

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

К. Н. Абрамов

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Оренбург  
2011

УДК 621.9  
ББК 34.5 я7  
А 16

Рецензент – доцент, канд. техн. наук В. И. Юршев

**Абрамов, К. Н.**  
А 16 Технологические размерные расчеты и их автоматизация: учебное пособие / К. Н. Абрамов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 110 с.  
ISBN

В учебном пособии представлены основные методические материалы для выполнения технологических размерных расчетов при проектировании технологии изготовления деталей.

Рассматриваются общие вопросы теории размерных цепей, особенности технологических размерных цепей, приводится методика определения параметров звеньев, даются алгоритмы расчета и формирования технологических размерных цепей. Приводятся основные этапы работы с автоматизированной системой технологического размерного анализа. Содержатся основные справочные материалы.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

УДК 621 (075)

ББК 34.5 я7

ISBN

© Абрамов К.Н., 2011

© ОГУ, 2011

## Содержание

Введение.....	4
1 Основные положения теории размерных цепей.....	5
2 Задачи расчета размерных цепей.....	8
3 Технологические операционные размерные цепи.....	21
4 Звенья технологических операционных размерных цепей.....	26
5 Расчет технологических операционных размерных цепей.....	32
5.1 Алгоритм решения проектной задачи с замыкающим звеном припуском..	32
5.2 Алгоритм решения проектной задачи с замыкающим звеном размером.....	34
6 Подготовка исходных данных для размерного анализа.....	39
7 Построение размерных схем технологического процесса.....	43
8 Автоматизация размерных расчетов.....	63
8.1 Подготовка автоматизированной системы технологического размерного анализа (АСТРА) к работе.....	64
8.2 Автоматизированный расчет технологических операционных размерных цепей.....	66
Список использованных источников.....	79
Приложение А Допуски размеров.....	80
Приложение Б Допуски исходных заготовок.....	81
Приложение В Данные для определения операционных допусков.....	99
Приложение Г Составляющие минимального припуска на механическую обработку.....	104

## Введение

В жизненном цикле изделий машиностроения особое место занимает подготовка производства. Это объясняется ее значительной трудоемкостью и сложностью. Сроки подготовки производства превышают сроки разработки конструкции изделия от 1,8 до 5 раз, в зависимости от вида и сложности изделий. При технологическом проектировании решаются две основные задачи: обеспечение требуемого качества изделий, получение минимальной себестоимости технологического процесса. Обеспечение требуемого качества при проектировании технологических процессов изготовления деталей должно базироваться на точных расчетных методах. Одним из таких методов является размерный анализ технологических процессов, основанный на теории размерных цепей.

Данное учебное пособие предназначено для оказания помощи студентам в изучении курса «Технологические размерные расчеты и их автоматизация». В нем приводятся основные положения технологического размерного анализа и сведения об автоматизации технологических размерных расчетов.

# 1 Основные положения теории размерных цепей

Размерные цепи отображают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении [1]. Свойства и закономерности размерных цепей отражаются системой понятий и аналитических зависимостей, позволяющих производить расчет номинальных размеров, допусков и других размерных параметров с целью обеспечения точности изделий наиболее экономичным образом.

Размерная цепь – совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Пример размерной цепи приведен на рисунке 1.1.

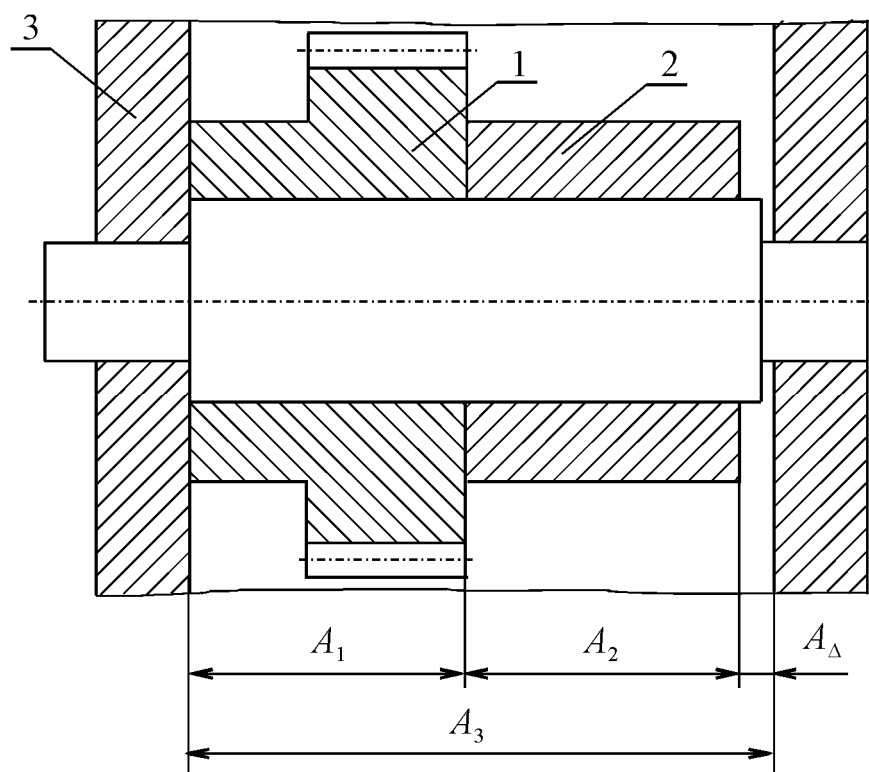


Рисунок 1.1 – Размерная цепь

Звено размерной цепи – один из размеров, образующих размерную цепь. Звенья размерных цепей обозначаются прописными буквами русского алфавита с индексом, соответствующим номеру звена. Все звенья размерных цепей разделяются

на два вида – замыкающее и составляющие. Замыкающим звеном размерной цепи называют звено, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним при ее решении. Замыкающее звено обозначается  $A_{\Delta}$  (зазор между дистанционной втулкой 2 и стенкой корпуса 3 на рисунке 1.1). С целью особого выделения замыкающего звена оно показывается двойной размерной линией. Составляющее звено это звено, функционально влияющее на величину и погрешность замыкающего. По характеру влияния на величину замыкающего различают увеличивающие и уменьшающие составляющие звенья. Увеличивающее звено это составляющее звено ой цепи при увеличении, которого замыкающее звено увеличивается. Уменьшающее звено это составляющее звено размерной цепи при увеличении, которого замыкающее звено уменьшается (на рисунке 1.1  $A_1$  ширина шестерни 1 и  $A_2$  длина дистанционной втулки 2 – уменьшающие звенья;  $A_3$  расстояние между внутренними стенками корпуса 3 – увеличивающее). Графическое изображение размерной цепи показано на рисунке 1.2.

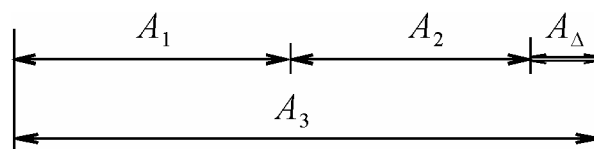


Рисунок 1.2 – Размерная цепь

В зависимости от области применения размерных цепей они разделяются на конструкторские, технологические и измерительные. Конструкторская размерная цепь – размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот между поверхностями или осями поверхностей в изделии. На рисунке 1.1 представлена конструкторская размерная цепь. Ее составляющими звеньями являются размеры деталей, входящих в сборочную единицу, в качестве замыкающего звена выступает расстояние между поверхностями различных деталей.

Технологическая размерная цепь – размерная цепь, обеспечивающая требуемое расстояние или относительный поворот между поверхностями изготавливаемого изделия при выполнении операции или ряда операций сборки, обработки, при на-

стройке станка, при расчете межпереходных размеров. Измерительная размерная цепь – размерная цепь, возникающая при определении расстояния или относительного поворота изделия. На рисунке 1.3 показана технологическая размерная цепь. Ее составляющими звеньями являются размеры элементов технологической системы (размер инструмента  $A_1$ , размер настройки станка  $A_2$ ), замыкающее звено – размер, обеспечиваемый в процессе обработки.

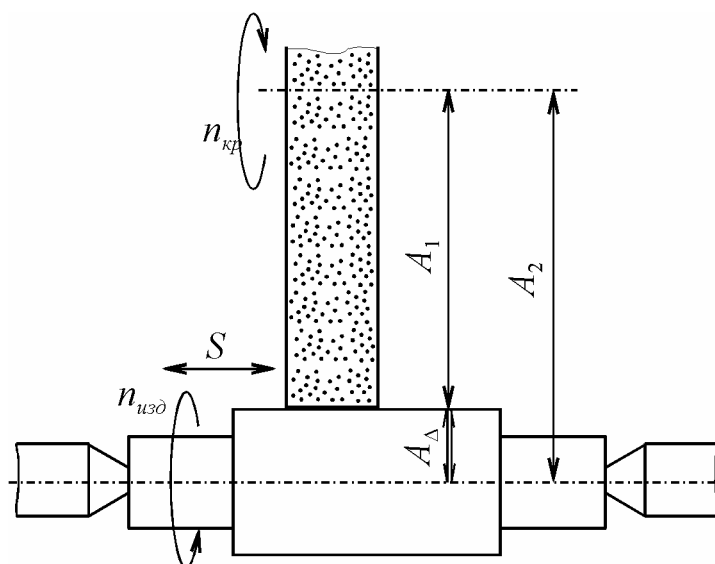


Рисунок 1.3 – Технологическая размерная цепь

По виду звеньев размерные цепи могут линейными или угловыми. В линейной размерной цепи звеньями являются линейные размеры. В угловой – угловые размеры.

В зависимости от расположения звеньев в пространстве размерные цепи разделяются на пространственные и плоские. У пространственной размерной цепи звенья расположены в непараллельных плоскостях. У плоской размерной цепи звенья расположены в одной плоскости или в нескольких параллельных плоскостях.

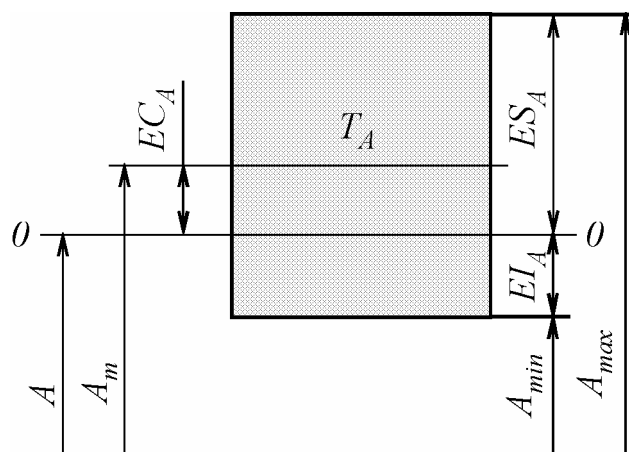
Вопросы для самопроверки:

- 1) Что такое размерная цепь?
- 2) Как разделяются размерные цепи по назначению?
- 3) Как разделяются размерные цепи по расположению звеньев в пространстве?

