; 6; 8	1; 2; 3; 5; 6; 8	8
	Сталь закаленная	2	–	1; 2; 3; 5; 6	2; 5	5	1; 6	4	4; 6	3	–	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2
	Чугун	3	–	1; 2; 3; 4; 6	4; 6	4	1; 2	5	1; 5	3	1	–	2; 6	2; 3; 4; 5; 6	2; 3; 4; 5;	2; 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Литье, штамповка с пролитым или пролитым отверстием	Сталь незакаленная	4	1; 2; 3; 6; 7;	4; 5	1; 6; 7	1; 7	2; 4	–	2; 4	3; 5	3; 7	–	6	1; 2; 4; 5; 6	1; 2; 4; 5; 6	6
	Сталь закаленная	5	1; 2; 3; 5	4	1; 5	5	2; 4	6	2; 4; 6	3	–	1; 2; 3 4; 5; 6	1	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1
	Чугун	6	1; 2; 3; 4; 5; 6	7; 8	1; 3; 5	1; 3	2; 6; 7	–	2; 7	4; 8	2; 3	–	5; 6	1; 4; 5; 6; 7; 8	1; 4; 5; 6; 7; 8	5; 6
Точное литье или штамповка с пролитым или пролитым отверстием	Сталь незакаленная	7	1*; 2*; 3*; 4*	5; 6; 7	1; 2; 3; 4; 6	1; 6	2; 5; 8	–	2; 5; 8	3; 7; 9	3; 8	–	4; 9	1; 2; 4; 5; 6; 7; 9	1; 2; 4; 5; 6; 7; 9	4; 9
	Сталь закаленная	8	1*; 2*;	3; 4	1; 2	–	4	–	4	2; 3; 5; 6	–	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 5	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 5
	Чугун	9	1*; 2*; 3*; 4*; 5*	6; 7; 8	1; 2; 3; 4; 5	1	2; 6; 8	–	2; 6; 8	3; 4; 7; 9	4; 7; 8	–	5	1; 2; 3; 5; 6; 9	1; 2; 3; 5; 6; 9	5

Продолжение табл. П7.3

1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Цветные металлы	10	1*; 2*; 5*	3	1; 2; 5	1	3	–	3	2; 4; 5	2; 3; 4	–	–	1; 5	1; 5	–
Катаные заготовки,	Сталь незакаленная	11	1*; 2*; 3*; 4*; 9*	5; 6; 7	1; 2; 3; 4; 6; 9	1; 6; 9	2; 5; 8	–	2; 5; 8	3; 7	3; 8; 9	–	4	1; 2; 4; 5; 6; 7	1; 2; 4; 5; 6; 7	4
	Сталь закаленная	12	1*; 2*; 7*	3; 4	1; 2; 7	7	4	–	4	2; 3; 5; 6	–	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1; 5; 7	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1; 5; 7
Коэффициент трудоемкости		13	1,0	1,2	1,4	2,3	0,8	1,0	0,6	0,3	0,4	–	2,8	1,0	5,0	10,0
Шероховатость		14	<i>Ra</i> 12,5– 20	<i>Ra</i> 12,5– 20	<i>Ra</i> 1,25– 2,5	<i>Ra</i> 0,63– 1,25	<i>Ra</i> 10– 20	<i>Ra</i> 0,63– 1,25	<i>Ra</i> 0,63– 1,25	<i>Ra</i> 0,63– 1,25	<i>Ra</i> 0,32– 0,63	Сохр.	<i>Ra</i> 0,63 – 1,25	<i>Ra</i> 0,32– 0,63	<i>Rz</i> 0,02– 0,1	<i>Rz</i> 0,02 –0,1
Точность диаметра (калитет)		15	12–13	11–13	9–11	6–7	9–11	7–8	6–7	6–9	Исх + +1 квал.	Исх + +1 квал.	6–9	Сохр.	Сохр.	3
Соосность относительно базы		16	0,08× ×K ₂	0,12× ×K ₂	0,04× ×K ₂	0,03× ×K ₂	0,06× ×K ₂	0,06× ×K ₂	Исх.+ +0,02× ×K ₂	Исх.+ +0,02× ×K ₂	Исх.+ +0,001× ×K ₂	Сохр.	0,03× ×K ₂	Сохр.	Сохр.	Сохр.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Отклонение позиционное (отклонение координат)	17	$0,2 \times K_2$	$0,1 \times K_2$	$0,07 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,08 \times K_2$	$0,06 \times K_2$	Исх.+ $+0,02 \times K_2$	Исх.+ $+0,02 \times K_2$	Исх.+ $+0,01 \times K_2$	Исх.+ $+0,02 \times K_1$	$0,02 \times K_2$	Сохр.	Сохр.	Сохр.
Прямолинейность оси	18	$0,015 \times K_1$	$0,01 \times K_1$	$0,01 \times K_2$	$0,007 \times K_2$	$0,01 \times K_2$	$0,006 \times K_2$	$0,004 \times K_2$	$0,006 \times K_2$	$0,006 \times K_2$	Исх.+ $+0,02 \times K_1$	$0,04 \times K_2$	Сохр.	$0,001 \times K_2$	$0,001 \times K_2$
Параллельность и перпендикулярность относительно базы	19	$0,02 \times K_1$	$0,12 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,01 \times K_2$	$0,04 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	Сохр.	$0,05 \times K_1$	Сохр.	Исх.+ $+0,02 \times K_1$	$0,02 \times K_2$	Сохр.	Сохр.	Сохр.
Цилиндричность отверстия	20	$0,05 \times K_2$	$0,04 \times K_1$	$0,03 \times K_2$	$0,005 \times K_2$	$0,006 \times K_1$	$0,003 \times K_1$	$0,002 \times K_1$	$0,006 \times K_2$	$0,006 \times K_2$	Исх.+ $+0,02 \times K_1$	$0,004 \times K_2$	Сохр.	$0,001 \times K_2$	$0,001 \times K_2$
Смещение оси (при плавающем креплении)	21	–	–	–	–	–	–	$0,02 \times K_2$	$0,02 \times K_2$	$0,01 \times K_2$	–	–	$0,001 \times K_2$	$0,002 \times K_2$	$0,002 \times K_2$
Коэффициенты, учитывающие размеры	22	$K_1 = 0,02 \cdot \Gamma + 1$, где Γ – наибольший габаритный размер отверстия; $K_2 = 0,002 \cdot d + 1$, где d – диаметр отверстия													

Примечание. * отмечены операции или переходы, которые используются при удалении напусков или увеличенных припусков.

Практическая работа № 8

РАСЧЕТ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Цель работы: ознакомиться с основными положениями теории размерного анализа цепей эксцентриситетов, получить практические навыки в их построении, выявлении с помощью графов и расчете.

8.1. Основные положения

Детали типа *тело вращения* образуются сочетанием различных поверхностей, в том числе и цилиндрических. Основным геометрическим параметром цилиндрической поверхности является ее диаметр. Однако при наличии нескольких цилиндрических поверхностей этот параметр не может полностью описать геометрию детали. Необходимо еще знать взаимное расположение поверхностей. Геометрически это может быть определено через эксцентриситеты. С этой целью для наиболее ответственных поверхностей (в первую очередь для конструкторских баз) на чертежах деталей задается величина радиального биения (равная удвоенному эксцентриситету) [1, 2, 4–7].

Заданные чертежом диаметры, как правило, непосредственно на заготовительных операциях не выполняются. Они образуются в процессе механической обработки за одну или несколько операций или переходов. Заданное радиальное биение также получается в результате выполнения целого ряда операций. Поэтому при назначении диаметральных размеров и допусков на них необходимо решить две задачи:

1) назначить для заготовки и для механической обработки такие технологические размеры, которые на каждом переходе гарантировали бы снятие припуска определенной величины, а на последней операции выдерживали диаметр, заданный рабочим чертежом детали;

2) назначить для заготовки и механической обработки технологически оправданные радиальные биения, соответствующие требованиям, заданным чертежом.

Решение поставленных задач отличается от расчета линейных размеров, допуски на которые в основном определяются по существующим стандартам и нормативам. На радиальное биение

нормативов нет. Их надо рассчитывать. Такой расчет вызывает определенные трудности, т.к. припуск по диаметру, как правило, располагается не абсолютно концентрично (равномерно). К тому же радиальное биение при механической обработке возникает в результате обработки разных ступеней вала при различных установках.

Если, например, необходимо изготовить деталь с размерами, указанными на рис. 8.1, *а*, и при этом снять минимальный припуск на сторону, равный 0,05 мм (рис. 8.1, *з*), то заготовка должна иметь размер $\text{Ø}55,3_{-0,2}$ (рис. 8.1, *б*). Радиальное биение можно указать на операционном эскизе непосредственно по чертежу – 0,1 мм, проверив расчетом.

Это можно проверить расчетом:

1. $2Z = 55,3_{-0,2} - 55_{-0,06} = 0,3_{-0,2}^{+0,06}$, тогда $Z = 0,15_{-0,15}^{+0,03}$, а $Z_{\min} = 0,15 - 0,1 = 0,05$.

2. Заданная техническими условиями величина радиального биения

$$2TE = 0,10 \text{ мм.}$$

Расчетное значение радиального биения равно заданному, т.е.

$$2Te = 2TE = 0,1 \text{ мм.}$$

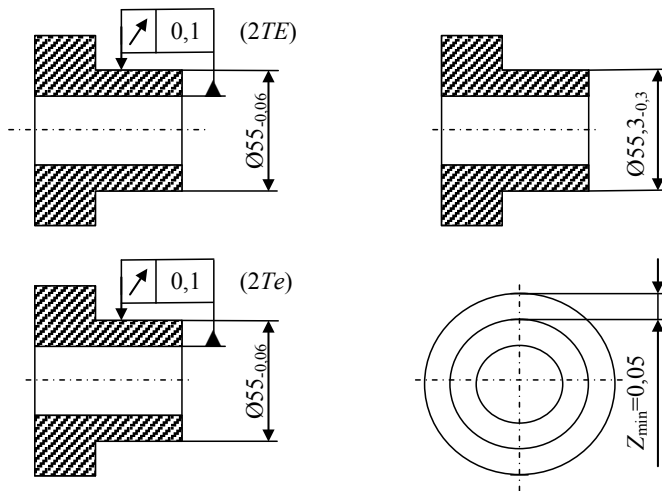


Рис. 8.1: *а* – эскиз детали; *б* – эскиз заготовки; *в* – эскиз механической обработки; *г* – схема снятия равномерного припуска

Задача значительно усложняется, если припуски снимаются неравномерно, а заданные радиальные биения не выполняются непосредственно с одной установки. При изготовлении той же детали не за одну, а за две операции (рис. 8.2) заданное биение будет определяться биением отверстия на первой операции и биением наружной поверхности на второй операции. В этом случае эти два биения нельзя непосредственно взять из чертежа детали, а необходимо рассчитывать. Усложняется и расчет диаметра заготовки. При снятии неконцентричного припуска (рис. 8.2, б) наружный диаметр при том же минимальном припуске должен быть больше рассчитанного ранее. Вторая сложность заключается в том, что цилиндрические поверхности чаще всего имеют погрешности формы r_f . Последние влияют как на величину снимаемых припусков, так и на величину радиального биения. Из-за этого приходится увеличивать для наружных и уменьшать для внутренних поверхностей диаметр под обработку. Ужесточаются требования к точности операций, иначе заданная величина радиального биения будет превышена.

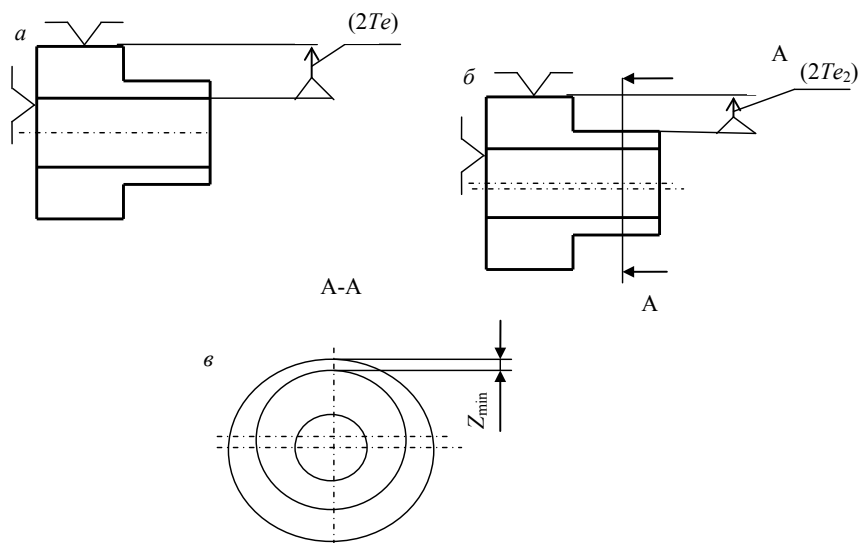


Рис. 8.2. Схема образования неравномерного припуска:
a – первая операция; *б* – вторая операция; *в* – схема неравномерного припуска

В связи с этим возникает необходимость, во-первых, выявлять возникающие эксцентриситеты, определять их величину и влияние на точность обработки. Во-вторых, рассчитывать погрешности формы и вводить их в соответствующие расчетные зависимости.

8.2. Эксцентриситеты заготовок

Эксцентриситеты в заготовках возникают в результате применения той или иной технологии их получения. При штамповке эксцентриситеты возникают из-за смещения штампов ($\rho_{см}$), смещения пуансона при прошивке отверстия ($\rho_{эксц}$), рис. 8.3. В отливках имеют место аналогичные смещения стержней, частей кокиля или опок. Зная технологию изготовления заготовки и принципиальную конструкцию технологической оснастки, можно определить, какие эксцентриситеты и между какими поверхностями могут возникнуть. Величины смещений (эксцентриситетов) для заготовок в зависимости от способа их получения приводятся в ГОСТ 26645–85 и ГОСТ 7505–89, а также в других справочных материалах [2–8].

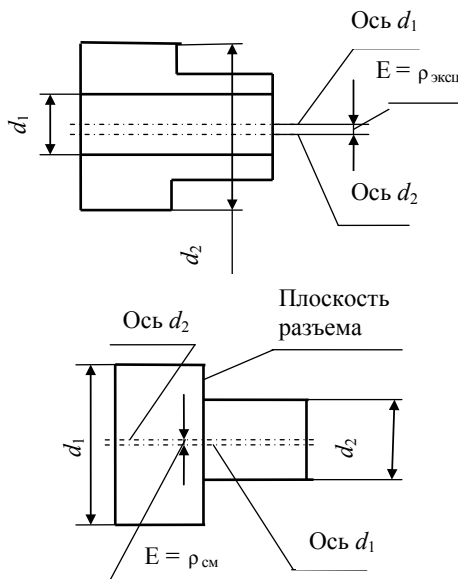


Рис. 8.3. Смещение осей в заготовках

8.3. Построение дерева эксцентриситетов заготовки

В деревьях эксцентриситетов для цилиндрических поверхностей вершины соответствуют их осям, а ребра – эксцентриситетам. Все поверхности заготовки, получаемые в одной части штампа или формы, обычно связываются эксцентриситетами между собой.

В первом приближении номиналы эксцентриситетов можно приравнять к нулю. Пара поверхностей, получаемых в разных частях штампа или формы, соединяется между собой ребром – эксцентриситетом, величина которого равна погрешности от смещения частей штампа. На рис. 8.4 приведено дерево эксцентриситетов заготовки, причем поверхности 01, 02, 03, 04 и поверхности 05, 06, 07 выполнены в двух частях штампа.

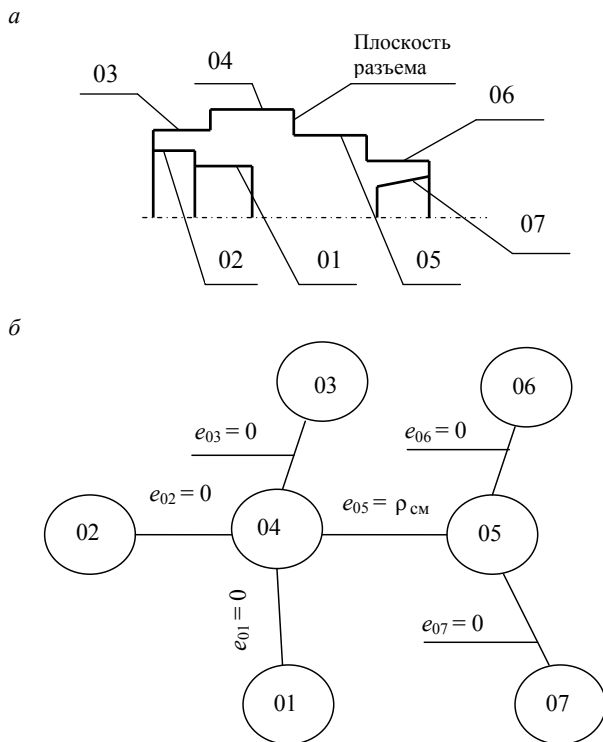


Рис. 8.4. Заготовка и дерево ее эксцентриситетов

8.4. Возникновение эксцентриситетов при механической обработке

При механической обработке эксцентриситеты в основном возникают в связи с появлением погрешности установки детали в приспособлении ε_y и от погрешности Δy , возникающей при деформации системы станок–приспособление–инструмент–деталь (СПИД) под воздействием сил резания.

1. Погрешность установки возникает всякий раз, когда измерительная база не совпадает с установочной. При обработке цилиндрических поверхностей это чаще всего приводит к смещению технологической базы детали относительно оси вращения шпинделя. Например, при установке детали на жесткую цилиндрическую оправку с зазором (рис. 8.5) смещение оси детали определяется зазором между отверстием детали (технологической базой) и посадочным диаметром оправки. В результате после обработки наружной поверхности появится радиальное биение. При этом погрешность установки не влияет на взаимное положение осей поверхностей, обработанных за одну установку на одной операции. На схеме, иллюстрирующей возникновение погрешности базирования, вызывающей появление биения наружной поверхности втулки относительно поверхности отверстия, поверхности 21, 22, 23 обрабатываются с одной установки и их можно считать концентричными ($e_i \approx 0$).

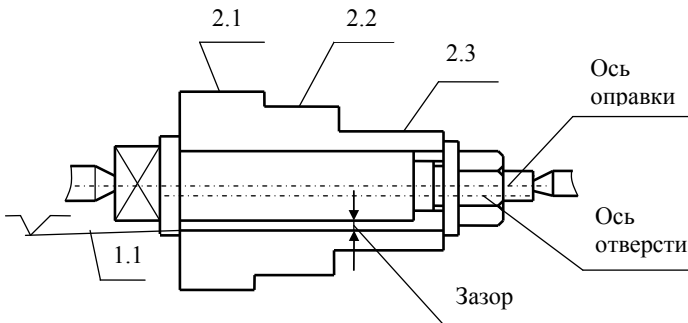


Рис. 8.5. Возникновение погрешности базирования

2. Погрешности от деформации системы СПИД возникают в связи с тем, что под действием сил резания все звенья системы деформируются, и резец отжимается от детали. Если припуск снимается равномерно со всех сторон (концентрично), то силы резания и деформации постоянны и эксцентриситет не возникает. Чаще же всего припуск неравномерен по величине (поверхность, подлежащая обработке, имеет биение). В этом случае за один оборот детали резец с одной ее стороны будет снимать припуск больше, с другой – меньше. Тогда силы резания и деформации будут различны, а ось обработанной поверхности сместится в ту сторону, где был больший припуск. В теории технологической наследственности, разработанной академиком Ящерицыным П.И. со своими учениками в Белорусском национальном техническом университете, это явление носит название «копирование погрешностей». В соответствии с данной теорией, если обрабатываемая поверхность имеет какую-либо погрешность формы, то после обработки она остается, но уже в уменьшенном масштабе. Считается, что оставшаяся после обработки погрешность связана с первоначальной через уточнение ε , которое показывает, какая доля первоначальной погрешности остается после обработки. Уточнение для различных методов обработки различно и во многом его величина зависит от режимов резания. В первом приближении ε можно принять равным 0,05. Таким образом, если припуск снимается с эксцентриситетом E_{Zi} , то ось обработанной поверхности сместится под действием деформации из-за нестабильных сил резания на величину

$$\Delta y = \varepsilon \cdot E_{Zi}.$$

Величина E_{Zi} определяется по дереву эксцентриситетов.

8.5. Построение дерева эксцентриситетов механической обработки

Эксцентриситеты e_i , возникающие в детали и заготовке в результате действия погрешностей системы СПИД, являются составляющими звеньями технологических размерных цепей эксцентриситетов. Замыкающими звеньями этих цепей являются допустимые эксцентриситеты TE_i и Te_i , задаваемые в конструкторской и технологической документации, а также эксцентриситеты припусков e_{zi} .

Для построения графа размерных цепей на дереве эксцентриситетов необходимо провести ребра замыкающих звеньев:

- TE_i – утолщенными линиями;
- Te_i – пунктирными линиями;
- e_{zi} – волнистыми.

Эксцентриситеты припусков проводятся между осями поверхностей до и после их обработки и ориентируются стрелками к обработанной поверхности (т.е. к вершине с тем же индексом, что и припуск). Это в дальнейшем упрощает расчет диаметров обработки.

Заданные чертежом (конструктором) эксцентриситеты TE_i проводятся между осями соответствующих им поверхностей готовой детали.

Чтобы обозначить технологические эксцентриситеты Te_i , необходимо выявить размерные цепи TE_i . С этой целью на дереве ищется путь (ребра e_i) между вершинами, смежными ребру TE_i , например, $e_{6.2}$, $e_{6.1}$, $e_{7.1}$, (рис. 8.6). По индексам эксцентриситетов определяется, на каких операциях возникают эти эксцентриситеты (на рис. 8.6 – это операции 6 и 7). После этого на дереве для каждой из этих операций записывается допустимый эксцентриситет – один на операцию Te_6 и Te_7 (рис. 8.6) так, чтобы эксцентриситеты Te_i вместе с заданным эксцентриситетом TE_i составляли замкнутый контур. Эти эксцентриситеты необходимо перенести на схему и план обработки, чтобы не забыть их в расчетах при оформлении технологических карт.

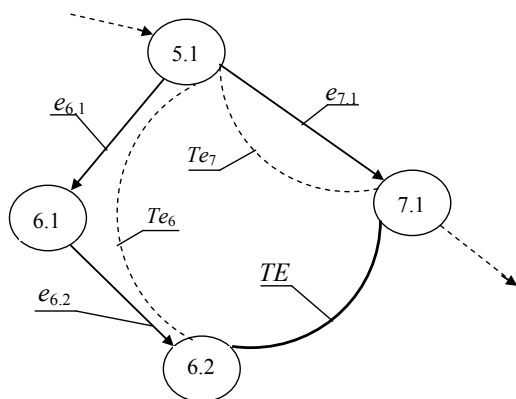


Рис. 8.6. К построению графа размерных цепей эксцентриситетов

При построении дерева эксцентриситетов для одной операции все поверхности, обрабатываемые за одну установку, связываются между собой ребрами-эксцентриситетами. Т.к. положение осей таких поверхностей не зависит от погрешности базирования, то величину эксцентриситетов между ними можно принять равной погрешности от деформации, вызванной нестабильными силами резания:

$$E_i = \Delta y.$$

Одна из таких поверхностей (например, конструкторская база или технологическая база для последующей операции, или, если таковых нет, то поверхность, обработанная на первом переходе текущей операции) связывается ребром-эксцентриситетом с технологической базой данной операции. Величина этого эксцентриситета определяется по формуле

$$E_i = \varepsilon_y + \Delta y.$$

Пример такого построения представлен на рис. 8.7.

Для построения дерева эксцентриситетов всей механической обработки дерева отдельных операций соединяются вместе с помощью общих для них вершин (рис. 8.7).

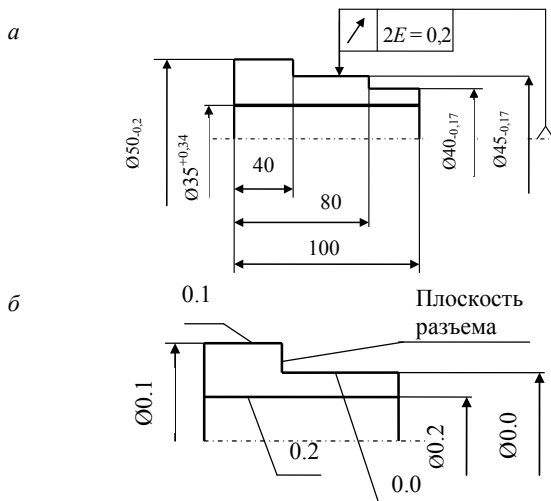
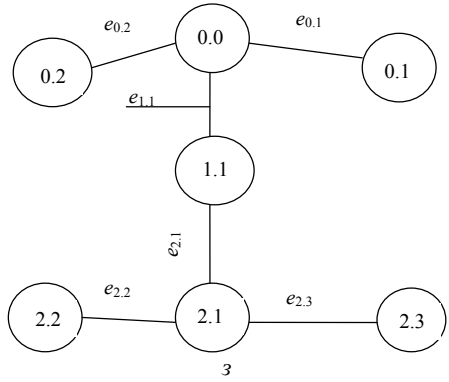
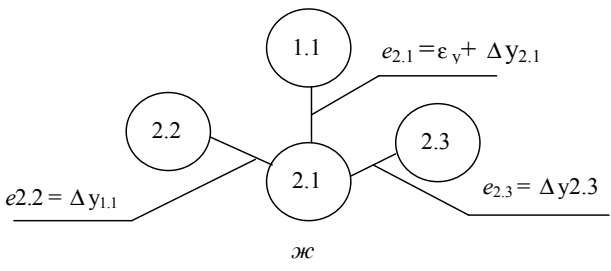
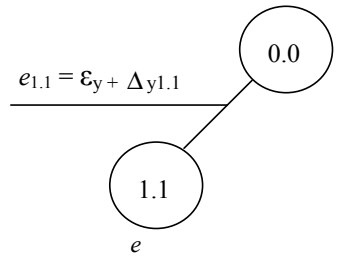
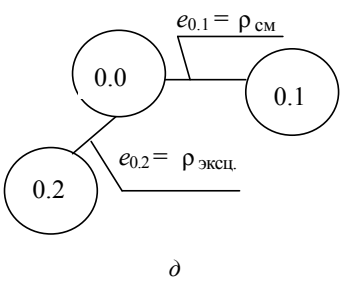
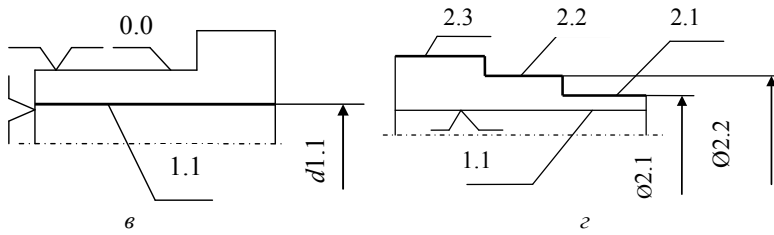
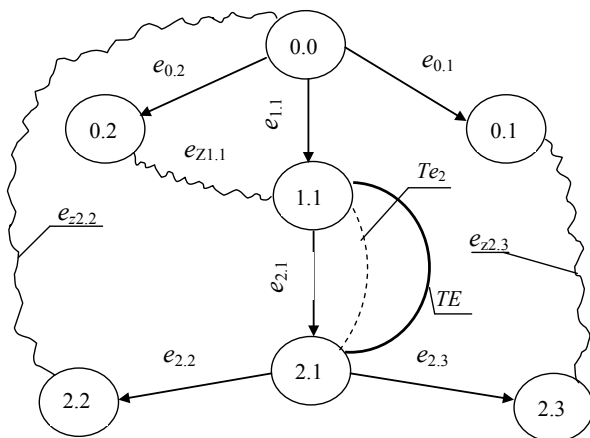


Рис. 8.7. К построению графа размерных цепей эксцентриситетов:
a – эскиз детали; *б* – эскиз заготовки; *в* – первая токарная операция;
г – вторая токарная операция; *д* – дерево эксцентриситетов заготовки; *е* – граф эксцентриситетов первой токарной операции и заготовки; *ж* – дерево эксцентриситетов первой и второй токарных операций; *з* – дерево эксцентриситетов детали; *и* – граф размерных цепей эксцентриситетов



Продолжение рис. 8.7



и

Окончание рис. 8.7

8.6. Граф размерных цепей эксцентриситетов

Если на дерево эксцентриситетов нанести ребра всех эксцентриситетов припусков (e_{zi}) и заданные чертежом радиальные биения ($2TE_i$), то образуется граф размерных цепей эксцентриситетов. На нем ребра эксцентриситетов являются составляющими, а ребра e_{zi} и TE_i – замыкающими звеньями размерных цепей эксцентриситетов. По такому графу можно выявить любую размерную цепь и произвести суммирование погрешностей составляющих звеньев для определения ожидаемой погрешности любого замыкающего звена.

8.6.1. Погрешности формы поверхностей

На величину припусков и радиальных биений влияют не только эксцентриситеты, но и погрешности формы цилиндрических поверхностей. В теории размерных цепей эксцентриситетов их принято относить к осям соответствующих поверхностей. В таком случае этим погрешностям на графе будут соответствовать вершины графа.

В заготовках наиболее часто встречаются: коробление ($\rho_{\text{кор}}$), смещение в поперечном направлении ($\rho_{\text{см}}$) и искривление оси ($\rho_{\text{кр}}$). Значения погрешностей коробления и смещения приводятся в [4, 6, 7 и т.д.]. Искривление оси (кривизна) может быть определено по формуле

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta k \cdot x_i,$$

где Δk – удельная кривизна заготовок, приводится в таблицах там же; x_i определяется по операционному эскизу или чертежу.

На рис. 8.8 приведен пример расчета кривизны заготовки-штамповки для двух вариантов ее базирования на первой операции механической обработки.

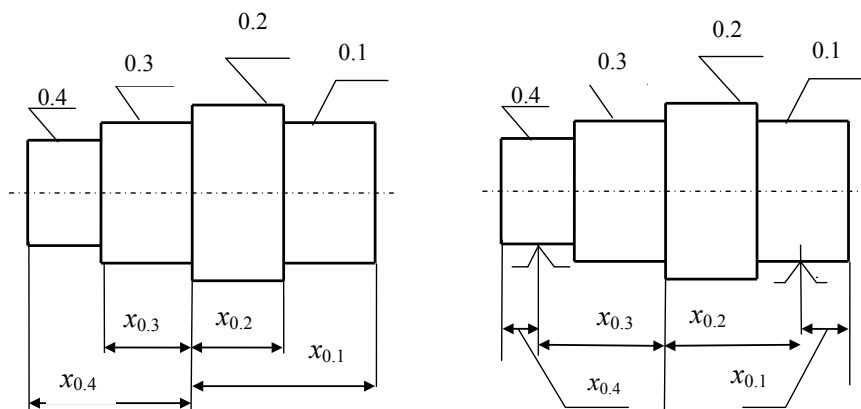


Рис. 8.8. К расчету кривизны поверхностей заготовки

$$\rho_{\phi 01} = \Delta k \cdot x_{01}; \quad \rho_{\phi 02} = \Delta k \cdot x_{02}; \quad \rho_{\phi 03} = \Delta k \cdot x_{03}; \quad \rho_{\phi 04} = \Delta k \cdot x_{04}.$$

При механической обработке происходит копирование погрешностей формы заготовки в уменьшенном масштабе, поэтому остаточная погрешность может быть определена по формуле

$$\rho_{\phi i} = \varepsilon \cdot \rho_{\phi i-1}.$$

К примеру, для поверхности 1.1 (рис. 8.7)

$$\rho_{\phi 1.1} = \varepsilon \cdot \rho_{\phi 0.2}.$$

Если поверхность обрабатывается повторно, то погрешность формы становится настолько незначительной, что ею можно пренебречь. То же самое можно сказать о кузнечных напусках.

8.6.2. Расчет ожидаемой погрешности (эксцентриситета) припуска

Для расчета величины e_{zi} (эксцентриситета припуска) необходимо на графе выявить его размерную цепь. Например, для припуска $e_{z1.1}$, (см. рис. 8.7) в размерную цепь войдут эксцентриситеты $e_{0.2}$ и $e_{1.1}$. Так как погрешность формы обрабатываемой поверхности также приводит к увеличению неравномерности снимаемого припуска, то она учитывается в уравнении размерной цепи. Т.е., для $e_{z1.1}$ необходимо учесть погрешность формы поверхности $0.2 \rho_{ф0.2}$. Тогда ожидаемая погрешность припуска определится из следующего уравнения:

$$e_{zi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 + \rho_{i-1}^2}.$$

Для припуска $z_{1.1}$

$$e_{z1.1} = \sqrt{e_{0.2}^2 + e_{1.1}^2 + \rho_{ф0.2}^2}.$$

8.6.3. Расчет допустимых радиальных биений

Допустимые радиальные биения обрабатываемых поверхностей следует указывать на операционных картах. Для этого предварительно необходимо выявить соответствующие размерные цепи. Их легче всего обнаружить по графу эксцентриситетов. Из рис. 8.7 видно, что размерная цепь заданного на чертеже биения $2TE$ включает в себя еще и составляющее звено – эксцентриситет $e_{2.1}$. Это самый простой случай, когда заданное биение обеспечивается непосредственно на одной операции. Если же в размерной цепи имеются эксцентриситеты нескольких операций, то необходимо рассчитать и записать в операционных картах столько же

допустимых радиальных биений. Кроме того, необходимо учитывать, что и в данном случае на величины биений будут влиять погрешности формы поверхностей. Для того, чтобы правильно рассчитать радиальные биения, необходимо проделать следующее.

1. Указать на дереве специальными ребрами эксцентриситеты Te_i – по одному на каждую операцию, участвующую в размерной цепи (допустимые эксцентриситеты обозначаются штриховой линией, например, линия допустимого эксцентриситета Te_2 для второй операции на рис. 8.7).

2. Просуммировать составляющие звенья получившейся размерной цепи вместе с погрешностями формы поверхностей и тем самым определить величину допустимого радиального биения, меньше которого оно быть не может (ограничивает точность системы СПИД). Таким образом, допустимый эксцентриситет должен быть определен по формуле

$$Te_i \geq \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 + \rho_{\phi_i}^2 + \rho_{\phi_{i-1}}^2}.$$

Для примера, показанного на рис. 8.7, ∂ :

$$Te_2 \geq \sqrt{e_{2.1}^2 + \rho_{\phi_{2.1}}^2 + \rho_{\phi_{1.1}}^2}.$$

Такую процедуру необходимо проделать со всеми операциями, влияющими своими эксцентриситетами на величину замыкающего звена размерной цепи.

3. Проверить, обеспечивают ли полученные значения Te_i заданное чертежом техническое условие T_E . Для этого необходимо:

а) определить его ожидаемую (расчетную) погрешность

$$\rho_E = \sum_{i=1}^n Te_i;$$

б) произвести сравнение (в рассмотренном примере $\rho_E = Te_2$).

При сравнении должно получиться $\rho_E \leq T_E$. При нарушении этого условия необходимо пересмотреть технологию обработки. При значительном запасе точности можно увеличить значения допустимых радиальных биений, записываемых в операционные карты.

На этом заканчивается расчет размерных цепей эксцентриситетов припусков.

Примечание: к пространственным отклонениям относятся погрешности формы (цилиндричность, плоскостность, прямолинейность и т.д.) и взаимного расположения поверхностей (параллельность, соосность, перпендикулярность). Большинство пространственных отклонений в чертежах и операционных эскизах задаются без номиналов и регламентируются только допустимым максимумом, например, «отклонение от соосности не более...», «перпендикулярность не более...» и т.д. При этом подразумевается, что минимальное значение равно нулю.

8.7. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными положениями теории размерных цепей эксцентриситетов.
2. Вычертить эскиз заданной детали и заготовки в необходимом количестве проекций.
3. Определить по справочным данным [2, 4, 6, 7] величины $\rho_{см}$ и $\rho_{эксц}$.
4. На основании данных работы № 7 или в соответствии с ее приложением составить маршрут обработки указанных поверхностей и построить схемы снятия припусков по операциям.
5. Построить дерево эксцентриситетов заготовки.
6. Построить размерные схемы механической обработки по отдельным операциям.
7. Исходя из размерных схем, определить значения погрешностей базирования и погрешностей формы, возникающих в процессе выполнения операций механической обработки.
Построить дерево эксцентриситетов механической обработки.
8. Построить граф размерных цепей эксцентриситетов.
9. Рассчитать ожидаемую погрешность (эксцентриситет) припуска.
10. Определить допустимые значения радиальных биений.
11. Проверить правильность назначения маршрута механической обработки и составить заключение.

8.8. Содержание отчета

1. Эскизы детали и заготовки.
2. Определение значений эксцентриситетов заготовки.
3. Схемы снятия припусков по отдельным операциям.

4. Дерево эксцентриситетов заготовки с необходимыми пояснениями.
5. Размерные схемы механической обработки по отдельным операциям.
6. Определение значений погрешностей базирования и погрешностей формы, возникающих в процессе выполнения операций механической обработки.
7. Дерево эксцентриситетов механической обработки.
8. Граф размерных цепей эксцентриситетов.
9. Расчет ожидаемой погрешности (эксцентриситета) припуска.
10. Определение допустимых значений радиальных биений.
11. Выводы.

8.9. Контрольные вопросы

1. Какие задачи возникают при расчете размеров и допусков?
2. Как связаны эксцентриситет и радиальное биение?
3. Чем отличается расчет диаметральных размеров от расчета линейных?
4. Как и в зависимости от чего образуются эксцентриситеты заготовки?
5. Как строится дерево эксцентриситетов заготовки?
6. Как возникают эксцентриситеты при механической обработке?
7. Как определяется погрешность базирования?
8. Как определяется погрешность формы, возникающая под воздействием сил резания?
9. Как строится дерево эксцентриситетов заготовки?
10. Как строятся деревья эксцентриситетов отдельных операций?
11. Каким образом строится граф размерных цепей эксцентриситетов?
12. Как определяются погрешности формы заготовки?
13. Как определяется остаточная погрешность после очередной операции механической обработки?
14. Как определяется ожидаемая погрешность (эксцентриситет) припуска?
15. Какая принята методика определения допустимых радиальных биений?

16. Как оценивается правильность построения операций механической обработки исходя из полученных значений допустимых радиальных биений?

Примечание: чертежи деталей для данной работы приведены в приложении.

8.10. Задания к практической работе № 8

№ п/п	Наименование детали шифр	Шифр	В каком направлении производится анализ
1	Фланец <i>ТМ 1.27</i>		по диаметральному сечению
2	Корпус <i>ТМ 1.29</i>	Штамповка	по диаметральному сечению
3	Шпонка <i>ТМ 1.50</i>	Прокат	по оси <i>x</i>
4	Центр <i>ТМ 1.55</i>	Прокат	по диаметральному сечению
5	Призма <i>ТМ 2.1</i>	Прокат	по оси <i>x</i>
6	Прижим <i>ТМ 2.06</i>	Штамповка	по оси <i>x</i>
7	Крышка <i>ТМ 2.14</i>	Штамповка	по сечению А–А
8	Корпус <i>ТМ 2.19</i>		по сечению А–А
9	Корпус <i>ТМ 2.29</i>		по оси <i>y</i>
10	Корпус <i>ТМ 2.33</i>	Прокат	по оси <i>y</i>
11	Рычаг <i>ТМ 2.35</i>	Прокат	по виду сверху
12–13	Стойка <i>ТМ 2.42–2.43</i>	Литье	по оси <i>x</i>
14	Призма <i>ТМ 2.52</i>	Штамповка	по оси <i>x</i>
15	Корпус <i>ТМ 2.53</i>	Штамповка	по оси <i>x</i>
16	Корпус <i>ТМ 2.63</i>	Прокат	по оси <i>x</i>
17	Клемма <i>ТМ 2.73</i>	Прокат	по оси <i>x</i>
18	Подставка <i>ТМ 3.04</i>	Штамповка	по сечению А–А
19	Плита <i>ТМ 3.08</i>	Прокат	по сечению А–А
20	Полумуфта <i>ТМ 3.32</i>	Прокат	по диаметральному сечению
21	Крышка <i>ТМ 4.5</i>	Штамповка	по диаметральному сечению
22	Ось <i>ТМ 4.36</i>	Прокат	по диаметральному сечению
23	Корпус <i>ТМ 4.52</i>	Штамповка	по диаметральному сечению
24	Клин <i>ТМ 5.3</i>	В подкладных штампах	по диаметральному сечению
25	Вставка <i>ТМ 5.05</i>	Штамповка	по диаметральному сечению
26	Шестерня <i>ТМ 5.14</i>	Штамповка	по диаметральному сечению
27	Вал <i>ТМ 5.15</i>	Штамповка	по диаметральному сечению
28	Шестерня <i>ТМ 7.07</i>	Штамповка	по диаметральному сечению

ЛИТЕРАТУРА

1. Мордвинов, Б.С. Сборник практических работ по технологии машиностроения: учебно-методическое пособие / Б.С. Мордвинов, Р.Г. Подкорытова. – Омск: Полиграфлаборатория ОмПИ, 1974. – 100 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перер. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.: ил.
3. Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки заготовок деталей машин / Б.С. Мордвинов [и др.]. – Омск, 1972. – 160 с.
4. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / И.П. Филонов [и др.]; под общ. ред. И.П. Филонова; + CD. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
5. Матвеев, В.В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков, Ю.Н. Свиридов. – Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1979. – 111 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – 5-е изд. перераб. и доп. – М., 2001. – Т. 1. – 912 с.
7. Проектирование техпроцессов механической обработки в машиностроении / под ред. В.В. Бабука. – Минск.: Высшэйшая школа, 1987. – 256 с.
8. Технология машиностроения: сборник задач и упражнений: учеб. пособие / В.И. Аверченков и др.; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 288 с. – (Высшее образование).