## 2 Задачи расчета размерных цепей

Существует несколько видов задач расчета размерных цепей. Прямая задача сводится к определению параметров составляющих звеньев при известном замыкающем. Обратная задача состоит в определении параметров замыкающего звена при известных составляющих. Прямая задача имеет бесчисленное множество решений, обратная – единственное. Решение этих задач основывается на двух способах решения: расчет на максимум-минимум и вероятностный. При расчете на максимум-минимум учитываются только предельные отклонения звеньев и самые неблагоприятные их сочетания. При расчете вероятностным методом учитываются рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений звеньев.

При расчете размерных цепей следует использовать соотношения между размерными параметрами звеньев, приведенные на рисунке 2.1.



$A$  – номинальное значение звена;

$A_{\min}$  – минимальное значение;

$A_{\max}$  – максимальное значение;

$A_m$  – среднее значение;

$T_A$  – допуск звена;

$ES_A$  – верхнее предельное отклонение;

$EI_A$  – нижнее предельное отклонение;

$EC_A$  – координата середины поля допуска.

Рисунок 2.1 – Размерные параметры звеньев



Определение номинала замыкающего звена размерной цепи производится по формуле

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} A_i \cdot \zeta_i, \quad (2.1)$$

где  $A_i$  - номинал составляющего звена;

$\zeta_i$  - передаточное отношение, характеризующее степень влияния  $i$  – того составляющего звена на величину замыкающего;

$m$  – общее число звеньев размерной цепи, включая замыкающее.

Для плоских размерных цепей с параллельными звеньями передаточное отношение принимает следующие значения: для увеличивающих звеньев  $\zeta_i = +1$ , для уменьшающих звеньев  $\zeta_i = -1$ .

Допуск замыкающего звена при расчете методом максимум - минимум

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} T_{A_i} |\zeta_i|, \quad (2.2)$$

где  $T_{A_i}$  - допуск составляющего звена.

Допуск замыкающего звена при расчете вероятностным методом

$$T_{A_{\Delta}} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} (T_{A_i}^2 \cdot \zeta_i^2 \cdot \lambda_i^2)}, \quad (2.3)$$

где  $t$  – коэффициент риска, который определяет вероятность выхода фактических значений замыкающего за пределы поля допуска;

$\lambda_i^2$  - относительное среднее квадратическое отклонение, коэффициент, характеризующий закон распределения размеров составляющего звена.

Некоторые значения  $t$  в зависимости от вероятности выхода значений замыкающего звена за пределы, установленные формулой (2.3),  $P$  приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Вероятность выхода значений замыкающего звена за пределы поля допуска в зависимости от коэффициента риска

$t$	1	1,65	2	2,57	3	3,29	3,89
$P, \%$	32	10	4,5	1	0,27	0,1	0,01

Значения относительного среднего квадратического отклонения,  $\lambda_i^2$ , в зависимости от закона распределения значений составляющего звена:

- нормальный закон распределения - 1/9;
- закон распределения Симпсона - 1/6;
- закон равной вероятности - 1/3.

Вероятностный метод расчета размерных цепей учитывает рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений звеньев. Он используется при расчете многозвенных размерных цепей, когда число составляющих звеньев в среднем превышает 4. То есть тогда, когда неблагоприятные сочетания размеров составляющих звеньев маловероятны. Например, маловероятно одновременное попадание в размерную цепь всех увеличивающих составляющих звеньев, имеющих максимальные значения, и всех уменьшающих составляющих звеньев, имеющих минимальные значения. При этом с увеличением числа звеньев такая вероятность уменьшается.

При использовании вероятностного метода предполагается, что распределение размеров замыкающего подчиняется нормальному закону распределения. Коэффициент риска при этом определяет ширину кривой нормального распределения, отводимую под поле допуска замыкающего звена в долях стандартного отклонения  $\sigma$ , (рисунок 2.5).

На рисунке 2.5 заштрихованные области характеризуют вероятность выхода значений замыкающего звена за пределы, установленные формулой 2.3.

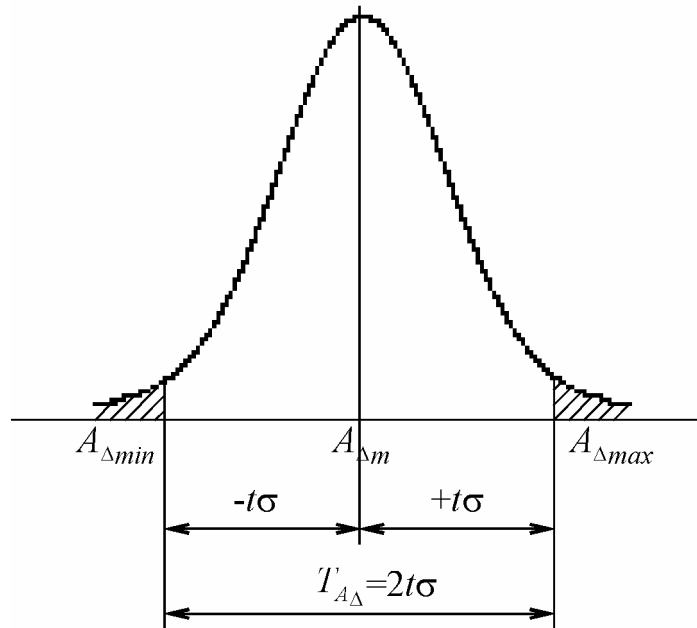


Рисунок 2.5 – Поле допуска замыкающего звена размерной цепи

Координата середины поля допуска замыкающего звена

$$EC_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} EC_{A_i} \cdot \zeta_i, \quad (2.4)$$

где  $EC_{A_i}$  - координата середины поля допуска составляющего звена.

Верхнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{A_{\Delta}} = EC_{A_{\Delta}} + T_{A_{\Delta}} / 2 \quad (2.5)$$

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$EI_{A_{\Delta}} = EC_{A_{\Delta}} - T_{A_{\Delta}} / 2 \quad (2.6)$$

В качестве примера рассмотрим решение обратной задачи расчета размерной цепи, приведенной на рисунках 2.1, 2.2.

Составляющие звенья:

$$- A_1 = 40_{-0,2}$$

$$- A_2 = 45 \pm 0,15$$

$$- A_3 = 87^{+0,4}$$

Номинальное значение замыкающего звена

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} A_i \cdot \zeta_i$$

$$A_{\Delta} = 40 \cdot (-1) + 45 \cdot (-1) + 87 \cdot (+1) = 2 \text{ мм}$$

Расчет методом максимум-минимум

Поле допуска замыкающего звена

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} T_{A_i} |\zeta_i|$$

$$T_{A_{\Delta}} = 0,2 + 0,3 + 0,4 = 0,9 \text{ мм.}$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена

$$EC_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} EC_{A_i} \cdot \zeta_i$$

$$EC_{A_{\Delta}} = (-0,1) \cdot (-1) + 0 \cdot (-1) + (+0,2) \cdot (+1) = +0,3 \text{ мм.}$$

Верхнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{A_{\Delta}} = EC_{A_{\Delta}} + T_{A_{\Delta}} / 2$$

$$ES_{A_{\Delta}} = 0,3 + 0,9 / 2 = 0,75 \text{ мм.}$$

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$EI_{A_{\Delta}} = EC_{A_{\Delta}} - T_{A_{\Delta}} / 2$$

$$EI_{A_{\Delta}} = 0,3 - 0,9 / 2 = -0,15 \text{ мм.}$$

Значение замыкающего звена при расчете методом максимум-минимум

$$A_{\Delta} = 2_{-0,15}^{0,75} \text{ .}$$

Расчет вероятностным методом

Значения расчетных коэффициентов:  $t = 3$ ;  $\lambda_i^2 = 1/9$ . Поле допуска замыкающего звена

$$T_{A_{\Delta}} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} (T_{A_i}^2 \cdot \zeta_i^2 \cdot \lambda_i^2)}$$
$$T_{A_{\Delta}} = 3 \sqrt{(0,2^2 + 0,3^2 + 0,4^2) \cdot 1/9} \approx 0,54 \text{ мм.}$$

Поле допуска замыкающего звена (зазора между дистанционной втулкой и стенкой корпуса, рисунок 1.1) при любых неблагоприятных сочетаниях размеров составляющих звеньев составляет 0,9 мм. С учетом рассеяния размеров деталей по нормальному закону распределения,  $\lambda_i^2 = 1/9$ , поле допуска замыкающего звена равно 0,54 мм. При этом за пределы этого допуска вероятно попадание 0,27 % значений замыкающего звена (таблица 2.1).

Верхнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{A_{\Delta}} = EC_{A_{\Delta}} + T_{A_{\Delta}} / 2$$
$$ES_{A_{\Delta}} = 0,3 + 0,54 / 2 = 0,57 \text{ мм.}$$

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$EI_{A_{\Delta}} = EC_{A_{\Delta}} - T_{A_{\Delta}} / 2 =$$
$$EI_{A_{\Delta}} = 0,3 - 0,54 / 2 = 0,03 \text{ мм.}$$

Значение замыкающего звена при расчете вероятностным методом

$$A_{\Delta} = 2_{-0,03}^{0,57} .$$

Решение прямой задачи расчета размерных цепей производится на основе тех же расчетных зависимостей (2.1 – 2.6). Уменьшения размерности задачи добиваются путем подбора значений составляющих звеньев и последующей проверки правильности решения.

Решение прямой задачи предполагает определение допусков составляющих звеньев размерной цепи. Для определения допусков могут быть использованы следующие способы: равных допусков, пробных расчётов, единого качества и с по-

мощью экономического обоснования. При проектных расчётах наиболее объективным является способ экономического обоснования, его недостаток – отсутствие на этапе проектирования точных исходных данных и относительная и трудоёмкость определения себестоимости.

Способ равных допусков применяют, если составляющие звенья размерной цепи являются величинами одного порядка (входят в один интервал размеров) и могут быть получены с одинаковой экономической точностью. Средний допуск составляющего звена определяется по формуле

$$T_{A_{иср}} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{m-1} \quad (2.7)$$

Способ равных допусков прост, но в большинстве случаев не применим, поскольку в реальных размерных цепях номинальные значения звеньев изменяются в достаточно большом диапазоне и имеют разную точность.

Способ пробных расчётов заключается в том, что на все составляющие звенья размерной цепи назначаются допуски, соответствующие средней экономической точности обработки с учётом условий работы детали и предполагаемого метода обработки. Предельные отклонения звеньев соответствуют конструкторской документации. Применение этого способа предполагает проведение многократных расчетов.