Приложение к практической работе № 8

Примерные маршруты обработки поверхностей [8]

Квалитет точности	Шероховатость Ra , мкм	Код материала	Маршрут обработки поверхностей				
			цилиндрических		плоских		
			наружных	внутренних			
1	2	3	4	5	6		
14–12	25,0–6,3	1, 2, 3	О	С	СТ		
		1, 2, 3	О	З	Ф		
		1, 2, 3	О	РТ	О		
		4	О, ТО	С, ТО	СТ, ТО		
		4	ТО, Ш	З, ТО	Ф, ТО		
		4	ТО, Ш	РТ, ТО	О, ТО		
11–10	5,0–2,5	1, 2, 3	ОП, ОЧ	С, З, Р	Фп, Фч		
		1, 2, 3	ОП, ОЧ	С, РТ, Р	Фп, Фч		
		1, 2	О, Ш	С, РТ, Р	ТО, Шп, Ф, Шп		
		4	ОП, ОЧ, ТО	С, З, ТО, Ш	Ф, ТО, Шп		
		4	ОП, ТО, Ш	С, РТ, ТО	СТ, ТО, Шп		
		4	ОП, ТО, Ш	Зп, Зч, ТО, Ш	О, ТО, Шп		
9–7	1,25–0,63	1, 2, 3	Оп, Оч, От	РУ, Р	С, П		
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, З, Рп, Рч	Ф, П		
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, РТп, РТч	Ф, П		
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, З, РТг	Ф, П		
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, П	Ф, П		
		1, 2	О, Ш	РТп, РТч, РТг	Ф, Шч		
		1	Шп, Шч	РТп, РТч, РТг	Ф, Шч		
		4	Оп, Оч, ТО, Ш	С, РТ, ТО, Ш	Ф, ТО, Шч		
		4	Шп, ТО, Шч	РТп, РТч, ТО, Ш	С, ТО, Шч		
		4	Шп, ТО, Шч	С, З, ТО, Ш	О, ТО, Шч		
		4	Шп, ТО, Шч	РУ, ТО, Х	О, ТО, Шч		
		0,32–0,16	0,32–0,16	3	Оп, Оч, ПО	РУ, ТО, Х	Фп, Фч, ПОч
	3			Оп, Оч, От, ПО	РУ, ТО, Х	Оп, Оч, ПОч	
	0,08–0,04		0,08–0,04	3	Оп, Оч, От, ПОч, ПОг	РУ, ТО, Х	Оп, Оч, ПОч, ПОг
				4	Оп, Оч, ТО, Шп, Шч, ПО	РУ, ТО, Х	Фп, Фч, ТО, Шп, Шг, ПО
				1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	РУ, Рп, Рч	СТ, Фг, ШБ
				1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, Рп, Рч	Фп, Фг, ШБ
	0,32–0,16	0,32–0,16	1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, РТч, РТг	Фп, Фг, ШБ	
1, 2, 3			Оп, Оч, От, ПО	РТп, РТч, РТг	Фп, Фг, ШБ		

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
		1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, 3, П	Фп, Фг, ШБ
		1	О, Ш, СУ	С, 3, П	Фп, Фг, ШБ
		1	О, Шп, Шт, П	С, 3, П	Фп, Фг, ШБ
		1, 2	О, Шп, Шт, П	С, 3, П	Фп, Фч, Шч, ПО
		3	О, Шп, Шт, П	С, 3, П	Фп, Фч, ТО, Шч, Д
		4	О, Шп, ТО, Шт,	РТ, ТО, Ш, Х	С, Фг, ТО, Шч, Д
		4	О, Шп, ТО, Шт, СУ	С, 3, ТО, Ш, Х	Ф, ТО, Шп, Шч, Д
		4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	С, П, ТО, Х	Ф, ТО, Шп, Шч, Д
	0,16– 0,08	4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	РУ, Р, ТО, Х	О, Шп, ТО, Шч, Д
		3	Ош, Оч, От	РУ, Р, ТО, Х	О, Шп, ТО, Шч, Д
		4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	РТ, ТО, Ш, Х, Д	СТ, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Шт, СУ	С, 3, ТО, Ш, Х, Д	Ф, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Д	С, П, ТО, Хп, Хч	Ф, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Д	РУ, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Д	С, РТч, РТг, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
5	0,08– 0,04	1	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	С, РТч, РТг, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		2	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	С, 3, Р, Х, Дп, Дч	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		2	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	РУ, Х, Дп, Дч	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		1, 2	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	РУ, Х, Дп, Дч	Ф, Шп, Шч, Шт, ПО
		4	Оп, Оч, Шч, СУч	РУ, Р, ТО, Х, Дп, Дч	СТ, ТО, Шп, Шч, Шт, ПО

Примечание. О – обтачивание, Ш – шлифование, СУ – суперфиниширование, ПО – полирование, Д – доводка, ТО – термическая обработка, С – сверление (рассверливание), 3 – зенкерование, РУ – ружейное сверление, Р – развертывание, РТ – растачивание, П – протягивание, Х – хонингование, СТ – строгание, Ф – фрезерование, ШБ – шабрение; п – предварительное, ч – чистовое, т – тонкое; 1 – незакаленные стали, 2 – чугуны, 3 – цветные металлы и сплавы, 4 – закаленные стали.

Практическая работа № 9

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩЕГО ЗВЕНА МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

9.1. Решение размерных цепей методом регулирования классическим способом

В этом случае точность замыкающего звена достигается изменением размера или положения компенсирующего звена без снятия слоя материала. В конструкцию изделия вводится специальная деталь – компенсатор. Он может быть неподвижным, подвижным и упругим. Неподвижные компенсаторы обычно выполняют в виде прокладок, колец, втулок, плит и т.д. Тогда собираемые детали могут изготавливаться по расширенным, экономически целесообразным производственным допускам. При расчете по этому методу производственный допуск замыкающего звена определяется по формуле

$$TA'_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA'_i,$$

где TA'_i – производственные (увеличенные) допуски составляющих звеньев;

m – число составляющих звеньев размерной цепи.

Величина компенсации определяется по формуле

$$T_k = TA'_0 - TA_0 + T_k,$$

где TA_0 – допуск замыкающего звена, установленный сборочным чертежом;

T_k – допуск на изготовление компенсатора (на толщину прокладки).

Пример. В табл. 9.1 даны размерные характеристики составляющих звеньев. Необходимо определить число звеньев и аналогичные размерные характеристики компенсатора.

Параметры составляющих звеньев размерной цепи [1]

Звено	Номинальные размеры, мм	Предельные отклонения, мм	Допуск, мм	Координата середины поля допуска, мм	Примечания
A_1	30	$\pm 0,105$	0,210	0	–
A_2	3,75	$\begin{matrix} 0 \\ -0,12 \end{matrix}$	0,120	-0,060	–
A_3	16,25	$\begin{matrix} 0 \\ -0,25 \end{matrix}$	0,250	-0,125	ГОСТ 520–89
A_4	6	$\pm 0,06$	0,120	0	–
A_5	0	–	–	–	компенсатор
A_6	56	$\pm 0,15$	0,300	0	уменьшающее звено

Примечание: допуски на составляющие звенья размерной цепи, кроме компенсирующего, установлены расширенные по 12-му качеству точности.

1. Определяют расширенный производственный допуск замыкающего звена

$$TA'_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA'_i = 0,21 + 0,12 + 0,25 + 0,12 + 0,30 = 1,0 \text{ мм.}$$

2. Величина компенсации ($T_k = 0,04$ мм, принят по 10-му качеству точности; допуск замыкающего звена, установленный сборочным чертежом изделия $TA_0 = 0,106$ мм). Т.к. толщина ленты не может быть больше допуска замыкающего звена, принимают толщину ленты по ГОСТ 503–81 0,10 мм, а допуск на толщину ленты – 0,02 мм:

$$T_k = 1,0 - 0,106 + 0,02 = 0,914 \text{ мм.}$$

3. Координата середины поля расширенного производственного допуска замыкающего звена

$$EсA'_0 = EсA'_1 + EсA'_2 + EсA'_3 + EсA'_4 - EсA'_6 =$$

$$= 0 - 0,06 - 0,125 - 0 - 0 = -0,185 \text{ мм.}$$

4. Величина компенсации координаты середины производственного поля допуска замыкающего звена

$$Ec_k = -(EcA_0 - EcA'_0) = -[0 - (-0,185)] = -0,185 \text{ мм.}$$

5. Предельные значения величины необходимой компенсации

$$ES_k = Ec_k + T_k/2 = -0,185 + 0,914/2 = 0,272 \text{ мм;}$$

$$EI_k = Ec_k - T_k/2 = -0,185 - 0,934/2 = -0,652 \text{ мм.}$$

Так как $EI_k < 0$, что не имеет физического смысла, необходимо изменить координату середины поля допуска одного из составляющих звеньев, например звена A_2 :

$$EcA''_2 = ESA'_2 - EI_k = -0,06 - (-0,642) = 0,582 \text{ мм.}$$

После этого для звена A_2 определяют новые предельные отклонения:

$$ESA''_2 = EcA''_2 + TA'_2/2 = 0,582 + 0,120/2 = 0,642 \text{ мм;}$$

$$EIA''_2 = EcA''_2 - TA'_2/2 = 0,582 - 0,120/2 = 0,522 \text{ мм.}$$

Если $EI_k > 0$, новые предельные отклонения звена A_2 не рассчитывают.

По условию $S \leq TA_0$, поэтому принимают толщину S одной прокладки по ГОСТ 503–81 равной 0,10 мм, $T_k = 0,02$ мм. Тогда необходимое число прокладок

$$z = \frac{T_k}{S - T'_k} = \frac{0,914}{0,10 - 0,02} = 11,425 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается 12 прокладок.

Недостатком такого классического в соответствии с РД–50–635–87 (взамен ГОСТ 16319–70 и ГОСТ 16320–70) метода определения параметров неподвижного компенсатора является то, что при использовании прокладок различной толщины невозможно

математически определить ни количество прокладок, ни саму их толщину.

Значительно более информативным, но и более сложным является графоаналитический метод расчета размерных цепей методом регулирования с использованием составного компенсатора, предложенный А.Е. Риекстом [4].

Комплект составного неподвижного компенсатора может состоять из прокладок одинаковой или разной толщины.

9.2. Расчет размерных цепей методом регулирования графоаналитическим способом с использованием компенсатора, состоящего из прокладок одинаковой толщины

Комплект прокладок компенсатора характеризуется толщиной, допуском на толщину каждой прокладки и количеством прокладок в комплекте. Параметры наиболее экономичного комплекта компенсатора, компенсирующего все ошибки от нуля до K_{\max} , можно определить исходя из схемы регулирования (рис. 9.1, а и 9.1, в), которая строится следующим образом.

Вычерчивают координатные оси X и Y и откладывают на оси Y предельные значения $A_{0\max}$ и $A_{0\min}$ замыкающего звена размерной цепи. Через полученные точки 1 и 2 проводят прямые 1-1' и 2-2', параллельные оси x . Далее через точку 1 проводят прямую 1-3 под углом 45° к оси x . Из точки 2' проводят прямую, параллельную оси Y , до пересечения с линией 1-3 и, откладывая максимальную компенсируемую ошибку K_{\max} , получают точку 4. В результате образуются две характерные площади 0156 и 6547. Если при сборке до регулирования установленная величина замыкающего звена, например A'_{0f1} , находится в пределах площади 0156, между предельными значениями замыкающего звена $0-1 = A_{0\min}$ и $6-5 = A_{0\max}$, регулировка не требуется.

Если же установленная величина замыкающего звена, например A'_{0f2} , находится в пределах площади 6547, т.е., $A'_{0f2} > A_{0\max}$ (в случае, когда компенсирующее звено является уменьшающим звеном размерной цепи), регулировка необходима.

В этом случае толщина отдельных прокладок компенсатора, допуск на толщину каждой прокладки, количество их в комплекте или количество ступеней регулировки выбираются так, чтобы одна сторона компенсатора находилась на линии 5-4 (рис. 9.1, в), а другая

(противоположная) сторона с учетом поля допуска на толщину прокладки помещалась в пределах поля допуска замыкающего звена TA_0 .

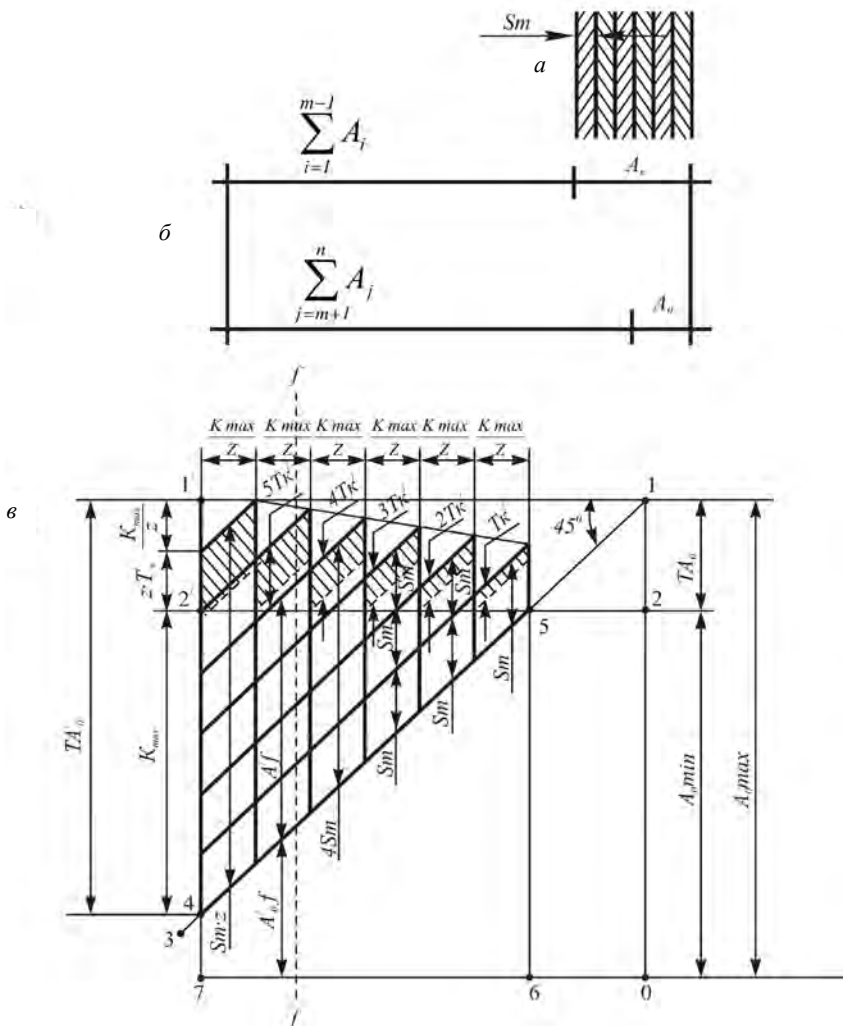


Рис. 9.1. Схема решения размерной цепи по методу регулирования с использованием неподвижного компенсатора, состоящего из прокладок одинаковой толщины.

Компенсирующее звено является увеличивающим:

a – комплект компенсатора из прокладок одинаковой толщины;

$б$ – схема размерной цепи; $в$ – схема расчета комплекта компенсатора

На схеме регулирования, показанной на рис. 9.1, в, приведен случай, когда максимально возможную погрешность компенсируют компенсатором, состоящим из 6 прокладок одинаковой толщины (в общем случае из Z прокладок). В первой ступени регулирования компенсируемая ошибка оказывается в пределах от 0 (точка 5) до величины K_1 (точка 8), используется компенсатор, состоящий из одной прокладки. На рисунке это изображается параллелограммом. Длиной его стороны в направлении оси Y является толщина Sm прокладки, расстояние же между сторонами параллелограмма по оси X составляет диапазон компенсируемой ошибки данной ступени регулировки. На второй ступени регулировки величина компенсируемой ошибки находится в пределах от K_1 (точка 8) до K_2 (точка 9) и используется компенсатор, состоящий из двух прокладок одинаковой толщины, что на диаграмме показано двумя параллелограммами, и т. д. На последней ступени компенсируемая погрешность оказывается в пределах от K_5 (точка 12) до K_{\max} (точка 4). При этом используется весь комплект компенсатора, состоящий из 6 прокладок (в общем случае из Z прокладок).

Из рис. 9.1 и 9.2 видно, что параметры комплекта компенсатора должны удовлетворять следующим условиям:

$$Sm \cdot Z - T_{\kappa} \cdot Z = K_{\max}; \quad (9.1)$$

$$TA_0 = T_{\kappa} \cdot Z + \frac{K_{\max}}{Z}, \quad (9.2)$$

где TA_0 – заданный допуск замыкающего звена;

K_{\max} – максимальная компенсируемая ошибка, которую определяют исходя из принятых экономических допусков T_i на составляющие звенья (кроме компенсирующего) и заданного допуска замыкающего звена:

$$K_{\max} = TA'_0 - TA_0.$$

При расчете по методу максимум-минимум

$$TA'_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA'_i.$$

Из соотношения (9.1)

$$Sm = \frac{K_{\max}}{Z} + T_{\kappa}. \quad (9.3)$$

Из уравнения (9.2)

$$T_{\kappa} \cdot Z^2 - TA_0 + K_{\max} = 0.$$

Тогда количество прокладок в комплекте компенсатора (или количество ступеней регулирования) определится из уравнения

$$Z = \frac{TA_0 \pm \sqrt{TA_0^2 - 4T'_k \cdot K_{\max}}}{2T'_k}. \quad (9.4)$$

Из формулы (9.4) видно, что Z будет реальным числом, если

$$TA_0^2 \geq 4T'_k \cdot K_{\max}.$$

Тогда допуск на толщину каждой прокладки

$$T'_k \leq \frac{TA_0^2}{4K_{\max}}. \quad (9.5)$$

В пределе, когда допуск T_{κ} имеет максимальное значение

$$T_{\kappa R} = \frac{TA_0^2}{4K_{\max}}. \quad (9.6)$$

Тогда количество прокладок в комплекте

$$Z_R = \frac{TA_0}{2T'_{kR}} = \frac{2K_{\max}}{TA_0}.$$

Толщина каждой прокладки

$$Sm_R = \frac{K_{\max}}{Z'_R} + T'_{kR} = \frac{TA_0}{2} + \frac{TA_0^2}{4K_{\max}}.$$

Но далеко не всегда выгодно и возможно применять прокладки, имеющие максимально возможный допуск на толщину $T_{кR}$. Обычно после расчета по формуле (9.6) найденное значение допуска необходимо скорректировать до ближайшего меньшего стандартного значения по ГОСТ 503–81 с учетом стандартной толщины прокладок.

Из формулы (9.4) следует, что при $T_k < T_{кR}$ количество прокладок значительно изменяется по сравнению с Z_R и имеет два значения: Z_{\max} при знаке плюс перед радикалом и Z_{\min} при знаке минус перед радикалом. Экономически целесообразнее применять комплект компенсатора с меньшим количеством прокладок большей толщины. Поэтому рекомендуется следующий порядок расчета.

1. Согласно формуле (9.5) берется ближайший меньший стандартный допуск T_k на толщину прокладки.

2. По формуле (9.4) определяется количество прокладок Z при знаке минус перед радикалом. Полученное значение Z корректируют до ближайшего (обычно большего) целого числа.

3. По формуле (9.3) определяется толщина прокладки Sm и корректируется до ближайшей (большей или меньшей) стандартной толщины заготовки прокладок.

4. Правильность выбранных параметров компенсатора Sm , T_k и Z рекомендуется проверить на отсутствие брака. Проверку производят либо графическим путем (построением схемы регулировки), либо аналитически по формулам (9.7) и (9.8).

Из уравнения (9.2) и из рис. 9.2, в видно, что брака не будет в первой ступени регулирования, если

$$TA_0 \geq \frac{K'_{\max}}{Z} + T'_k \cdot Z_1, \quad (9.7)$$

где Z_1 – количество прокладок в первой ступени регулировки используемого компенсатора;

K'_{\max} – фактическая максимальная компенсируемая погрешность, которая в связи с округлением Sm несколько отличается от заданной величины K_{\max} :

$$K'_{\max} = Sm \cdot Z - T_k \cdot Z.$$

Подставив в формулу (9.7) значение K'_{\max} получим:

$$TA_0 \geq Sm + T'_k(Z_1 - 1). \quad (9.8)$$

Если компенсирующее звено является уменьшающим, должны совпадать нижние пределы полей допусков общего поля рассеяния T' составляющих звеньев и замыкающего звена, если же компенсирующее звено увеличивающее – верхние пределы (см. рис. 9.1, в).

9.3. Расчет размерных цепей методом регулирования с использованием компенсатора, состоящего из прокладок разной толщины, графоаналитическим способом

Для того, чтобы комплект компенсатора состоял из наименьшего числа прокладок и была возможность обеспечить из них наивыгоднейшие сочетания, толщины прокладок должны изменяться по закону геометрической прогрессии со знаменателем $q = 2$. В этом случае количество ступеней регулировки, которое может обеспечить комплект компенсатора, будет равно:

$$A = 2^z - 1.$$

Схема решения размерной цепи по методу регулирования с использованием неподвижного компенсатора представлена на рис. 9.2.

Параметры наиболее выгодного комплекта компенсатора должны соответствовать следующим условиям (см. рис. 9.1, в):

$$\sum_{i=1}^z Sm_i - \sum T'_{ki} = K_{\max}; \quad (9.9)$$

$$TA_0 = \sum_{i=1}^z T'_{ki} + \frac{K_{\max}}{2^z - 1} \quad (9.10)$$

или в общем случае

$$TA_0 = \sum_{i=1}^z T'_{ki} + \frac{K_{\max}}{A}, \quad (9.11)$$

где Z – количество прокладок в комплекте.

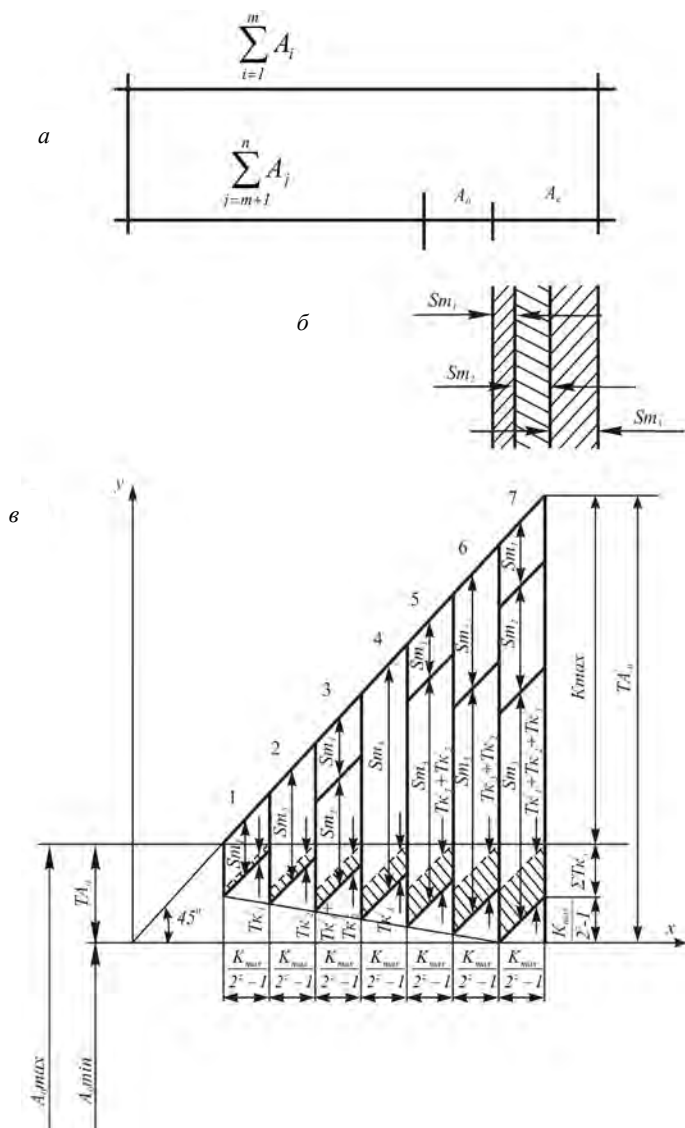


Рис. 9.2. Схема решения размерной цепи по методу регулирования с использованием неподвижного компенсатора, состоящего из прокладок разной толщины.

Компенсирующее звено – уменьшающее:

a – схема размерной цепи; *б* – комплект компенсатора из прокладок разной толщины; *в* – схема расчета комплекта компенсатора из прокладок разной толщины

Толщины прокладок в комплектах определяются следующим образом:

$$Sm_2 = 2 Sm_1; \quad Sm_3 = 2 Sm_2 = 2^2 Sm_1;$$

$$Sm_4 = 2 Sm_3 = 2^3 Sm_1;$$

$$Sm_z = 2^{z-1} Sm_1.$$

Следовательно

$$\sum_{i=1}^z Sm_i = (2^z - 1) Sm_1 \quad (9.12)$$

или в более общем виде

$$\sum_{i=1}^z Sm_i = A \cdot Sm_1. \quad (9.13)$$

Пусть комплект компенсатора состоит из трех прокладок разной толщины Sm_1 , Sm_2 и Sm_3 . Тогда число ступеней регулирования $Z = 2^3 - 1 = 7$, а наборы прокладок для каждой из 7 ступеней регулирования будут следующие:

- первой ступени – Sm_1 ;
- второй – $Sm_2 = 2 Sm_1$;
- третьей – $Sm_2 + Sm_1$;
- четвертой – $Sm_3 = 2 Sm_2 = 4 Sm_1$;
- пятой – $Sm_3 + Sm_1 = 5 Sm_1$;
- шестой – $Sm_3 + Sm_2 = 6 Sm_1$;
- седьмой – $Sm_3 + Sm_2 + Sm_1 = 7 Sm_1$.

Допуски на толщину прокладок определяются следующим образом:

$$T_{\kappa 2} = 2 T_{\kappa 1}; \quad T_{\kappa 3} = 2T_{\kappa 2} = 2^2 T_{\kappa 1};$$

$$T_{\kappa 4} = 2 T_{\kappa 3} = 2^3 T_{\kappa 1}; \quad T_{\kappa z} = 2^{z-1} T_{\kappa 1}.$$

Следовательно

$$\sum_{i=1}^z T'_{ki} = (2^z - 1)T'_{k1} \quad (9.14)$$

или в общем виде

$$\sum_{i=1}^z T'_{ki} = A \cdot T'_{k1}, \quad (9.15)$$

где Sm_1, Sm_2, \dots, Sm_z – толщина первой (с наименьшей толщиной), второй, ... последней (с наибольшей толщиной) прокладок.

Из соотношений (9.9), (9.10), (9.13) и (9.15)

$$TA_0 \cdot A = A \cdot \sum_{i=1}^z T'_{k1} + K_{\max}$$

или

$$T_{k1} \cdot A^2 - TA_0 + K_{\max} = 0;$$

$$A = \frac{TA_0 \pm \sqrt{TA_0^2 - 4T'_{k1} \cdot K_{\max}}}{2T'_{k1}}. \quad (9.16)$$

В формуле перед радикалом необходимо брать знак минус, т.к. в этом случае нужное число ступеней регулирования будет меньше. Результат округляется до ближайшего большего целого числа.

Из формулы (9.16) видно, что количество ступеней регулирования может быть реальным числом только при условии, что

$$TA_0 \geq 4T'_{k1} \cdot K_{\max}.$$

Тогда допуск на толщину первой прокладки

$$T_{k1} \leq \frac{TA_0^2}{4K_{\max}}$$

Полученное значение T_{k1} корректируют до ближайшего меньшего допуска на толщину стандартных заготовок для прокладок.

Из уравнений (9.11)–(9.15):

$$A \cdot Sm_1 = K_{\max} + A \cdot T_{k1},$$

откуда толщина первой прокладки

$$Sm_1 = \frac{K_{\max}}{A} + T'_{k1}.$$

Полученное значение корректируют до ближайшей (меньшей или большей) толщины стандартных заготовок. Толщину второй, третьей, ..., последней прокладки определяют по формулам (9.10), (9.11). Полученные значения корректируют до ближайшей (меньшей или большей) толщины стандартных заготовок. Обязательно надо проверить, чтобы толщина последней прокладки была

$$Sm_z > \frac{K'_{\max} + \sum_{i=1}^z T'_{ki}}{2}.$$

Если допуск на толщину прокладок и сама толщина не изменяются строго по закону геометрической прогрессии (а так чаще всего и бывает), то условие для предотвращения появления брака будет следующим:

$$TA_0 = \sum_{i=1}^p Sm_{i(p)} - \sum_{i=1}^{p-1} Sm_{i(p-1)} + \sum T'_{ki(p-1)},$$

где $\sum Sm_{i(p)}$ – суммарная толщина прокладок, необходимых в p -й ступени регулирования;

$\sum Sm_{i(p-1)}$ – суммарная толщина прокладок, необходимых в предыдущей ступени регулирования;

$\sum T'_{ki(p-1)}$ – сумма допусков на толщину прокладок, необходимых в предыдущей ступени регулирования.

9.4. Решение размерных цепей методом регулирования с использованием комплекта неподвижных компенсаторов с помощью номограмм

При решении размерных цепей по методу регулирования с использованием комплекта неподвижных компенсаторов количество ступеней регулирования можно с достаточной точностью определить по формуле

$$Z = \frac{TA'_0}{TA_0 - T'_k}.$$

В этом уравнении два неизвестных Z и T_k . Поэтому сложно сразу определить и количество ступеней регулировки и допуск на изготовление компенсатора, который бы обеспечил в приемлемых пределах Z и был бы в заданных производственных условиях экономически выгодным. Обычно расчет количества ступеней компенсатора и выбор допуска на толщину прокладки является достаточно трудоемким процессом.

Для уменьшения количества повторных расчетов и сокращения их трудоемкости предлагается определять Z и T_k графическим методом с помощью номограмм (рис. 9.3).

Номинальный размер компенсатора A_k можно определить по формуле

$$A_0 = \sum_{i=1}^m A_i - \sum_{j=m+1}^n A_j \pm A_k.$$

Если компенсирующее звено является увеличивающим, то берется знак плюс, если уменьшающим – минус.

Пример. Определить количество ступеней регулирования с помощью неподвижного компенсатора и допуск на толщину прокладки, если заданный чертежом допуск замыкающего звена $TA_0 = 0,35$ мм и расширенный допуск $TA'_0 = 1,0$ мм.

Решение

По номограмме на шкале TA_0 находим точку 1, где $TA_0 = 0,35$ мм, а на шкале TA'_0 – точку 2, где $TA'_0 = 1,0$ мм. Через точки 1 и 2 проводим прямую, которая в нескольких точках пересекает вертикальные прямые Z количества ступеней регулирования. Точки пересечения прямой 1-2 с вертикальными линиями представляют собой значения допусков на толщину прокладок компенсатора T_k при таком значении Z , которое имеет помеченная вертикальная линия. Искомое значение T_k определяется по значениями помеченных косых линий, между которыми находится точка пересечения.

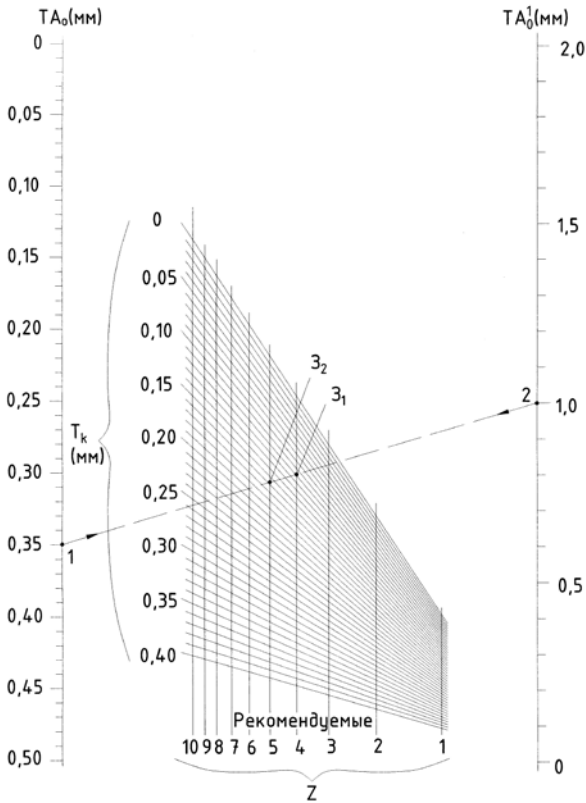


Рис. 9.3. Номограмма для определения количества ступеней размеров в комплекте компенсатора и допуска на его размер

Из номограммы видно, что точка Z_1 , где прямая 1-2 пересекается с вертикальной линией $Z = 4$, соответствует $T_k = 0,1$ мм, т.к. находится на косой, помеченной линии $T_k = 0,1$ мм. Z_2 является точкой пересечения прямой 1-2 с вертикальной линией $Z = 5$. Она соответствует значению $T_k = 0,15$ мм, т.к. находится на косой, помеченной линии $T_k = 0,15$ мм. Наивыгоднейшая комбинация значений T_k и Z зависит от конкретных производственных условий. В данном случае более выгодна будет комбинация $T_k = 0,1$ мм и $Z = 4$.

9.5. Порядок выполнения работы

9.5.1. Решение задачи по первому варианту

1. На основе данных табл. 9.2 определить расширенный допуск замыкающего звена TA'_0 .
2. Определить величину компенсации.
3. По уравнению координат середин полей допусков найти координату середины поля расширенного допуска замыкающего звена EcA'_0 .
4. Определить величину компенсации середины расширенного производственного поля допуска замыкающего звена Ec_k .
5. Определить максимальное и минимальное значения величины необходимой компенсации $A_{k \max}$ и $A_{k \min}$.
6. Если $A_{k \min}$ меньше нуля, необходимо пересчитать координату середины поля допуска одного из звеньев.
7. Определить новые предельные отклонения этого звена.
8. Определить количество ступеней компенсации.

9.5.2. Решение задачи по второму варианту

1. На основе данных табл. 9.2 определить расширенный допуск замыкающего звена TA'_0 .
2. Определить максимальную величину компенсации K_{\max} .
3. Построить координатные оси X и Y .
4. На оси Y отложить предельные значения A_{\min} , A_{\max} и допуск замыкающего звена TA_0 .
5. Из точки 1 провести линию 1-3 под углом 45° к оси X .

6. Построить точки 1', 2, 2', 5, 6, 4 и 7.

7. По ГОСТ 503–81 выбрать толщину ленты для прокладок и допуск на нее T_k .

8. На отрезке 5-6 в сторону точки 6 отложить в том же масштабе толщину прокладки Sm и допуск на нее T_k .

9. На отрезке 5-6 из точки, определяющей верхнюю границу поля допуска T_k , провести линию, параллельную линии 1-3, до пересечения с прямой 2-2'. Из точки пересечения провести прямую, перпендикулярную линии 2-2', до пересечения с линией 1-3. На этой прямой отложить удвоенную толщину прокладки, а от нижней границы – удвоенную величину допуска T_k . Провести линию, соединяющую точки, определяющие нижние границы полей допусков T_k и $2T_k$, до пересечения с линией 1-1'. На этой линии будут располагаться все нижние границы полей допусков T_k , $2T_k$, $3T_k$, ..., ZT_k . Из точки пересечения штриховой линии с линией 1-1' провести под углом в 45° линию до пересечения с линией 1'-4, определив величину K_{\max}/Z и количество ступеней регулировки Z .

10. Разделить участок 5-2' на равные по длине интервалы, соответствующие полученному числу ступеней регулировки и длине интервала первой (и второй) ступеней.

11. Аналогично тому, как была построена диаграмма для второй ступени, построить диаграммы для всех остальных ступеней регулировки.

12. Нанести на схему регулирования значения Sm , T_k , K_{\max}/Z , $Z \cdot T_k$.

Графическое решение задачи с прокладками различной толщины практически ничем не отличается от описанного выше, за исключением того, что меняется толщина прокладок (первой ступени – Sm_1 , второй – прокладка удвоенной толщины Sm_2 и допуск на нее, третьей – $Sm_2 + Sm_1$, четвертой – Sm_3 и т.д.

9.6. Задания к практической работе

Определить толщину прокладок комплекта компенсатора, число ступеней регулирования и допуск на толщину прокладок по следующим данным (табл. 9.2, 9.3).

Таблица 9.2

Данные для решения задачи с помощью номограмм

№ варианта	TA_0 , мм	TA'_0 , мм	Sm , мм	T_k , мм	Z
1	0,2	1,5		0,03	
2	0,25	1,5		0,03	
3	0,30	0,5		0,04	
4	0,35	1,0		0,04	
5	0,40	0,5		0,04	
6	0,10	0,4		0,02	
7	0,20	1,0		0,03	
8	0,15	0,7		0,02	
9	0,05	0,3		0,015	
10	0,10	0,6		0,02	
11	0,25	1,25		0,03	
12	0,30	1,8		0,04	
13	0,45	0,8		0,05	
14	0,30	0,9		0,04	
15	0,15	0,75		0,02	
16	0,20	1,4		0,03	
17	0,50	2,5		0,05	
18	0,25	1,5		0,03	
19	0,20	1,3		0,03	
20	0,10	0,7		0,02	

Таблица 9.3

Задания для первых трех способов решения задачи

№ варианта	Звено	Номинальные размеры, мм	Предельные отклонения, мм	Допуск, мм	Координата середины поля допуска, мм	Примечания
1	2	3	4	5	6	7
1	A_1	45	0 -0,25	0,25	-0,125	
	A_2	85	0 -0,35	0,35	-0,175	

Продолжение табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7
1	A_3	0	–	–	–	Комп., увелич.
	A_4	125	$\pm 0,20$	0,40	0	Увелич.
	A_5	105	$\begin{matrix} 0 \\ -0,12 \end{matrix}$	0,12	-0,06	Увелич.
2	A_1	0	–	–	–	Комп., уменьш.
	A_2	120	$\begin{matrix} 0 \\ -0,35 \end{matrix}$			
	A_3	170	$\begin{matrix} 0 \\ -0,40 \end{matrix}$	0,40	-0,20	
	A_4	30	$\begin{matrix} 0 \\ -0,21 \end{matrix}$	0,21	-0,105	
	A_5	165	$\pm 0,20$	0,40	0	Увелич.
	A_6	155	$\begin{matrix} -0,28 \\ -0,68 \end{matrix}$	0,40	-0,48	Увелич.
3	A_1	28	$\begin{matrix} 0 \\ -0,21 \end{matrix}$	0,21	-0,105	
	A_2	65	$\begin{matrix} 0 \\ -0,30 \end{matrix}$	0,30	-0,15	
	A_3	56	$\pm 0,15$	0,30	0	Увелич.
	A_4	37	$\begin{matrix} + 0,25 \\ 0 \end{matrix}$	0,25	+ 0,125	Увелич.
	A_5	0	–	–	–	Комп., увелич.
4	A_1	15	$\begin{matrix} 0 \\ -0,15 \end{matrix}$	0,15	-0,075	
	A_2	35	$\begin{matrix} 0 \\ -0,25 \end{matrix}$	0,25	-0,125	
	A_3	0	–	–	–	Комп., увелич.
	A_4	5	$\begin{matrix} 0 \\ -0,075 \end{matrix}$	0,075	-0,0375	Увелич.
	A_5	45	$\begin{matrix} 0 \\ -0,16 \end{matrix}$	0,16	-0,08	Увелич.
5	A_1	45	$\begin{matrix} 0 \\ -0,16 \end{matrix}$	0,16	-0,08	
	A_2	0	–	–	–	Комп., уменьш.

Продолжение табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7
	A_3	125	0 -0,25	0,25	-0,125	
	A_4	25	0 -0,13	0,13	-0,065	
	A_5	180	0 -0,40	0,40	-0,20	Увелич.
	A_6	15	$\pm 0,09$	0,18	0	Увелич.
6	A_1	220	0 -0,29	0,29	0,145	
	A_2	80	0 -0,22	0,22	-0,11	
	A_3	40	$\pm 0,125$	0,25	0	Увелич.
	A_4	0	-	-	-	Комп., увелич.
	A_5	260	0 -0,52	0,52	-0,26	Увелич.
7	A_1	130	0 -0,40	0,40	-0,20	
	A_2	28	$\pm 0,105$	0,21	0	
	A_3	0	-	-	-	Комп., уменьш.
	A_4	150	0 -0,25	0,25	-0,125	Увелич.
	A_5	8	0 -0,15	0,15	-0,075	Увелич.
8	A_1	45	0 -0,16	0,16	-0,08	
	A_2	170	0 -0,40	0,40	-0,20	
	A_3	75	0 -0,19	0,19	-0,095	Увелич.
	A_4	140	+ 0,28 + 0,68	0,40	+ 0,48	Увелич.
	A_5	0	-	-	-	Комп., увелич.
9	A_1	52	0 -0,19	0,19	-0,095	
	A_2	118	0 -0,35	0,35	-0,175	

Продолжение табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7
	A_3	0	–	–	–	Комп., увелич.
	A_4	35	$\pm 0,08$	0,16	0	Увелич.
	A_5	135	$+ 0,25$ 0	0,25	+ 0,125	Увелич.
10	A_1	70	0 $-0,30$	0,30	$-0,15$	
	A_2	45	$\pm 0,08$	0,16	0	
	A_3	38	0 $-0,25$	0,25	$-0,125$	
	A_4	0	–	–	–	Комп., увелич.
	A_5	153	$+ 0,40$ 0	0,40	+ 0,20	Увелич.
11	A_1	262	0 $-0,40$	0,40	$-0,20$	
	A_2	320	0 $-0,46$	0,46	$-0,23$	
	A_3	82	0 $-0,22$	0,22	$-0,11$	Увелич.
	A_4	0	–	–	–	Комп., увелич.
	A_5	500	$+ 0,63$ 0	0,63	+ 0,315	Увелич.
12	A_1	135	0 $-0,25$	0,25	$-0,125$	
	A_2	28	0 $-0,13$	0,13	$-0,065$	
	A_3	0	–	–	–	Комп., уменьш.
	A_4	115	$\pm 0,06$	0,12	0	Увелич.
	A_5	48	$\pm 0,08$	0,16	0	Увелич.
13	A_1	250	0 $-0,29$	0,29	$-0,145$	
	A_2	0	–	–	–	Комп., уменьш.
	A_3	10	0 $-0,15$	0,15	$-0,075$	
	A_4	40	$\pm 0,125$	0,25	0	

1	2	3	4	5	6	7
13	A_5	180	$\begin{matrix} +0,40 \\ 0 \end{matrix}$	0,40	+ 0,20	Увелич.
	A_6	120	$\begin{matrix} +0,35 \\ 0 \end{matrix}$	0,35	+ 0,175	Увелич.
14	A_1	0	–	–	–	Комп., уменьш.
	A_2	115	$\begin{matrix} 0 \\ -0,22 \end{matrix}$	0,22	-0,11	
	A_3	45	$\pm 0,08$	0,16	0	
	A_4	70	$\begin{matrix} +0,19 \\ 0 \end{matrix}$	0,19	+ 0,095	Увелич.
	A_5	90	$\begin{matrix} +0,22 \\ 0 \end{matrix}$	0,22	+ 0,11	Увелич.
15	A_1	16	$\begin{matrix} 0 \\ -0,18 \end{matrix}$	0,18	-0,09	
	A_2	48	$\begin{matrix} 0 \\ -0,25 \end{matrix}$	0,25	-0,125	
	A_3	53	$\begin{matrix} 0 \\ -0,30 \end{matrix}$	0,30	-0,15	
	A_4	0	–	–	–	Комп., увелич.
	A_5	28	$\pm 0,15$	0,30	0	Увелич.
	A_6	89	$\begin{matrix} +0,35 \\ 0 \end{matrix}$	0,35	+ 0,175	Увелич.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цепи размерные. Основные понятия, методы расчета линейных и угловых цепей: методические указания: РД 50–635–87.
2. Проектирование технологических процессов сборки машин: учебник / под общ. ред. проф. А.А. Жолобова. – Минск, 2005. – 409 с.
3. Гавра, Д.Л. Основы номографии с примерами машиностроения / Д.Л. Гавра. – Машгиз, 1949. – 350 с.
4. Вопросы машиностроения (сборник). – Рига, 1962.
5. Лента калиброванная холоднотянутая: ГОСТ 503–81.