Способ единого качества заключается в том, что на все составляющие звенья размерной цепи назначаются допуски одного или двух соседних качеств. Необходимый качество определяют по числу единиц допуска. Значение единицы допуска может быть определено по следующей формуле

$$e = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,01D, \quad (2.8)$$

где  $D$  – среднегеометрическое значение размера интервала, в который попадает размер составляющего звена.

$$D = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}}, \quad (2.9)$$

где  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$  – границы интервала размеров.

Допуск составляющего звена выражается через единицу допуска и число единиц допуска, различное для квалитетов

$$T_A = a \cdot e, \quad (2.10)$$

где  $a$  – число единиц допуска.

При применении данного способа квалитет точности и число единиц допуска одинаково для всех звеньев, то при использовании метода расчета на максимум – минимум в соответствии с зависимостью (2.2)

$$T_{A_{\Delta}} = a \cdot e_1 + a \cdot e_2 + \dots + a \cdot e_{m-1}.$$

С учетом зависимости 2.8 получаем

$$a = \frac{T_{A_{\Delta}}}{\sum_{i=1}^{m-1} (0,45 \cdot \sqrt[3]{D_i} + 0,001D_i)} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{\sum_{i=1}^{m-1} e_i} \quad (2.11)$$

По значению  $a$  выбирается ближайший квалитет, по которому назначаются допуски. Значения единицы допуска  $e$  для стандартных интервалов размеров приведены в таблице 2.2. Квалитеты точности в зависимости от числа единиц допуска  $a$  выбираются по таблице 2.3.

Таблица 2.2 – Значения единицы допуска для интервалов размеров до 500 мм

Интервал размеров, мм	До 3	3 – 6	6 – 10	10 – 18	18 – 30	30 – 50	50 – 80
Значение $e$ , мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86

Продолжение таблицы 2.2

Интервал размеров, мм	80 – 120	120 – 180	180 – 250	250 – 315	315 – 400	400 – 500
Значение $e$ , мкм	2,17	2,52	2,90	3,23	3,54	3,89

Таблица 2.3 – Число единиц допуска для квалитетов точности

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Число единиц допуска	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400

Если в размерную цепь своими размерами включены стандартные детали (подшипники качения, стопорные кольца и т.п.), то величина допуска замыкающего звена в формулах 2.7 и 2.11 должна быть уменьшена на сумму допусков стандартных деталей. Число составляющих звеньев в этих формулах принимается меньшим на число стандартных деталей, входящих в размерную цепь.

$$T_{A_{icp}} = \frac{T_{A_{\Delta}} - \sum_{i=1}^{n_{cm}} T_{A_i}}{m - 1 - n_{cm}}, \quad (2.12)$$

где  $n_{cm}$  - число стандартных деталей.

$$a = \frac{T_{A_{\Delta}} - \sum_{i=1}^{n_{cm}} T_{A_i}}{\sum_{i=1}^{m-1-n_{cm}} (0,45 \cdot \sqrt[3]{D_i} + 0,001D_i)} = \frac{T_{A_{\Delta}} - \sum_{i=1}^{n_{cm}} T_{A_i}}{\sum_{i=1}^{m-1-n_{cm}} e_i} \quad (2.13)$$

При решении прямой задача расчета размерных цепей используются методы максимум - минимум и вероятностный. Обычно переход к вероятностному методу расчета производят при числе составляющих звеньев равном или большем пяти ( $m - 1 \geq 5$ ). На выбор метода расчета влияют также следующие факторы: точность составляющих звеньев, тип производства, особенности конструкции машины и др.

В качестве примера рассмотрим решение прямой задачи расчета размерной цепи (рисунки 2.1, 2.2.) методом максимум - минимум.

Значение замыкающего звена принято из условий свободного вращения и отсутствия значительных осевых перемещений деталей в сборочной единице. Номиналы составляющих звеньев устанавливаются конструктором исходя из расчетов на прочность, жесткость, принимаются из конструктивных соображений.

$$A_{\Delta} = 0_{0,1}^{0,4} \text{ мм}; A_1 = 50 \text{ мм}; A_2 = 30 \text{ мм}; A_3 = 80 \text{ мм}.$$



Для определения допусков составляющих звеньев воспользуемся способом равных допусков

$$T_{A_{icp}} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{m-1}$$

$$T_{A_{icp}} = \frac{0,3}{4-1} = 0,1 \text{ мм.}$$

Назначим координаты середин полей допусков составляющих звеньев  $A_1$  и  $A_3$  таким образом, чтобы допуски были направлены «в тело» детали

$$EC_{A_1} = -0,05 \text{ мм; } EC_{A_3} = +0,05 \text{ , мм.}$$

Определим координату середины поля допуска звена  $A_2$  из выражения 2.4

$$EC_{A_2} = \frac{EC_{A_{\Delta}} - \sum_{i=1}^{m-2} EC_{A_i} \cdot \xi_i}{\xi_2}$$

$$EC_{A_2} = \frac{0,25 - [(-0,05) \cdot (-1) + (0,05) \cdot (1)]}{-1} = -0,15 \text{ мм.}$$

Верхнее предельное отклонение составляющего звена  $A_2$

$$ES_{A_2} = EC_{A_2} + T_{A_2} / 2 =$$

$$ES_{A_2} = -0,15 + 0,1 / 2 = -0,1 \text{ мм.}$$

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{A_2} = EC_{A_2} - T_{A_2} / 2$$

$$ES_{A_2} = -0,15 - 0,1 / 2 = -0,2 \text{ мм.}$$

В результате решения прямой задачи расчета получаем значения составляющих звеньев

$$A_1 = 50_{-0,1} \text{ мм; } A_2 = 30_{-0,2}^{0,1} \text{ мм; } A_3 = 80^{0,1} \text{ мм.}$$

Для проверки правильности решения определим предельные значения замыкающего звена

$$A_{\Delta_{\max}} = -A_{1_{\min}} - A_{2_{\min}} + A_{3_{\max}}$$

$$A_{\Delta_{\max}} = -49,9 - 29,8 + 80,1 = 0,4 \text{ мм;}$$

$$A_{\Delta_{\min}} = -A_{1_{\max}} - A_{2_{\max}} + A_{3_{\min}}$$

$$A_{\Delta_{\min}} = -50,0 - 29,9 + 80,0 = 0,1 \text{ мм.}$$

Предельные значения соответствуют указанным в условии задачи.

При использовании способа равных допусков составляющие звенья размерной цепи имеют различную точность. В рассмотренном примере звенья  $A_1$  и  $A_2$  необходимо выполнить примерно по 10 квалитету, а звено  $A_3$  по 9 квалитету.

Воспользуемся для решения той же задачи способом равных квалитетов.

Определим среднее число единиц допуска по выражению (2.11), значения единиц допуска принимаем в соответствии с данными таблицы 2.2

$$a = \frac{T_{A_{\Delta}}}{\sum_{i=1}^{m-1} e_i}$$

$$a = \frac{300}{1,31 + 1,56 + 1,86} \approx 63$$

По таблице 2.3 принимаем ближайший 10 квалитет для допусков всех составляющих звеньев, значения допусков (таблица А.1 приложения А):

$$T_{A_1} = 0,10 \text{ мм; } T_{A_2} = 0,084 \text{ мм; } T_{A_3} = 0,12 \text{ мм.}$$

Уменьшим допуск звена  $A_2$ , таким образом, чтобы сумма допусков составляющих не превышала допуск замыкающего звена,  $T_{A_2} = 0,08$ . Назначим координаты середин полей допусков составляющих звеньев  $A_1$  и  $A_3$  таким образом, чтобы допуски были направлены «в тело» детали

$$EC_{A_1} = -0,05 \text{ мм; } EC_{A_3} = +0,06, \text{ мм.}$$

Определим координату середины поля допуска звена  $A_2$  из выражения (2.4)

$$EC_{A_2} = \frac{EC_{A_{\Delta}} - \sum_{i=1}^{m-2} EC_{A_i} \cdot \xi_i}{\xi_2}$$

$$EC_{A_2} = \frac{0,25 - [(-0,05) \cdot (-1) + (0,06) \cdot (1)]}{-1} = -0,14 \text{ мм.}$$

Верхнее предельное отклонение составляющего звена  $A_2$

$$ES_{A_2} = EC_{A_2} + T_{A_2} / 2$$

$$ES_{A_2} = -0,14 + 0,08 / 2 = -0,10 \text{ мм.}$$

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{A_2} = EC_{A_2} - T_{A_2} / 2$$

$$ES_{A_2} = -0,14 - 0,08 / 2 = -0,18 \text{ мм.}$$

В результате решения прямой задачи расчета получаем значения составляющих звеньев

$$A_1 = 50_{-0,10} \text{ мм}; A_2 = 30_{-0,18}^{0,10} \text{ мм}; A_3 = 80^{0,12} \text{ мм.}$$

Для проверки правильности решения определим предельные значения замыкающего звена

$$A_{\Delta_{\max}} = -A_{1_{\min}} - A_{2_{\min}} + A_{3_{\max}}$$

$$A_{\Delta_{\max}} = -49,9 - 29,82 + 80,12 = 0,4 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta_{\min}} = -A_{1_{\max}} - A_{2_{\max}} + A_{3_{\min}}$$

$$A_{\Delta_{\min}} = -50,0 - 29,9 + 80,0 = 0,1 \text{ мм.}$$

Предельные значения соответствуют указанным в условии задачи.

При вероятностном методе расчета возможно использование нескольких способов определения допусков составляющих звеньев – равных допусков, равных квалитетов, экономически обоснованных допусков.

При использовании метода равных допусков средний допуск составляющих звеньев определяется

$$T_{A_{cp}} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{t \sqrt{(m-1) \lambda_{cp}^2}}, \quad (2.14)$$

где  $\lambda_{cp}^2$  - среднее квадратическое отклонение.

При выполнении проектных расчетов, когда законы распределения размеров составляющих звеньев неизвестны, рекомендуется принимать  $t = 3$  и  $\lambda_{cp}^2 = 1/6$ , тогда формула (2.14) приводится к более простому виду

$$T_{A_{cp}} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{1,2\sqrt{(m-1)}} \quad (2.15)$$

При использовании метода равных квалитетов определяется число единиц допуска

$$a = \frac{T_{A_{\Delta}}}{t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} e_i^2 \cdot \lambda_i^2}}, \quad (2.16)$$

при  $t = 3$  и  $\lambda_{cp}^2 = 1/6$  формула (2.16) приводится к виду

$$a = \frac{T_{A_{\Delta}}}{1,22 \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} e_i^2}}. \quad (2.17)$$

Также как и при методе расчета на максимум – минимум допуски и координаты средин полей допусков назначаются на все составляющие звенья кроме одного, называемого компенсирующим. Суть дальнейшего расчета сводится к определению параметров компенсирующего звена и проверке правильности решения.

В данном учебном пособии не рассматриваются другие методы обеспечения требуемой точности замыкающего звена размерной цепи. Это объясняется тем, что методы групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования не используются в технологических размерных расчетах.

Вопросы для самопроверки:

- 1) В чем заключается сущность прямой и обратной задачи расчета?
- 2) Какие соотношения существуют между размерными параметрами звеньев?
- 3) Как определить номинал замыкающего звена размерной цепи?

4) Какие существуют методы определения погрешности замыкающего звена размерной цепи?

5) Как определяется координата середины поля допуска замыкающего звена размерной цепи?

6) Какова общая последовательность решения прямой задачи расчета?

7) Каким образом определяются допуски составляющих звеньев при использовании способа равных допусков?

8) Как определяются допуски составляющих звеньев при использовании способа равных квалитетов?

### **3 Технологические операционные размерные цепи**

Целью выполнения технологических размерных расчетов является обеспечение требуемого качества проектируемого технологического процесса при минимальном расходе материала. Эти цели достигаются за счет определения оптимальных размеров заготовки и операционных размеров. Одной из современных методик расчета припусков и операционных размеров является размерный анализ технологических процессов. Размерный анализ - совокупность методов увязки размерных параметров заготовки на всех стадиях технологического процесса, основанных на теории размерных цепей [2]. Технологический процесс, спроектированный с использованием размерного анализа, может быть внедрен в производство в сжатые сроки и с минимальным числом доработок.

В основе размерного анализа лежит решение проектных и проверочных задач расчета технологических операционных размерных цепей. Решая проектные задачи, исходя из окончательных размеров детали и структуры технологического процесса, определяют промежуточные операционные размеры и размеры заготовки. Существующие нормативные документы [1] не предусматривают решение задач подобного вида.

Решение проверочных задач при размерном анализе действующих или спроектированных технологических процессов позволяет по известным составляющим

звеньям определять характеристики замыкающих звеньев, После определения производится их сравнение с требуемыми значениями. Например, устанавливается достаточность припусков или определяется возможность получения чертежных размеров, непосредственно не выполняемых при обработке. По целям расчета и составу исходных данных проверочная задача расчета технологических операционных цепей совпадает с обратной задачей расчета цепей в соответствии с [1].

В основе решения данных задач лежит понятие технологической операционной размерной цепи. Технологические операционные размерные цепи – это размерные цепи, звеньями которых являются размерные параметры заготовки на разных стадиях ее обработки. Звеньями операционных размерных цепей могут быть размеры исходной заготовки, операционные размеры, припуски, радиусы цилиндрических поверхностей, отклонения расположения. Составляющими звеньями операционных размерных цепей являются размеры, подлежащие обязательному исполнению (указания об этом приводятся в технологической документации). Замыкающими (то есть зависимыми по номинальным значениям и допускам от составляющих) являются размеры, получающиеся за счет исполнения составляющих звеньев (указания об их исполнении в технологической документации не приводятся).

Простейшая операционная размерная цепь появляется при обработке плоскости. Производится черновое фрезерование верхней плоскости корпусной детали, установочной технологической базой является нижняя плоскость. В результате обработки снимается припуск и образуется новая плоскость (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Простейшая операционная размерная цепь

Технологическую операционную размерную цепь образуют: размер заготовки до обработки  $A_1$ , операционный размер  $A_2$  и припуск  $Z$ . Размеры  $A_1$  и  $A_2$  являются размерами, подлежащими обязательному исполнению, то есть составляющими звеньями операционной размерной цепи. Замыкающим звеном  $A_\Delta$  этой размерной цепи является припуск  $Z$ , так как его величина и погрешность зависят от величин и погрешностей составляющих звеньев. При проектировании нового технологического процесса возникает необходимость решения проектной задачи расчета размерных цепей. При этом определяется неизвестное составляющее звено, исходя из известных значений прочих составляющих звеньев и исходного значения замыкающего звена.

В рассмотренном примере известным составляющим является размер  $A_2$ , полученный в результате обработки и соответствующий размеру детали. Его точность соответствует принятому методу обработки. Неизвестным по номиналу составляющим звеном - размер заготовки  $A_1$ , допуск данного размера обеспечивается при получении заготовки. Величина припуска  $Z$  - замыкающее звено  $A_\Delta$ , заданное своим минимальным исходным значением, зависящим от состояния поверхности заготовки до обработки. Исходным условием для определения размера заготовки  $A_1$  является достаточность припуска на обработку.

В некоторых случаях в качестве замыкающего звена технологической операционной размерной цепи выступает конструкторский размер детали, точность которого обеспечивается за счет исполнения других размеров. Пример появления размерной цепи с таким замыкающим звеном приведен на рисунке 3.2.

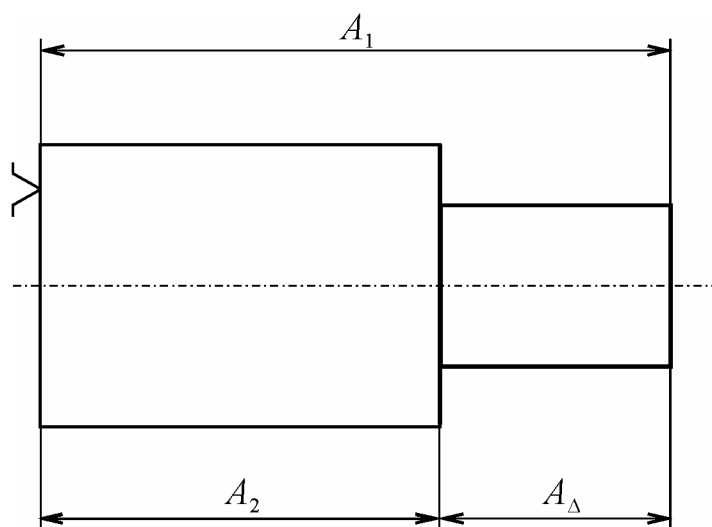
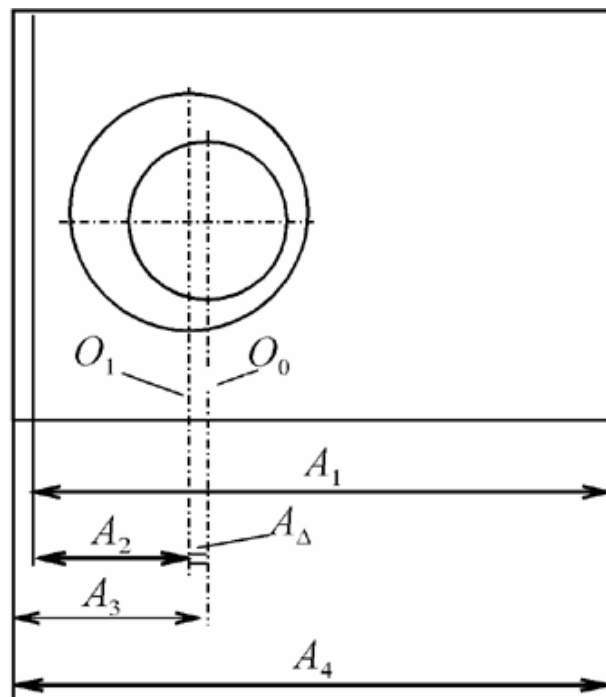


Рисунок 3.2 – Размерная цепь с замыкающим звеном конструкторским размером детали

При обработке среднего торца вала технологической базой является левый торец заготовки. При этом размер  $A_2$  обеспечивается с определенной точностью, зависящей от точности данной технологической операции. Размер  $A_1$  получен на предыдущей операции или на стадии получения исходной заготовки. Размер  $A_3$ , указанный на чертеже детали, непосредственно в ходе технологического процесса не обеспечивается, он получается за счет размеров  $A_1$  и  $A_2$ , то есть является замыкающим  $A_\Delta = A_3$ . Решение проектной задачи расчета для такой технологической операционной размерной цепи заключается в определении неизвестного составляющего звена  $A_2$ , исходя из условия получения требуемой точности замыкающего звена  $A_\Delta$ .

Третья разновидность технологической операционной размерной цепи появляется при необходимости определения неизвестного координатного размера  $A_3$ , определяющего положение пролитого или прошитого отверстия в исходной заготовке (рисунок 3.3). Исходным условием для определения неизвестного составляющего звена является обеспечение равномерности припуска при обработке отверстия.





$O_0$  – ось отверстия до обработки;

$O_1$  – ось отверстия после обработки.

Рисунок 3.3 – Операционная технологическая размерная цепь с замыкающим звеном смещением осей

Замыкающим звеном в этом случае является звено  $A_{\Delta}$  - смещение осей отверстия до и после обработки. Минимальная неравномерность припуска будет получена, если его номинальное значение будет равно нулю.

Таким образом, в зависимости от вида замыкающего звена существует три разновидности проектной задачи расчета технологических операционных размерных цепей (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Разновидности проектной задачи расчета

Замыкающее звено	Цель расчета
Припуск	Обеспечить достаточность припуска на обработку
Размер детали	Обеспечить требуемую точность размера детали
Смещение осей	Обеспечить минимальную неравномерность припуска при обработке отверстия

Вопросы для самопроверки:

- 1) Каковы основные цели размерного анализа технологических процессов?
- 2) Что такое операционная технологическая размерная цепь?
- 3) Какие существуют разновидности задач расчета операционных технологических размерных цепей?

#### 4 Звенья технологических операционных размерных цепей

Звеньями технологических операционных размерных цепей являются размерные параметры заготовки на всех стадиях технологического процесса. Составляющими звеньями являются размеры (рисунок 4.1):

- определяющие расстояния между поверхностями –  $A$ ;
- размеры цилиндрических поверхностей –  $D$ ;
- размеры между осями цилиндрических поверхностей, в том числе и отклонения от соосности –  $E$ ;
- расстояния от осей цилиндрических поверхностей до поверхностей (координатные размеры) –  $K$ .