Приложение к практической работе № 9

Таблица П9.1

Размеры ленты по ГОСТ 503–81

Толщина ленты	Ширина ленты	Толщина ленты	Ширина ленты
От 0,05 до 0,18 вкл.	4–260	Св. 0,80 до 1,00 вкл	8–500
Св. 0,18 до 0,40 вкл.	4–300	Св. 1,00 до 2,00 вкл	9–500
Св. 0,40 до 0,45 вкл.	5–300	Св. 2,00 до 3,00	15–500
Св. 0,45 до 0,50 вкл.	5–500	Св. 3,00 до 4,00	20–500
Св. 0,50 до 0,80 вкл.	6–500		

Толщина ленты и предельные отклонения по ней должны соответствовать указанным в табл. П9.2.

Ширина ленты и предельные отклонения по ней должны соответствовать указанным в табл. П9.3.

Таблица П9.2

Предельные отклонения ленты в зависимости от ее толщины, мм

Толщина ленты	Предельные отклонения по толщине для ленты шириной								
	менее 125			от 125 до 250			200 и более		
	точности изготовления								
	нормальн ой	повышенн ой	высокой	нормаль- ной	повышенн ой	высокой	нормаль- ной	повышенн ой	высокой
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
От 0,05 до 0,08 вклоч.	–0,015	–0,01	–	–0,015	–0,01	–	–	–	–
От 0,09 до 0,15 вклоч.	–0,02	–0,015	–0,01	–0,02	–0,015	–0,01	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Св. 0,15 до 0,25 включ.	-0,03	-0,02	-0,015	-0,03	-0,02	-0,015	-	-	-
Св. 0,25 до 0,40 включ.	-0,04	-0,03	-0,02	-0,04	-0,03	-0,02	-0,04	-0,03	-0,02
Св. 0,40 до 0,70 включ.	-0,05	-0,04	-0,025	-0,05	-0,04	-0,025	-0,05	-0,04	-0,025
Св. 0,70 до 0,95 включ.	-0,06	-0,05	-0,03	-0,07	-0,05	-0,03	-0,07	-0,05	-0,03
Св. 0,95 до 1,30 включ.	(-0,07) -0,08	-0,06	-0,04	-0,09	-0,06	-0,04	-0,09	-0,06	-0,04
Св. 1,30 до 1,45 включ.	(-0,09) -0,08	-0,06	-0,04	-0,10	-0,07	-0,05	-0,11	-0,08	-0,05
Св. 1,45 до 1,70 включ.	(-0,11) -0,10	(-0,08) -0,07	(-0,05) -0,05	(-0,11) -0,11	(-0,08) -0,08	-0,05	-0,11	-0,08	-0,05
Св. 1,70 до 2,30 включ.	(-0,11) -0,10	(-0,08) -0,07	(-0,05) -0,05	-0,12	-0,09	-0,06	-0,13	-0,10	-0,06
Св. 2,30 до 2,45 включ.	(-0,13) -0,10	(-0,10) -0,07	(-0,06) -0,05	(-0,13) -0,12	(-0,10) -0,09	-0,06	-0,16	-0,12	-0,08
Св. 2,45 до 3,00 включ.	(-0,16) -0,12	(-0,12) -0,09	(-0,08) -0,06	(-0,16) -0,14	(-0,12) -0,11	(-0,08) -0,07	-0,16	-0,12	-0,08
Св. 3,00 до 4,00 включ.	(-0,16) -0,12	(-0,12) -0,09	(-0,08) -0,06	(-0,16) -0,14	(-0,12) -0,11	(-0,08) -0,07	-0,18	-0,14	-0,09
4,00	(-0,20) -0,16 (-0,20)	(-0,16) -0,12 (-0,16)	(-0,10) -0,10 (-0,10)	(-0,20) -0,18 (-0,20)	(-0,16) -0,14 (-0,16)	(-0,10) -0,10	(-0,20) -0,20	(-0,16) -0,16	(-0,10) -0,10

Примечание. Предельные отклонения по толщине ленты, указанные в скобках, соответствуют первой категории качества.

Таблица П9.3

Предельные отклонения ленты по ширине

Толщина ленты, мм	Предельные отклонения по ширине, мм								
	для обрезанной ленты						для необрезанной ленты		
	нормальной точности			повышенной точности					
	до 125 включ.	св. 125 до 250 включ.	св. 250 до 500	до 125 включ.	св. 125 до 250 включ.	св. 250 до 500	до 125 включ.	св. 125 до 250 включ.	св. 250 до 500
От 0,05 до 0,60 включ.	-0,3	-0,4	-0,5	-0,2	-0,25	-0,4	+3	+3,5	+4,0
Св. 60 до 1,00 включ.	-0,4	-0,6	-0,6	-0,25	-0,3	-0,5	(+2,0) (-2,5)	(+3,0) (-4,0)	(+4,5) (-6,0)
Св. 1,00	-0,5	-0,7	-0,8	-0,4	-0,6	-0,7			

Примечания. 1. Для ленты с необрезанными кромками, изготавливаемой из горячекатаной полосы (подката) с необрезанной кромкой по ТУ14-1-4516-88, предельные отклонения по ширине не должны превышать + 4 % от номинальной ширины.

2. Предельные отклонения по ширине, указанные в скобках, соответствуют ленте обыкновенного качества.

Лента холоднокатаная
из низкоуглеродистой стали (ГОСТ 503–81)

1. Классификация и сортамент.

1.1. Ленту изготавливают:

– по состоянию материала:

Особомягкая – ОМ;

Мягкая – М;

Полунагартованная – ПН;

Нагартованная – Н;

Высоконагартованная – ВН;

– по точности изготовления:

– по толщине:

нормальной точности

повышенной точности – Т;

высокой точности – В;

– по ширине:

нормальной точности

повышенной точности – Ш;

– по виду и качеству поверхности:

первой группы – 1;

второй группы – 2;

третьей группы – 3;

четвертой группы – 4;

– по виду кромок:

с обрезанными кромками

с необрезанными кромками – НО;

– по микроструктуре:

без контроля

с контролем – К;

– по серповидности:

без контроля

с контролем:

класс А;

класс Б.

1.2. Лента изготавливается размерами:

по толщине: 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,11; 0,12; 0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,32; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,57; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,0; 1,05; 1,10; 1,15; 1,20; 1,25; 1,30; 1,35; 1,40; 1,45; 1,50; 1,55; 1,60; 1,65; 1,70; 1,75; 1,80; 1,85; 1,90; 1,95; 2,00; 2,10; 2,20; 2,25; 2,30; 2,40; 2,45; 2,50; 2,60; 2,70; 2,80; 2,90; 3,00; 3,10; 3,20; 3,30; 3,40; 3,50; 3,60; 3,80; 3,90; 4,00;

по ширине: 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 32; 34; 36; 38; 39; 40; 42; 43; 45; 46; 48; 50; 52; 53; 54; 55; 56; 58; 60; 63; 65; 66; 70; 73; 75; 76; 80; 83; 85; 86; 90; 93; 95; 96; 100; 102; 103; 105; 110; 112; 114; 115; 117; 120; 123; 125; 130; 135; 140; 142; 145; 150; 155; 160; 165; 170; 175; 180; 185; 190; 195; 200; 205; 210; 215; 220; 225; 230; 235; 240; 245; 250; 260; 270; 280; 290; 300; 310; 320; 330; 340; 350; 360; 370; 380; 390; 400; 410; 420; 430; 440; 450; 500 мм.

1.3. Ширина ленты в зависимости от толщины должна соответствовать указанной в табл. П9.1.

Практическая работа № 10
РЕШЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ
ПО МЕТОДУ РЕГУЛИРОВАНИЯ С НЕПОДВИЖНЫМ
КОМПЕНСАТОРОМ ИЗ ПРОКЛАДОК РАЗНОЙ ТОЛЩИНЫ
С ПОМОЩЬЮ НОМОГРАММ

10.1. Основные положения

При достижении точности методом регулирования с неподвижным компенсатором из прокладок характеризующими параметрами комплекта являются толщина каждой прокладки, допуск на толщину, необходимое число ступеней регулирования, а также количество прокладок в комплекте.

Параметры наивыгоднейшего комплекта компенсатора должны удовлетворять следующим условиям:

$$\sum_{i=1}^z Sm_i - \sum T'_{k_i} = K_{\max} ; \quad (10.1)$$

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^z T'_{k_i} + \frac{K_{\max}}{A} ,$$

где T_{Δ} – допуск на размер замыкающего звена (задан);

K_{\max} – максимальная компенсируемая ошибка, которую определяют, исходя из принятых экономичных допусков на размеры составляющих звеньев (кроме компенсирующего) и заданного допуска на размер замыкающего звена;

Sm_i – максимальная толщина i -й прокладки;

z – число прокладок в комплекте компенсатора;

A – количество ступеней регулирования.

Установлено, что толщина прокладки должна изменяться по закону геометрической прогрессии со знаменателем $q_{Sm} = 2$, следовательно

$$A = 2^z - 1 ;$$

$$Sm_i = q_{Sm}^{i-1} \cdot Sm_1 = 2^{i-1} \cdot Sm_1 ; \quad (10.2)$$

$$\sum_{i=1}^z Sm_i = Sm_1 + Sm_2 + \dots + Sm_z = \frac{q_{Sm}^z - 1}{q_{Sm} - 1} \cdot Sm_1 = (2^z - 1) \cdot Sm_1$$

или в общем виде

$$\sum Sm_{i(A)} = ASm_1, \quad (10.3)$$

где $Sm_1, Sm_2 \dots, Sm_z$ – толщина первой (с наименьшей толщиной), второй ... последней (с наибольшей толщиной) прокладок.

Допуски на толщину прокладок должны изменяться также по закону геометрической прогрессии, но со знаменателем q_T , значение которого отличается от q_{Sm} . Значение q_T выбирают, исходя из необходимости обеспечить надежное использование стандартных заготовок для всех прокладок комплекта, при этом не суживая область применения метода регулирования. Для разных комплектов компенсатора при $z = 2-5$ значение $q_T = 1,29-1,73$.

Поэтому

$$q_T = \sqrt{3}.$$

Следовательно:

$$T'_{Ki} = q_T^{i-1} \cdot T'_{K1} = (\sqrt{3})^{i-1} \cdot T'_{K1}; \quad (10.4)$$

$$\sum_{i=1}^z T'_{K1} + T'_{K2} + \dots + T'_{Kz} = \frac{q_T^z - 1}{q_T - 1} \cdot T'_{K1}.$$

Так как

$$z = \frac{\lg(A+1)}{\lg 2}, \quad (10.5)$$

то в общем виде

$$\sum T'_{Ki(A)} = \frac{(\sqrt{3})^{\frac{\lg A+1}{\lg 2}} - 1}{\sqrt{3} - 1} \cdot T'_{K1}, \quad (10.6)$$

где $T_{K1} T_{K2} \dots T_{Kz}$ – допуск на толщину первой (с наименьшей толщиной) второй, ..., последней (с наибольшей толщиной) прокладок.

Преобразовав выражения (10.1), (10.3), (10.5), (10.6), получаем формулу

$$T_{\Delta} \cdot A - T'_{K1} \cdot A \cdot \frac{(\sqrt{3})^{\frac{\lg A + 1}{\lg 2}} - 1}{\sqrt{3} - 1} - K_{\max} = 0. \quad (10.7)$$

Для сокращения трудоемкости вычислительных работ формулу (10.6) решают графически с помощью номограммы (рис. 10.1).

По номограмме можно легко и быстро найти наиболее выгодную комбинацию значений T_{K1} и A . На шкале T_{Δ} находят точку (1_1) , представляющую значение максимальной компенсируемой ошибки K_{\max} . Через найденные точки $(1_1$ и $2_1)$ проводят прямую (1_1-2_1) , пересекающую кривые для различных значений T_{K1} допуска на толщину первой прокладки.

Пересекаемая кривая, имеющая наибольшее значение T_{K1} , представляет искомый допуск на толщину первой прокладки $T_{K1} = 0,02$ мм.

Прямая (1_1-2_1) пересекает кривую ($T_{K1} = 0,02$ мм) в двух точках $(3_1-3'_1)$, представляющих возможные значения A_{\min} и A_{\max} количества ступеней регулирования. Точка 3_1 соответствует $A_{\min} = 6,5$, так как находится между прямыми $A = 6$ и $A = 7$; точка $3'_1$ — $A_{\max} = 14,8$, так как находится между прямыми $A = 14$ и $A = 15$.

Полученные величины A_{\min} и A_{\max} корректируют до ближайшего целого числа (обычно большего). Более удобным является комплект компенсатора, имеющий меньшее значение A_{\min} и состоящий из меньшего количества прокладок z . Кроме того, толщина первой прокладки в этом случае увеличивается. Поэтому из найденных значений A_{\min} и A_{\max} принимают минимальное.

Максимальную толщину первой прокладки определяют по формуле

$$Sm_1 = \frac{1}{A} \left(T'_{k1} \cdot \frac{(\sqrt{3})^{\frac{\lg(A+1)}{\lg 2}} - 1}{\sqrt{3} - 1} + K_{\max} \right),$$

где Sm_1 — максимальная толщина первой прокладки;

T_{K1} — допуск на толщину первой прокладки;

A — количество ступеней регулирования (обычно A_{\min});

K_{\max} — максимальная компенсируемая ошибка.

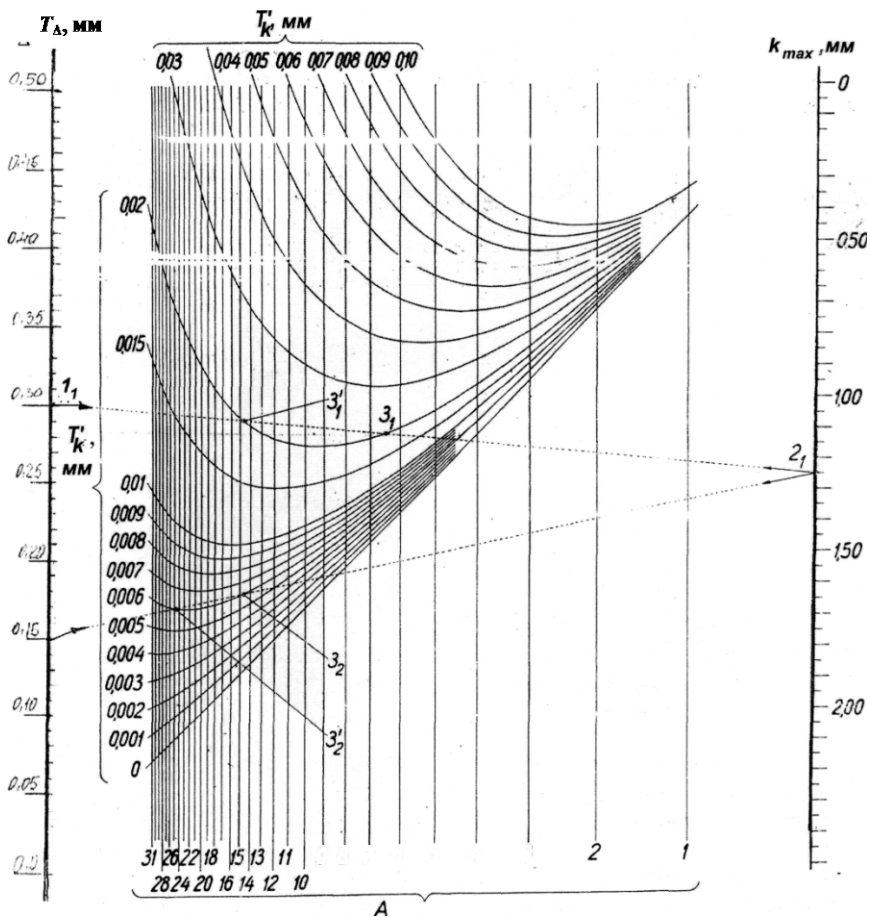


Рис. 10.1. Номограмма для определения допуска на толщину первой прокладки и количества ступеней регулировки

Формула получена из соотношений (10.1), (10.3), (10.6). Проводить вычисления по этой формуле удобно с помощью номограммы (рис. 10.2). На шкале T_{K1} находят точку (например 4_1), представляющую полученное значение T_{K1} допуска на толщину первой прокладки, а на шкале K_{max} – точку (например 5_1), представляющую значение компенсируемой ошибки K_{max} . Через найденные точки (4_1 и 5_1) проводят прямую (4_1 и 5_1) до пересечения с вертикальной линией A – количества ступеней

регулирования ($A = 7$). Точка (6_1), где обе линии пересекаются, и будет искомым значением $Sm_1 = 0,195$ мм толщины первой прокладки, так как находится между $Sm_1 = 0,18$ мм и $Sm_1 = 0,20$ мм. Полученное значение $Sm_1 = 0,195$ мм округляют до ближайшей большей или меньшей стандартной величины $Sm_1 = 0,20$ мм.

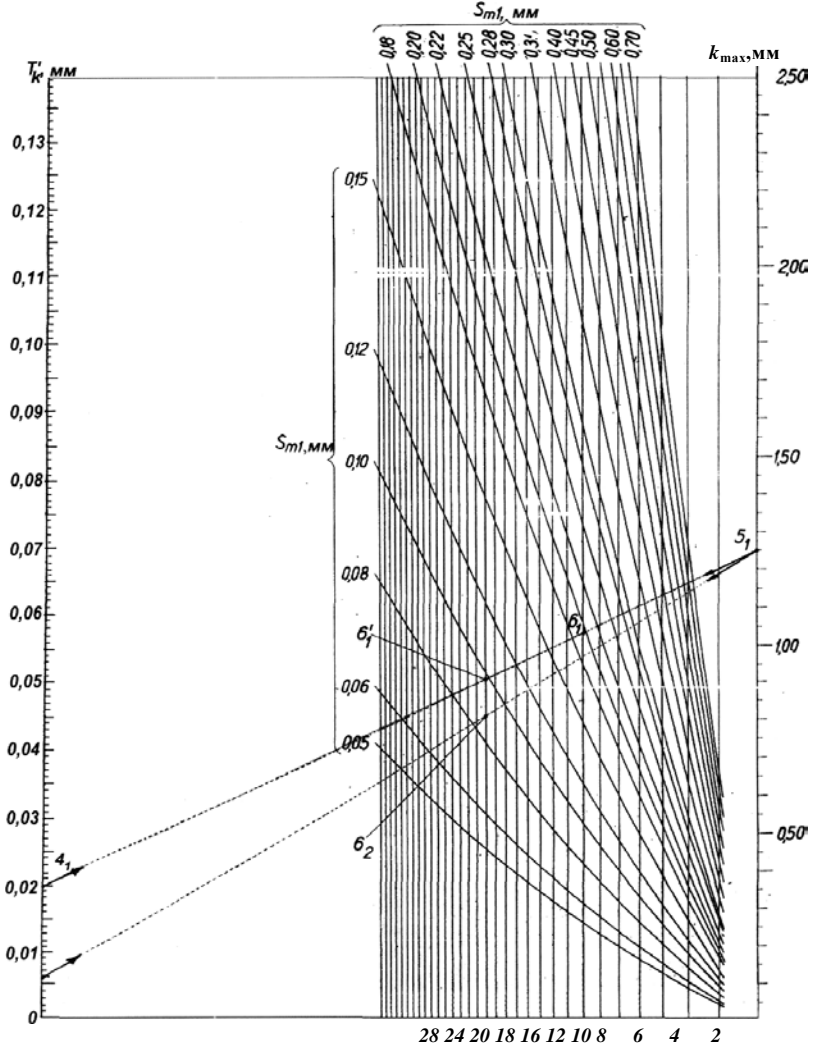


Рис. 10.2. Номограмма для определения толщины первой прокладки

Если стандартные заготовки при получении Sm_1 не имеют требуемой точности (допуск T_{K1}), то следует:

- 1) вместо наименьшего количества ступеней регулирования A_{\min} взять A_{\max} ;
- 2) применить описанный ниже способ;
- 3) отказаться от метода регулирования.

Область применения метода регулирования можно расширить, если учесть, что в одном составном компенсаторе редко встречаются прокладки только с максимальными отклонениями на толщину. Поэтому, допуская небольшой риск ($p = 0,27 \%$), можно выбрать первую прокладку с допуском T_{K1} значительно большим, чем расчетный допуск T_{K1} , полученный из номограммы.

Увеличенный допуск на толщину выбирают в двух случаях.

1. При желании применить метод регулирования даже тогда, когда расчетный допуск T_{K1} меньше минимального допуска на толщину стандартных заготовок.

2. Если полученная расчетным путем или по номограмме толщина первой прокладки велика, а точность стандартных заготовок при такой толщине ниже расчетной.

Значение увеличенного допуска на толщину первой прокладки определяется по формуле

$$T_{K1} = 1,9318 \sqrt{\frac{\frac{\lg(A+1)}{(\sqrt{3})^{\lg 2}} - 1}{\frac{\lg(A+1)}{(\sqrt{3})^{\lg 2}} + 1}}, \quad (10.8)$$

где T_{K1} – увеличенный допуск на толщину первой прокладки (с наименьшей толщиной);

T_K – расчетный допуск на толщину первой прокладки, полученный по номограмме;

A – число ступеней регулирования. Формула (10.8) получена из соотношения

$$\sum_{i=1}^z T'_{Ki} = \sqrt{\sum_{i=1}^z T_{Ki}^2},$$

то есть

$$\frac{q_T^z - 1}{q_T - 1} \cdot T'_{Ki} = \sqrt{\frac{q_T^{2z} - 1}{q_T^2 - 1}} \cdot T_{Ki}$$

или

$$\frac{(\sqrt{3})^z - 1}{\sqrt{3} - 1} \cdot T'_{Ki} = \sqrt{\frac{(\sqrt{3})^{2z} - 1}{(\sqrt{3})^2 - 1}} \cdot T_{Ki}.$$

Формулу (10.8) можно решить с помощью номограммы в последовательности $T_{K1} - T_{K1} - A$.

Полученное по номограмме значение T_{K1} корректируется до ближайшего (обычно меньшего) стандартного значения.

Пример

Определить параметры комплекта компенсатора, если допуск на размер замыкающего звена размерной цепи $T_{\Delta} = 0,3$ мм и максимальная компенсируемая ошибка $K_{\max} = 1,25$ мм.

Решение

По номограмме на шкале T_{Δ} находят точку 1₁, где $T_{\Delta} = 0,30$ мм, а на шкале K_{\max} – точку 2₁, где $K_{\max} = 1,25$ мм. Через точки 1₁ и 2₁ проводят прямую 1₁ – 2₁, которая пересекает кривую наибольшего допуска $T_{K1} = 0,02$ мм в точках 3₁ и 3'₁, где и получаем количество ступеней регулирования; $A_{\min} = 6,5$; $A_{\max} = 14,8$. Корректируют: $A_{\min} = 7$; $A_{\max} = 15$. Выбирают ($A = 7$), количество прокладок в комплекте $z = 3$ и допуск на толщину первой прокладки $T_{k1} = 0,02$ мм.

По номограмме на шкале T_{K1} находят точку 4₁, где $T_{K1} = 0,02$ мм, а на шкале K_{\max} – точку 5₁, где $K_{\max} = 1,25$ мм. Через точки 4₁ и 5₁ проводят прямую 4₁ – 5₁ до пересечения с вертикальной линией количества ступеней регулирования $A = 7$ в точке 6₁. Точка 6₁ представляет искомое значение $Sm_1 = 0,195$ мм толщины первой прокладки. Корректируют полученное значение $Sm_1 = 0,20$ мм.

Параметры остальных прокладок определяют по формулам (10.2) и (10.4).

Для второй прокладки

$$Sm_2 = 2 Sm_1 = 2 \cdot 0,2 = 0,40 \text{ мм};$$

$$T'_{K2} = q_T^2 \cdot T'_{K1} = (\sqrt{3})^2 \cdot 0,02 = 0,06 \text{ мм}.$$

Параметры комплекта компенсатора следующие:

- количество ступеней регулирования $A = 7$;
- количество прокладок в комплекте $z = 3$;
- толщина первой прокладки $Sm_1 = 0,20_{-0,02}$ мм;
- толщина второй прокладки $Sm_2 = 0,40_{-0,03}$ мм;
- толщина третьей прокладки $Sm_3 = 0,80_{-0,05}$ мм.

Правильность расчета проверяют по формуле (10.1).

$$\sum Sm_{i(A)} - \sum T'_{Ki(A)} \geq K_{\max};$$

$$0,20 + 0,40 + 0,80 - (0,02 + 0,03 + 0,05) \geq 1,25;$$

$$1,30 > 1,25 \text{ мм};$$

$$Sm_z = Sm_3 > \frac{\sum_{i=1}^z Sm_i}{2} = 0,80 > \frac{0,20 + 0,40 + 0,80}{2};$$

$$0,80 > 0,70 \text{ мм}.$$

Компенсатор выбран правильно.

Параметры компенсатора при $A_{\max} = 15$ (количество прокладок $z = 4$).

На шкале T_{K1} находят точку 4_1 , где $T_{K2} = 0,02$ мм, а на шкале K_{\max} – точку 5_1 где $K_{\max} = 1,25$ мм. Через точки 4_1 и 5_1 проводим прямую $4_1 - 5_1$ до пересечения с вертикальной линией количества ступеней регулирования $A = 15$ в точке $6'_1$. Точка 6_1 – искомое значение $Sm_1 = 0,0985 \approx 0,10$ мм.

Параметры остальных прокладок:

$$Sm_2 = 2 Sm_1 = 2 \cdot 0,10 = 0,20 \text{ мм};$$

$$T'_{K2} = \sqrt{3} \cdot 0,02 = 0,0346 \approx 0,03 \text{ мм};$$

$$S_{m3} = 2^2 S_{m1} = 4 \cdot 0,10 = 0,40 \text{ мм};$$

$$T'_{K3} = (\sqrt{3})^2 \cdot T'_{K1} = 3 \cdot 0,02 = 0,06, \text{ принимают } 0,04 \text{ мм};$$

$$S_{m4} = 2^3 S_{m1} = 8 \cdot 0,10 = 0,80 \text{ мм};$$

$$T'_{K4} = (\sqrt{3})^3 \cdot T'_{K1} = \sqrt{27} \cdot 0,02 = 0,07 \text{ мм}.$$

По второму варианту параметры комплекта компенсатора следующие:

$$A = 15; z = 4; S_{m1} = 0,10_{-0,02} \text{ мм}; S_{m3} = 0,20_{-0,03} \text{ мм}; S_{m4} = 0,80_{-0,07} \text{ мм}.$$

Проверяют пригодность комплекта:

$$\sum S_{m_{i(a)}} - \sum T'_{K_{i(a)}} > K_{\max};$$

$$(0,10 + 0,20 + 0,40 + 0,80) - (0,02 + 0,03 + 0,04 + 0,07) \geq 1,25;$$

$$1,34 > 1,25;$$

$$S_{m_z} = S_{m_4} > \frac{\sum_{i=1}^z S_{m_i}}{2} = 0,80 > \frac{0,10 + 0,20 + 0,40 + 0,80}{2};$$

$$0,80 > 0,75 \text{ мм}.$$

Параметры компенсатора выбраны правильно.

Производить регулировку удобнее компенсатором первого варианта (он имеет только три прокладки), но прокладки второго варианта компенсатора можно изготовить с необходимой точностью.

10.2. Порядок выполнения работы

1. Определить максимальную компенсируемую погрешность K_{\max} по формуле

$$K_{\max} = TA'_{\Delta} - TA_{\Delta}.$$

2. По номограмме (см. рис. 10.1) определить начало и конец отрезка прямой, соответствующие заданному значению допуска

закрывающего звена и полученному расчетным путем K_{\max} . Соединить точки отрезком прямой.

3. Определить точки пересечения отрезка прямой с кривой, определяющей заданный допуск на толщину прокладки T'_k .

4. Перемещаясь вниз по вертикале на шкалу A , определить количество ступеней регулирования A_{\min} и A_{\max} . Выбрать меньшее из них.

5. По второй номограмме (см. рис. 10.2) определить точки, соответствующие заданному значению T'_k и расчетному K_{\max} .

6. Провести прямые, соединяющие эти точки до пересечения с вертикальной линией, определяющей количество ступеней регулирования (нижняя шкала).

7. Определить толщину первой прокладки (верхняя и левая средняя шкалы). Откорректировать полученное значение до стандартной толщины ленты по ГОСТ 503–81.

8. По формулам (10.2) и (10.4) определить параметры остальных прокладок.

9. Проверить правильность расчета.

10. Сравнить полученные результаты с расчетом по практической работе № 9.

10.3. Содержание отчета

1. Основные положения и расчетные зависимости, расчет K_{\max} .
2. Номограммы и пояснения к определению A_{\min} и A_{\max} , толщины первой прокладки.
3. Расчет параметров второй, третьей и т.д. прокладок.
4. Заключение.

10.4. Задания к практической работе № 10

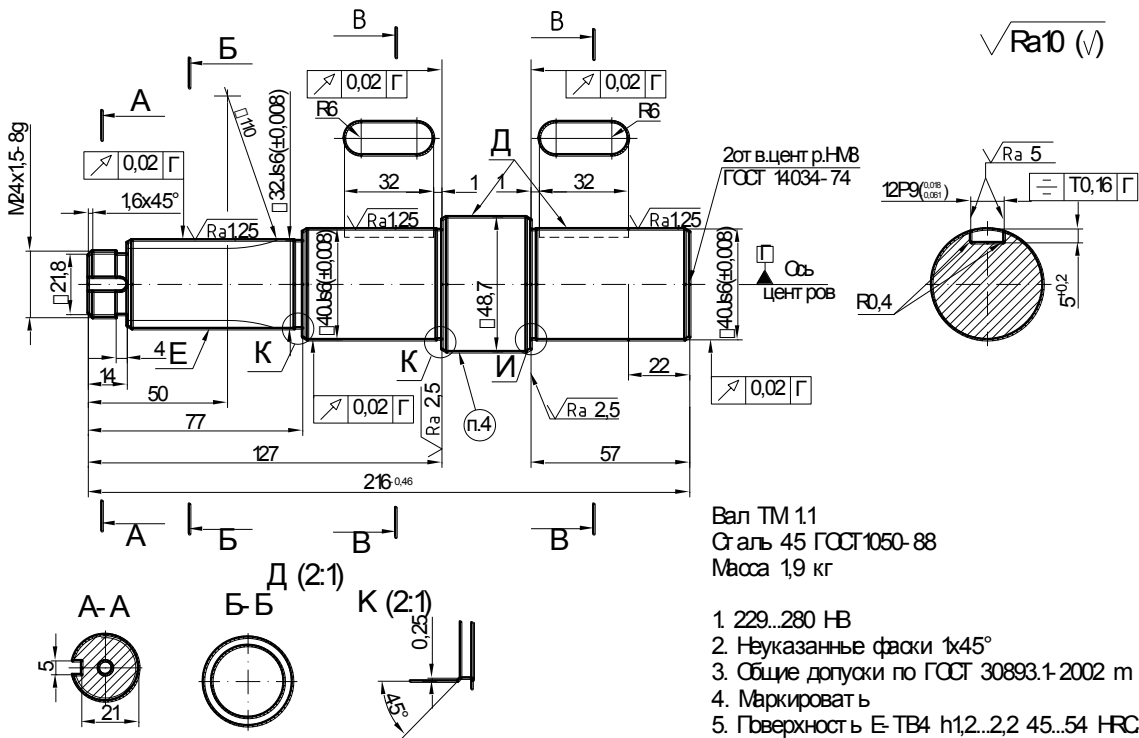
Определить толщину прокладок комплекта компенсатора, число ступеней регулирования и допуск на толщину прокладок по следующим данным.

Задания для решения задачи с помощью номограмм

№ варианта	TA_0 , мм	TA'_0 , мм	Sm , мм	T_k , мм	Z
1	0,2	1,5		0,03	
2	0,25	1,5		0,03	
3	0,30	0,5		0,04	
4	0,35	1,0		0,04	
5	0,40	0,5		0,04	
6	0,10	0,4		0,02	
7	0,20	1,0		0,03	
8	0,15	0,7		0,02	
9	0,05	0,3		0,015	
10	0,10	0,6		0,02	
11	0,25	1,25		0,03	
12	0,30	1,8		0,04	
13	0,45	0,8		0,05	
14	0,30	0,9		0,04	
15	0,15	0,75		0,02	
16	0,20	1,4		0,03	
17	0,50	2,5		0,05	
18	0,25	1,5		0,03	
19	0,20	1,3		0,03	
20	0,10	0,7		0,02	

ЛИТЕРАТУРА

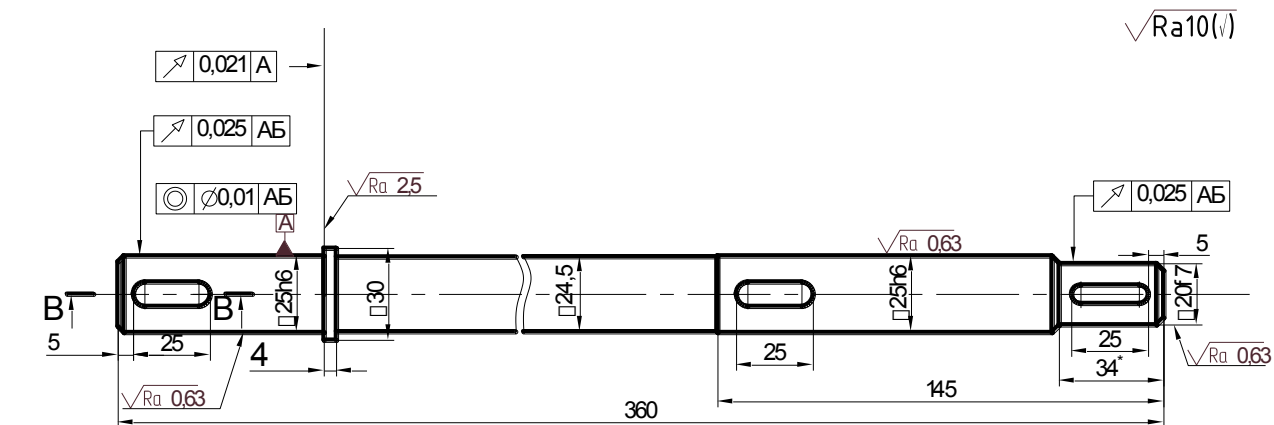
1. Цепи размерные. Основные понятия, методы расчета линейных и угловых цепей: методические указания: РД 50–635–87
2. Проектирование технологических процессов сборки машин: учебник / под общ. ред. проф. А.А. Жолобова. – Минск, 2005. – 409 с.
3. Гавра, Д.Л. Основы номографии с примерами машиностроения / Д.Л. Гавра. – Машгиз, 1949. – 350 с.
4. Вопросы машиностроения (сборник). – Рига, 1962.
5. Лента калиброванная холоднотянутая: ГОСТ 503–81.



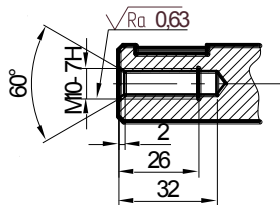
Вал ТМ 11
 Сталь 45 ГОСТ1050-88
 Масса 1,9 кг

1. 229..280 НВ
2. Неуказанные фаски 1x45°
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 m
4. Маркировать
5. Поверхность Е-ТВ4 h12...2,2 45...54 НРС

ПРИЛОЖЕНИЕ
(ОБЩЕ)

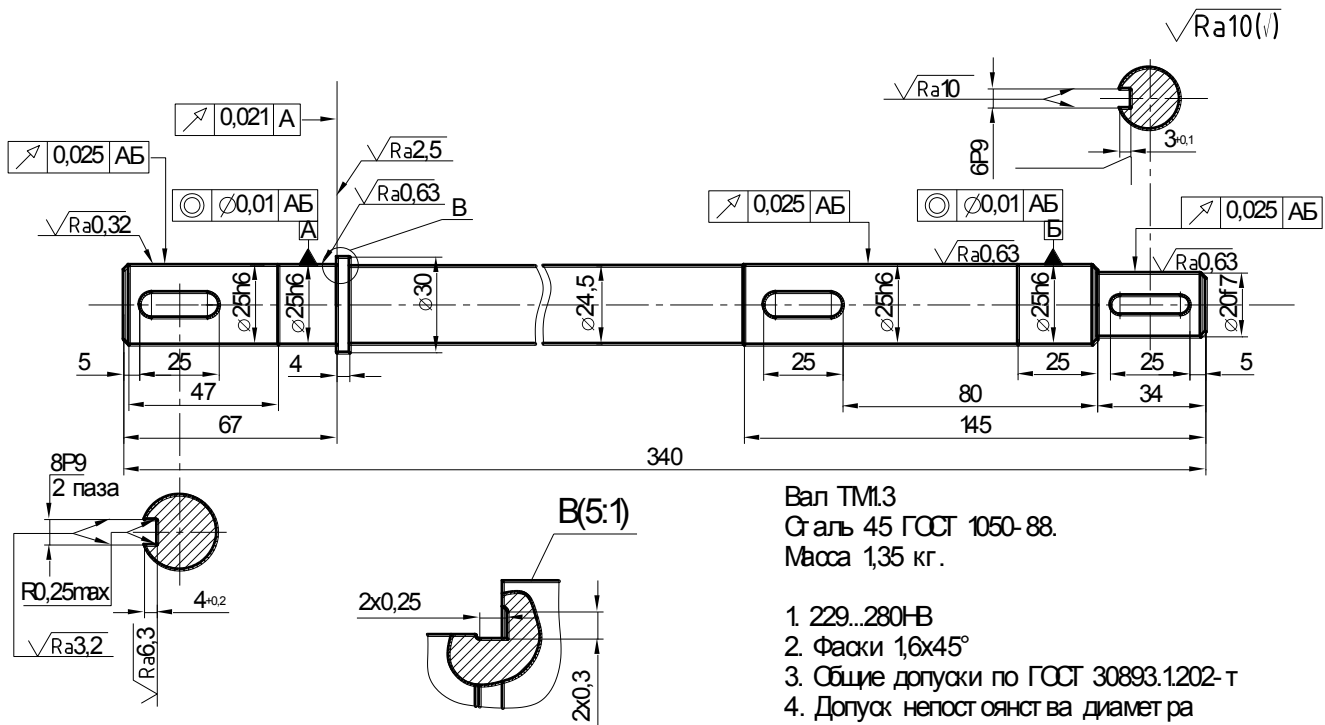


B-B



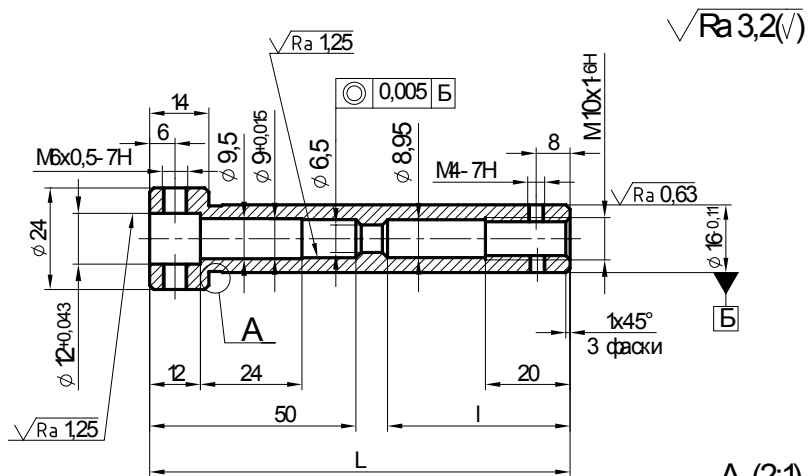
Вал ТМ 12
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 35-40 HRC
 Масса 1,65 кг

1* Размеры для справок.



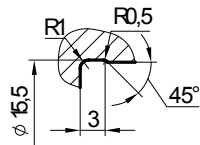
Вал ТМ1.3
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88.
 Масса 1,35 кг.

1. 229...280НВ
2. Фаски 1,6x45°
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1202-т
4. Допуск непостоянства диаметра поверхности А и Б в продольном и поперечном сечении $\varnothing 0,007$ мм
5. Покрытие: Хим.Окс.прм.



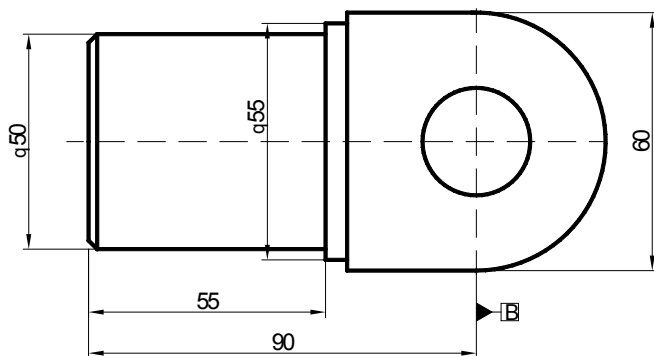
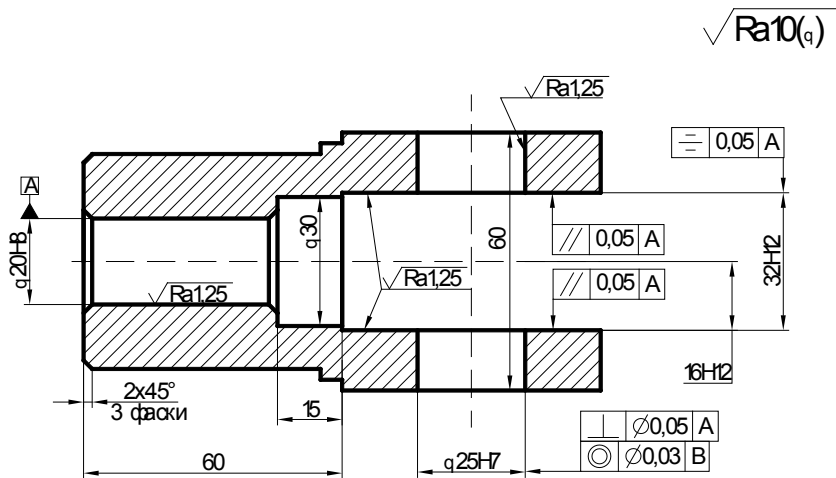
A (2:1)

Обозначение корпуса	L, мм	l, мм	Масса, кг
ТМ 1.12	172	117	0,195
ТМ 1.13	212	157	0,234



- 1 35...40 HRC
- 2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002m
- 3 Покрытие Хим. Окс. прм.

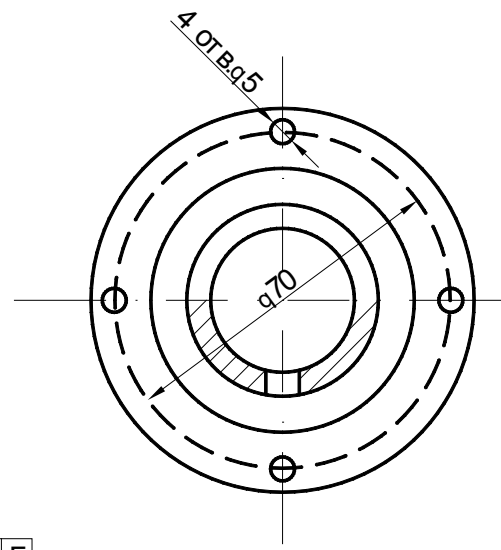
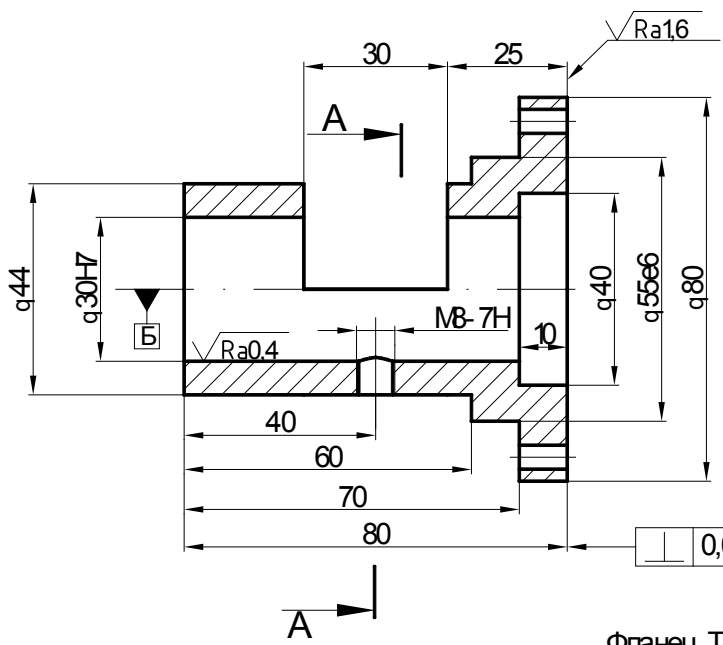
Корпус ТМ 1.12- 1.13
Сталь 45 ГОСТ 1050-88



1. 37...42 HRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 т

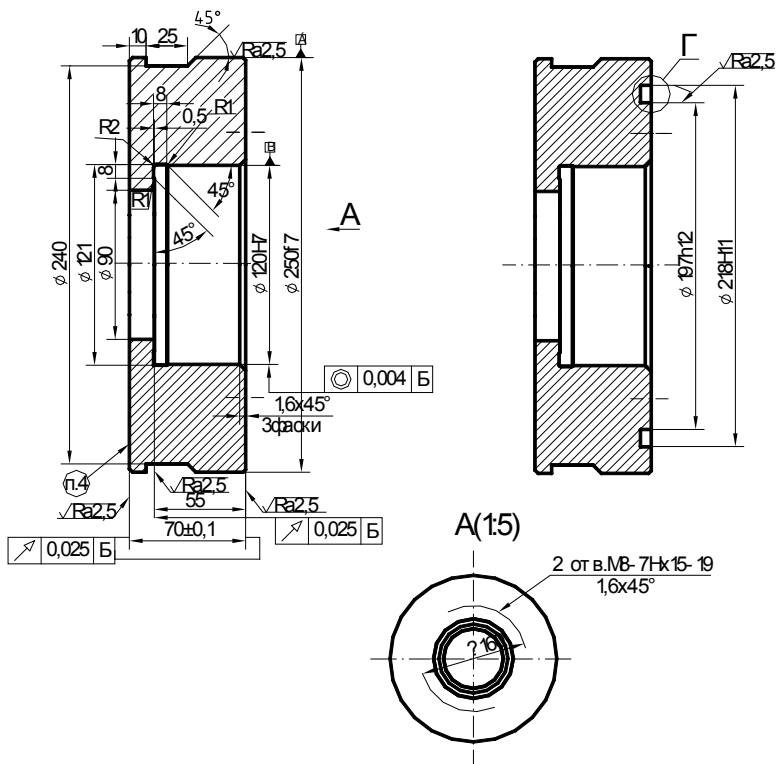
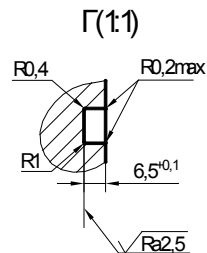
Серьга ТМ 126
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Масса 1,6 кг

√Ra6,3(а)



Фланец ТМ 127
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса- 1,9 кг

1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 m

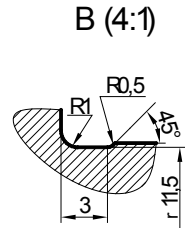
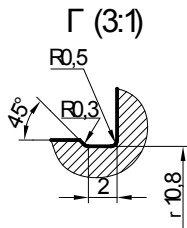
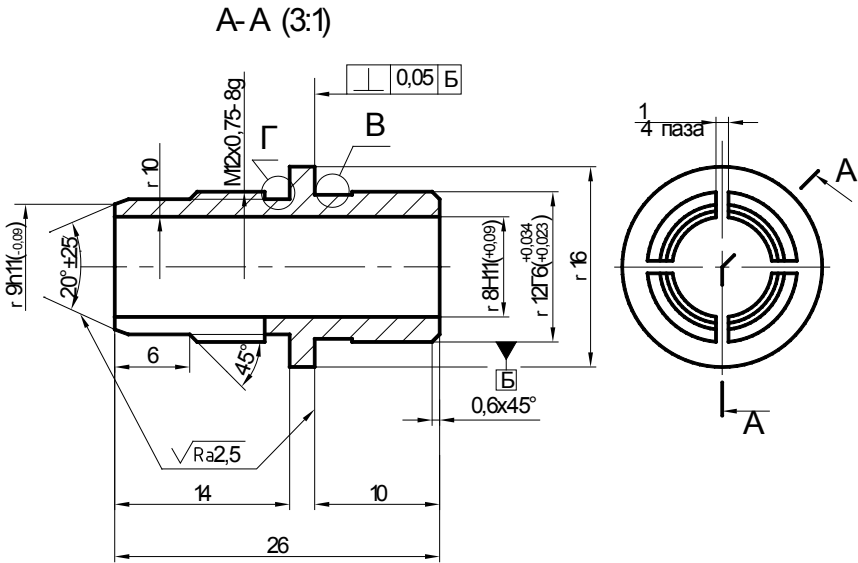

 $\sqrt{Ra10(\sqrt{v})}$


Обозначение	Рис	Масса, кг
МВ-1731.240.40100	1	20,5
01	2	20,2

Корпус ТМ1.29.
Сталь 45 Гост 1050-88

- 192...240 НВ
- Общие допуски ГОСТ 30893.2-Т К
- Покрытие: Хим. Окс. прм
- Маркировать обозначения

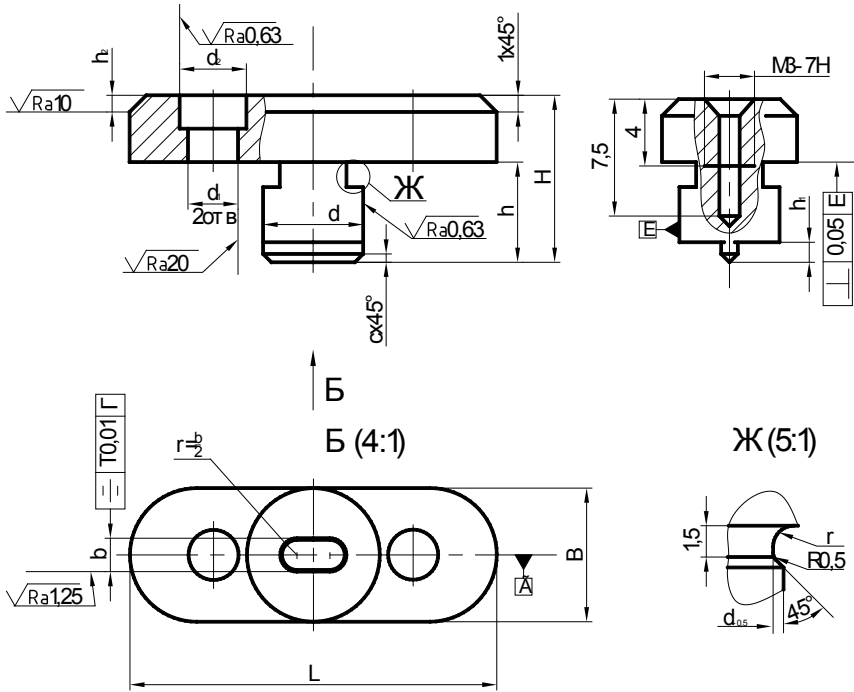
√ Ra5(q)



Цанга ТМ 145

1. Материал - сталь 65Г ГОСТ 14959-79
2. HRC 42...48
3. Масса 0,0075 кг

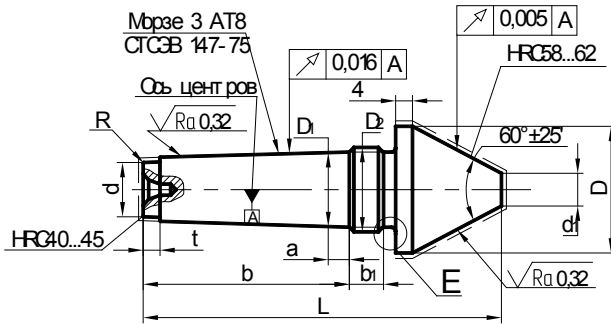
√Ra5_(q)



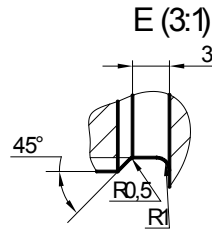
Размеры в мм

Таблица 2

Обозначение шпонки	b		h	h ₁	d		H	A	B	L
	Номин	Пред откл. по f7			Номин	Пред откл. по f7				
ТМ 146	2	-0,006	6	12	6	-0,008	10	12	8	22
ТМ 147		-0,016	10				14			
ТМ 148	4	-0,010	14	2,5	8	-0,009	18	14	10	25
ТМ 149	5	-0,022	10	3,0			14			
ТМ 150	10	-0,013 -0,028	14	6,0	16	-0,011	20	25	18	38



Черт. 2



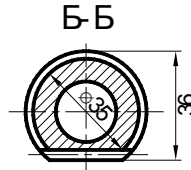
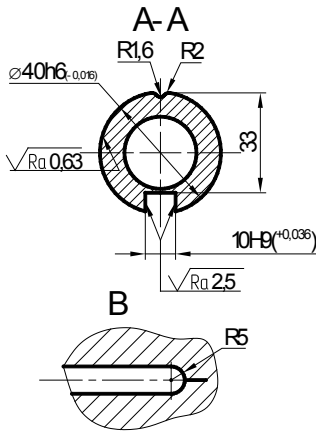
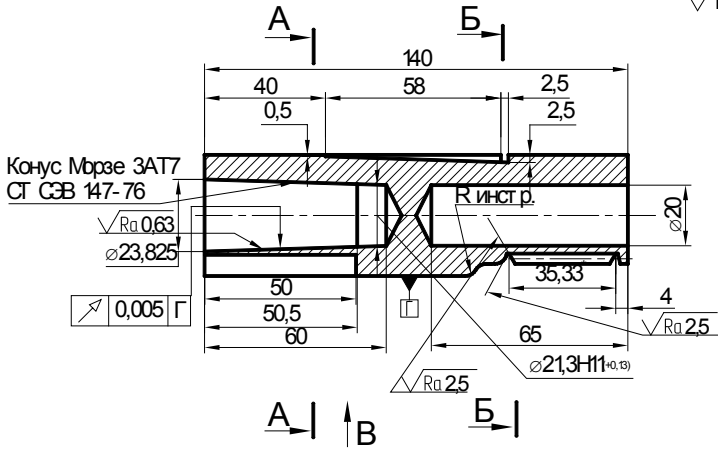
Размеры в мм

Таблица 2

Обозначение центра	Конус Морзе	D	D ₁	D ₂ (8g)	L	R	a	d	d ₁	b	b ₁	t	Масса кг
ТМ 151-155	2	30	17,780	M20x1,5	85	0,2	5	13	≈6,8	50	8	4	0,163
ТМ 152-155	3	40	23,825	M27x1,5	100	0,6		18	≈13,2	58	10	5	0,355
ТМ 153-155		18						≈33,2					
ТМ 154-155	4	80	31,267	M36x1,5	125	1,0	6,5	24	≈46,4	75	12	7	1,330
ТМ 155-155		100						≈66,4	1,930				

1. Центр ТМ 151-155 СТП-118-1744-80.
2. Материал - сталь У10 ГОСТ 14034-88
3. Центровые отверстия - типа В по ГОСТ 14034-74

$\sqrt{Ra5}$

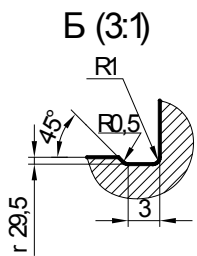
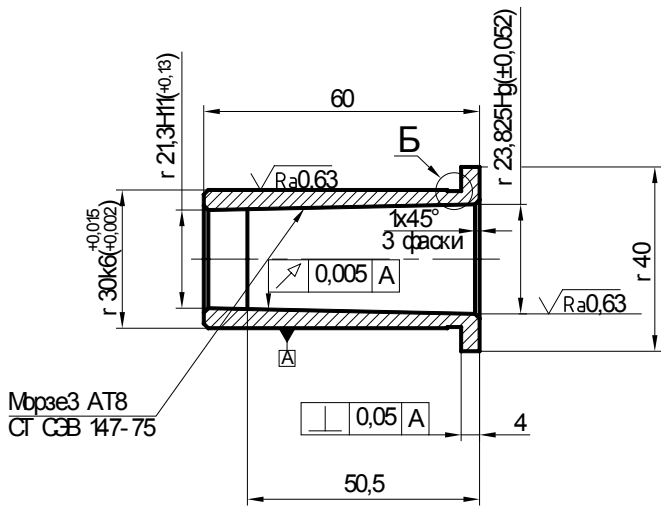


Модуль	m	1,5
Число зубьев	z	8
Нормальный исходный контур	Угол профиля	α 20°
	Коэффициент высоты головки	1
	Коэффициент граничной высоты	1
	Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	0,4
	Коэффициент радиального зазора	0,25
Степень точности	-	6-8-7-x

Условное обозначение шпинделя:
Шпиндель ТМ 156
Масса 1,377 кг

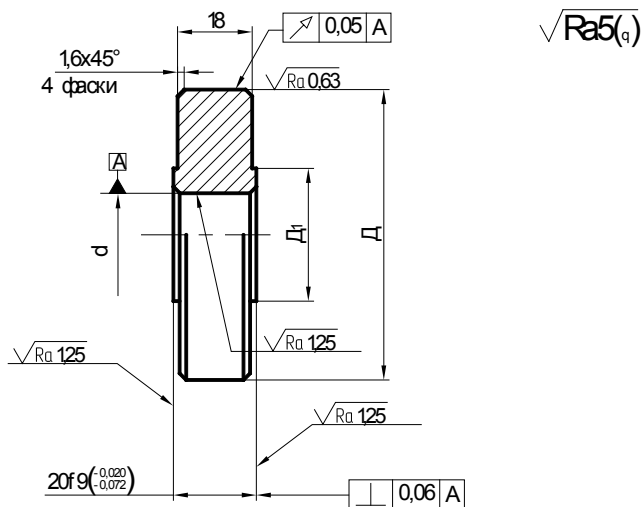
1. Материал - сталь марки 40x ГОСТ 4543-71
2. HRC 48...52
3. Покрытие - Хми.Окс.прм. ГОСТ 9.073-77

√Ra5(q)



Втулка ТМ 157

1. Материал - сталь 45 ГОСТ 1050-88.88
2. HRC 40..45
3. Масса 0,184 кг

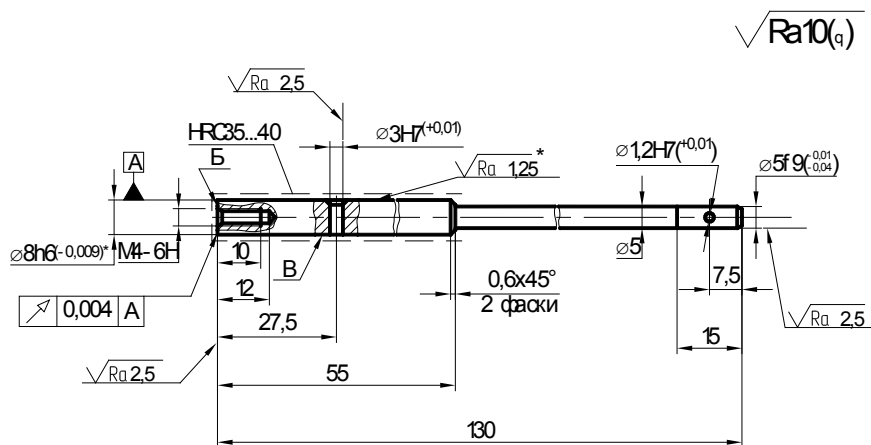


Черт. 3

Размеры в мм

Обозначение ролика	D		d		D ₁	Масса, кг
	Ньмин.	Пред. от кл. по js6	Ньмин.	Пред. от кл. по H7		
ТМ 158-161	50	±0,0080	16	+0,018	25	0,275
ТМ 159-161	70	±0,0095	20	+0,021	32	0,554
ТМ 160-161	100	±0,0110	28		45	1,134
ТМ 161-161	120		36	+0,025	55	1,613

1. Материал - сталь 20 ГОСТ 1050-88.
2. Цементировать h, 8...1,2 мм; HRC 58...62.
3. Покрытие - ХимОкс.п.м. по ГОСТ 9.073-77.



Черт. 3

Условное обозначение стержня:

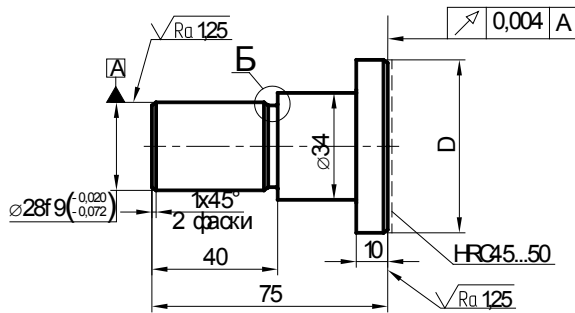
Стержень ТМ162

Масса 0,03 кг

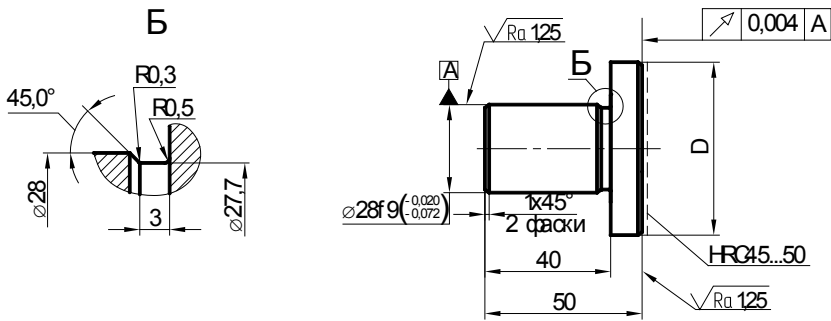
1. Материал - сталь 40х по ГОСТ 4543-71
- 2.* Размер и шероховатость после покрытия
3. Поверхность В обработать по сопряженной детали
4. Покрытие поверхностей Б и В - Хроп18 по ГОСТ 9.073-77

$\sqrt{Ra(9)}$

Исполнение 1



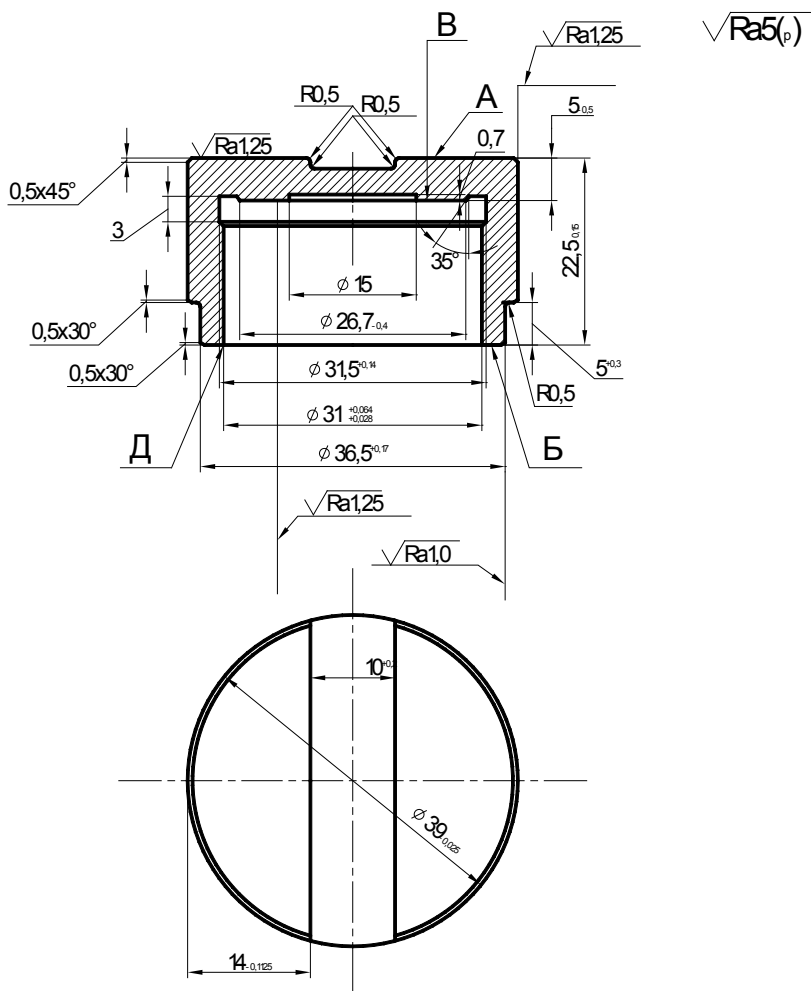
Исполнение 2



Обозначение упора	Исполнение	Применяемость	D, мм	Масса 1000 шт., кг
ТМ 1.63	1		36	448
ТМ 1.64			45	439
ТМ 1.65			55	555
ТМ 1.66	2		36	271
ТМ 1.67			45	316
ТМ 1.68			55	378

Упор 1.63...1.68

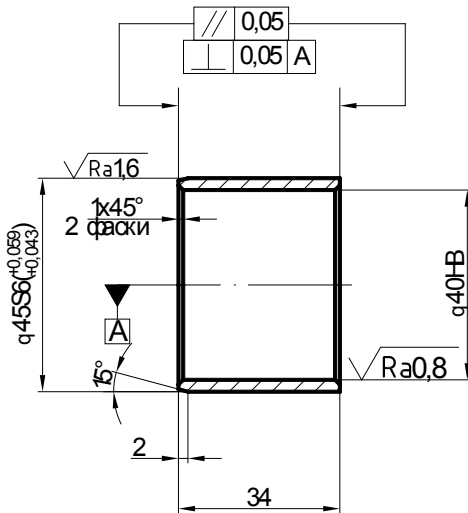
Материал сталь 45 ГОСТ 1050-88



1. Цементировать h0.8...1.2 61...65HRC
2. Свальность и конусность по наружному диаметру не более 0,008

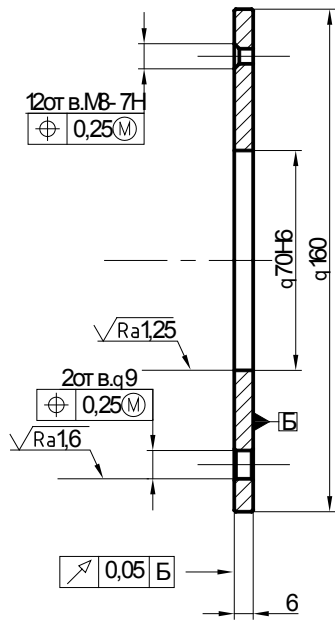
Кольцо подшипника ТМ2.5
 Сталь 15Г ГОСТ 1050-74
 Масса - 0,14 кг

$\sqrt{Ra6,3(q)}$

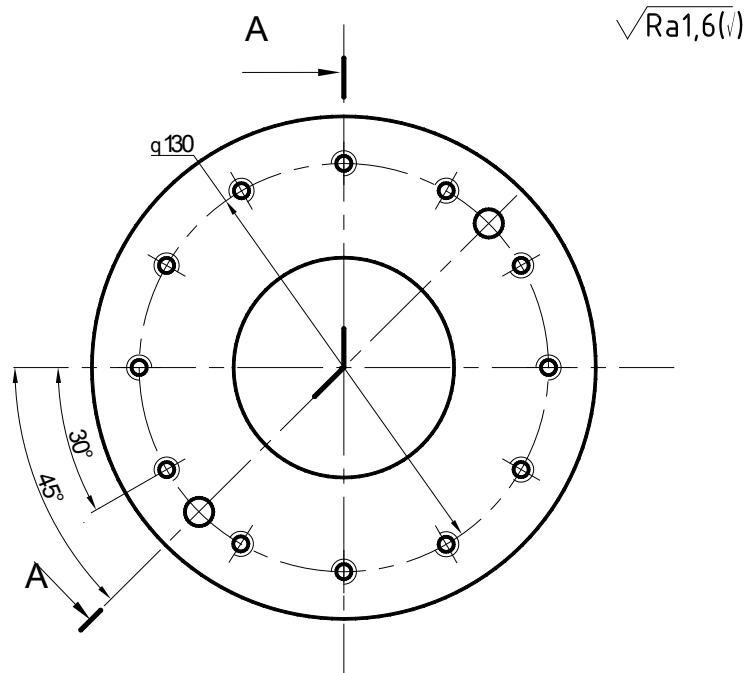


Втулка ТМ2.7

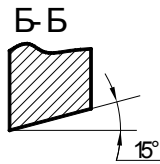
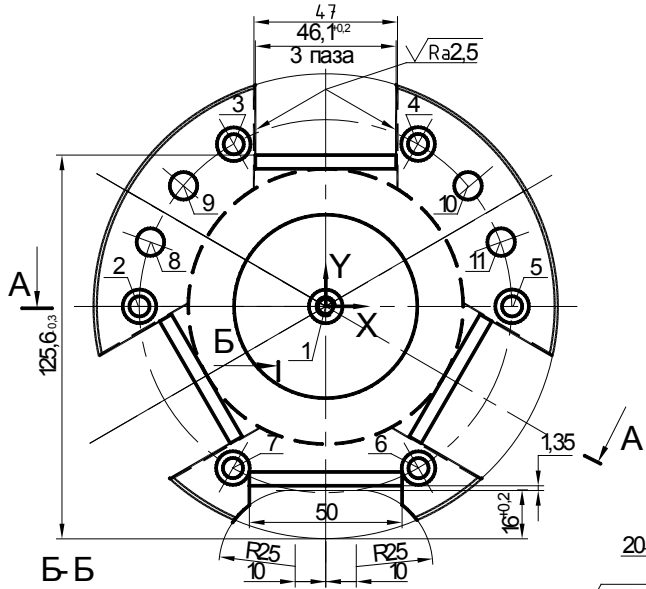
1. Материал - Бр.АЖУ-4 ГОСТ 18175-78
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002м с сопряженной деталью
3. Биение торцов от нормально оси $\varnothing45S6$ 0,05 не более



Фланец ТМ 2.08
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Общие допуски по ГОСТ 308893.1-2002 m



1. Неуказанные фаски $1 \times 45^\circ$
2. Покрытие: Хим.Окс.прм

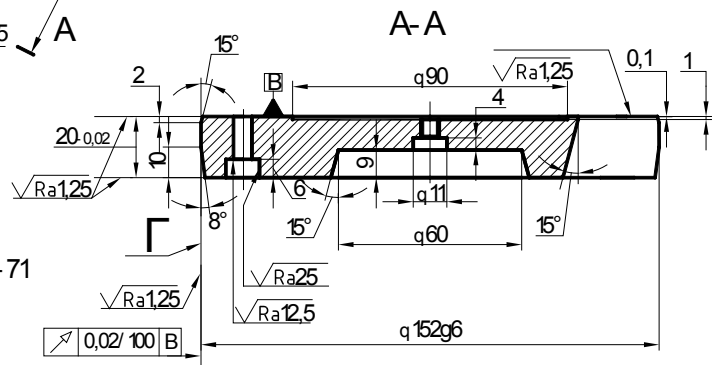


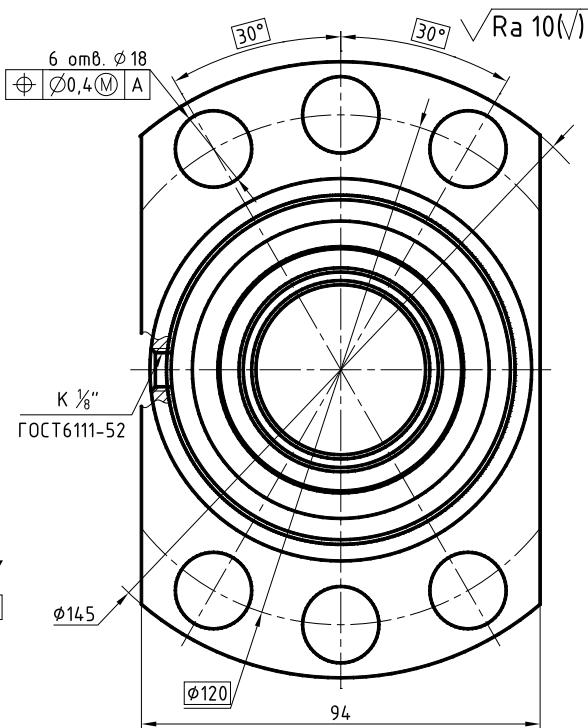
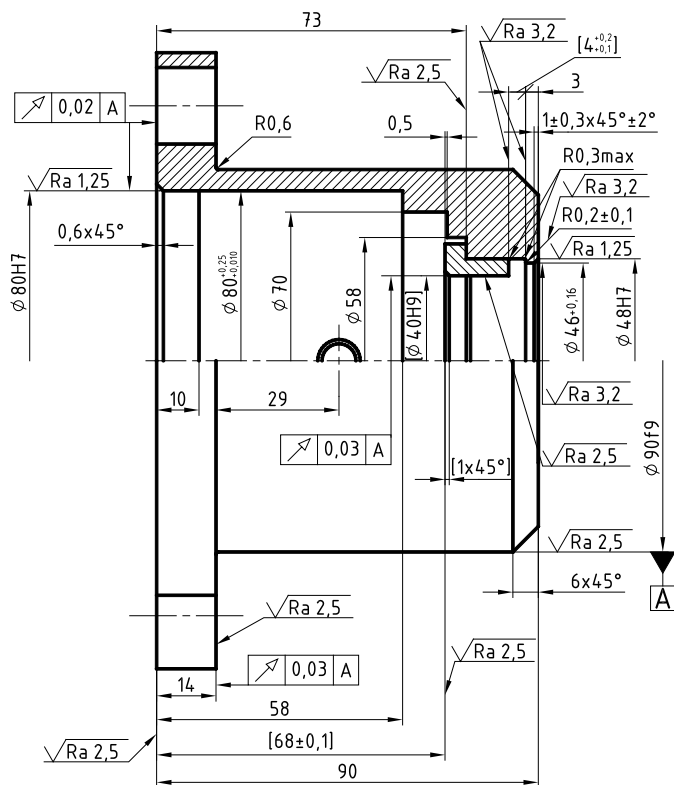
Крышка ТМ 2.14
 Сталь 40Х ГОСТ4543-71
 Масса 1,1

1. 37...42 HRC
2. Позиционный допуск начала координат $\pm 0,1$ мм
 База - ось поверхн. Г
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 г
4. Покрытие Хим.Окс.прм
5. Маркировать обозначение на бирке

√ Ra10 (V)

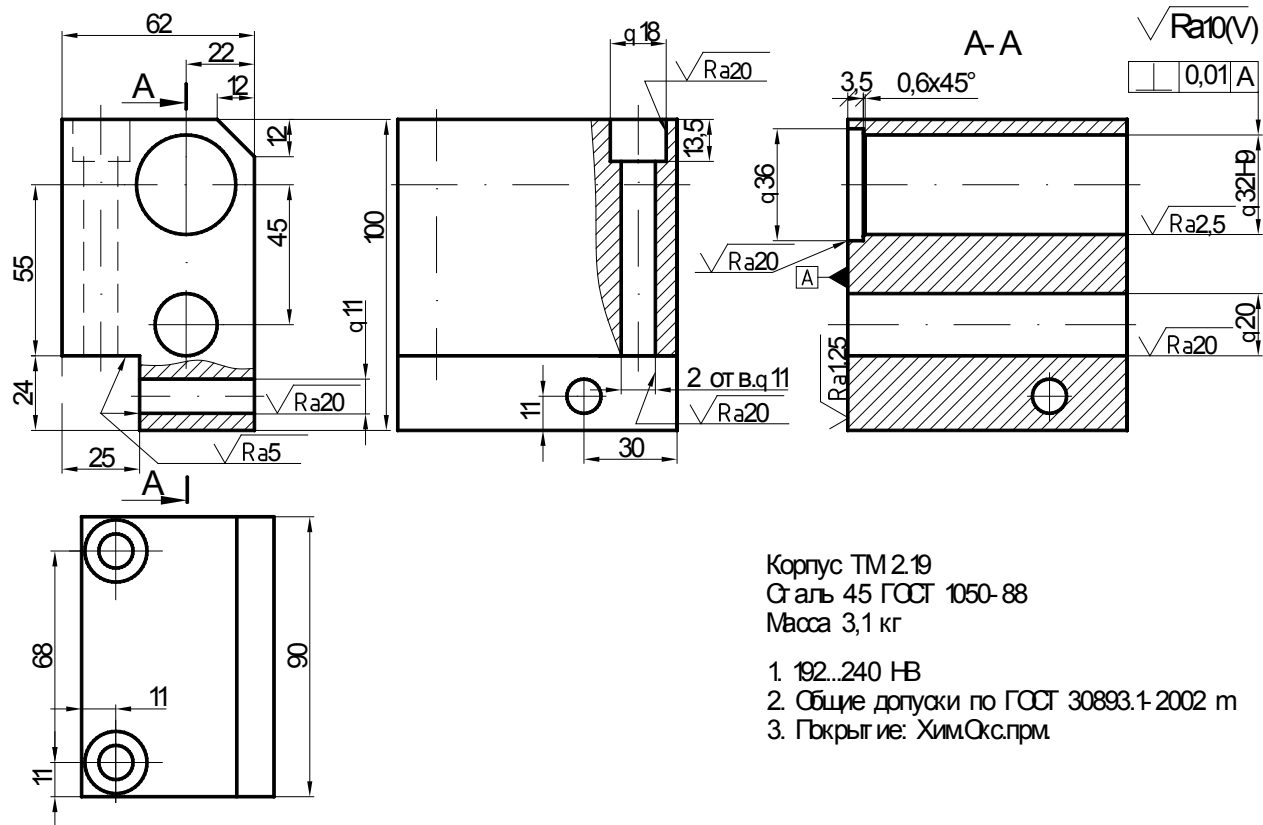
№ осу	Координаты		Пред. откл. X, Y	Диаметр отверстия	Ше-рох. пов.	Глубина расточки (сверл)	Примечание
	X	Y					
1	0,00	0,00	±0,20	M6-7H	10	по чертежу	
2	-62,50						
3	-31,25						
4	31,25						
5	62,50						
6	31,25	-54,13					
7	-31,25						
8	-59,56	22,84					
9	-49,56						
10	49,56	40,16					
11	59,56						





1. 187...260 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002м
3. Неуказанные фаски $1 \times 45^\circ$

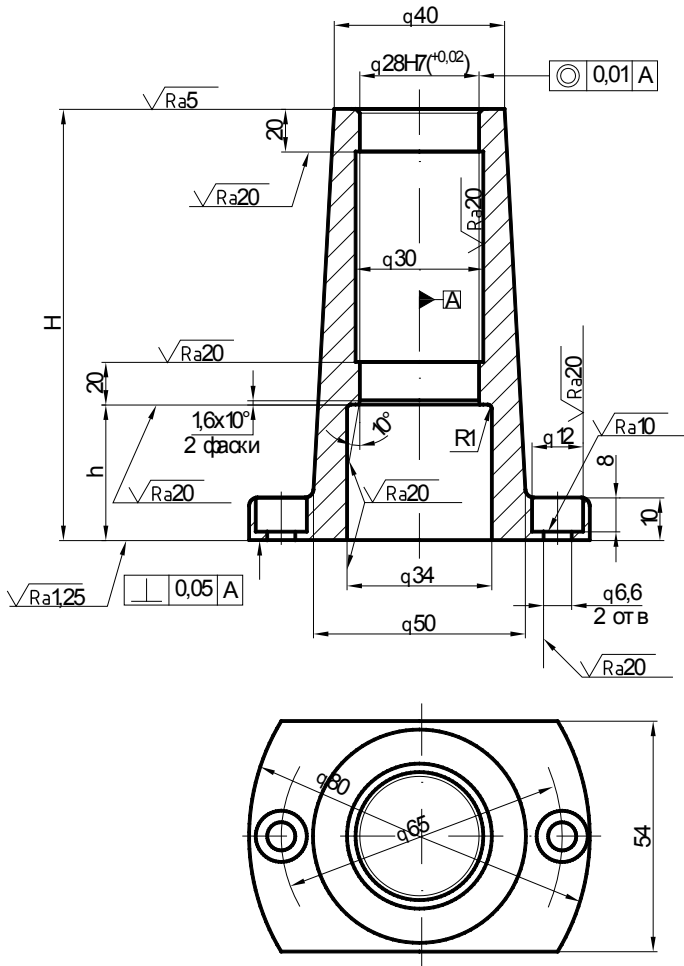
Stakan TM 2.15 Сталь 45X ГОСТ 1050-88 Масса 1,6 кг



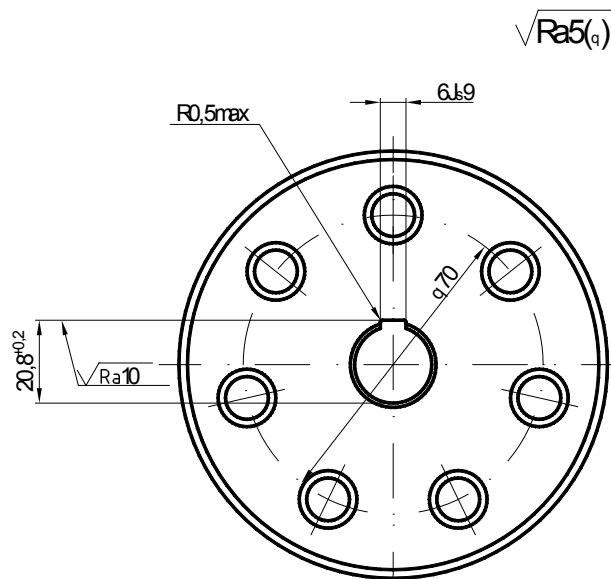
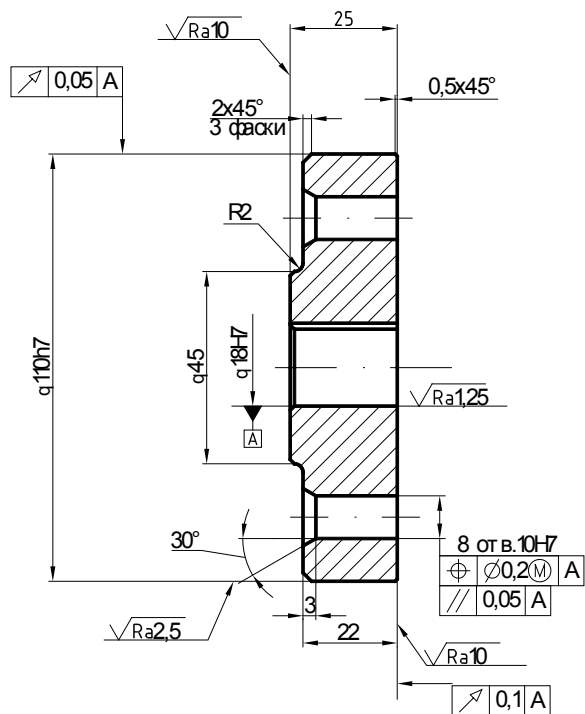
Корпус ТМ 2.19
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 3,1 кг

- 192...240 НВ
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 m
- Покрытие: Хим.Окс.прм.