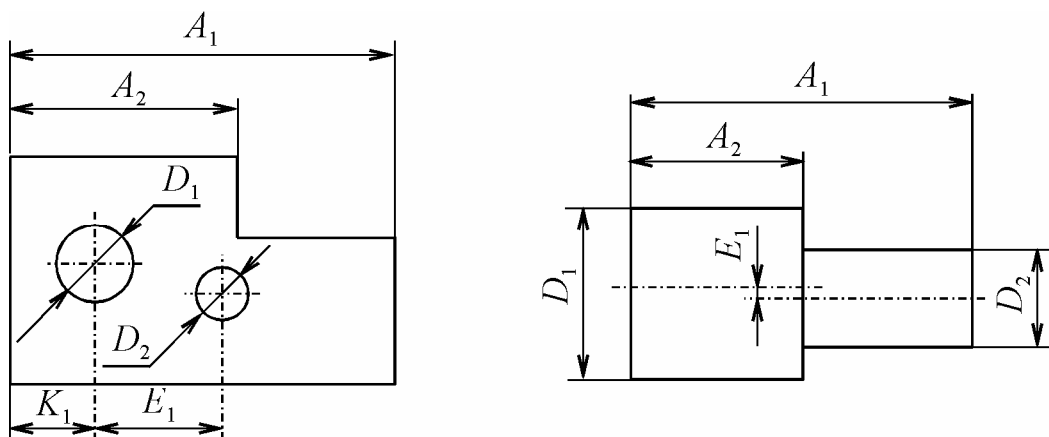


Рисунок 4.1 – Различные виды составляющих звеньев технологических операционных размерных цепей

К числу составляющих звеньев относятся указанные на рисунке 4.1 размеры, том случае, если их точность не зависит от точности других размеров, то есть обес-

печивается непосредственно в ходе технологического процесса. Такими составляющими звеньями могут быть размеры исходной заготовки и операционные (межпереходные) размеры. Среди них необходимо выделить два вида – известные своим номинальным значением и неизвестные. Известными составляющими звеньями обычно являются линейные размеры  $A$ , диаметральные размеры  $D$  и координатные размеры  $K$ , полученные в результате окончательной обработки и соответствующие размерам детали по чертежу. К числу известных также относятся размеры между осями цилиндрических поверхностей  $E$  независимо от стадии обработки, на которой они получены. Прочие составляющие звенья относятся к неизвестным, их значения определяются в процессе расчета размерных цепей.

С целью сокращения числа расчетных зависимостей диаметральные размеры заменяют радиусами, рисунок 4.2. При этом номинальные значения и предельные отклонения радиусных размеров получают делением соответствующих параметров диаметральных размеров на два. После окончания расчетов производят обратное преобразование.

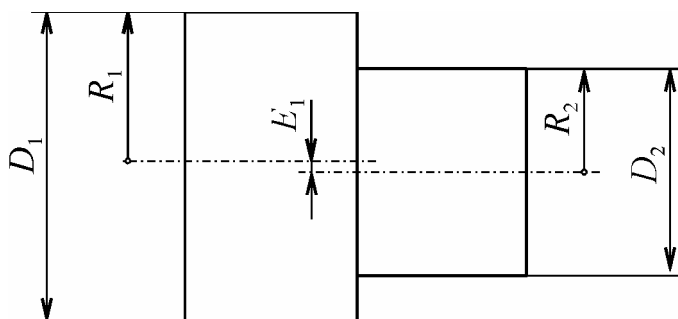


Рисунок 4.2 – Замена диаметральных размеров радиусами цилиндрических поверхностей

Допуски составляющих звеньев операционных технологических размерных цепей определяются способом их получения. Для составляющих звеньев, являющихся размерами исходных заготовок, допуски определяются по следующим стандартам:

- для отливок по ГОСТ 26645 – 85;
- для поковок стальных штампованных по ГОСТ 7505 – 89;

– для заготовок из круглого горячекатаного проката по ГОСТ 2590 – 2006.

Сведения по допускам некоторых видов заготовок приведены в приложении Б.

Допуски размеров, получаемых механической обработкой определяются по формуле

$$T = \omega + \rho_u + \varepsilon_o \quad (4.1)$$

где  $\omega$  - средняя точность обработки;

$\rho_u$  - пространственные отклонения измерительной базы;

$\varepsilon_o$  - погрешность базирования.

Средняя точность обработки – точность, получаемая в нормальных производственных условиях. Значения средней точности обработки приведены в [2, 6], а также в приложении В. Изменение размера  $A$  происходит не только из-за погрешностей характеризующих принятый метод обработки, но и из-за наличия пространственных отклонений измерительной базы, рисунок 4.3.

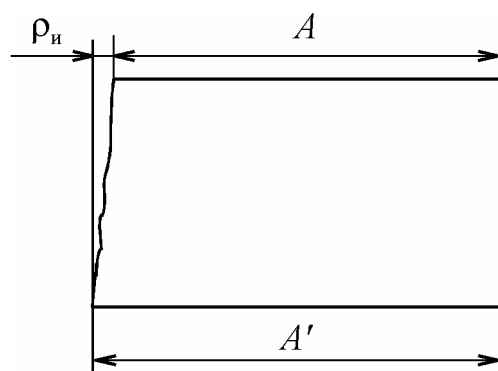


Рисунок 4.3 – Включение в допуск пространственных отклонений измерительной базы

Значения пространственных отклонений измерительной базы особенно велики для поверхностей исходной заготовки. После обработки величина остаточных пространственных отклонений составляет от 6 % до 8 % от имевшихся на заготовке. В то же время значения средней точности обработки приводятся в большом диапазоне, например, точность, получаемая черновым точением, лежит в пределах от 12 до 14

квалитета точности, то есть различается в 2,5 раза. Это делает возможным исключение величины  $\rho_u$  из формулы (4.1), в тех случаях измерительная база обработана, хотя бы однократно. Величины пространственных отклонений поверхностей исходных заготовок и пространственные отклонения поверхностей, полученные в результате механической обработки, приведены в [2, 3, 6] и в приложении Г. При назначении допусков на размеры цилиндрических поверхностей величины  $\rho_u$  и  $\varepsilon_\sigma$  из формулы (4.1) исключаются.

На величину размера  $A$ , получаемого в результате механической обработки, влияет также неопределенность положения заготовки из-за погрешности базирования. Так положение левого торца вала, установленного на «жесткий» передний центр, зависит от «просадки» центров  $\Delta_{ц}$  (колебаний глубины центрального гнезда), определяющего величину погрешности базирования, рисунок 4.4. Погрешность базирования равна нулю при совпадении технологической и измерительной баз, а также в случае обработки методом пробных рабочих ходов. Погрешность базирования определяется, исходя из принятой схемы установки заготовки. Ее значения указаны в приложении В.

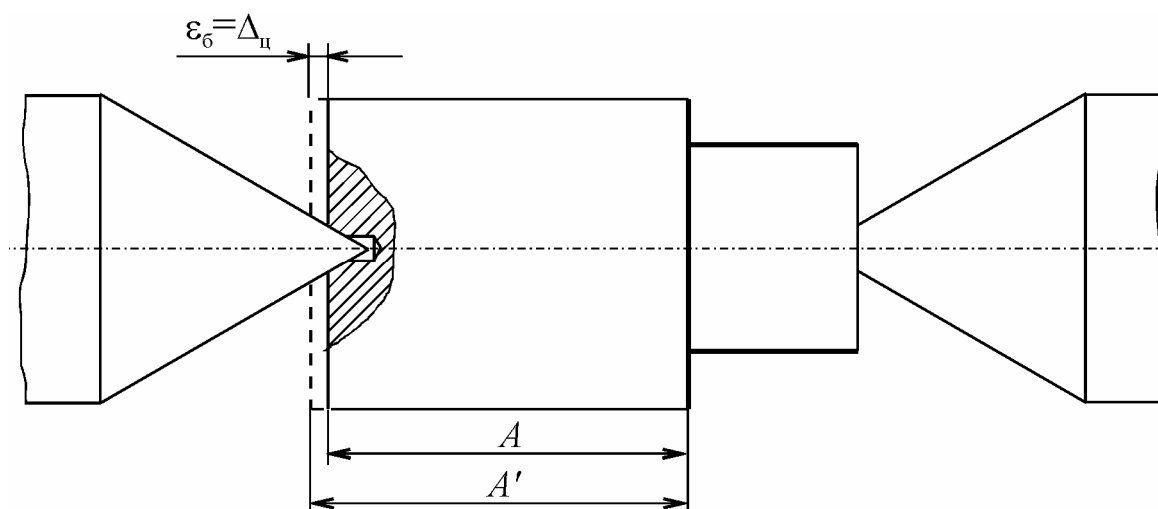


Рисунок 4.4 – Влияние на величину размера погрешности базирования

Предельные отклонения составляющих звеньев, образующихся в технологическом процессе, следует назначать в «тело» заготовки. Для отверстий – в плюс, для

валов – в минус. Координаты осей отверстий и отклонения от соосности имеют симметричные предельные отклонения. Точность размеров, координирующих оси цилиндрических поверхностей (точность межцентровых расстояний и отклонения от соосности), получаемых в процессе механической обработки приведены в [6] и в приложении В.

Замыкающие звенья технологических размерных цепей – это звенья припуски; размеры детали, непосредственно не получающиеся в технологическом процессе; звенья смещения осей отверстий. Для звеньев припусков исходной величиной является минимальное значение. Минимальный припуск на обработку поверхности определяется по формуле

$$z_{\min_i} = R_{z_{i-1}} + H_{i-1} + \rho_{i-1}, \quad (4.2)$$

где  $R_{z_{i-1}}$  - высота микронеровностей поверхности, мкм;

$H_{i-1}$  - глубина дефектного слоя, мкм;

$\rho_{i-1}$  - пространственные отклонения поверхности, мкм.

Величины, входящие в формулу (4.2) должны соответствовать состоянию поверхности до обработки. Значения составляющих минимального припуска приведены в [2, 3] и в приложении Г. Глубина дефектного слоя не должна учитываться для заготовок из чугуна и литейной бронзы после однократной обработки поверхности, а также для любых металлов после термообработки.

Звенья припуски, чаще всего, являются замыкающими звеньями технологических размерных цепей, но в некоторых случаях они относятся к составляющим звеньям. Например, когда обрабатываемая поверхность является технологической базой, рисунок 4.5. Для определения положения прутковой заготовки, обрабатываемой на токарно-револьверном автомате, используется правый торец. После отвода упора производится подрезка этого торца, При этом припуск, снимаемый с поверхности, зависит только от настройки положения упора и подрезного резца, и не зависит от каких либо других размеров, то есть является составляющим звеном. Цель та-

кой обработки состоит в снятии с торца необходимого припуска, обеспечивающего качество обработанной поверхности.