▽ (a)

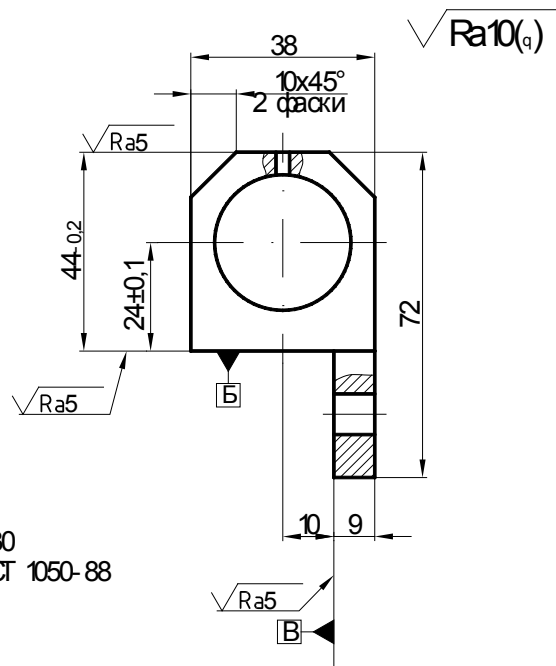
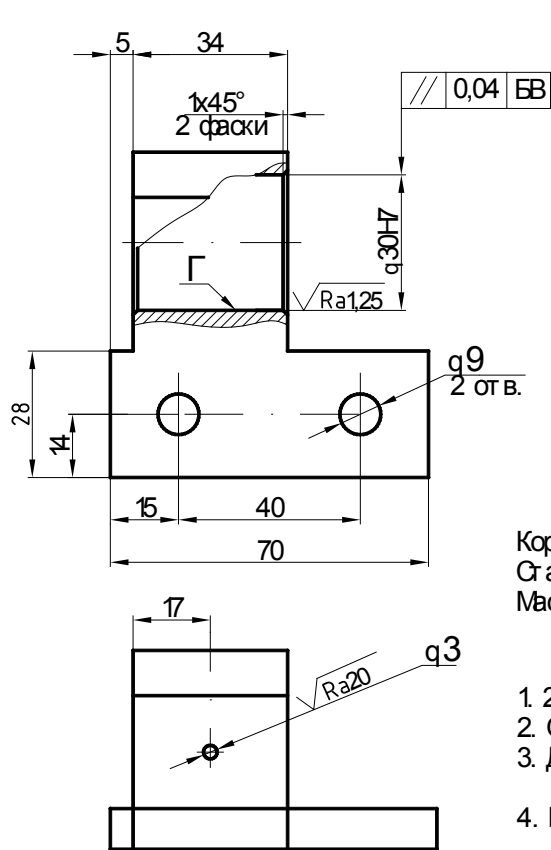


Корпус ТМ 2.24
Чугун СЧ 15 ГОСТ 1412-85



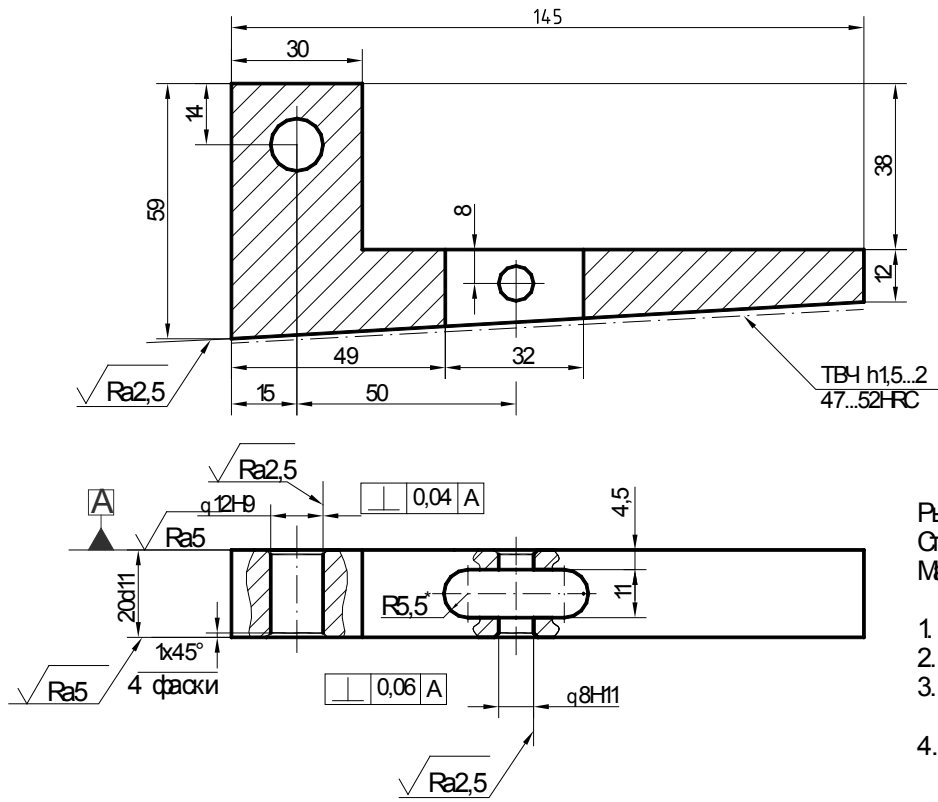
Полумуфта ТМ 2.29
 Сталь 45 ГОСТ 1050-71
 Масса 1,2 кг

- 170...215 НВ
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
- Покрытие: Хим.Окс.прм.



Корпус ТМ 2.30
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса-0,37 кг

1. 241...285 НВ
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
3. Допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях пов. Г-0,01 мм.
4. Покрытие: Хим.Окс.п.рм.



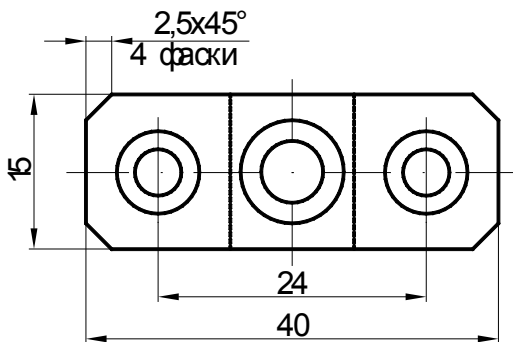
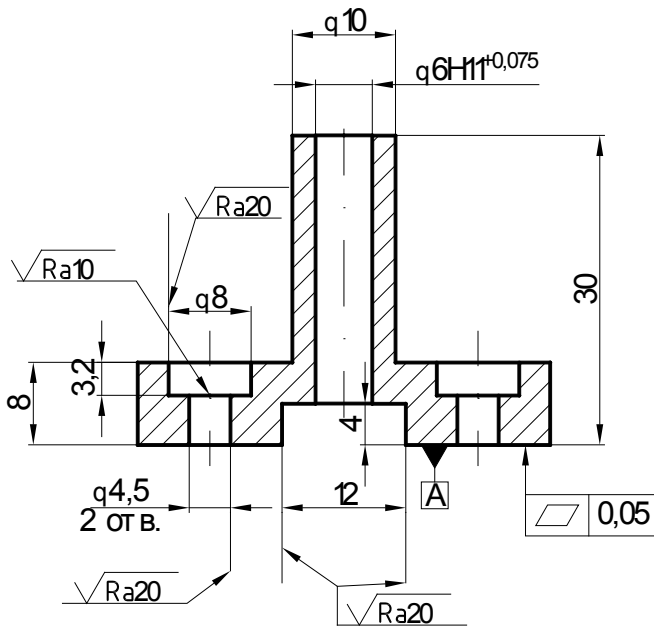
$\sqrt{Ra10(\vee)}$

ТВЧ h15..2
47...52-FC

Рънаг ТМ 2.31
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 0,51 кг

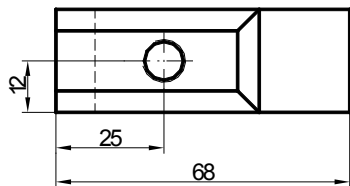
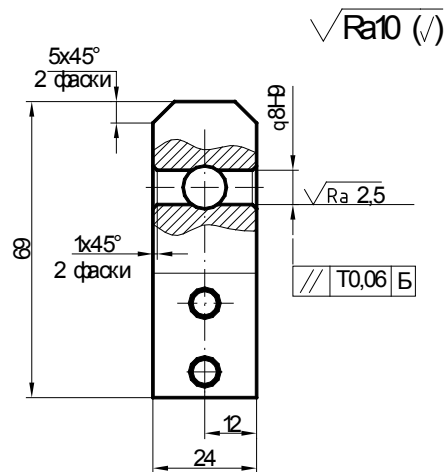
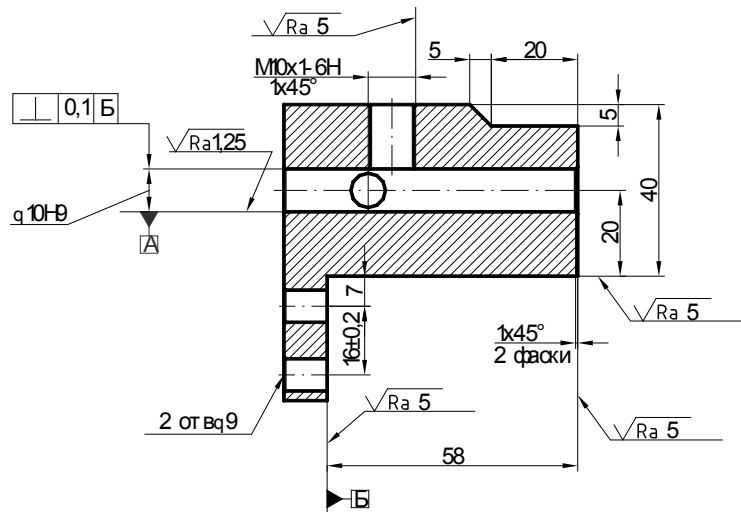
1. 241...285 НВ
2. *Размер для справок
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 т
4. Покрытие: Хим.Окс.прм

√ Ra5(q)



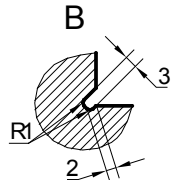
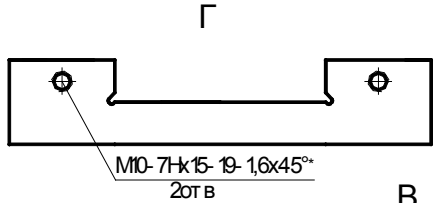
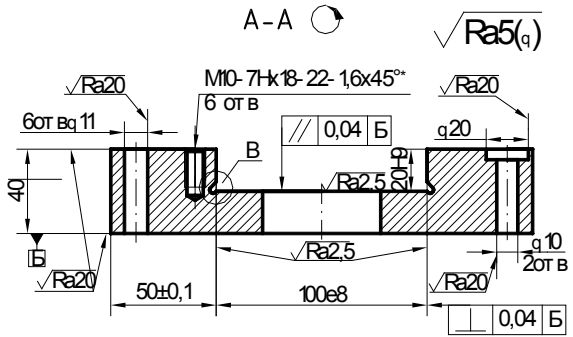
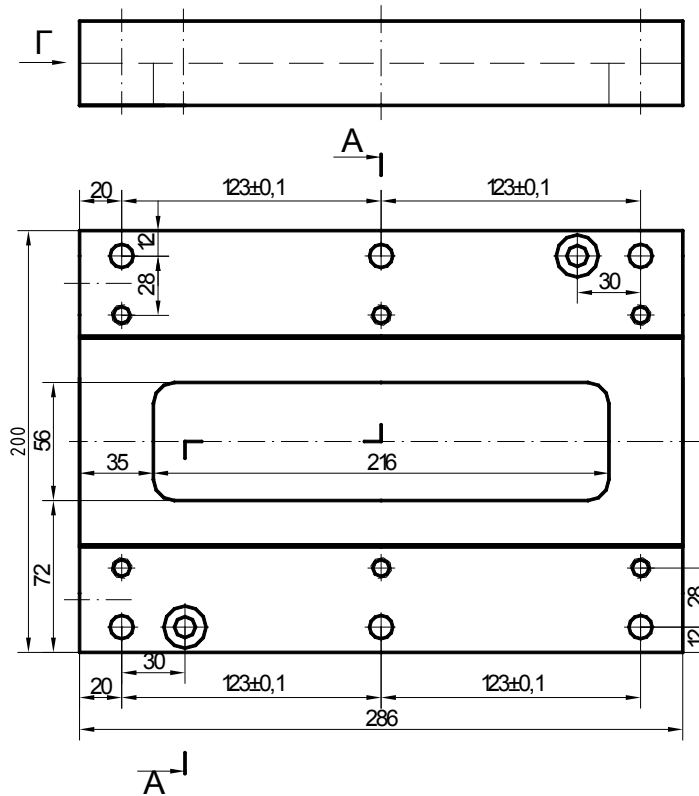
Стойка ТМ 2.32
Сталь 45 ГОСТ 1050-71

1. Покрытие: Хим.Окс.прм.-ГОСТ 9.073-77



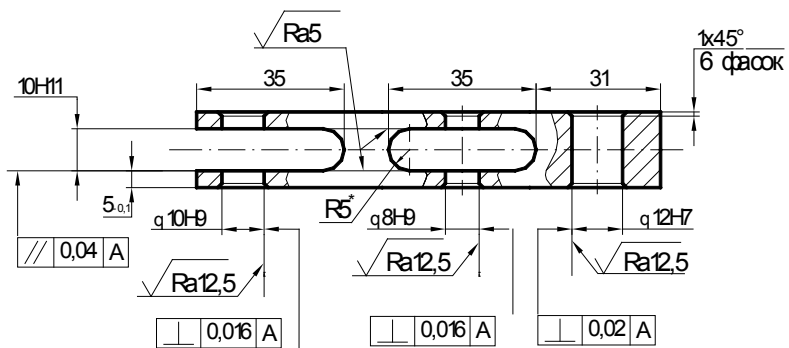
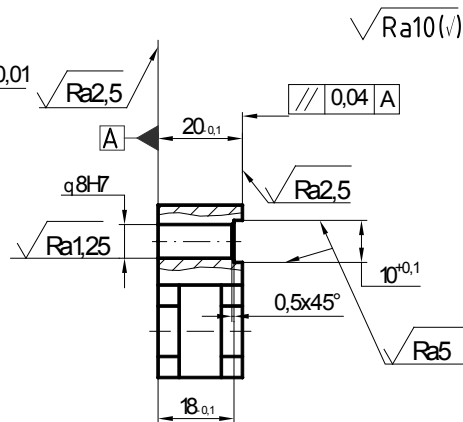
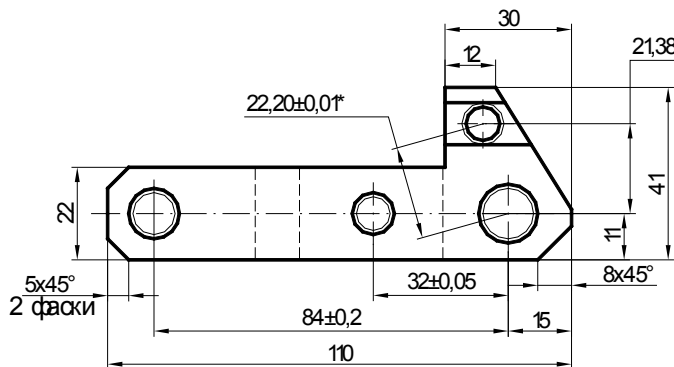
Корпус ТМ 2.33
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Масса 0,65 кг

1. 241...285 НВ
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002-т
3. Покрытие: ХимОкс.прм



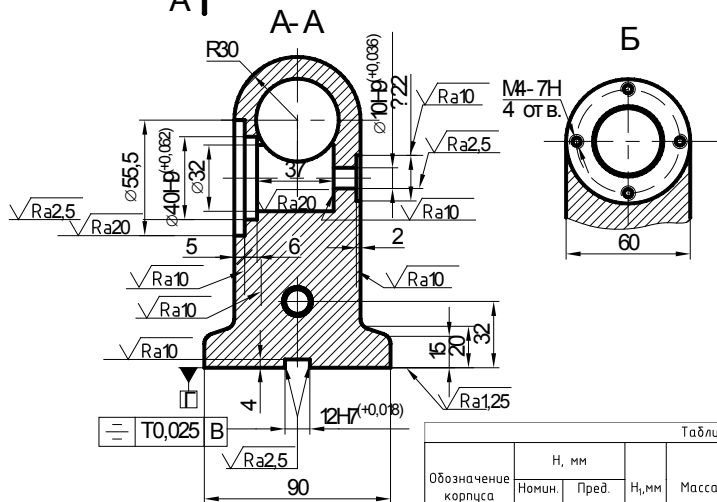
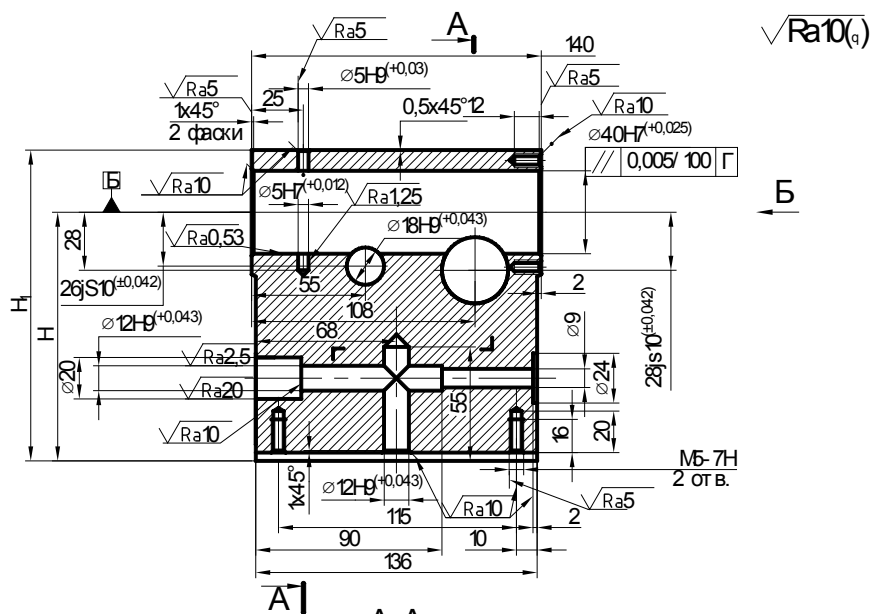
Корпус ТМ 2.34
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 12,1 кг

1. 241..285 НВ
2. *Обработатъ по сопрягаемой детали
3. Общие дрeушки по ГОСТ 30893.1-2002 т
4. Покрытие: Хим.Окс.прм.



Рынаг ТМ 2.35
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 0,32 кг

1. 192...240 НВ
2. *Размер для справок
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002-г
4. Покрытие: Хим.Окс.прм.

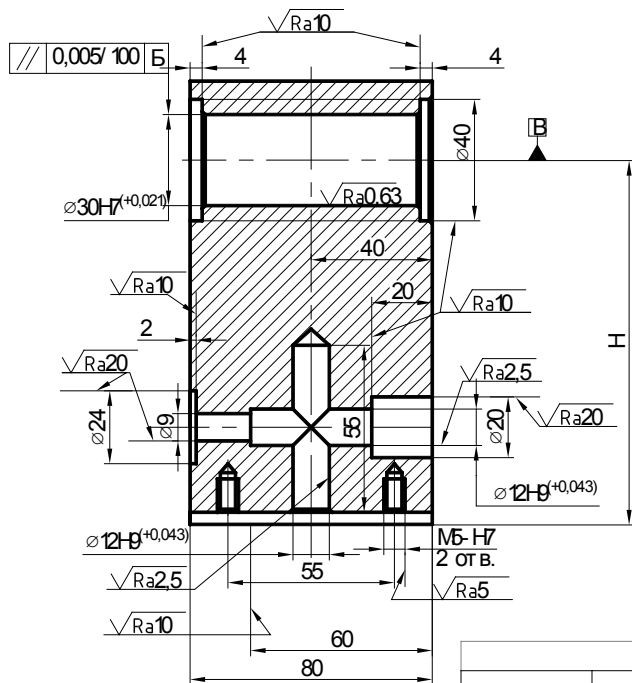


Корпус ТМ2.38-2.39

1. Материал - сч 18 ГОСТ 1412-85

Таблица 2

Обозначение корпуса	H, мм		H ₁ , мм	Масса, кг
	Номин.	Пред. откл. по js6		
ТМ 2.38	120	±0,0110	150	1,014
ТМ 2.39	150	±0,0125	180	1,267



Корпус ТМ2.40-241

1. Материал - сч 18 ГОСТ 1412-85

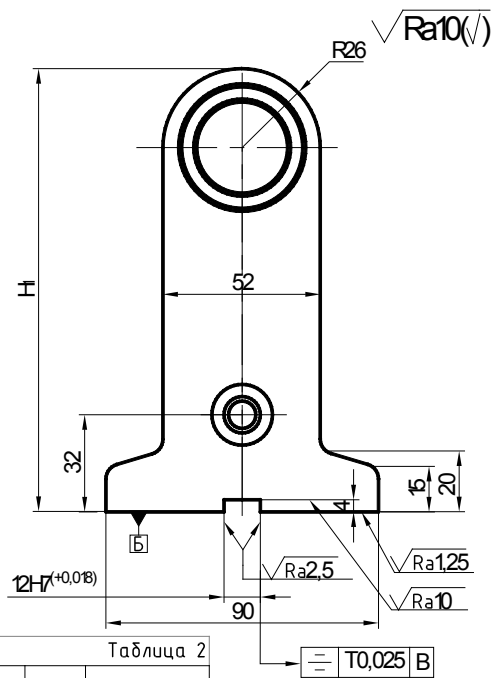
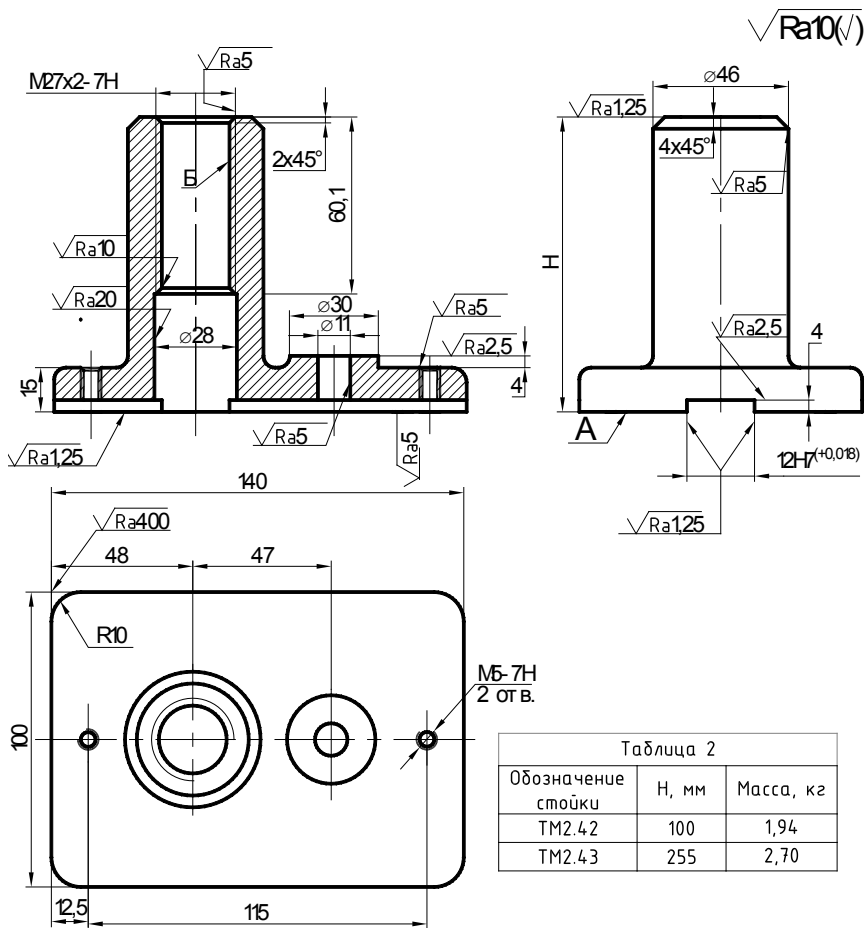


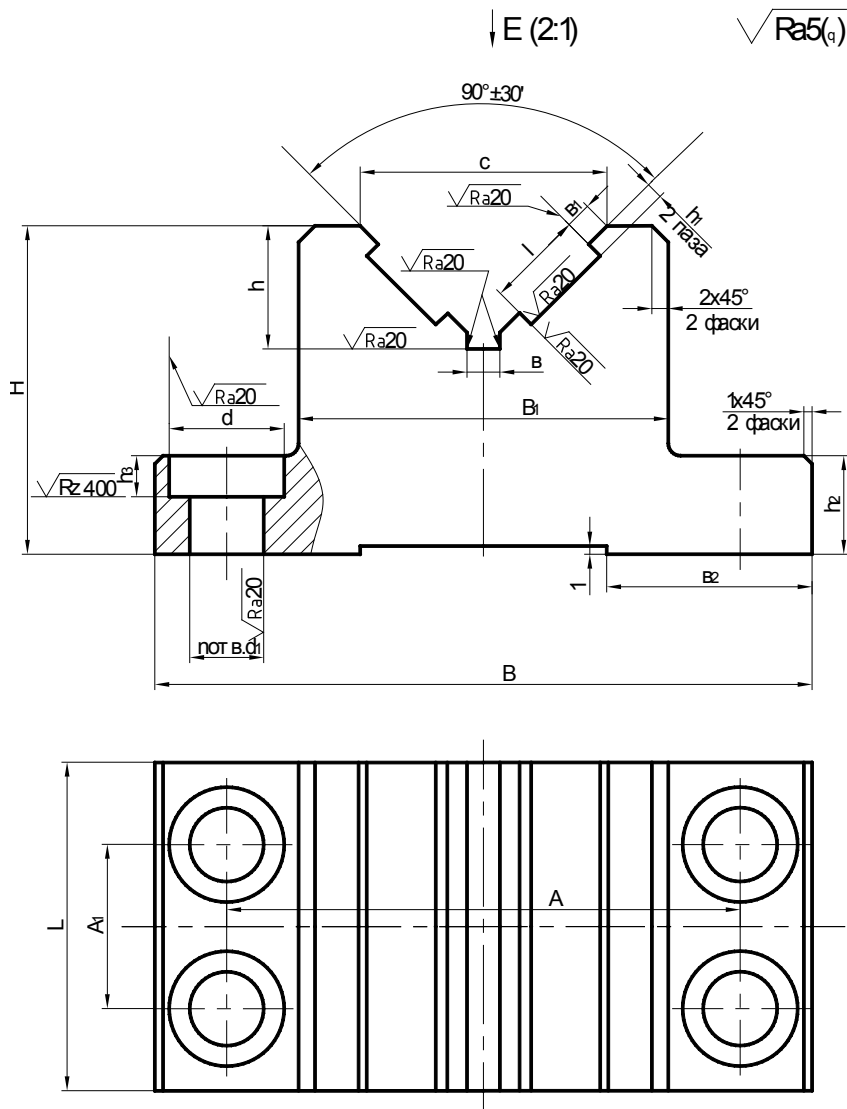
Таблица 2

Обозначение корпуса	H, мм		H ₁ , мм	Масса, кг
	Номин.	Пред. откл. по js6		
ТМ 2.40	120	±0,0110	146	3,456
ТМ 2.41	150	±0,0125	176	4,380



Стойка TM 2.42...2.43 Черт. 2

1. Материал чугун СЧ18 ГОСТ 1412-85.
2. Неперпендикулярность оси среднего диаметра резьбы Б к поверхности и А не более 0,01 мм.
3. Насимметричность шлоного паза от относительно оси от верстия Б не более 0,01 мм.



Размеры в мм

Таблица 2

обозначение призмы	A	A ₁	B	B ₁	H	L	в	в ₁	в ₂	с	d	d ₁	n	h	h ₁	h ₂	h ₃	l	l ₁	Масса, кг
ТМ 2.44	45	12	65	25	32	32	2	2	20	18	11	6,6	2	10	2	8	4	8	10,0	0,186
ТМ 2.45	50	16	70	34						36	24	12		10						0,231
ТМ 2.46	60	20	80	45	40	40	4	3	5	30	14	9,0	4	15	2	12	5	12	10,0	0,557
ТМ 2.47	75	35	95	55	50	55	6	44		22				14						14
ТМ 2.48	85	40	110	65	60	65	12	5	30	58	17	11,0	4	28	2,5	14	6	18	12,5	1,547
ТМ 2.49	105	45	130	80	65	70	20			0				30						14
ТМ 2.50	130	55	160	95	70	85	30	5	36	84	19	13,0	4	40	2,5	16	7	18	15,0	4,330
ТМ 2.51	140	70	180	105	80	110				95	22	15,0								20
ТМ 2.52	150	80	190	120	90	120	40	5	36	105	22	15,0	4	45	2,5	20	9	20	20,0	7,392

Призма ТМ 2.44-2.52

Материал - сталь 35 ГОСТ 1050-88

Размеры в мм

Таблица 2

Обозначение корпуса	A		A ₁	A ₂	d		L	B	B ₁	в
	Н _{вн}	Предоткл. по js9			Н _{внн}	Предоткл. по H7				
TM 2.53	65	±0,037	125	35	28	+0,021	145	60	47	17
TM 2.54	90	±0,043	165	40	38	+0,025	190	65	51	21
TM 2.55	120		230	55	55	+0,030	250	80	67	28
TM 2.56	160	±0,050	280	65	65		305	90	71	32
TM 2.57	180		305		330					

Размеры в мм

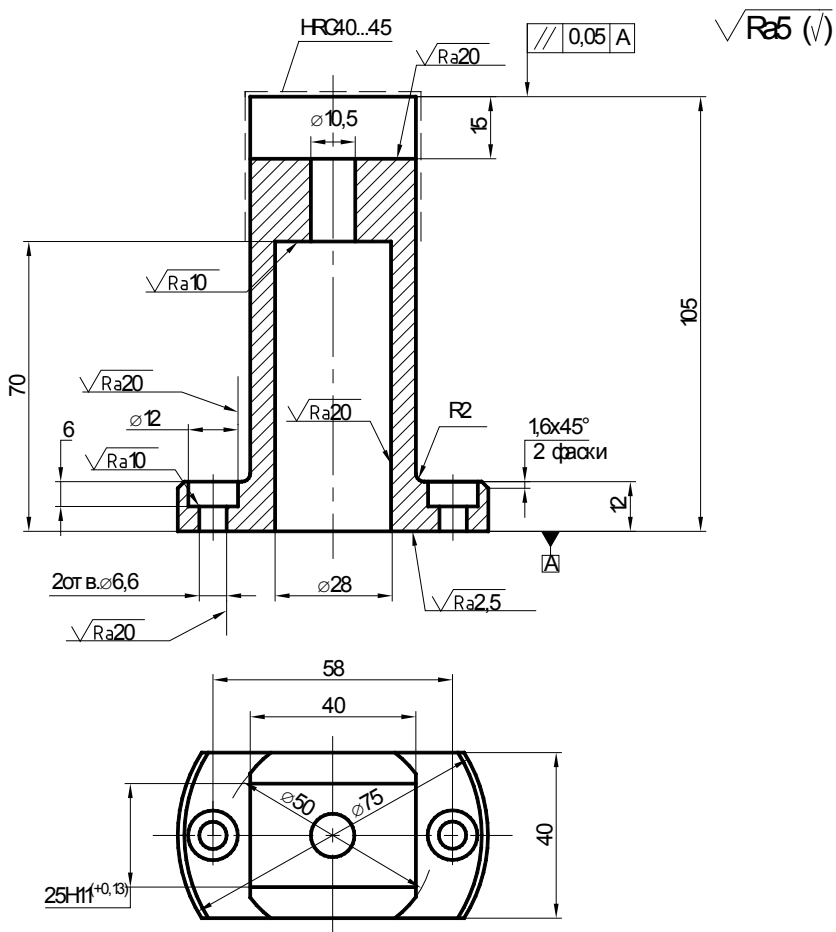
Продолжение табл. 2

Обозначение корпуса	в ₁	I	H	h		h ₁	h ₂	с	Масса, кг
				Н _{внн}	Предоткл. по js6				
TM 2.53	20	105	80	60	±0,0095	60	30	1,0	1,613
TM 2.54	32	145	100	10		70			2,710
TM 2.55	35	205	150	110	±0,0110	110	50		6,120
TM 2.56	60	260	175	130	±0,0125	130	60	1,6	9,660
TM 2.57	80	285							9,850

Корпус TM 2.53

1. Материал - сталь марки 40Л-II по ГОСТ 977-88

2. HRC 30...35

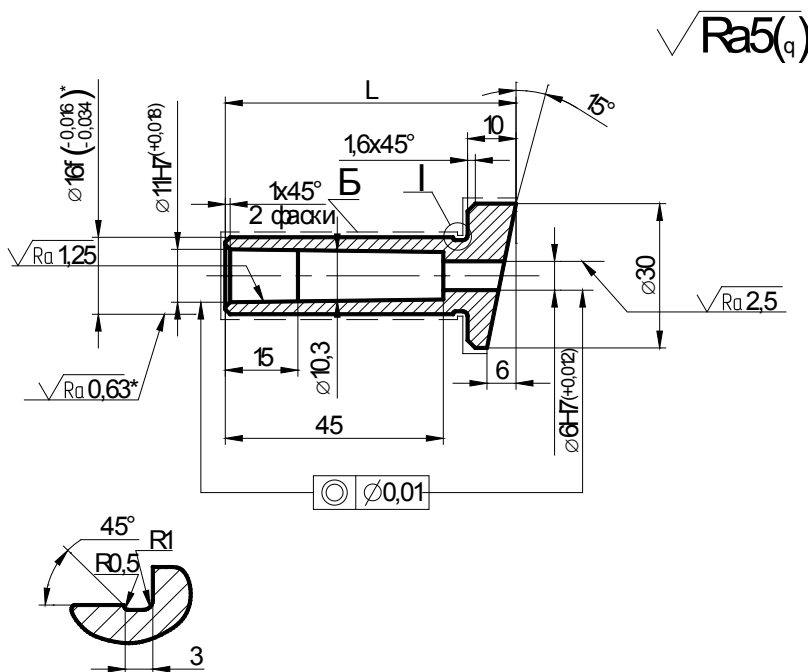


Черт. 2

Корпус ТМ2.58

Масса 0,95 кг

1. Материал - сталь 45 ГОСТ 1050-88.
2. HRC 33...38 кроме мест, обозначенных особо.
3. Покрытие - ХимОкс.прм по ГОСТ 9.073-77.

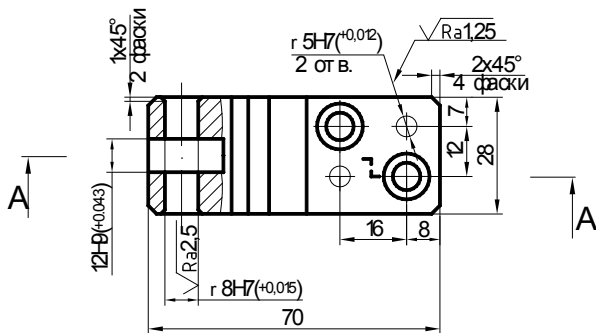
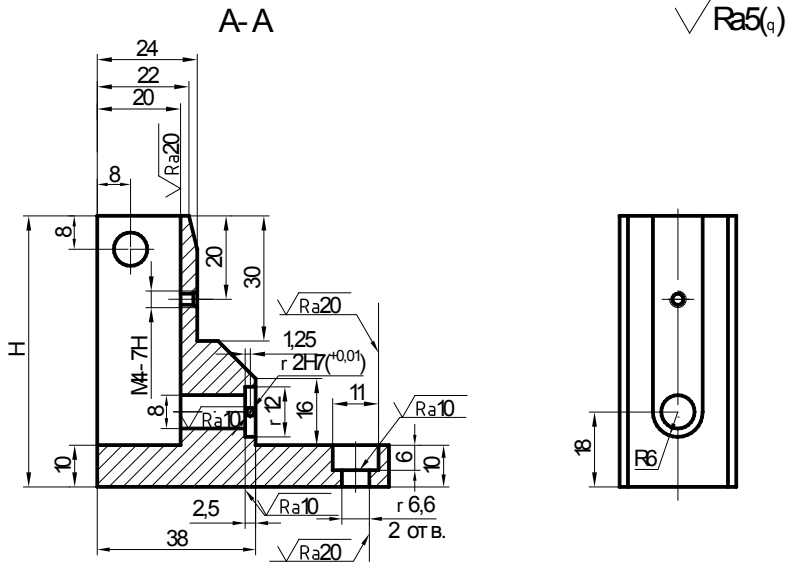


Черт. 3.

Таблица 2		
Обозначение корпуса	L, мм	Масса, 100 шт, кг
ТМ 2.59	60	55
ТМ 2.60	85	89
ТМ 2.61	110	124

Корпус ТМ 2.59...2.61

1. Материал - сталь 45 ГОСТ 1050-88
2. HRC 35...40
- 3.* Размеры и шероховатость - после покрытия
4. Покрытие поверхностей Б-Х мол. 18 ГОСТ 9.073-77

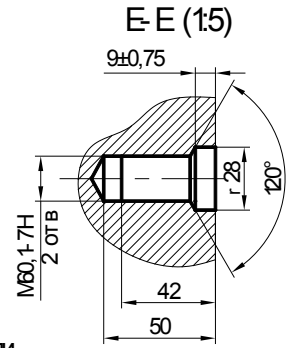
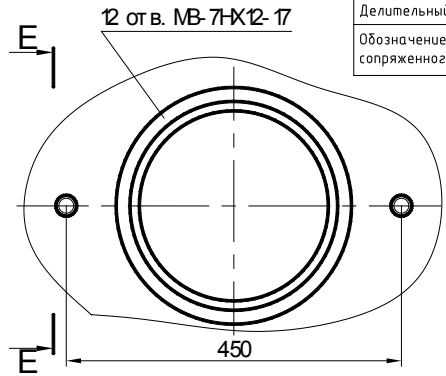
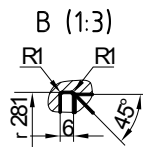
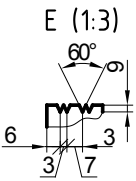
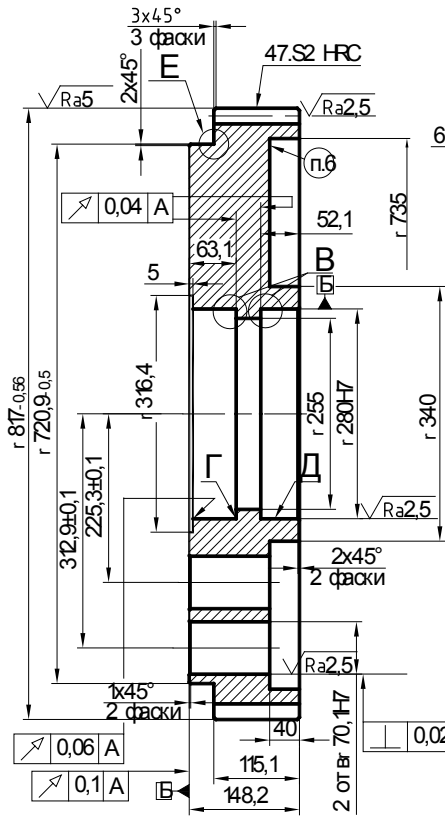


Корпус ТМ 2.60-2.63
Сталь 45 ГОСТ 1050-88

1. НС 25...30
2. Покрытие-Хим.Окс.прм. ГОСТ 9.073-77

Таблица

Обозначение корпуса	Н мм	Масса 1000 шт, кг
ТМ 2.60	55	304
ТМ 2.61	65	336
ТМ 2.62	75	370
ТМ 2.63	85	403

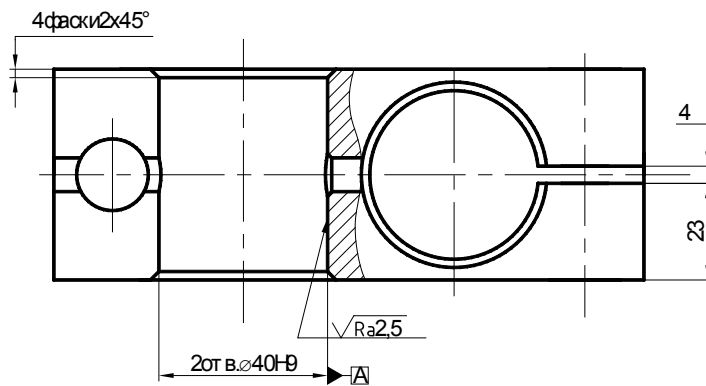
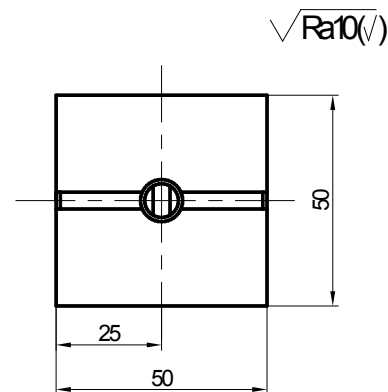
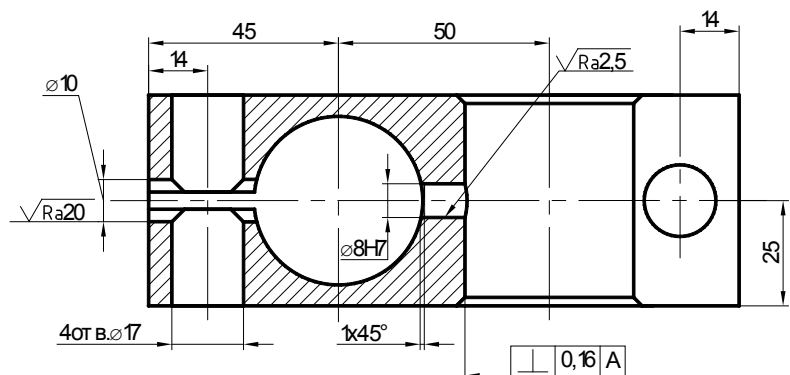


Модуль	m	8
Число зубьев	z	100
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	X	10.000
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	8-B
Длина общей нормали	W	282.80 ^{+0.302} _{-0.422}
Делительный диаметр	d	800 000
Обозначение чертежа сопряженного колеса	МП8-1500 110.4.2.1.00	

√Ra10(√)

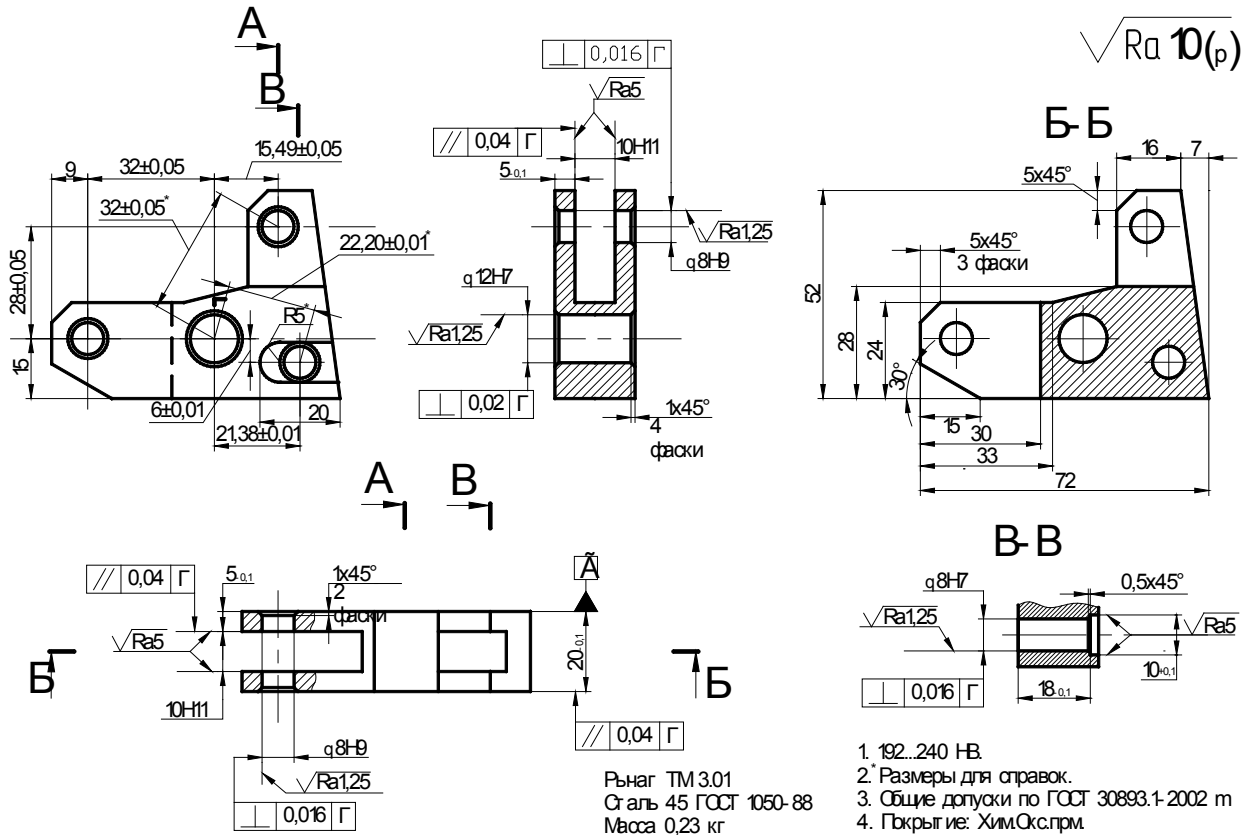
- 179...229 НВ
- * Обрабатывать по сопрягаемой детали
- Общие допуски по ГОСТ 308931-2002г
- Допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях поверхностей Г и Д- 0,026 мм
- Покрытие ХимОкс.пкм
- Маркировать обозначение т, z

Колесо зубчатое ТМ 2.72
Сталь 40х ГОСТ 4543-71



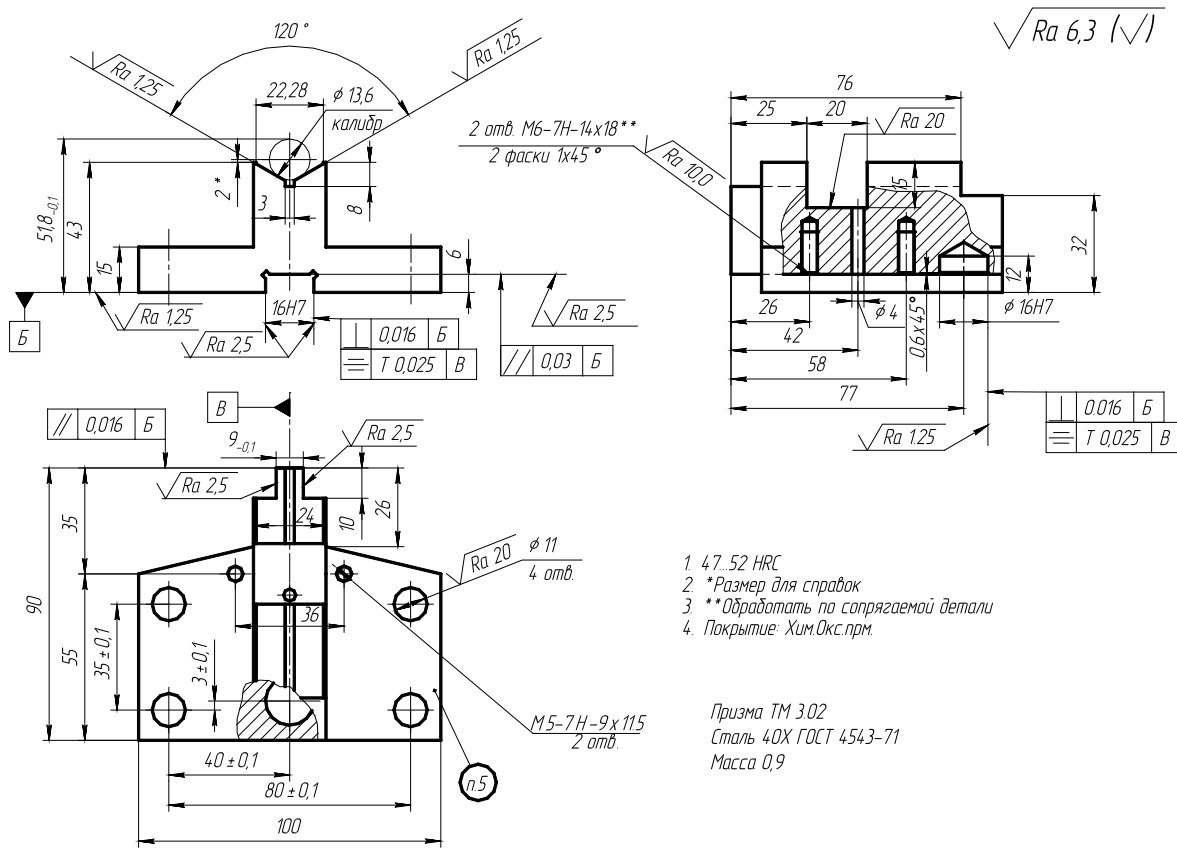
Условное обозначение клеммы
 Клемма ТМ.2.73
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88

1. 185...217НВ
2. Общие допуски по 30893.1-2002г
3. Покрытие Хим. Окс. прм.
4. Маркировать обозначение на бирке



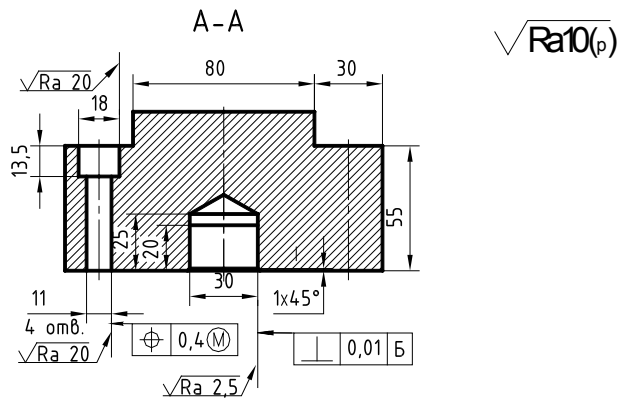
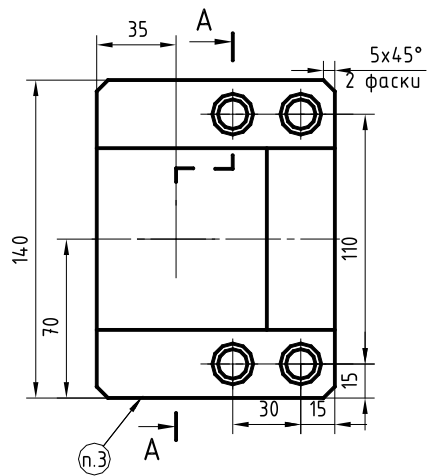
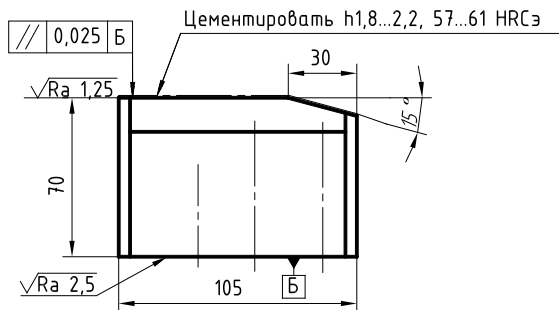
1. 192..240 НВ.
2. Размеры для справок.
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
4. Покрытие: Хим.Окс.прм.

Рънаг ТМ 3.01
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Масса 0,23 кг



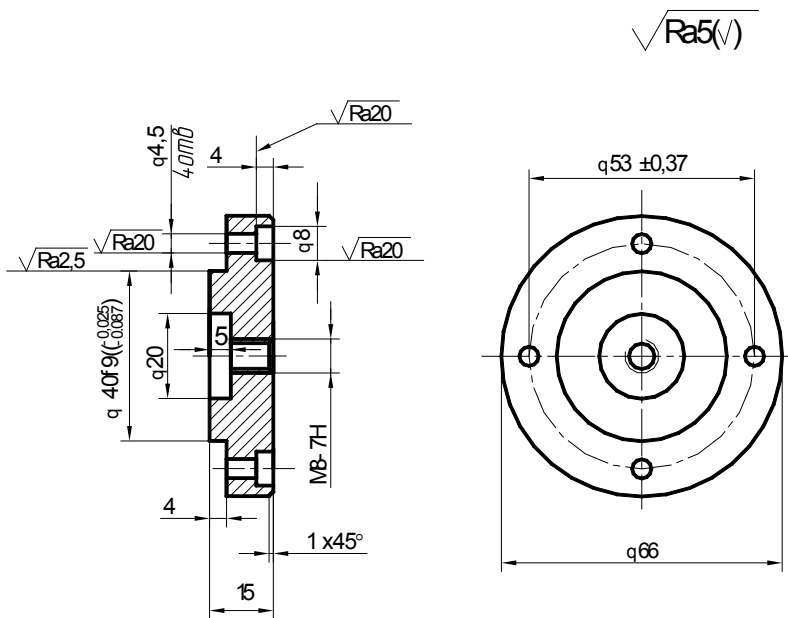
1. 47..52 HRC
2. *Размер для справок
3. **Обработать по сопрягаемой детали
4. Покрытие: Хим.Окс.прм.

Призма ТМ 3.02
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса 0,9



Подставка ТМ 3.04
Сталь 20Х ГОСТ 4543-71

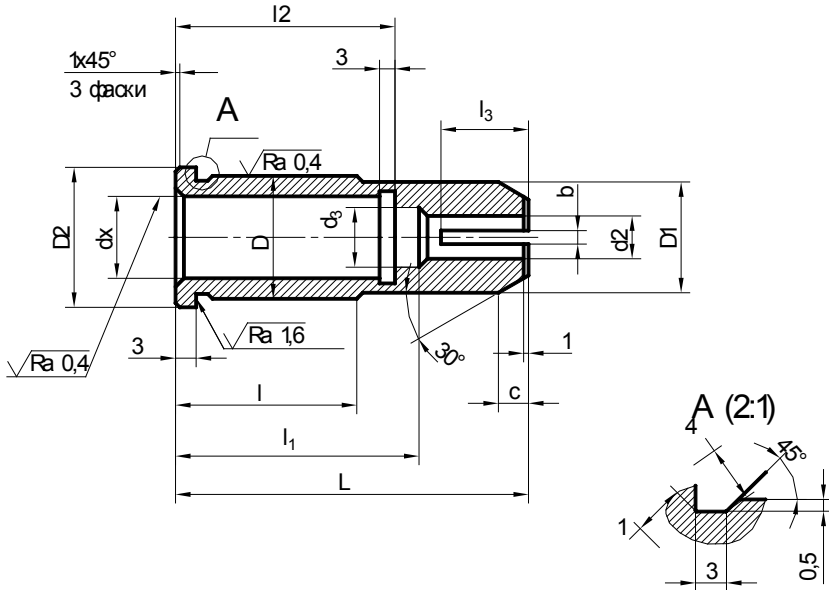
1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1 - 2002 м
2. Покрытие: Хим. Окс. прм.
3. Маркировать обозначение



Крышка ТМ 3.05

1. Материал чугун СЧ18 ГОСТ 1412-85
2. Перпендикулярность базового торца от носительно поверхности и $\varnothing 40f9$ 0.05 не более
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 m

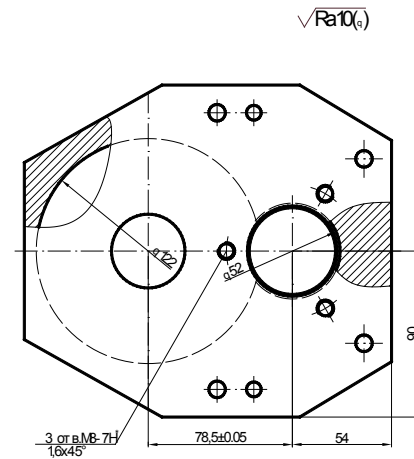
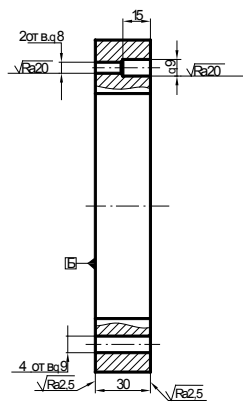
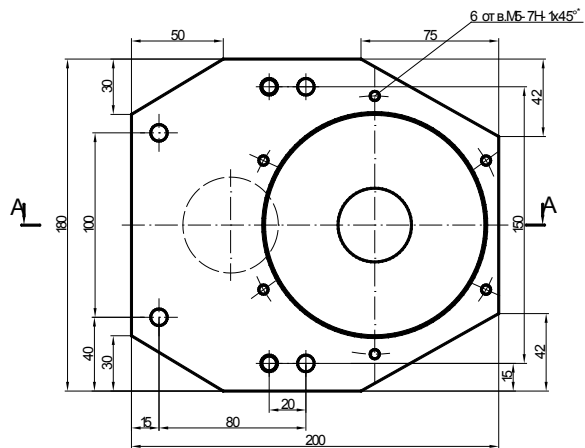
√ Ra 6,3 (√)



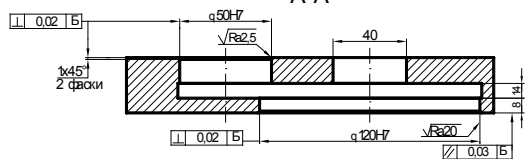
Обозначение втулки	d		D		D ₁	D ₂	d ₁	d ₂	d ₃	L	l	l ₁	l ₂	l ₃	b	c	Масса, кг
	Нвмн.	Перед откл.	Нвмн.	Перед откл.													
ТМ 3.06	10	+0,016	16	+0,024 +0,012	15	20	9	6,3	8	55	25	40	28	11	2,5	3	0,054
ТМ 3.07	16	+0,019	22	+0,030 +0,015	21	26	11	8,6	12	65	32	45	40	17	3,5	6	0,112

1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1 - 2002 м

Втулка ТМ 3.06- ТМ 3.07
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
35...40 HRC



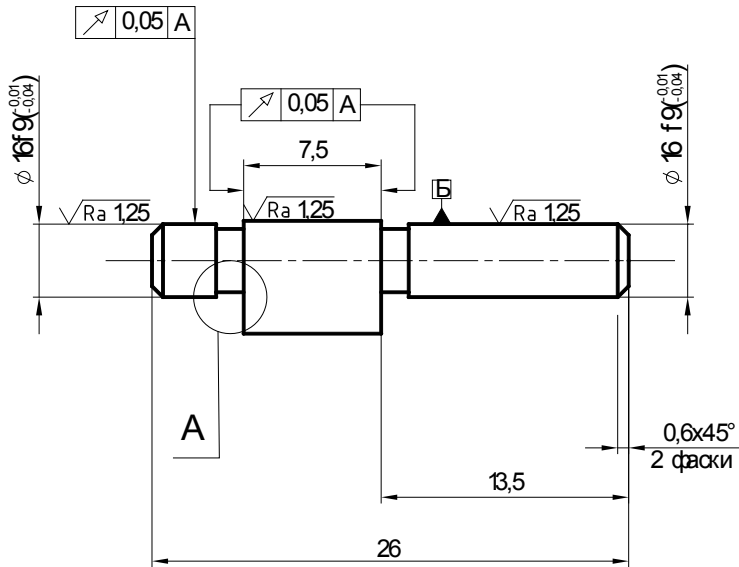
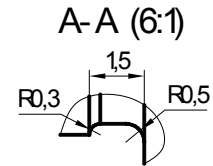
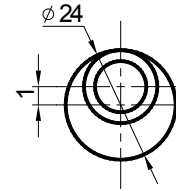
A-A



Плита ТМ 3.08
Сталь Ст 3 ГОСТ 380-88
Масса 6,3 кг

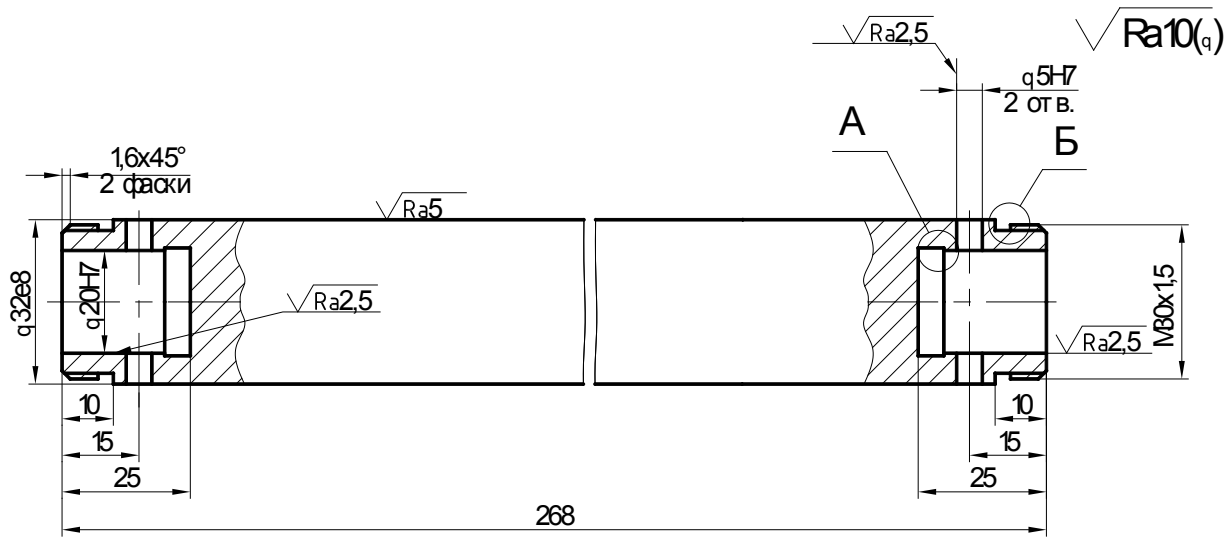
1. *Обработать по сопрягаемой детали
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
3. Покрытия: Хим.Скс.прм.
4. Маркировать обозначение

298

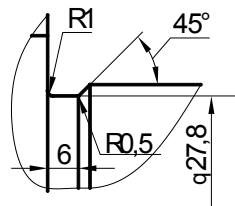
 $\sqrt{Ra 5,0 (\checkmark)}$ 

Вал эксцентриковый ТМ 3.10
Сталь 25ХГТ ГОСТ 4543-71

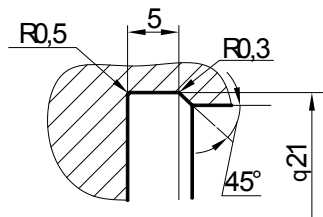
1. Цементировать 0,5-0,8 мм
2. 58...60 HRC



Б(2:1)

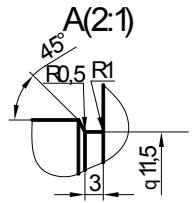
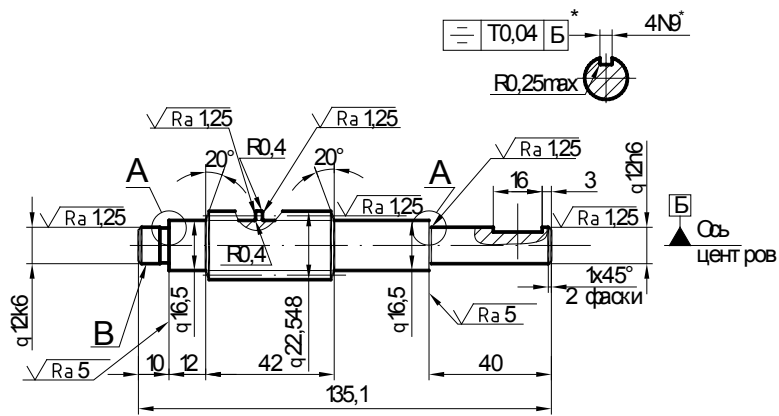


А



1. 241..285 НВ
2. ГОСТ 30893.1-2002m
3. Покрyг ие: Хим.Окс.прм
4. Маркировать обозначение на бирке

Вал ТМ 3.20
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Масса 1,58 кг

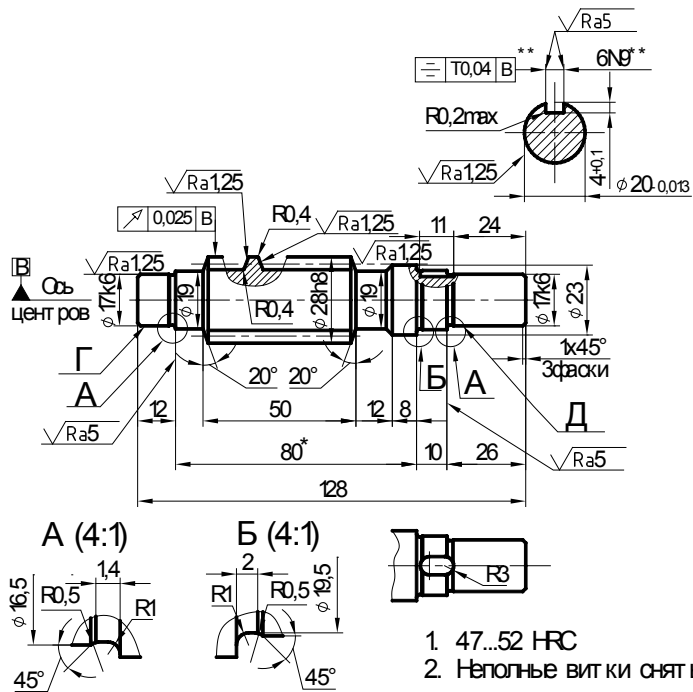


1. 47...52 HRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
3. Допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях поверхн. В-0,008 мм
4. Маркировать обозначение, m z на бирке
5. * До термообработки

 $\sqrt{Ra10(q)}$

Модуль	m	1,25
Число витков	Z_1	1
Вид червяка	-	ZA
Делительный угол подъема		$30^{\circ}34'35''$
Направление линии витка	-	Правое
Исходный червяк	-	ГОСТ 19036-81
Степень точности по ГОСТ 3675-81	-	8-B
Делительная толщина по хорде витка	S_{a1}	$1.960_{0.418}^{0.328}$
Высота до хорды витка	h_{a1}	1,250
Делительный диаметр червяка	d_1	20,000
Ход витка	P_{z1}	3,927
Обозначение чертежа сопряженного колеса		ЗТ161.750.202.00

Червяк ТМ 3.21
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса 0,8 кг



Червяк ТМ 3.23

Сталь 40Х ГОСТ 4543-71

Масса 0,34 кг

1. 47...52 HRC

2. Неполные витки снять до толщины
вершины полных витков

3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002m

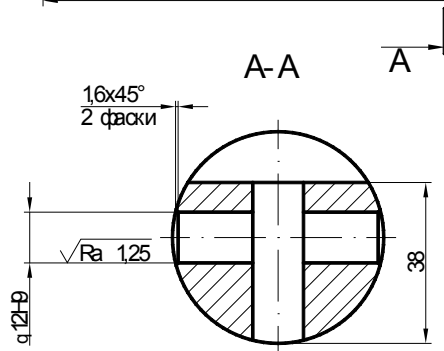
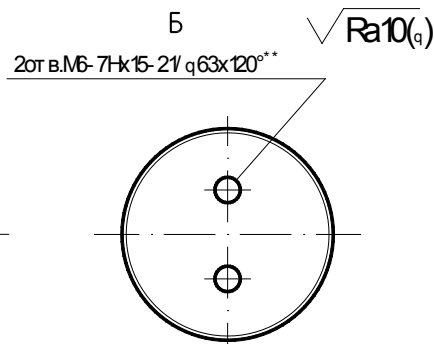
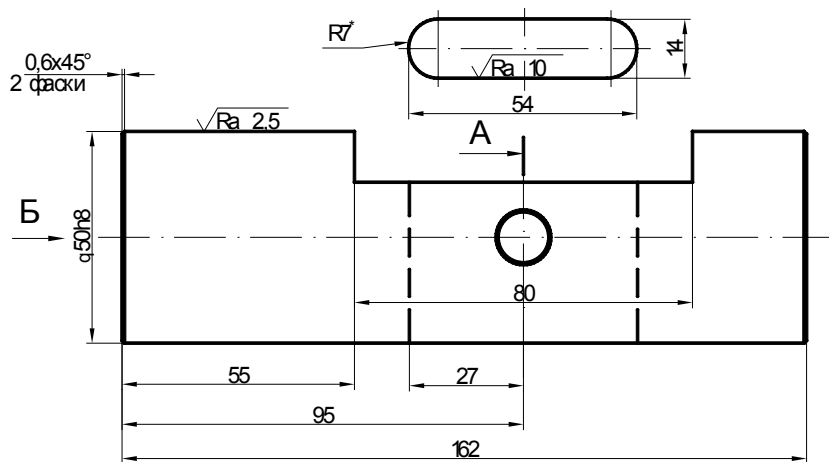
4. Допуск непостоянства диаметров в поперечном и
продольном сечениях поверх. Г и Д - 0,008 мм

5. * Размер для справок

6. ** До термообработки

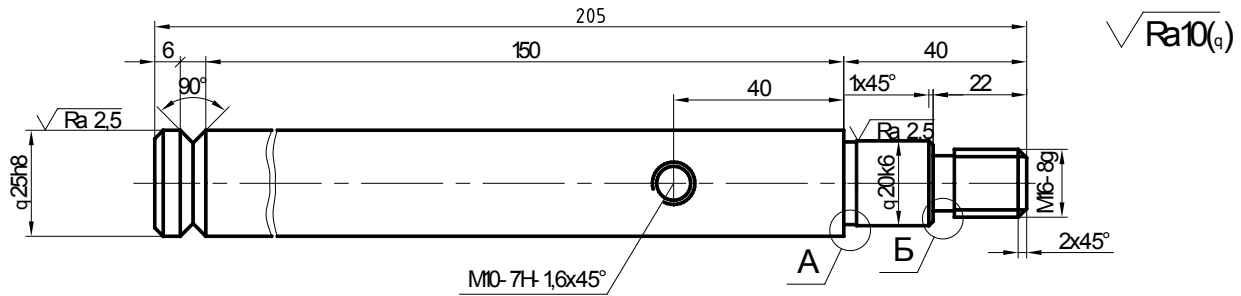
7. Маркировать
обозначение, mZ на бирке $\sqrt{Ra10}$ (V)

Модуль	m	2,00
Число витков	Z ₁	1
Вид червяка	-	ZA
Делительный угол подъема		4° 45' 49"
Направление линии витка	-	Правое
Исходный червяк	-	ГОСТ 19036-81
Степень точности по ГОСТ 3675-81	-	8 - В
Делительная толщина по хорде витка	\bar{S}_{a1}	3,131 ^{-0,280} _{-0,345}
Высота до хорды витка	\bar{h}_{a1}	2,001
Делительный диаметр червяка	d ₁	24,000
Ход витка	Pz ₁	6,283
Обозначение чертежа сопряженного колеса		XШ4-12.750.203.00

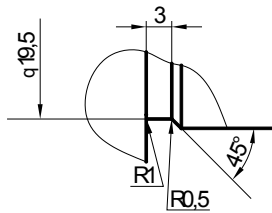


1. 241..285 НВ
2. *Размер для справок
3. **Обработать по сопрягаемой детали
4. ГОСТ 30893.1-2002 m
5. Маркировать обозначение на бирке

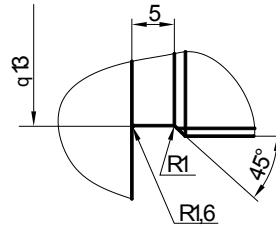
Цапфа ТМ 3.24
 Сталь 45 ГОСТ 1050-74
 Масса 1,9 кг



A(2:1)



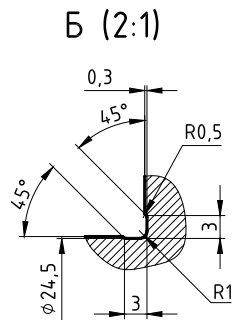
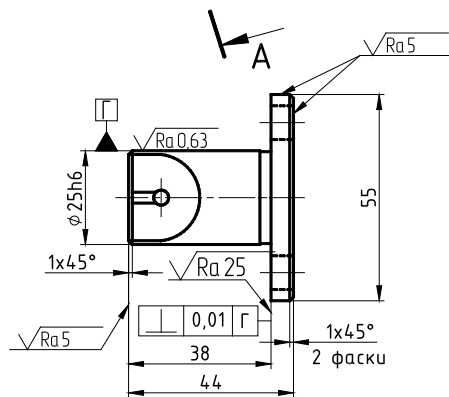
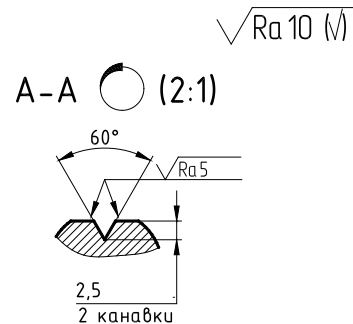
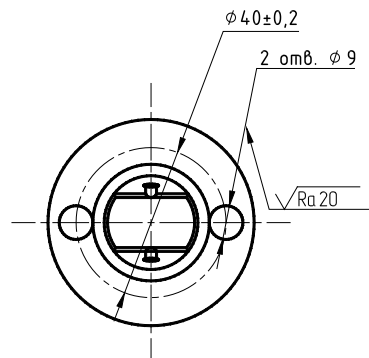
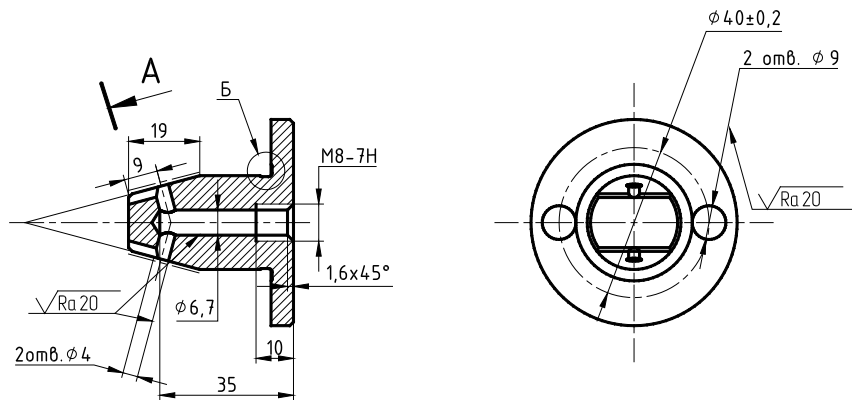
Б(2:1)



Ось ТМ 3.25
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 0,7 кг

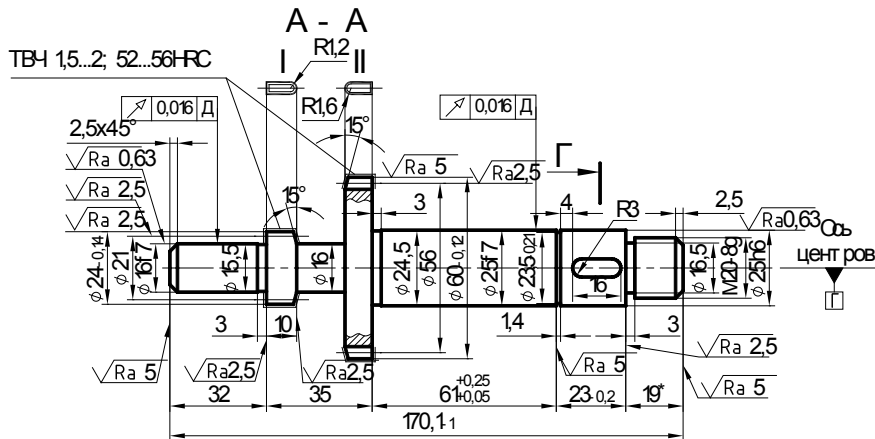
1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
2. Покрытие: Хим.Окс.прм
3. Маркировать обозначение на бирке

 $\sqrt{\text{Ra}10(\varphi)}$

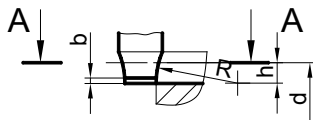
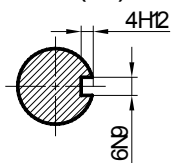


Шпонка ТМЗ.26
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 0,23 кг

1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002г
2. Покрытие: Хим. Окс. прм.
3. Маркировать обозначение, т,з на бирке



Г- Г (2:1)



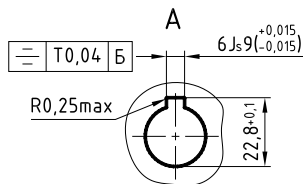
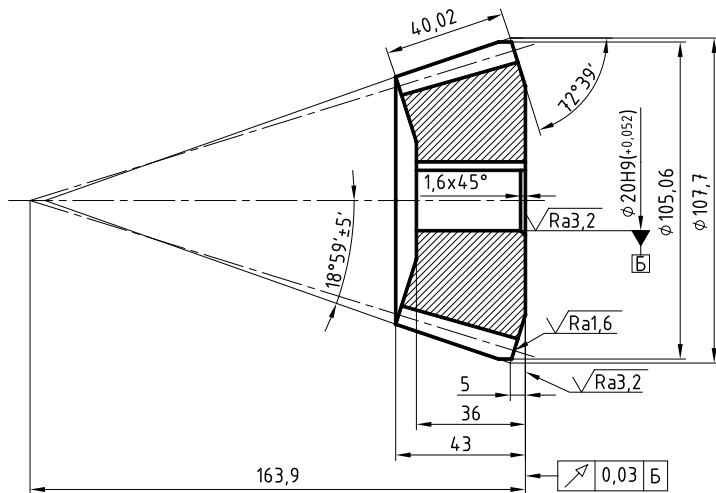
	I	II
b	0,4	0,6
h	2,3	3
R	7	9

Вал-шестерня ТМ 3.27
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Масса 0,6 кг

√Ra10 (√)

I		
Модуль	m	1,5
Число витков	Z	14
Угол профиля исходного контура	α	20°
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	8-B
Длина общей нормали	W	6,936 ^{-0,111} _{-0,181}
Делительный диаметр	d	21
II		
Модуль	m	2
Число витков	Z	28
Угол профиля исходного контура	α	20°
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	8-B
Длина общей нормали	W	21,449 ^{-0,111} _{-0,181}
Делительный диаметр	d	56
Обозначение чертежа сопряженного колеса		

- 217...269 НВ
- Общие допуски по ГОСТ 308938.1-2002m
- Покрытие: Хим. Окс. прм.
- Маркировать в обозначение на бирке
- Размер для справок

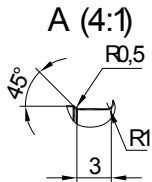
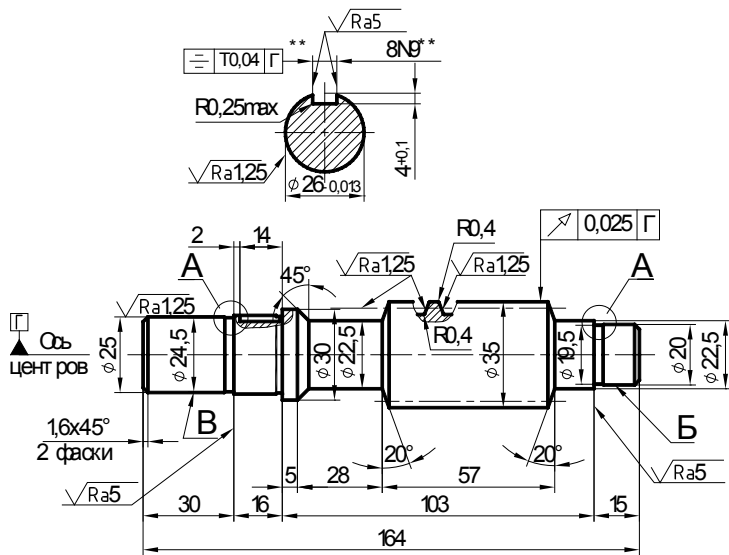


Колесо зубчатое ТМ 3.28
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса кг

$\sqrt{Ra6,3(V)}$

Внешний окружной модуль	m_e	4
Число зубьев	Z	25
Тип зуба	-	Прямой
Исходный контур	-	ГОСТ 13154-81
Коэффициент смещения	X_e	0
Коэффициент изменения толщины зуба	X_τ	0
Угол делительного конуса	δ	17°21'14"
Степень точности ГОСТ 1758-81	-	10-A
Внешняя постоянная хорда зуба	S_{ce}	5,548 ^{-0,154} _{-0,374}
Высота до внешней постоянной хорды зуба	h_{ce}	2,990
Межосевой угол передачи	Σ	90°
Средний окружной модуль	m_m	3,523
Внешнее конусное расстояние	R_e	167,631
Среднее конусное расстояние	R	147,631
Средний делительный диаметр	d	88,069
Угол конуса впадин	δ_f	15°42'48"
Внешняя высота зуба	h_e	8,8
Обозначение чертежа сопряженного зубчатого колеса	-	КГП-01.01.04.001

- 32...37 HRC
- ГОСТ 30893.1-2002m
- Покрытие: Ц9 Хр.