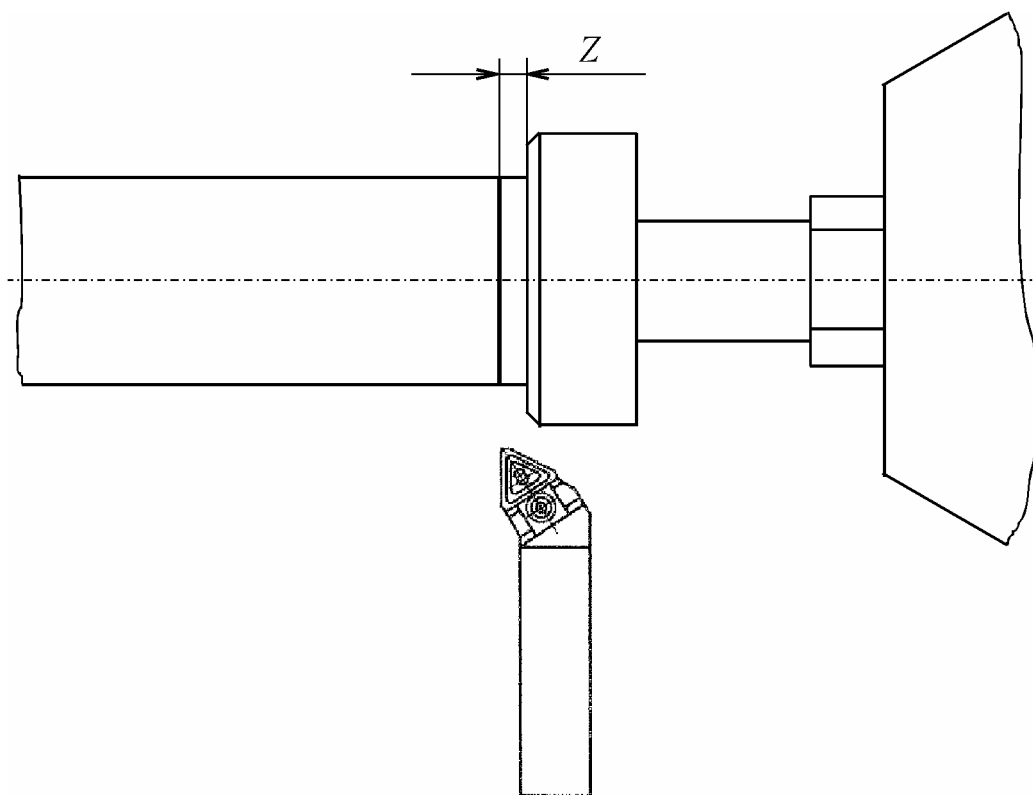


Рисунок 4.5 – Образование припуска как составляющего звена

Припуски также являются составляющими звеньями технологических операционных размерных цепей, когда производится обработка с определенной величиной снимаемого слоя. Это характерно для отделочных методов обработки, производимых в пределах высоты микронеровностей – полирование, суперфиниш, притирка, доводка и т.д. Номинальное значение припуска как составляющего звена размерной цепи определяется его минимальным значением, определяемым по формуле 4.2. Верхнее предельное отклонение принимается равным допуску соответствующего метода обработки.

Для звеньев размеров и звеньев смещения осей исходной величиной является среднее значение. Параметры замыкающих звеньев размеров устанавливаются чертежом детали.

Вопросы для самопроверки:

- 1) Какие звенья технологических операционных размерных цепей относятся к составляющим?
- 2) С какой целью производится замена диаметральных размеров радиусными?
- 3) Какими слагаемыми определяется допуск составляющего звена технологической размерной цепи?
- 4) В каких случаях в величину допуска включаются пространственные отклонения измерительной базы?
- 5) В каких случаях припуск является составляющим звеном?

## **5 Расчет технологических операционных размерных цепей**

Решение проектной задачи расчета возможно, если в технологической операционной размерной цепи содержится только одно составляющее звено с неизвестным номиналом. Расчеты производятся, используя средние значения звеньев, в последовательности, определяемой алгоритмами расчета.

### **5.1 Алгоритм решения проектной задачи с замыкающим звеном припуском**

Колебание припуска при расчете на максимум-минимум

$$\omega_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_{A_i}, \quad (5.1)$$

где  $\omega_{A_i}$  - погрешность (допуск)  $i$ -того составляющего звена.

Формула (5.1) используется при расчете размерной цепи, содержащей небольшое число звеньев (от 3 до 5). При большем числе звеньев следует использовать вероятностный метод, формула (5.2).



Колебание припуска при расчете вероятностным методом

$$\omega_{A_\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \omega_{A_i}^2 \cdot \lambda_i^2}, \quad (5.2)$$

Среднее значение замыкающего звена припуска

$$A_{\Delta_m} = Z_{\min} + \frac{\omega_{A_\Delta}}{2}, \quad (5.3)$$

где  $Z_{\min}$  - минимальный припуск.

Среднее значение составляющего звена с неизвестным номиналом

$$A_{x_m} = \frac{\sum (A_{\Delta_m} - \sum_{i=1}^{m-2} A_{i_m} \cdot \xi_i)}{\xi_x}, \quad (5.4)$$

где  $A_{i_m}$  - среднее значение  $i$ -того известного составляющего звена;

$\xi_i, \xi_x$  - передаточное отношение  $i$ -того известного и неизвестного составляющих звеньев.

Номинальное значение составляющего звена с неизвестным номиналом

$$A_x = A_{x_m} - EC_{A_x}, \quad (5.5)$$

где  $EC_{A_x}$  - координата середины поля допуска определяемого звена.

Округление расчетных номиналов следует производить таким образом, чтобы оно вызвало увеличение замыкающего звена припуска. В некоторых случаях необходимо корректировать расчетные номиналы до значений, соответствующих стандартным размерам осевого инструмента, или до стандартных размеров проката.

## 5.2 Алгоритм решения проектной задачи с замыкающим звеном размером

Фактическая погрешность замыкающего звена размера при расчете на максимум-минимум определяется в зависимости от применяемого метода расчета по формулам (5.1, 5.2).

Проверка возможности получения требуемой точности замыкающего звена размера

$$\omega_{A_{\Delta}} \leq T_{A_{\Delta}}, \quad (5.6)$$

где  $T_{A_{\Delta}}$  - допуск размера, установленный чертежом детали.

Невыполнение условия (5.6) свидетельствует о том, что технологический процесс не обеспечивает требуемой точности. Расчет размерной цепи далее производить не следует, в проектируемый технологический процесс необходимо внести изменения с целью его улучшения:

- уменьшить допуски составляющих звеньев за счет выбора более точных методов обработки, за счет увеличения числа технологических переходов;
- расширить допуск замыкающего звена после анализа служебного назначения детали и по согласованию с конструкторскими службами;
- изменить последовательность обработки;
- изменить схему простановки размеров детали или технологического процесса;
- выбрать другие технологические базы.

При выполнении условия (5.6) расчет размерной цепи может быть продолжен.

Среднее значение замыкающего звена размера

$$A_{\Delta_m} = \frac{A_{\Delta_{\max}} + A_{\Delta_{\min}}}{2}, \quad (5.7)$$

где  $A_{\Delta_{\max}}$  - максимальное значение замыкающего звена размера по чертежу детали;

$A_{\Delta_{\min}}$  - минимальное значение замыкающего звена размера по чертежу детали.

Среднее и номинальное значение неизвестного составляющего звена определяется по формулам (5.4, 5.5). Округление расчетных номиналов производится так, чтобы округление привело к наименьшему изменению замыкающего звена.

В технологической операционной размерной цепи с замыкающим звеном смещением осей исходным значением замыкающего звена является его среднее значение, поэтому расчет производится в таком же порядке. При этом выполнение условия (5.6) не проверяется. Номинал замыкающего звена принимается равным нулю, а его отклонения принимаются симметричными, например:  $0 \pm 3$ .

В качестве примера рассмотрим расчет операционной размерной цепи с замыкающим звеном припуском  $Z$ , (рисунок 5.1).

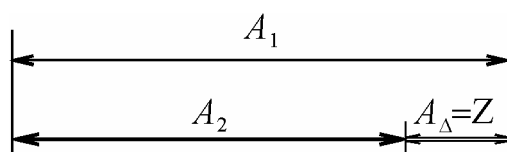


Рисунок 5.1 – Размерная цепь с замыкающим звеном припуском  $Z$

Исходные данные:

- минимальное значение замыкающего звена припуска -  $Z_{\min} = A_{\Delta_{\min}} = 0,695$  мм;
- известное составляющее звено –  $A_2 = 80_{-0,19}$ ;
- неизвестное составляющее -  $A_1 = A_{x(-0,43)}$ .

Колебание припуска

$$\omega_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_{A_i}$$

$$\omega_{A_{\Delta}} = 0,43 + 0,19 = 0,62 \text{ мм}$$

Среднее значение замыкающего звена

$$A_{\Delta_m} = A_{\Delta_{\min}} + \frac{\omega_{A_{\Delta}}}{2}$$
$$A_{\Delta_m} = 0,695 + \frac{0,62}{2} = 1,005 \text{ мм.}$$

Среднее значение составляющего звена с неизвестным номиналом

$$A_{x_m} = \frac{A_{\Delta_m} - \sum_{i=1}^{m-2} A_{i_m} \cdot \xi_i}{\xi_x}$$
$$A_{x_m} = \frac{1,005 - 79,905 \cdot (-1)}{1} = 80,91 \text{ мм.}$$

Номинальное значение составляющего звена с неизвестным номиналом

$$A_x = A_{x_m} - EC_{A_x}$$
$$A_x = 80,91 - (-0,215) = 81,125 \text{ мм.}$$

После округления до знака отклонений в большую сторону получаем:

$$A_x = 81,13 \text{ мм.}$$

Расчет размерной цепи с замыкающим звеном размером. Возникновение такой размерной цепи иллюстрируется рисунком 3.2. Конфигурация размерной цепи показана на рисунке 5.2.

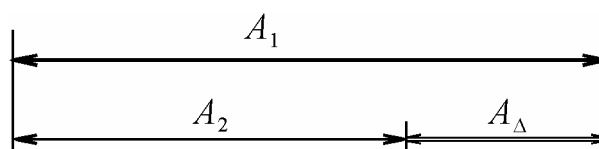


Рисунок 5.2 – Размерная цепь с замыкающим звеном размером

Исходные данные:

$$- A_1 = 100 \pm 0,2 ;$$

$$- A_{\Delta} = 40_{-0,4} ;$$

$$- A_2 = A_{x(-0,2)}.$$

Фактическая погрешность замыкающего звена

$$\omega_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_{A_i} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ мм.}$$

Проверка условия обеспечения требуемой точности замыкающего звена размера

$$\omega_{A_{\Delta}} = 0,6 > T_{A_{\Delta}} = 0,4$$

Фактическая погрешность замыкающего звена больше его допуска, установленного чертежом детали, то есть требуемая точность замыкающего звена размера не обеспечивается. Для того чтобы условие обеспечения требуемой точности замыкающего звена размера выполнялось, следует внести в проектируемый технологический процесс или в конструкторскую документацию изменения. Можно уменьшить допуски составляющих звеньев за счет введения дополнительной чистовой обработки, например длину вала (размер  $A_1$ ) получать с допуском 0,2 мм ( $A_1 = 100 \pm 0,1$ ). Также можно по согласованию с конструктором, если это не вступает в противоречие со служебным назначением детали, расширить допуск размера  $A_{\Delta}$  до 0,6 мм. Наконец, можно изменить схему обработки таким образом, чтобы все размеры детали получались бы непосредственно в ходе технологического процесса. В рассматриваемом случае можно изменить схему базирования заготовки, приняв в качестве опорной базы правый торец заготовки (рисунок 5.3).