Червяк ТМ 3.29
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Масса 0,7 кг

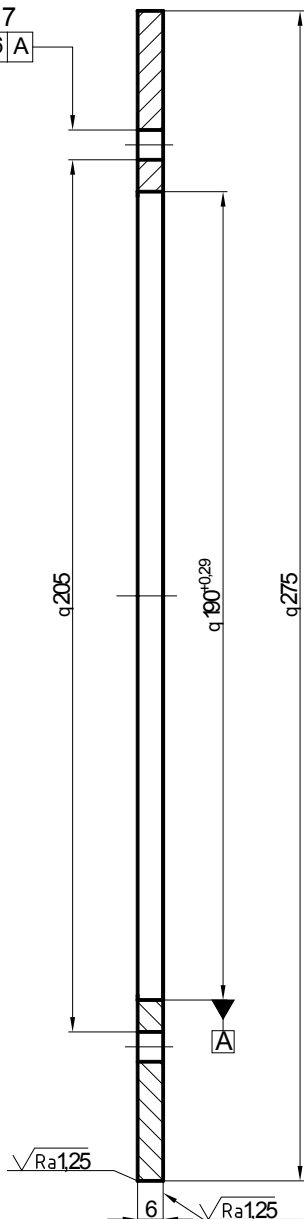
 $\sqrt{Ra10} (\sqrt{V})$

Модуль	m	2,5
Число витков	Z ₁	1
Вид червяка	-	ZA
Делительный угол подъема		4° 45' 49"
Направление линии витка	-	Правое
Исходный червяк	-	ГОСТ 19036-81
Степень точности по ГОСТ 3675-81	-	8 - A
Делительная толщина по хорде витка	S _{a1}	3,913 ^{0,365} _{-0,450}
Высота до хорды витка	h _{a1}	2,501
Делительный диаметр червяка	d ₁	30,000
Ход витка	PZ ₁	7,854
Обозначение чертежа сопряженного колеса		ЗТ161.750.203.00

1. 47...52 HRC
2. ГОСТ 30893.1-2002m
3. Допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях поверхн. Б и В - 0,008 мм
4. Маркировать обозначение, m z на бирке
5. ** Размер для справок
6. ** До термообработки

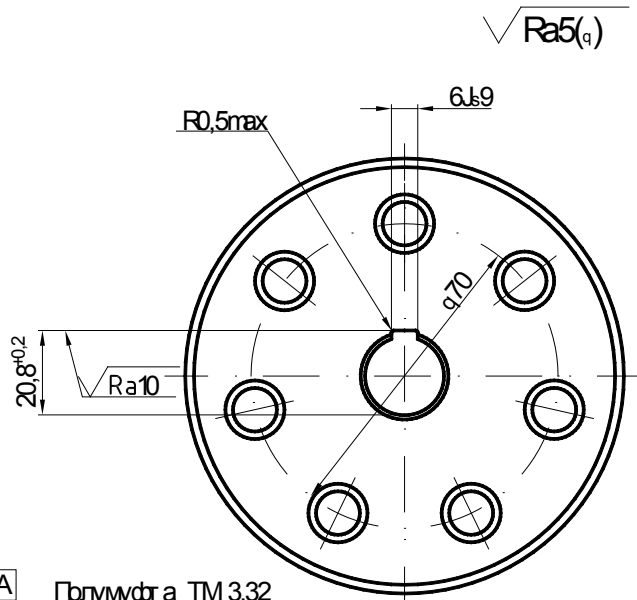
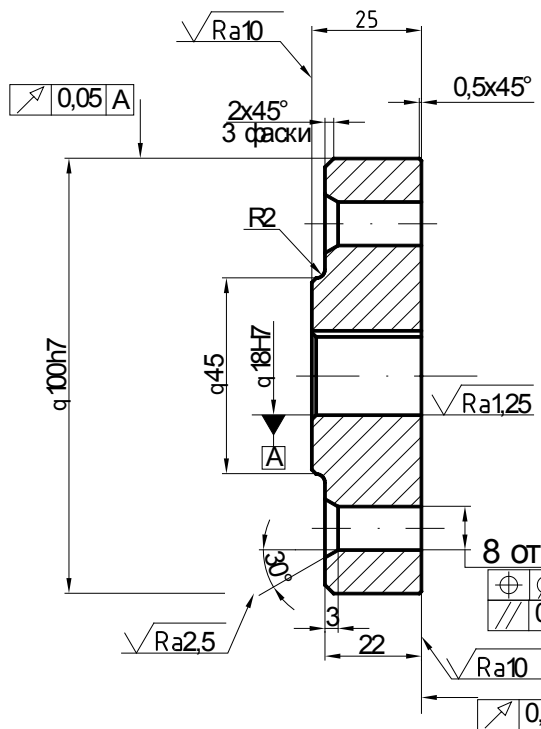
6 от В. q7
⊕ F0,16 A

$\sqrt{Ra10(q)}$



Кольцо компенсаторное ТМ 3.30
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Масса 1,4 кг

1. 30...35 HRC
1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 m
2. Покрытие: Хим.Окс.прм.-ГОСТ 9.306-85

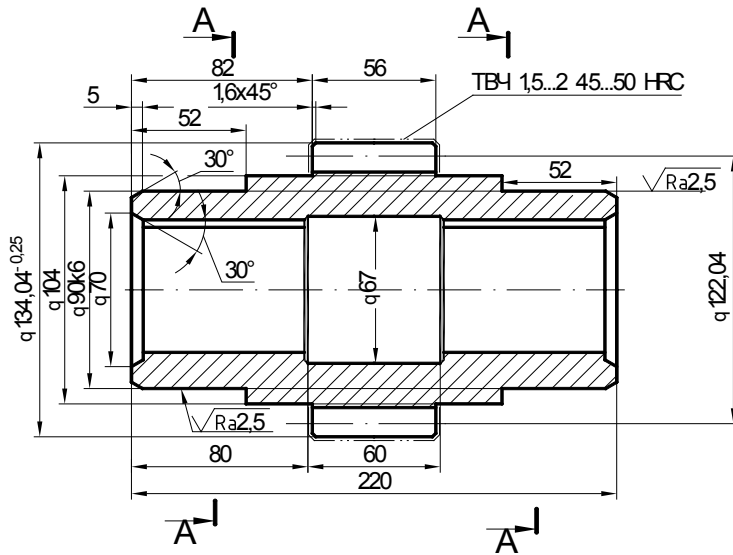


8 шт в. 10H7

\oplus	$\varnothing 0,2_{M}$	A
\parallel	0,05	A

Полумуфта ТМ 3.32
 Сталь 45 ГОСТ 1050-71
 Масса 1,2 кг

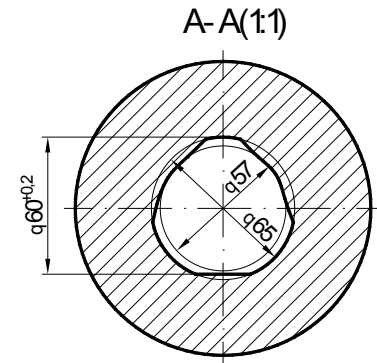
- 170...215 НВ
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
- Покрытие: ХимОкс.прм

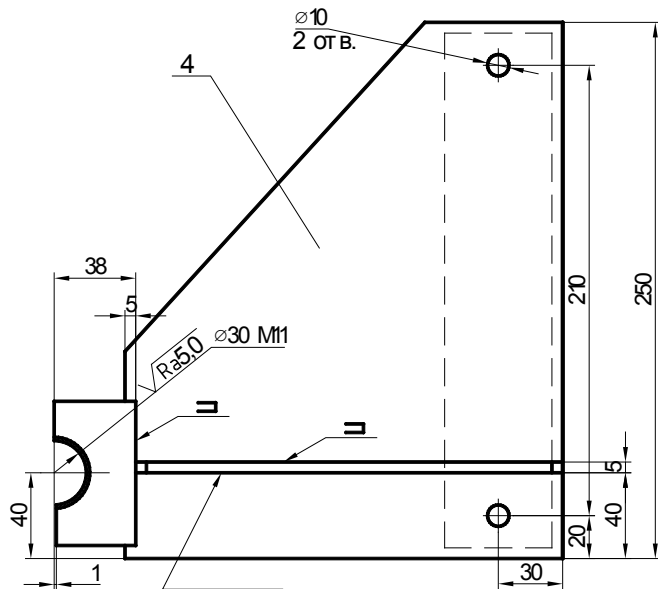
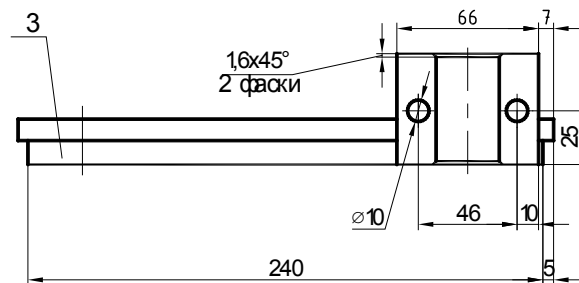
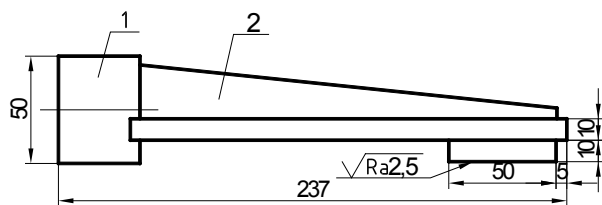


Шестерня ТМ 3.53
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Масса 9 кг
 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м

$\sqrt{Ra10(q)}$

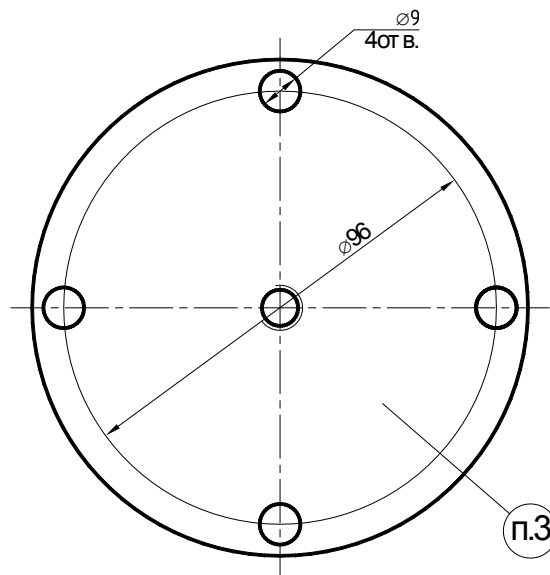
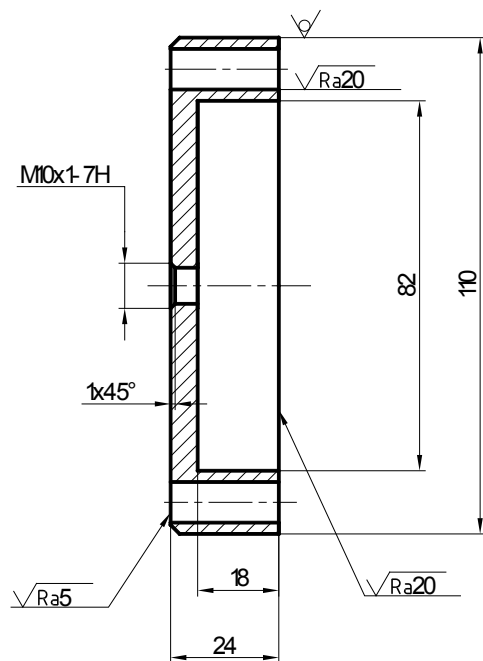
Модуль	m	6
Число зубьев	z	120
Угол наклона	β	$30^\circ 30' 0''$
Направление линии зуба	-	Левое
Нормальный исходный контур		ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	x	+0.000
Степень точности по ГОСТ 1643-81		8-B
Длина общей нормали	w	$46.046_{-0.191}^{-0.121}$
Делительный диаметр	d	122.044





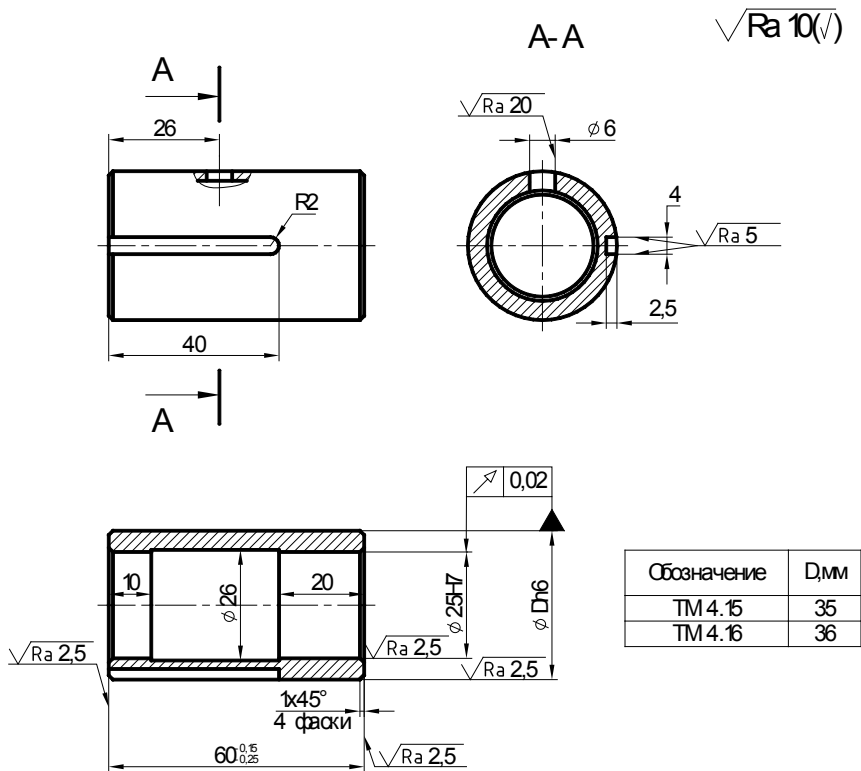
Кронштейн ТМ4.4

1. * Размеры для справок
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002.м
3. Маркировать обозначение на бирке



Условное обозначение крышки:
Крышка ТМ 4.5

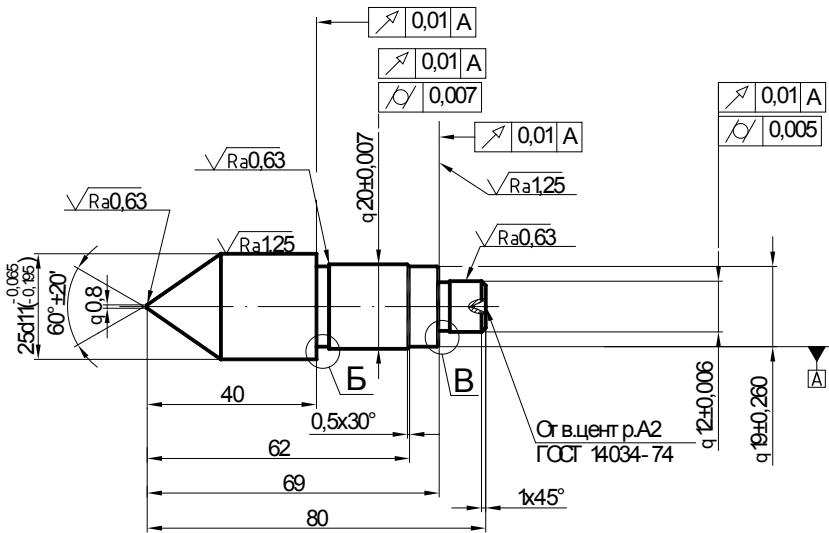
1. Общие допуски по 30893.1-2002г
2. Покрытие Хим. Окс. прм.
3. Маркировать обозначения



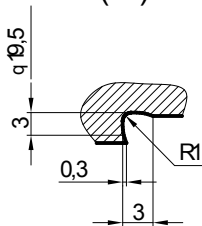
1. Заготовка-отливка непрерывного литья
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002m
3. Маркировать обозначение на бирке

Втулка ТМ 4.15-4.16
 СЧ 20 ГОСТ 1412-85
 Масса 0,3 кг

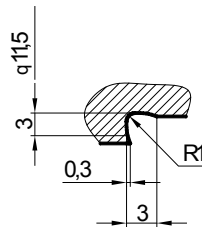
$\sqrt{Ra10(q)}$



Б(2:1)

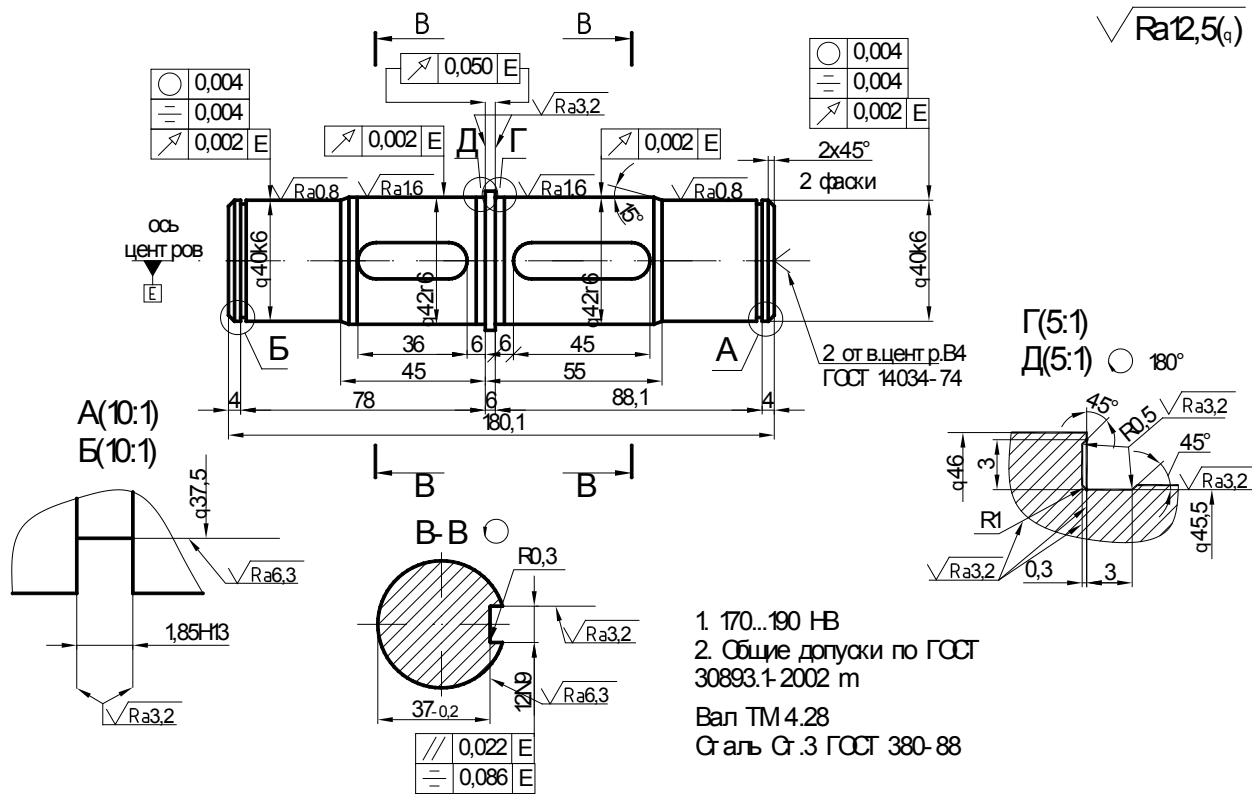


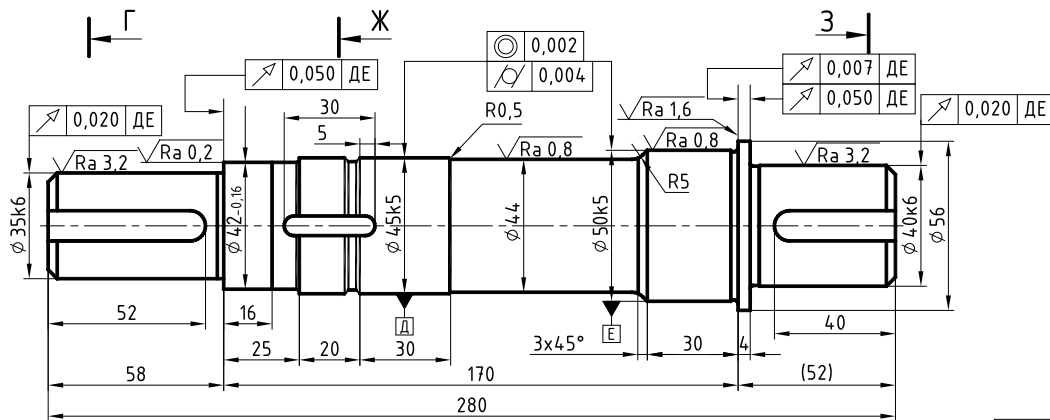
Б(2:1)



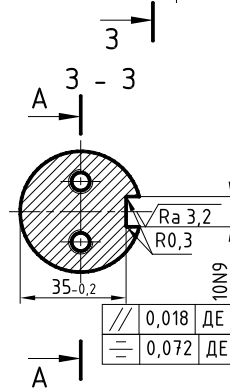
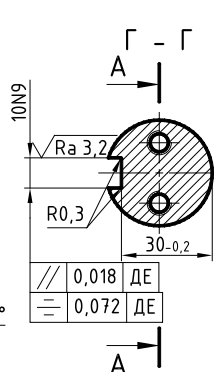
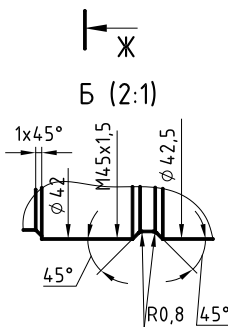
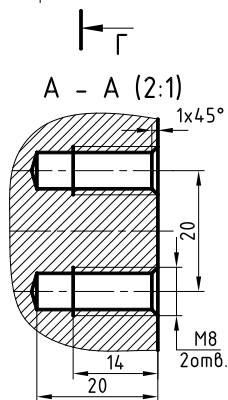
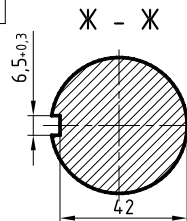
Валик центровой ТМ 4.26
Сталь 20Х ГОСТ 4543-71

1. 58...62 HRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.2-2002 m

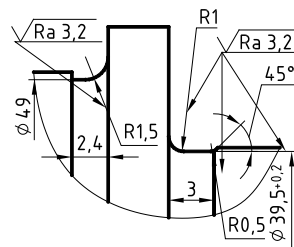




$\sqrt{Ra 6,3(\sqrt{V})}$



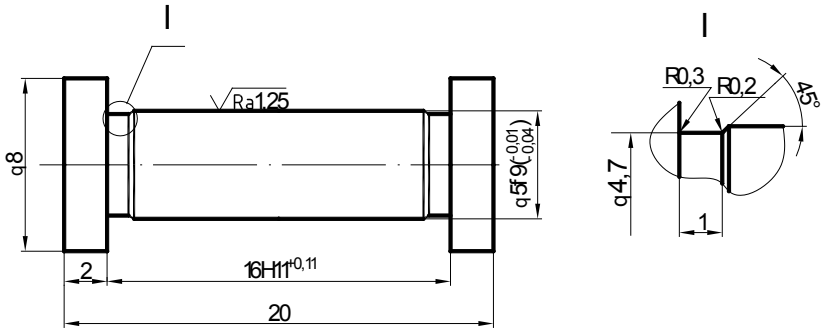
В (5:1)



1. Цементировать $h0,3...0,4$ 55...58 HRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-200m

Вал ТМ 4.29
Сталь 25X ГОСТ 4543-71

$\sqrt{Ra5(q)}$

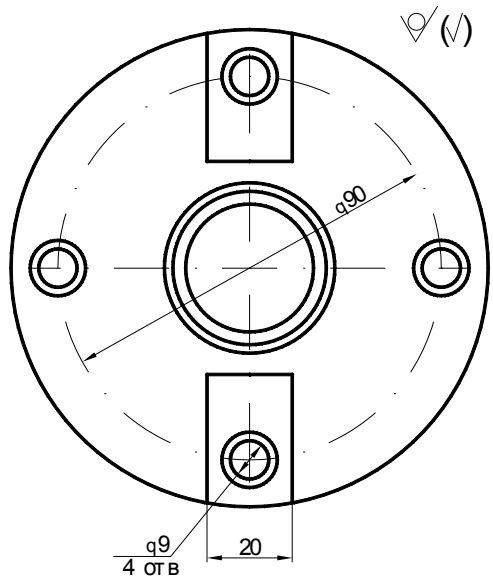
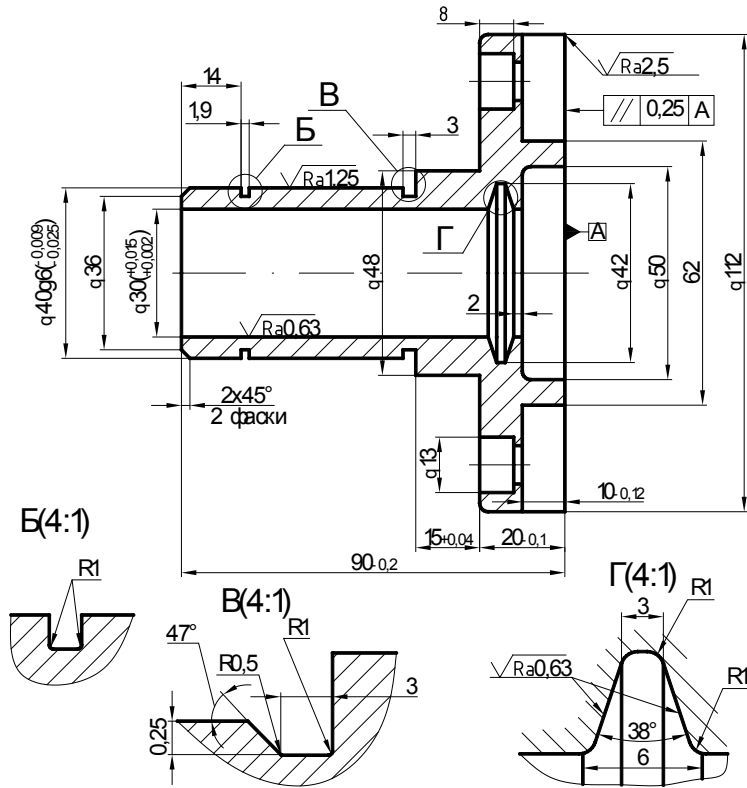


Объ ТМ 4.36

Сталь 45 ГОСТ 1050-88

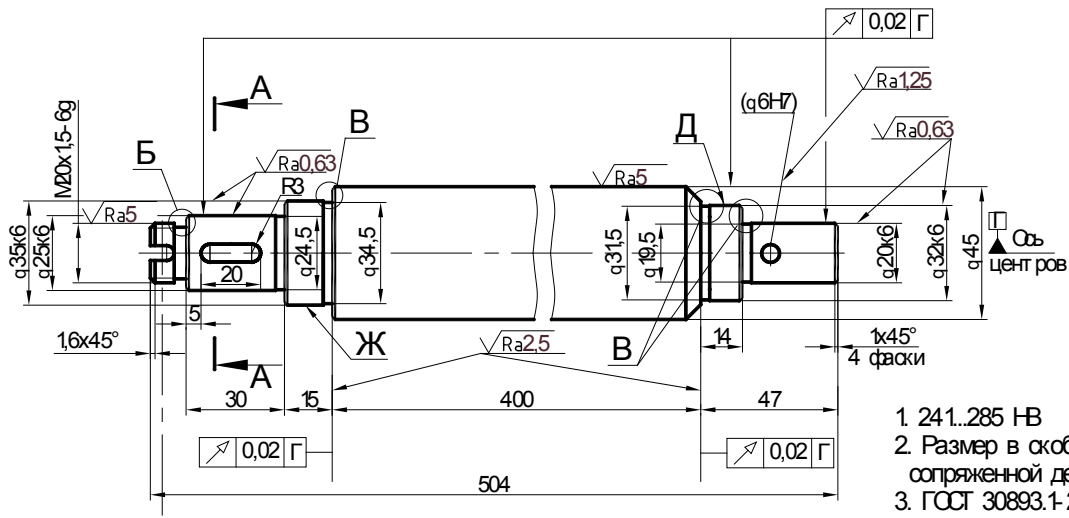
Масса- 0,006 кг

1. 40...45 HRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
3. Покрытие: Хим.Окс.прм. ГОСТ 9.073-77

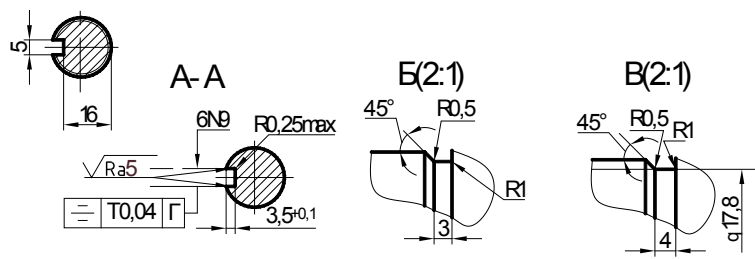


Стакан ТМ 4.39
 Чугун СЧ ГОСТ 1412-85
 Масса- 1,1 кг

1. 210...240 НВ
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002m

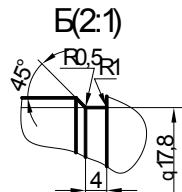
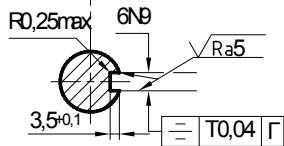
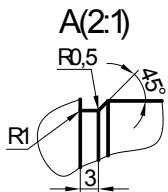
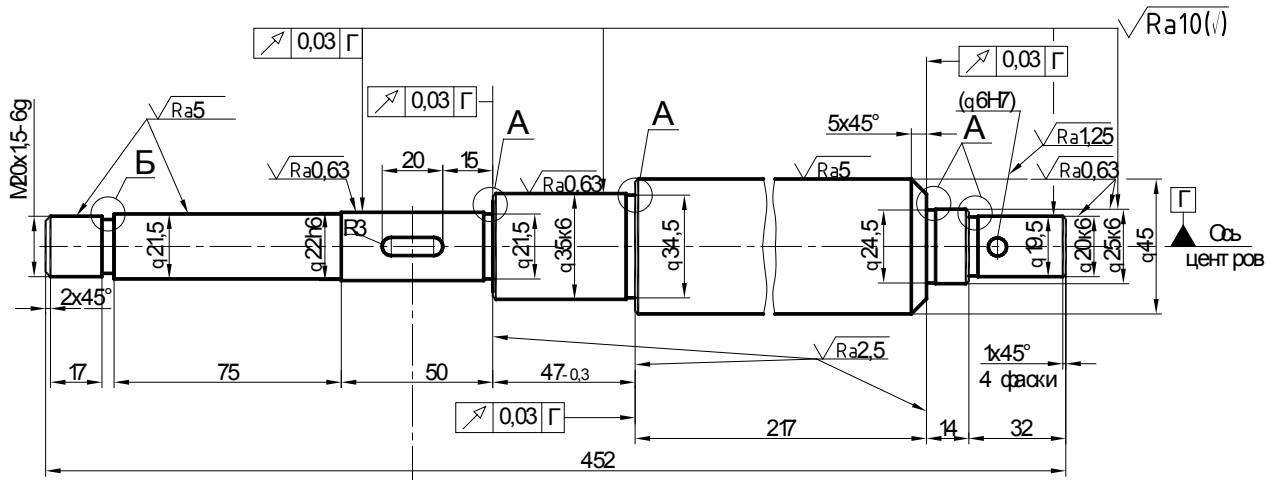


$\sqrt{Ra10(\vee)}$



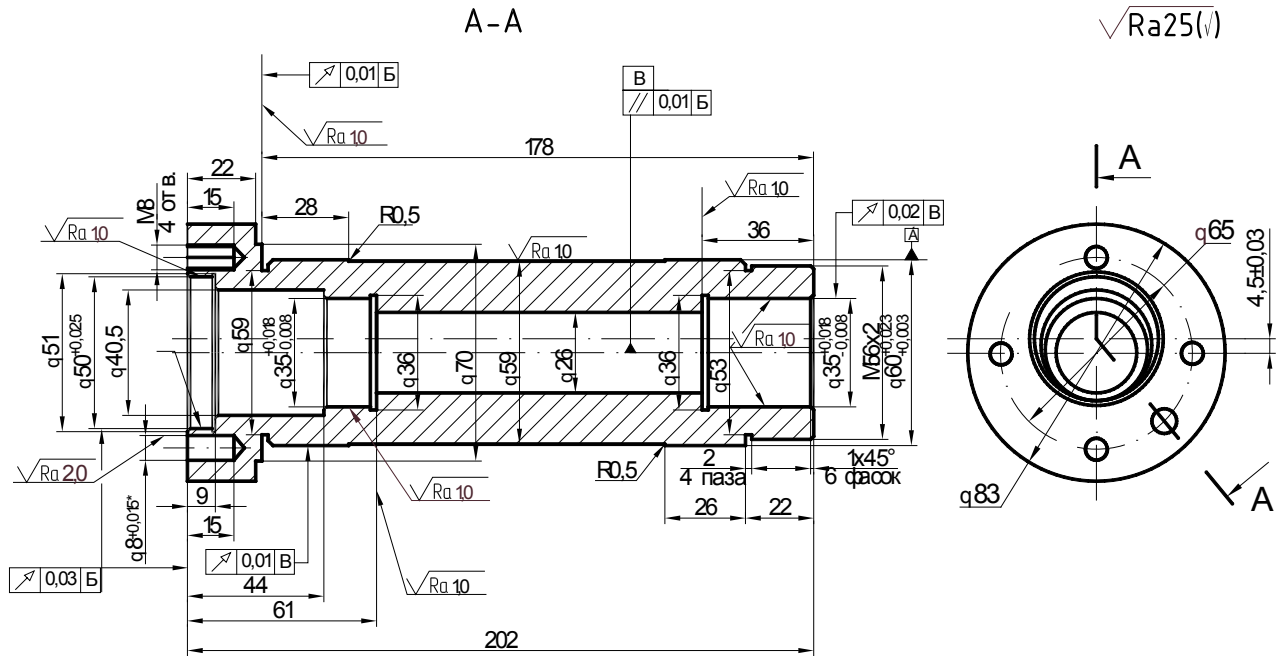
1. 241..285 НВ
2. Размер в скобках-после сборки сопряженной детали
3. ГОСТ 30893.1-2002 m
4. Допуск овальности и конусообразности и пов. Д и Ж 0,008 мм
5. Маркировать обозначение на бирке

Вал ТМ 4.50
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Масса 5,4 кг



1. 241...285 НВ
2. Размер в скобках-после сборки
3. ГОСТ 30893.1-2002 m
4. Маркировать обозначение на бирке

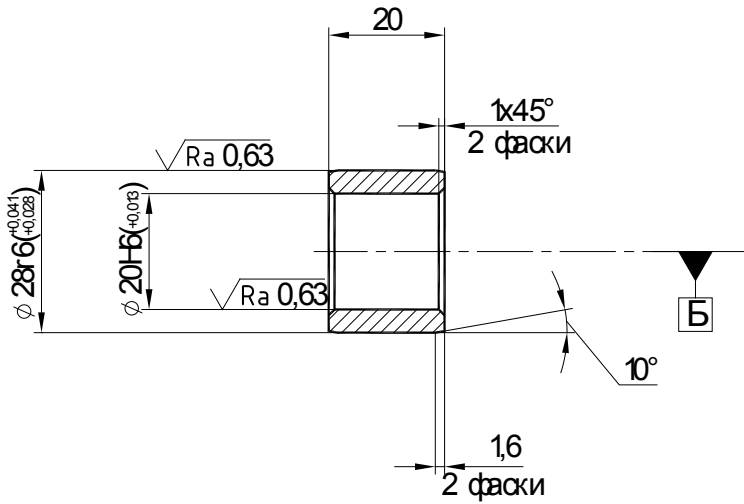
Вал ТМ 4.51
 Сталь 45 ГОСТ 1050-88
 Масса 3,5 кг



Корпус ТМ 4.52
 Сталь 20Х ГОСТ 4543-71
 Масса 3,6 кг

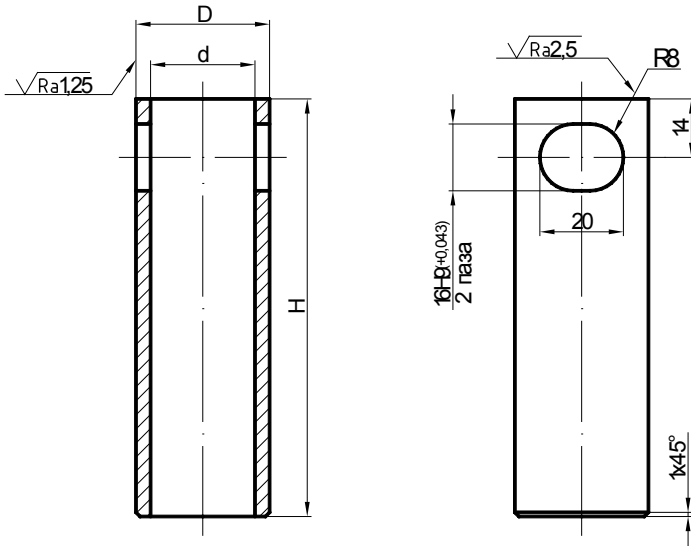
1. Цемент ировать h 0,8..1,2 мм, 53..57 HRC
2. * Обработка в сборе с сопряженной деталью перед термообработкой
3. ГОСТ 30893.1-2002 m

$\sqrt{Ra\ 1,25(\checkmark)}$



40-45 HRC

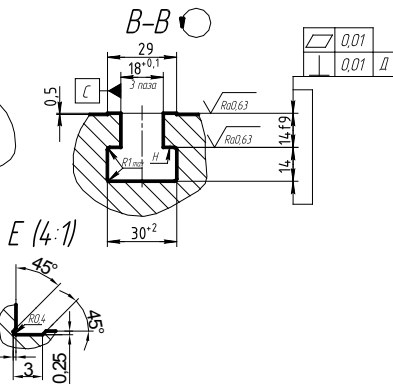
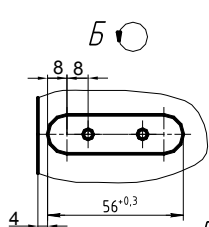
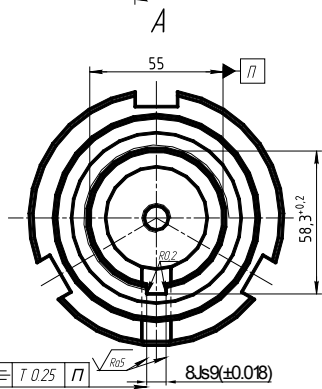
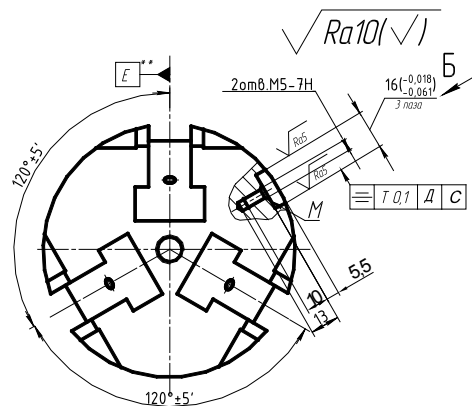
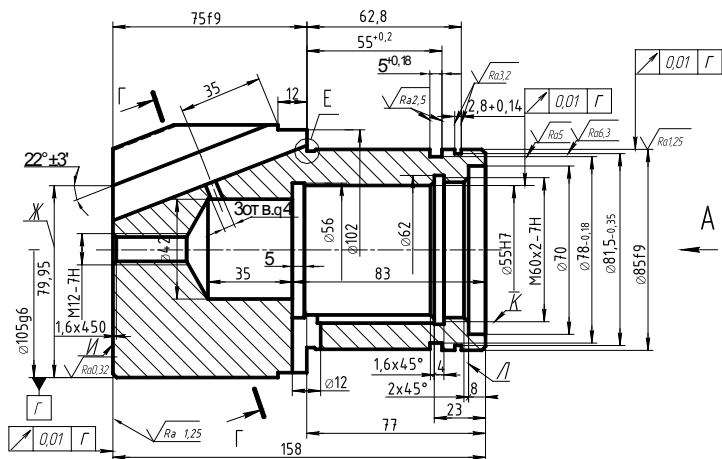
Втулка ТМ 4.53
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 0,047 кг

$\sqrt{Ra5(q)}$ 

Обозначение гильзы	D		d		H	Масса, кг
	Нвмин	Пред. от кл. по h6	Нвмин	Пред. от кл. по h6		
ТМ 4.54	25	-0,013	20	+0,130	60	0,020
ТМ 4.55					75	0,027
ТМ 4.56	32	-0,016	25		100	0,063
ТМ 4.57					150	0,095

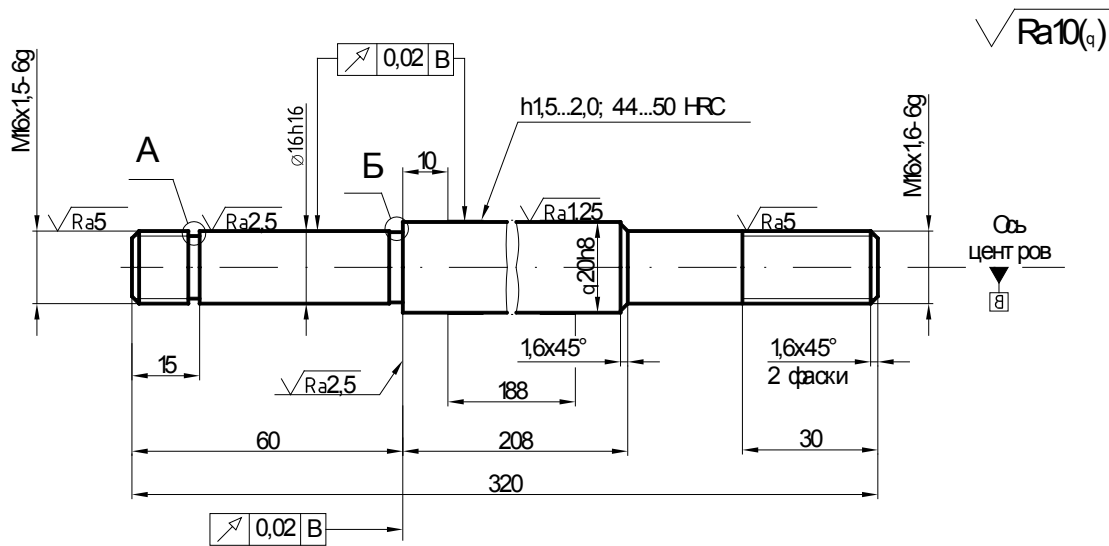
Гильза ТМ 4.54-4.57
Сталь 45 ГОСТ 1050-88

- 33...38 HRC
- Покрытие - Хим.Окс.прм. по ГОСТ 9.073-77

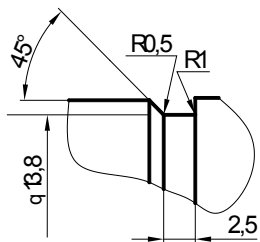


Клин ТМ 53
Сталь 20Х ГОСТ 4543-71
Масса 4,9 кг

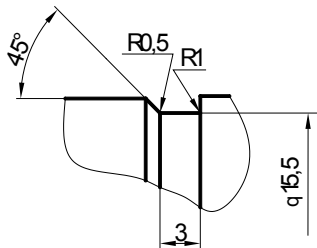
1. Центрировать $h=0,8 \dots 1,2$ мм, 57. 63HRC, кроме поверхностей И, К, Л, М.
2. Неуказанные фаски 1x45
- 3* Обработать по сопряженной детали
4. Общие допуски по ГОСТ 30893-1-2002-т
5. Разность размера Ж для трех поверхн Н не более 0,05 мм.
- 6.**Д-плоскость, проходящая через ось поверхности Г и ось паза С.
7. Маркировать обозначение на бирке



A(2:1)



Б(2:1)



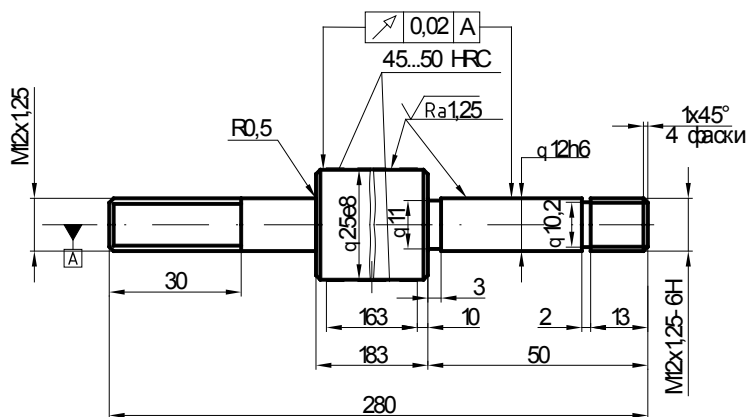
1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
2. Покрытые: ХимОкс.прм

Шток ТМ 5.08

Сталь 45 ГОСТ 1050-88

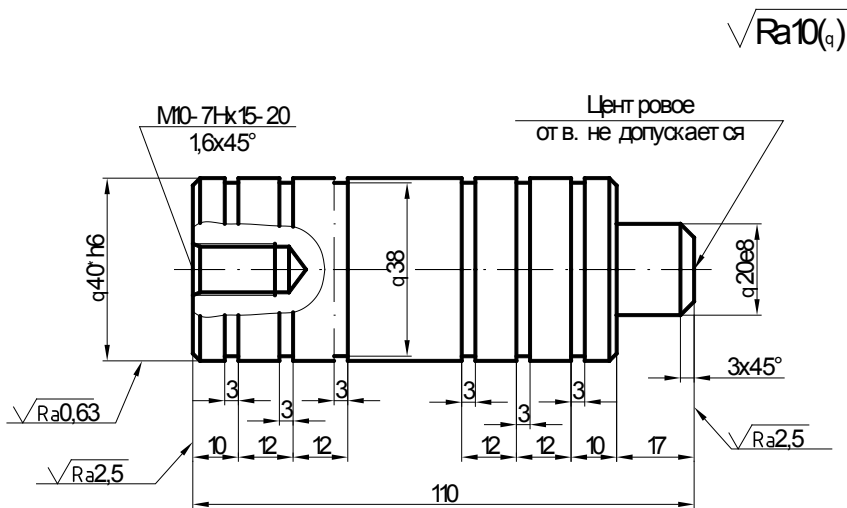
Масса 0,7 кг

√ Ra5_(q)



Штук ТМ 5.10
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса 0,62 кг

1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
2. Покрытие: ХимОкс.п.м.

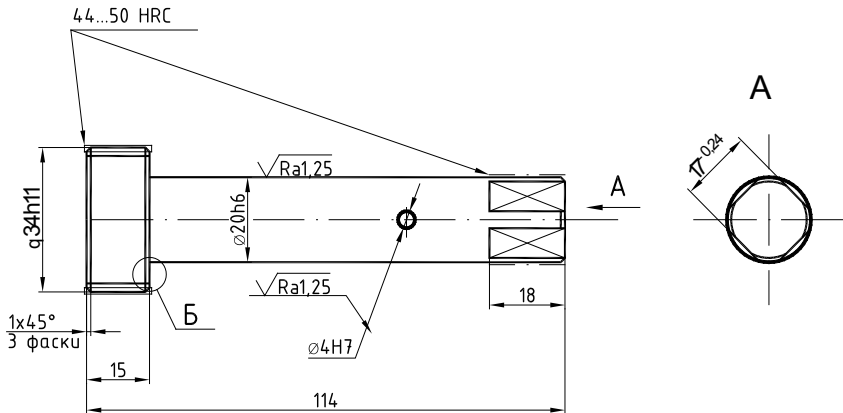


Плунжер ТМ 5.11
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса 0,93 кг

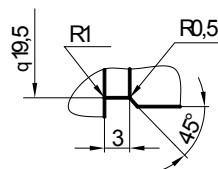
1. 44...50 HRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
3. Покрытие: Хим.Окс.прм.

$\sqrt{Ra10(q)}$

Модуль	m	2
Число зубьев	z	15
Нормальный исходный контур		ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	x	+0,000
Степень точности по ГОСТ 1643-81		8-B
Длина общей нормали	w	$9,27^{+0,111}_{-0,181}$
Делительный диаметр	d	30,000
Обозначение чертежа сопряженного колеса		



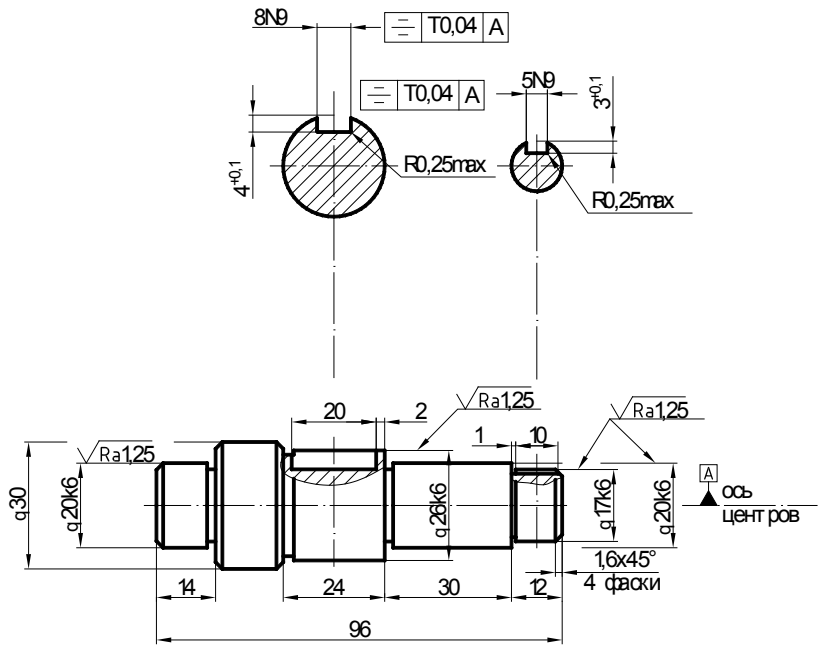
Б(2:1)



Вал-шестерня ТМ 5.12
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Масса 0,32 кг

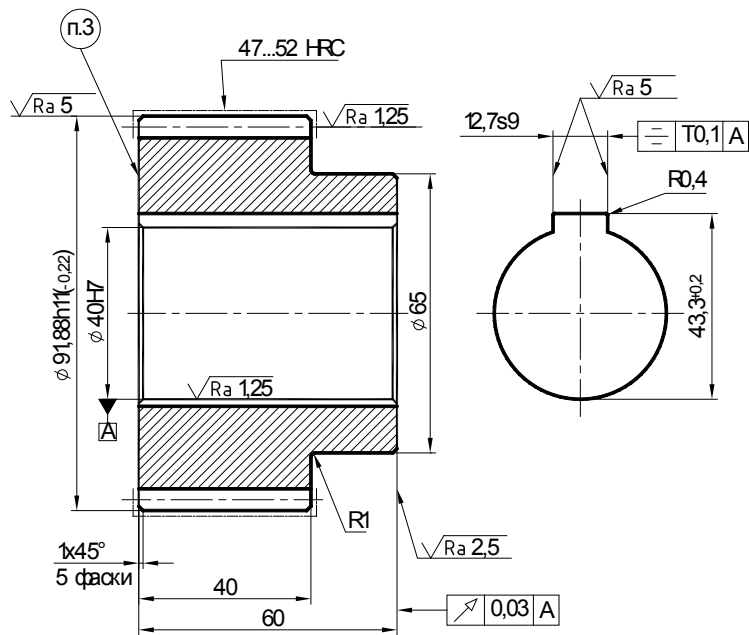
1. 217...269 НВ
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 м
3. Покрытие-ХимОкс.прм.

$\sqrt{Ra10(q)}$



Валик ТМ 5.13
Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Масса-0,5 кг

- 1. 241..285 НВ
- 2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002m
- 3. Покрытие: ХимОкс.прм

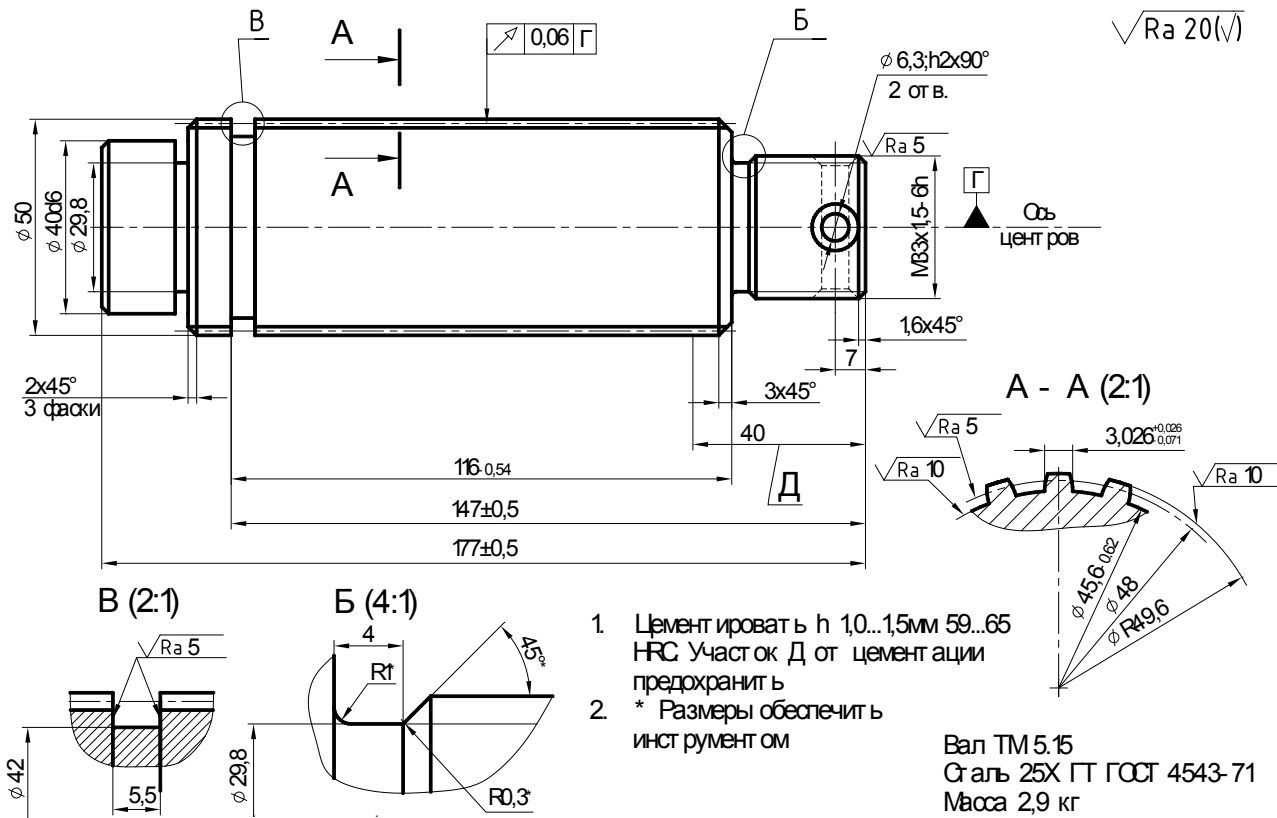


1. 179...229 НВ
2. Общие детали по ГОСТ 30893.1-2002m

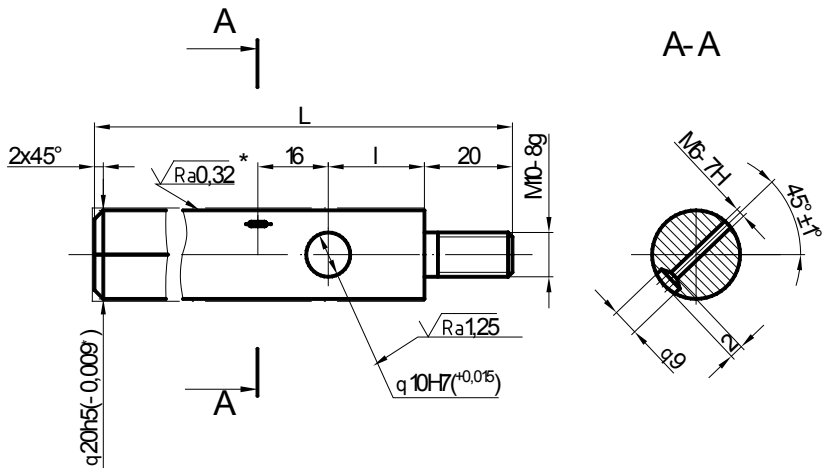
$\sqrt{Ra 10(\sqrt{ })}$

Модуль	m	3
Число зубьев	Z	28
Угол наклона	β	12°
Направление линии зуба	-	левое
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	X	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	7-C
Длина общей нормали	W	32,25 ^{0,07} _{0,14}
Делительный диаметр p	d	85,88
Обозначение чертежа сопряженного колеса	МТБ- 1750- 001220.412.00 МТБ- 1750- 001220.448.00	

Шестерня ТМ 5.14
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Масса 1,7 кг



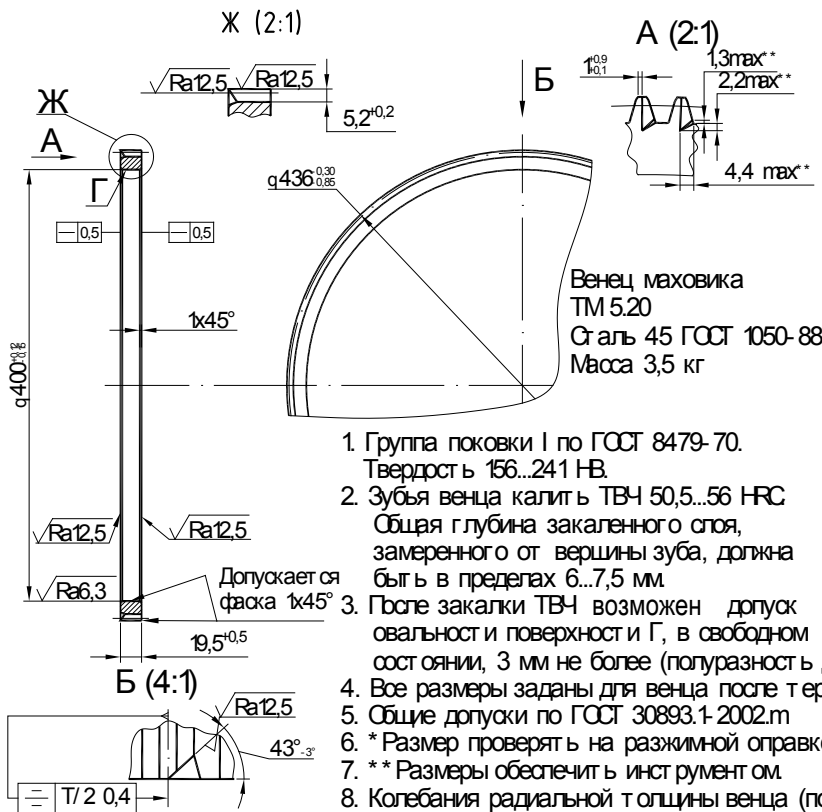
$\sqrt{Ra10(q)}$



Обозначение скалки	L	I	Масса, кг
TM 5.16	162	80	0,250
TM 5.17	187	95	0,400
TM 5.18	197	80	0,440
TM 5.19	247	100	0,570
TM 5.20	317	130	0,740

Скалка TM 5.16
Сталь 45 ГОСТ 1050-88

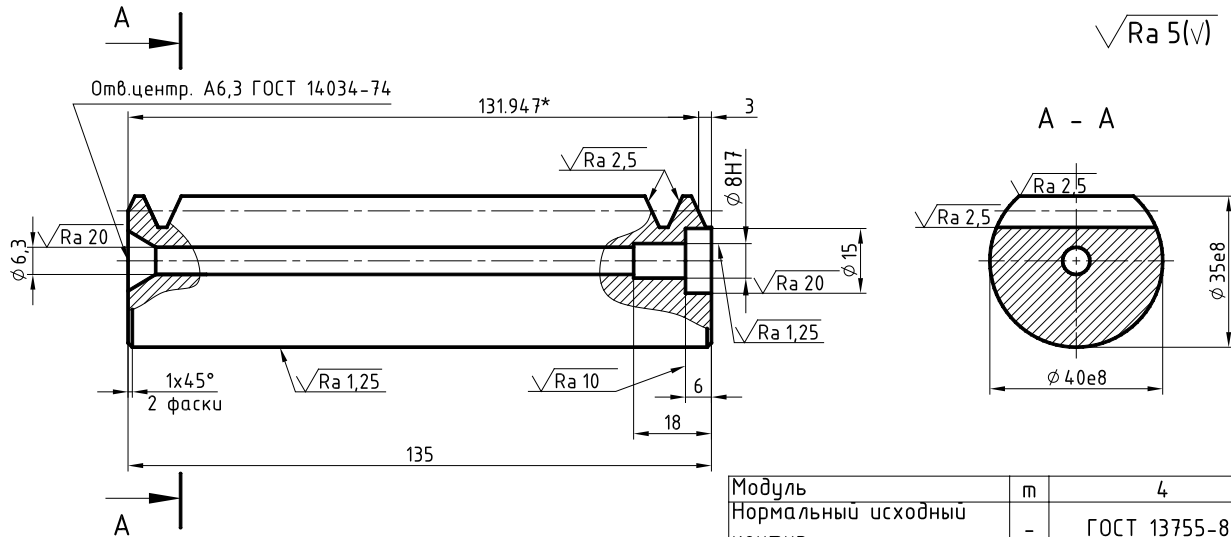
1. 40..45 HRC



√ Ra12,5 (√)

Модуль	m	3
Число зубьев	z	145
Нормальный исходный контур	Угол профиля	20°
	Коэффициент высоты головки	h_a^* 0,8
	Коэффициент граничной высоты	h_e^* 1,6
	Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	0,38
	Коэффициент радиального зазора	c^* 0,25
Коэффициент смещения	x	-0,488
Длина общей нормали	W	142,37 ^{0,28} / _{0,48}
Допуск на колебание длины общей нормали (обеспечить технологически)	Fw	0,16
Допуск на колебание измерительного межосевого расстояния от носовых поверхностей и Г	За оборот зубчатого колеса	F_i 0,34
	На одном зубе	f_i 0,07
Пятна контакта с зубьями эталонного зубчатого колеса	по высоте	% не менее 40
	по длине	% не менее 50
Делительный диаметр	d	435
Обозначение сопряженного колеса	—	Ст 142-Е3708621

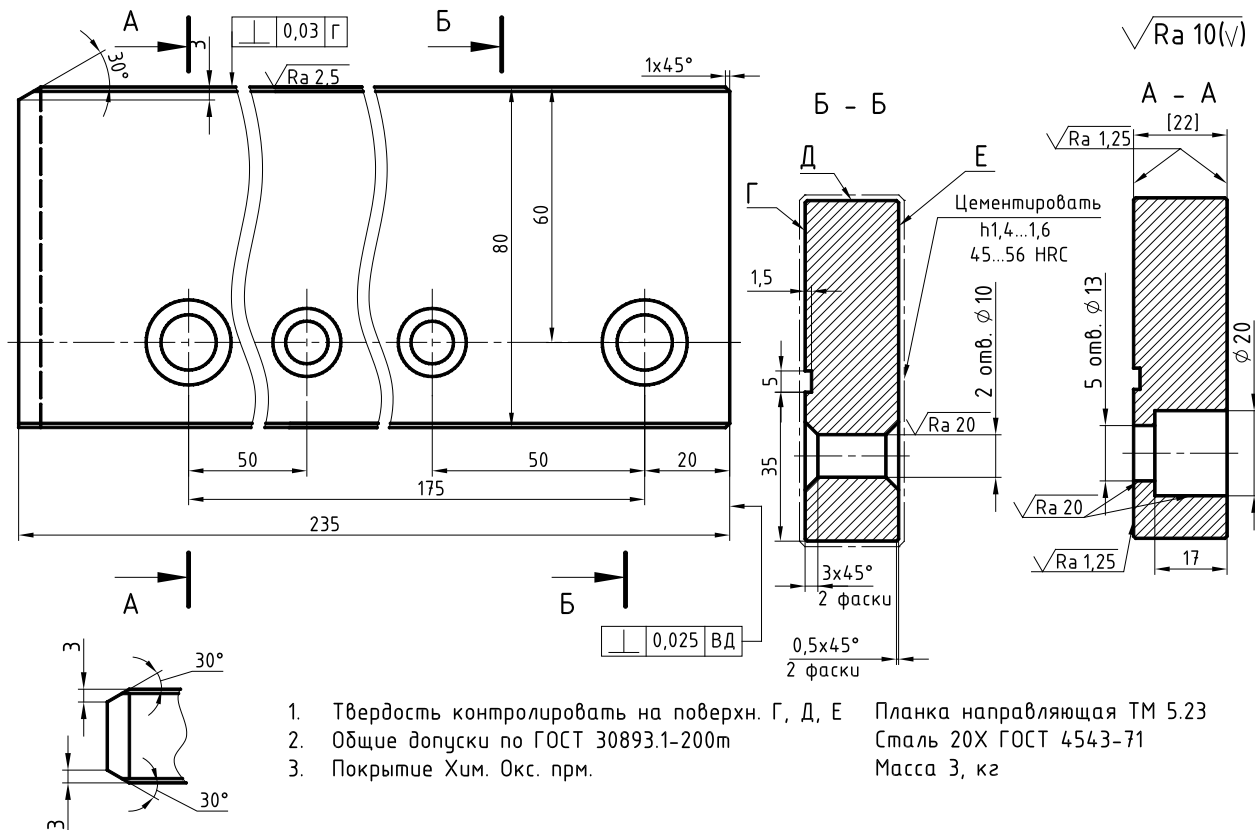
1. Группа поковки I по ГОСТ 8479-70. Твердость 156...241 НВ.
2. Зубья венца калибры ТВЧ 50,5...56 НRC. Общая глубина закаленного слоя, замеренного от вершины зуба, должна быть в пределах 6...7,5 мм.
3. После закалки ТВЧ возможен допуск овальности и поверхности Г, в свободном состоянии, 3 мм не более (полуразность диаметров).
4. Все размеры заданы для венца после термообработки.
5. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002.m
6. * Размер проверяют на разжимной оправке или на специальном приспособлении.
7. ** Размеры обеспечивает инструментом.
8. Колебания радиальной толщины венца (по вершинам зубьев) не более 0,3 мм.



1. 217...269 НВ
2. * Размер для справоч

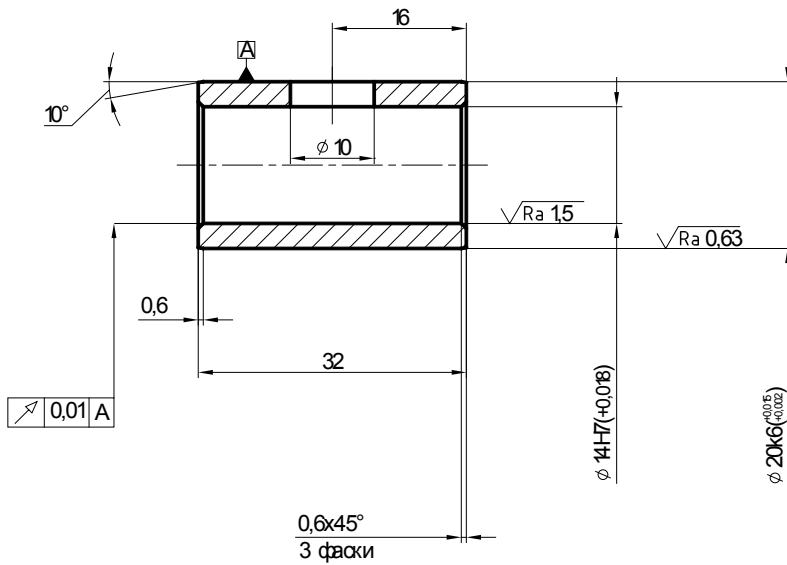
Рейка ТМ 5.22
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса 1,2 кг

Модуль	m	4
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	9-B
Толщина зуба	\overline{S}	$6,283^{+0,150}_{-0,330}$
Измерительная высота	h_a	4,000
Число зубьев	Z	11
Номинальный шаг	P_n	12,566
Обозначение чертежа сопряженного колеса		МП8-1500-005.310.422.00



1. Твердость контролировать на поверхн. Г, Д, Е Планка направляющая ТМ 5.23
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-200т Сталь 20Х ГОСТ 4543-71
3. Покрытие Хим. Окс. прм. Масса 3, кг

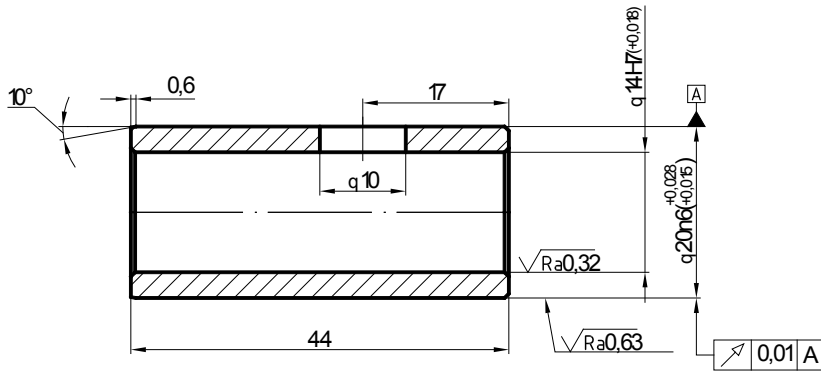
$\sqrt{Ra\ 5\ (\checkmark)}$



Втулка ТМ 6.03
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Масса 0,04 кг

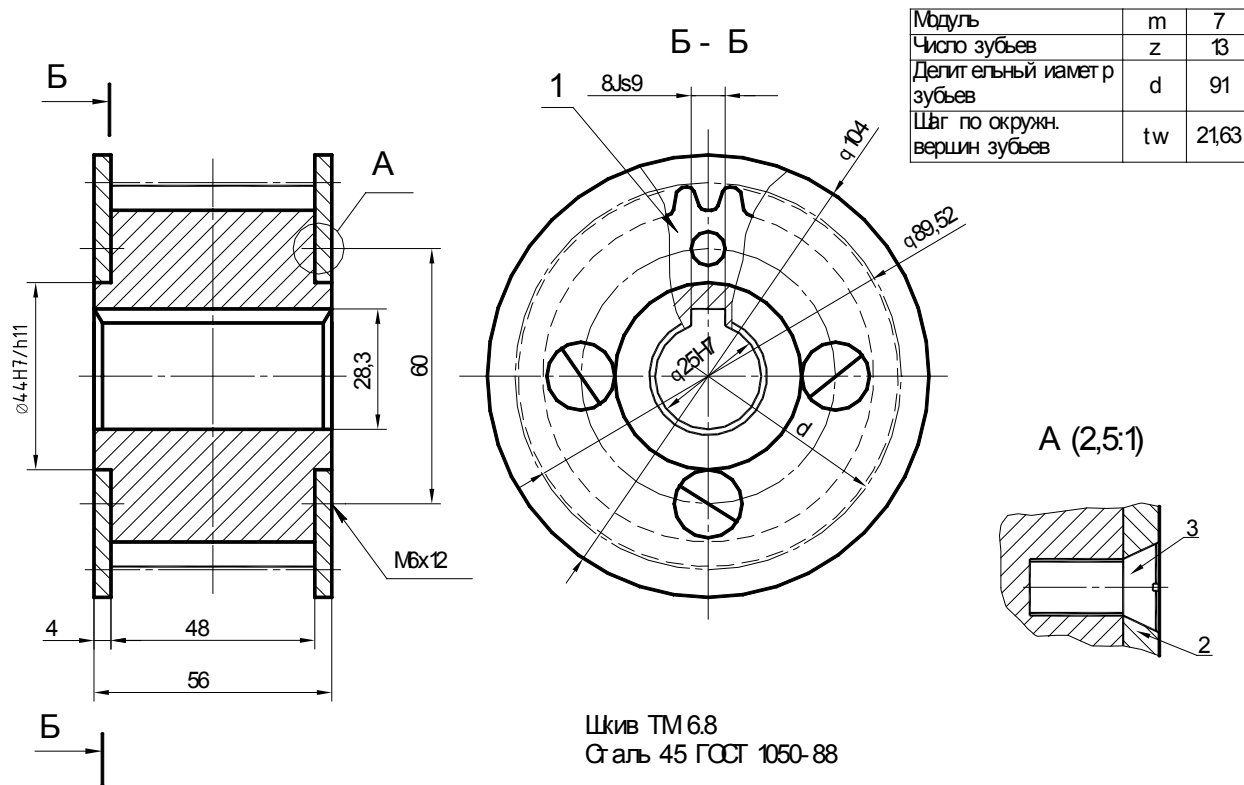
1. 40..45 НRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002m
3. Покрyг ие: Хим. Окс. прм по ГОСТ 9.073-77

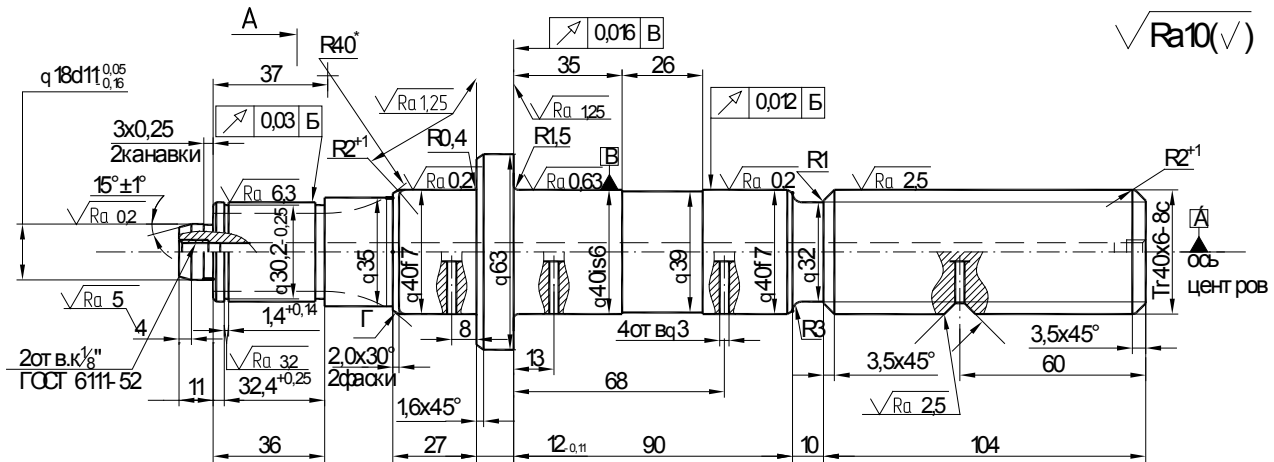
$\sqrt{Ra5(q)}$



Гильза ТМ 6.04
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Масса 0,055 кг

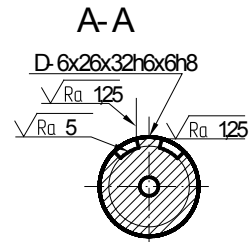
1. 40..45 HRC
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 m
3. Покрытие - Хим.Окс.прм. по ГОСТ 9.073-77

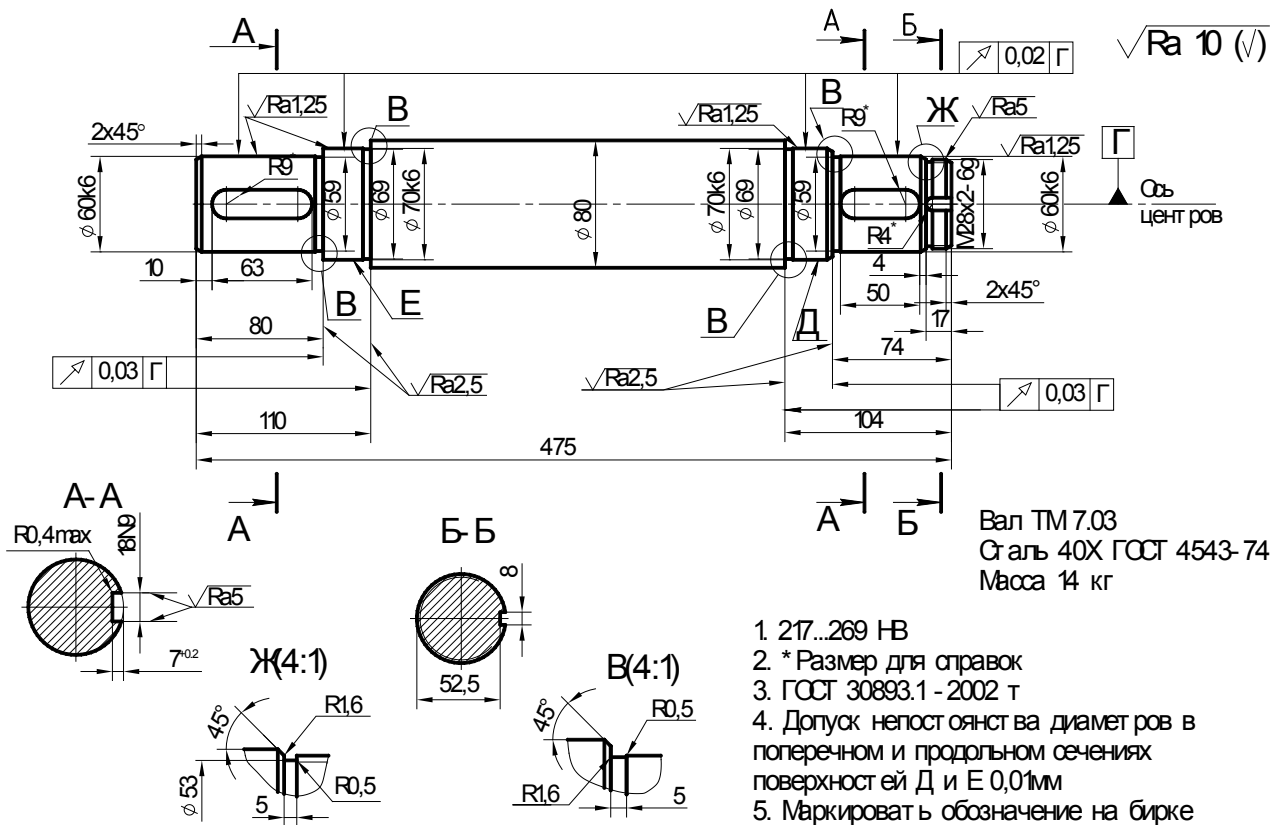


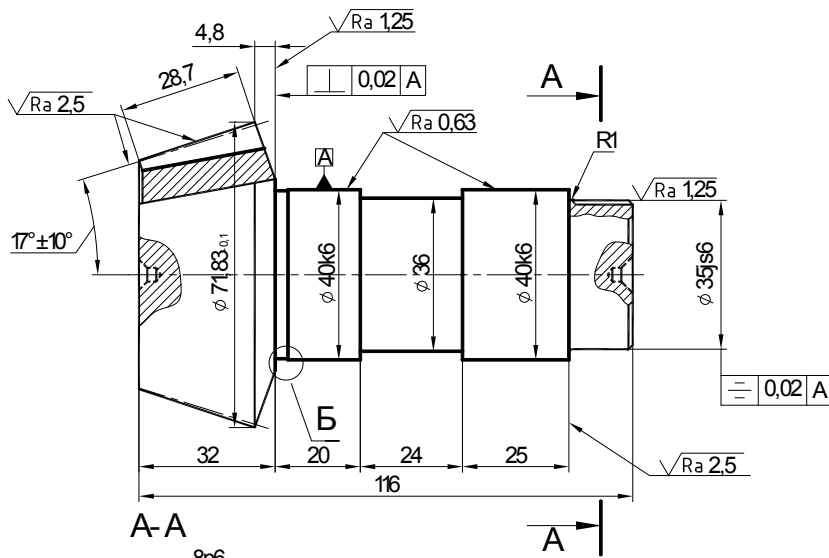


1. 32...37 HRC
2. *Размер для справок.
3. Неуказанные фаски $1 \times 45^\circ$.
4. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 т
5. Допуск радиального биения среднего диаметра трапецидальной резьбы от носителя оси цент ров-0,05 мм
6. Допуски непостоянства диаметров поверхн. В продольном и поперечном сечениях - 0,008 мм
7. Допуск радиального биения поверхн. В относительно оси Б 0,012 мм
8. Выход шлицов на поверхн. Г не допускается.
9. Маркировать обозначение на бирке.

Винт ТМ 7.01
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса-2,8 кг

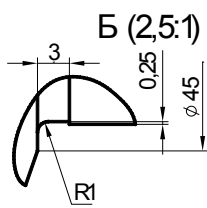
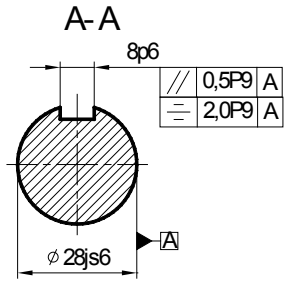






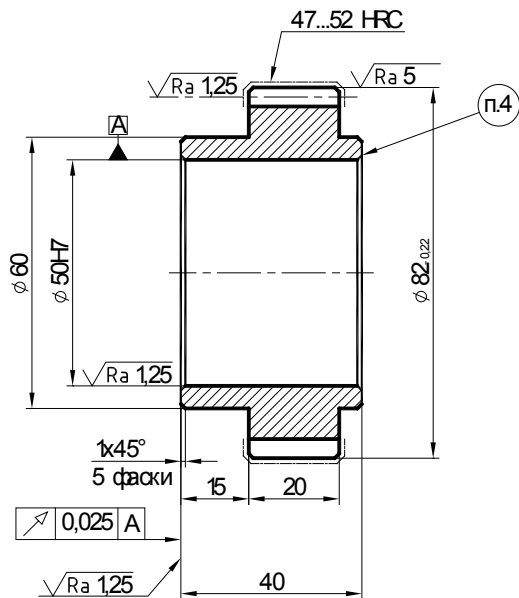
$\sqrt{Ra 10(\sqrt{V})}$

Окружность модуля	m	2
Число зубьев	Z	34
Тип зуба	-	прямой
Исходный контур	-	ГОСТ 13745-88
Угол делительного конуса	\llcorner	$15^\circ 52'$



- 42...48 HRC
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002m

Шестерня ТМ 7.07
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса 1,5 кг

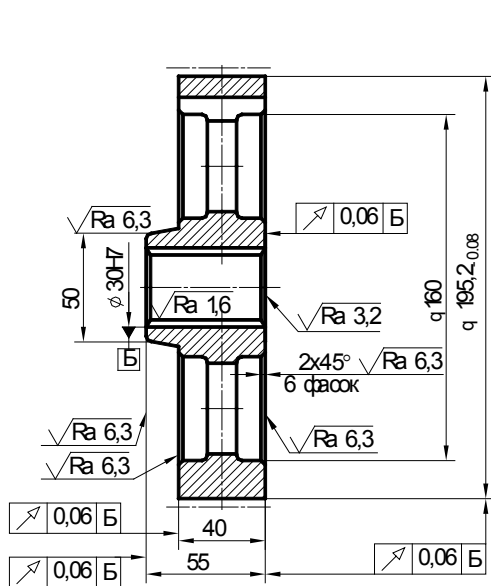


Зубчатое колесо ТМ 7.15
 Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
 Масса 0,7 кг

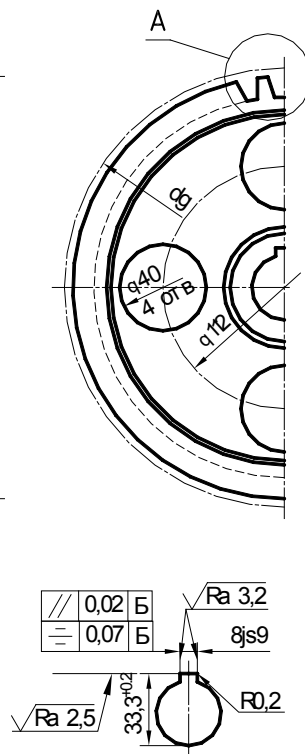
$\sqrt{Ra 10(\vee)}$

Модуль	m	2
Число зубьев	Z	39
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	X	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	9-B
Длина общей нормали	W	$27,66_{0,15}^{0,12}$
Делительный диаметр	d	78

1. 217...269 НВ
2. ГОСТ 30893.1-2002m
3. Допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях поверхности А - 0,012 мм
4. Маркировать обозначено, m z

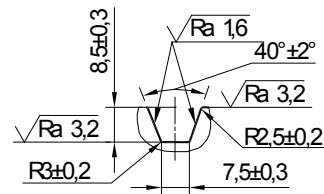


Шкив ТМ 10.3
Чугун СЧ 30 ГОСТ 1412-85



✓/✓/	
Модуль	m 7
Число зубьев	z 29
Делительный диаметр зубьев	dg 203
Шаг по окруж. вершин зубьев	tw 21,8
Отклонение шага	f1 ±0,03
Накопл. ошибка шага	F1 0,08

A (2:1)



1. 217...225 HB
2. Допуски размеров, массы и припуска на механическую обработку - ГОСТ 26645-85
3. Балансировать статически. Допустимый дисбаланс - 6 см
4. Литейные уклоны 3°; литейные радиусы (4...5) мм
5. ГОСТ 30893.1-2002 m

Содержание

Введение	3
Практическая работа № 1	
Расчет размерных цепей с компенсирующимися погрешностями составляющих звеньев	5
Практическая работа № 2	
Технологический анализ конструкторской документации	20
Практическая работа № 3	
Построение и расчет размерных цепей отклонений расположения	30
Практическая работа № 4	
Размерный анализ техпроцесса по линейным размерам	41
Практическая работа № 5	
Размерный анализ техпроцесса по диаметральным размерам	73
Практическая работа № 6	
Размерный анализ техпроцессов деталей сложной формы	108
Практическая работа № 7	
Выбор маршрута обработки элементарных поверхностей деталей машин	158
Практическая работа № 8	
Расчет эксцентриситетов обрабатываемых поверхностей с помощью теории графов	189
Практическая работа № 9	
Обеспечение точности замыкающего звена методом регулирования	209
Практическая работа № 10	
Решение размерных цепей по методу регулирования с неподвижным компенсатором из прокладок разной толщины с помощью номограмм	236
Приложение (Общее)	247

Учебное издание

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Сборник практических работ

С о с т а в и т е л и :

БЕЛЯЕВ Геннадий Яковлевич

БЕЛЯЕВА Галина Игнатьевна

КИСЕЛЬ Ольга Ивановна и др.

Редактор И.Ю. Никитенко

Технический редактор О.В. Дубовик

Компьютерная верстка О.В. Дубовик

Подписано в печать 11.02.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 20,40. Уч.-изд. л. 16,00. Тираж 300. Заказ 1202.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.