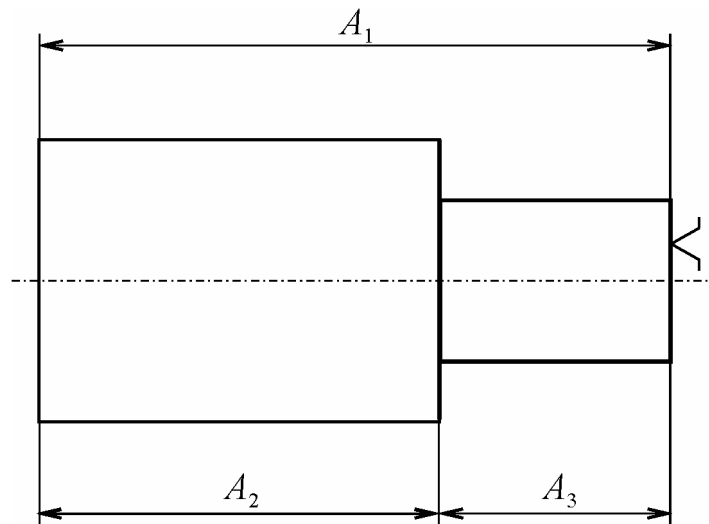


Рисунок 5.3 – Измененная схема обработки

При такой схеме обработки размер  $A_3$  будет получаться непосредственно от технологической базы, его точность определяется только точностью данной технологической операцией. Данный размер не является замыкающим звеном.

Из возможных вариантов корректировки технологического процесса выбираем уменьшение допуска известного составляющего звена  $A_1$  ( $A_1 = 100 \pm 0,1$ ).

Среднее значение замыкающего звена

$$A_{\Delta_m} = \frac{A_{\Delta_{\max}} + A_{\Delta_{\min}}}{2}$$

$$A_{\Delta_m} = \frac{40,0 + 39,6}{2} = 39,8 \text{ мм.}$$

Среднее значение составляющего звена с неизвестным номиналом

$$A_{x_m} = \frac{A_{\Delta_m} - \sum_{i=1}^{m-2} A_{i_m} \cdot \xi_i}{\xi_x}$$

$$A_{x_m} = \frac{39,8 - 100,0 \cdot (+1)}{-1} = 60,2 \text{ мм.}$$

Номинальное значение составляющего звена с неизвестным номиналом

$$A_x = A_{x_m} - EC_{A_x}$$
$$A_x = 60,2 - (-0,1) = 60,3 \text{ мм.}$$

Округление расчетного номинала не требуется.

$$A_x = 60,3_{-0,2} \text{ мм.}$$

Вопросы для самопроверки:

- 1) Какова последовательность расчета размерной цепи с замыкающим звеном припуском?
- 2) Какова последовательность расчета размерной цепи с замыкающим звеном размером?
- 3) Как следует округлять расчетные номиналы?
- 4) Как проверяется возможность обеспечения требуемой точности проектируемого
- 5) Как производится корректировка технологического процесса?

## **6 Подготовка исходных данных для размерного анализа**

Подготовка исходных данных сводится к уточнению данных, содержащихся в чертеже детали, в технологическом процессе. Требуется также установить значения минимальных припусков на обработку и значения операционных допусков. Ввиду большой трудоемкости размерного анализа он, как правило, выполняется с применением ЭВМ. Для представления размерной информации в виде, удобном для автоматизации размерных расчетов на ЭВМ, поверхности детали нумеруются (идентифицируются) числами не кратными десяти. Номер оси цилиндрической поверхности получается при увеличении номера этой поверхности в 10 раз. При автоматизированных расчетах номерам и осям присваивают знаки плюс и минус. Знак плюс присваивается внутренним цилиндрическим поверхностям и их осям, а также леворас-

положенным плоскостям детали. Знак минус - наружным цилиндрам и их осям, а также праворасположенным плоскостям. Пример обозначения поверхностей приведен на рисунке 6.1.

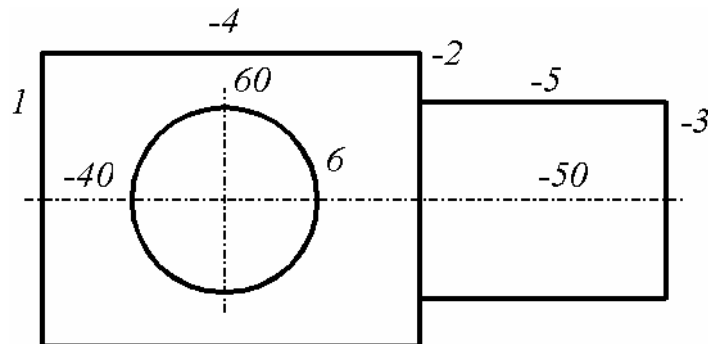


Рисунок 6.1 - Обозначение поверхностей и осей детали

Поверхности заготовки и поверхности, возникающие в ходе технологического процесса, обозначаются двойным числом, первое соответствует номеру той же поверхности у детали, второе - показывает, сколько раз обрабатывалась данная поверхность.

При работе на ЭВМ обозначения поверхностей заготовки и технологического процесса производятся программно, а система обозначений используется при расшифровке результатов расчета:

- 10 - первая поверхность, принадлежащая исходной заготовке;
- 201 - ось второй цилиндрической поверхности после ее однократной обработки;
- 113, 1103 - одиннадцатая цилиндрическая поверхность, прошедшая трехкратную обработку и ее ось;

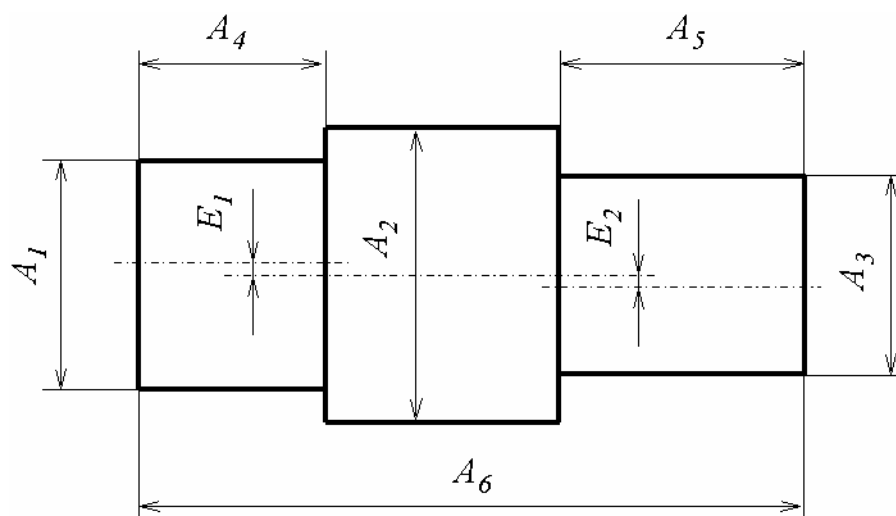
Обозначение размерных параметров удобно производить с использованием данных идентификаторов:

- $A(10 - 20)$  - размер, связывающий поверхности 10 и 20;
- $T(10 - 20)$  - допуск размера  $A(10 - 20)$ ;
- $Z(10 - 11)$  - припуск на обработку десятой поверхности;



-  $E(100 - 200)$  - отклонение от соосности осей 100 и 200 цилиндрических поверхностей 10 и 20.

При подготовке чертежа детали и исходной заготовки необходимо проверить правильность простановки размеров. Число размеров и способ их простановки должен однозначно определять положение всех поверхностей и осей. Необходимое и достаточное число размеров должно быть на единицу меньше общего числа поверхностей и осей по каждому координатному направлению. Как правило, рабочие чертежи деталей содержат не все размеры, необходимые для однозначного представления конфигурации детали. Часть размеров, таких как, отклонения от соосности и симметричности, указаны в неявном виде. При проведении размерного анализа необходимо считать, что каждая цилиндрическая поверхность имеет собственную ось. Это требует дополнения чертежа "подразумеваемыми" размерами. Например, для вала, имеющего три ступени, на конструкторском чертеже обычно указываются 3 диаметральные размера и иногда некоторые отклонения от соосности (радиальные биения), существенно влияющие на исполнение деталью ее служебного назначения. В соответствии с ранее изложенным правилом в диаметральном направлении необходимо иметь 5 размеров: 3 диаметральные размера ( $A_1, A_2, A_3$ ) и 2 отклонениями от соосности ( $E_1, E_2$ ). Для однозначного определения положения 4 торцовых поверхностей необходимо и достаточно 3 размеров ( $A_4, A_5, A_6$ ), рисунок 6.2.



## Рисунок 6.2 - Простановка размеров на чертеже вала

При подготовке технологического процесса к размерному анализу необходимо конкретизировать каждый технологический переход и указать все образующиеся размерные связи. В качестве операционных размеров необходимо проставлять размеры, величины и погрешность исполнения которых зависит только от выполняемого перехода. При обработке плоской поверхности необходимо указать величину припуска и один размер (либо до технологической базы, либо до ранее полученной в этом же установе поверхности или оси). При обработке цилиндрической поверхности, обычно, указывается три размерные связи; припуск, положение новой оси (координата или отклонение от соосности) и радиус обработанной поверхности. При обработке путем снятия напуска происходит образование новой поверхности, не имевшиеся до обработки, величина припуска в этом случае не указывается.

При выполнении размерных расчетов следует определить значения параметров размерных связей. Для операционных размеров необходимо определить допускаемые отклонения, зависящие либо от точности исходной заготовки, либо от точности используемого метода обработки.

Для определения неизвестных операционных размеров необходимо выявить размерные цепи и произвести их расчет. Для формирования размерных цепей необходимо иметь технологический документ, отражающий размерные связи технологического процесса. Чаще всего, в качестве такого документа используется размерная схема технологического процесса, которая достаточно наглядно отображает динамику изменения и взаимосвязи размеров на различных этапах обработки заготовки.

Вопросы для самопроверки:

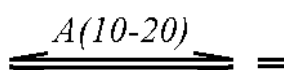
- 1) Как производится идентификация поверхностей и осей детали?
- 2) Как обозначаются поверхности и оси заготовки, получаемые в ходе технологического процесса?
- 3) В чем заключается уточнение данных детали?
- 4) Какие из размеров детали, чаще всего, являются «подразумеваемыми»?

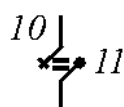
## 7 Построение размерных схем технологического процесса

Размерные схемы позволяют вскрыть размерные связи в проектируемом технологическом процессе, то есть дают возможность сформировать технологические размерные цепи. Размерные схемы строятся отдельно для каждой из координатных осей деталей, для того чтобы получить плоские размерные цепи с параллельными звеньями. При построении размерных схем учитываются лишь те переходы, которые участвуют в формировании размеров по данной координате. Для технологических процессов изготовления тел вращения строятся две размерных схемы: схема диаметральных размеров и отклонений от соосности и схема продольных размеров. Для корпусных деталей производится построение трех размерных схем для каждой из координатных осей. При построении размерных схем используются следующие условные обозначения:

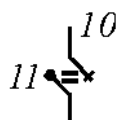
 - составляющие звенья с неизвестным номиналом;

 + - составляющие звенья с известным номиналом;

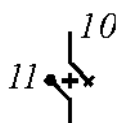
 = - замыкающие звенья;



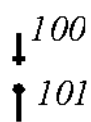
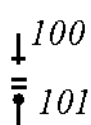
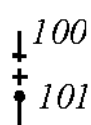
- технологический переход, заключающийся в удалении припуска Z (10-11) с поверхности 10 и появлении новой поверхности 11 (новая поверхность расположена правее, припуск – замыкающее звено);



- технологический переход, заключающийся в удалении припуска Z (10-11) с поверхности 10 и появлении новой поверхности 11 (поверхность расположена левее, припуск – замыкающее звено);



- технологический переход, заключающийся в удалении припуска Z (10-11) с поверхности 10 и появлении новой поверхности 11 (поверхность расположена левее, припуск – составляющее звено);

- 
 - появления новой оси 101 цилиндрической поверхности взамен старой 100;
- 
 - появление новой оси 101 цилиндрической поверхности взамен старой 100 (оси связаны замыкающим звеном – смещением осей);
- 
 - появление новой оси 101 цилиндрической поверхности взамен старой 100, являющейся технологической базой (оси связаны составляющим звеном с известным номиналом). Ось обрабатываемой цилиндрической поверхности является технологической базой, например, при протягивании или развертывании плавающей разверткой.

Нанесение на схеме размерных связей производится между вертикалями, соответствующими поверхностям и осям детали. Обозначение вертикалей (поверхностей) должно соответствовать идентификаторам поверхностей. Порядок расположения точек и вертикалей должен соответствовать реальному относительному расположению поверхностей и осей детали. Данные точки обозначаются как поверхности заготовки (идентификационный номер поверхности с нулем). Построение размерной схемы производят в последовательности выполнения технологических переходов, начиная от заготовки до детали. Сначала точками указываются поверхности и оси, имеющиеся на исходной заготовке. Затем указываются размеры заготовки, их число должно быть на единицу меньше числа имеющихся поверхностей и осей. Положение всех поверхностей заготовки должно быть однозначно определено. Затем между вертикалями указываются размерные связи, получающиеся в ходе технологического процесса (припуски, размеры, отклонения от соосности и др.). Положение поверхностей и осей, образующихся в результате обработки, должно быть однозначно определено. Как правило, вновь образованную поверхность или ось следует связывать с технологической базой. Возможно также задавать положение вновь образованной поверхности или оси с поверхностью или осью, полученной в той же технологической операции без переустановки заготовки. В результате обработки каждой из по-

верхностей ее номер увеличивается на единицу. После описания последнего перехода оставляется место для возможных замыкающих звеньев размеров, а затем на тех же вертикалях наносятся размеры детали.

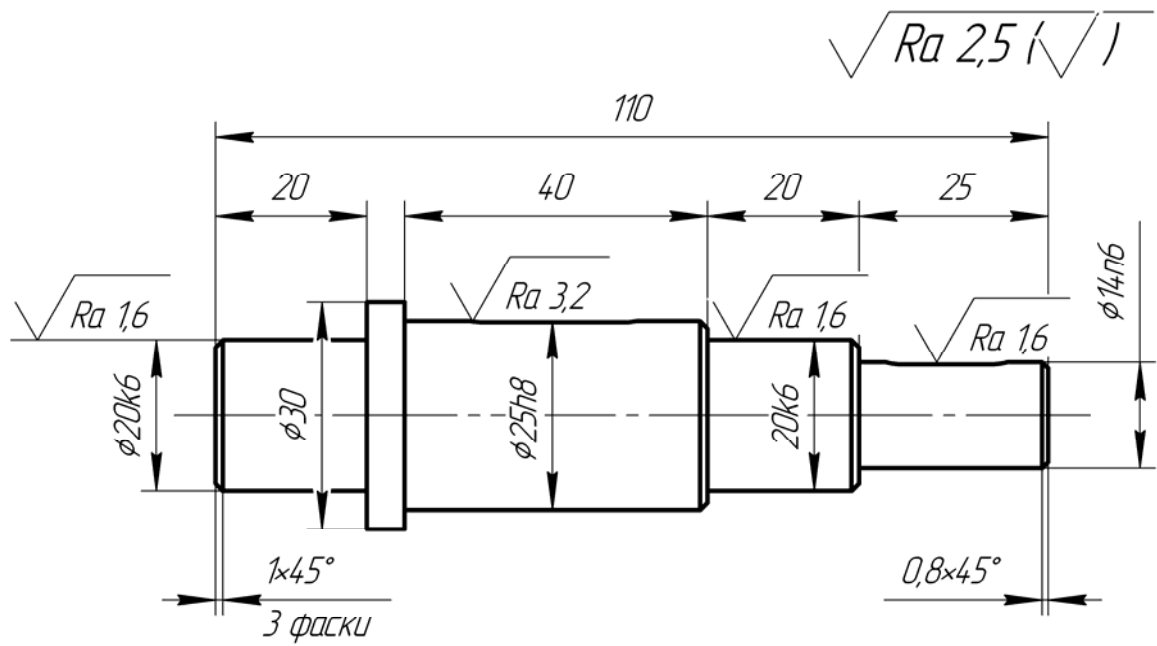
Следующим этапом построения размерной схемы является определение известных составляющих звеньев. К известным составляющим звеньям относятся:

- расстояния между осями;
- расстояния между осями и плоскостями, прошедшими окончательную обработку;
- расстояния между окончательно обработанными плоскостями.

Дополнительным условием для отнесения составляющих звеньев к числу известных является возможность получения соответствующих размеров из размеров детали без пересчета, (они должны присутствовать на чертеже детали).

Выявление замыкающих звеньев размеров производится путем сопоставления размеров детали с известными составляющими звеньями. Если какой-либо размер детали не получается в технологическом процессе как известное составляющее звено, то в размерную схему добавляется соответствующее замыкающее звено размер. При правильном построении размерной схемы число замыкающих звеньев равно числу неизвестных составляющих. Это дает возможность однозначного решения проектной задачи расчета размерных цепей.

Рассмотрим построение размерных схем для технологического процесса изготовления детали «Вал», рисунок 7.1.



Неуказанные предельные отклонения: H14, h14, Js14/2

Рисунок 7.1 – Вал

Кодирование поверхностей и осей вала приведено на рисунке 7.2, маршрут обработки в таблице 7.1.

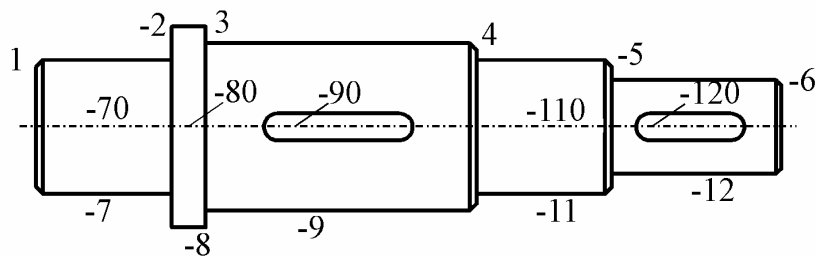
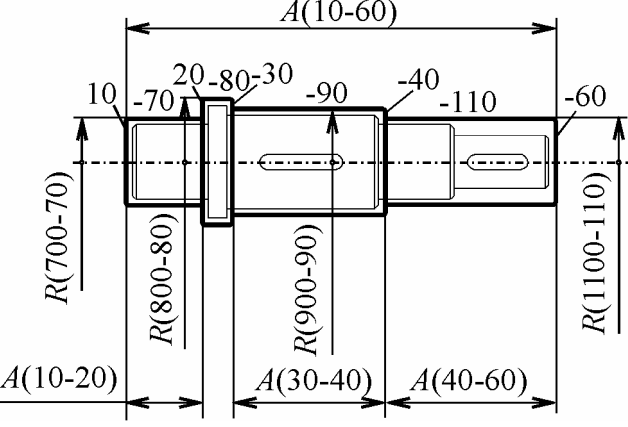
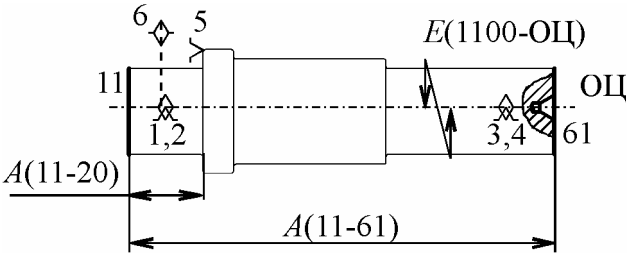
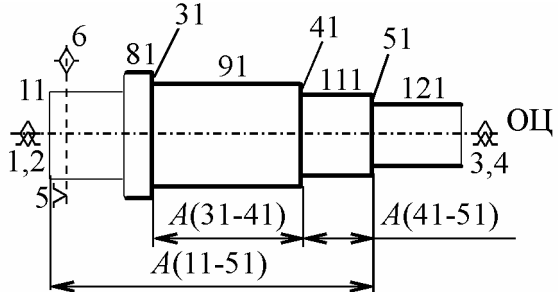
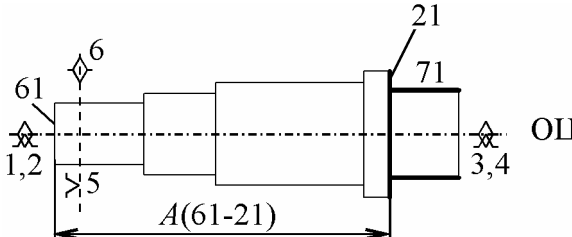
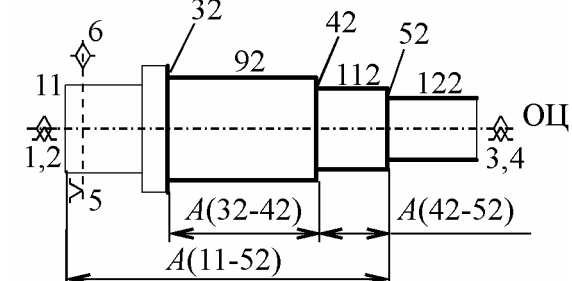
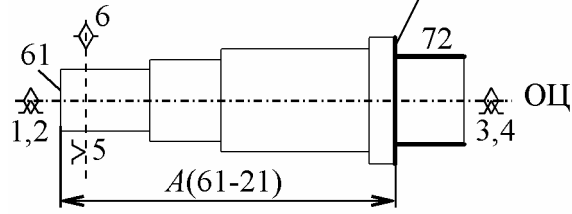
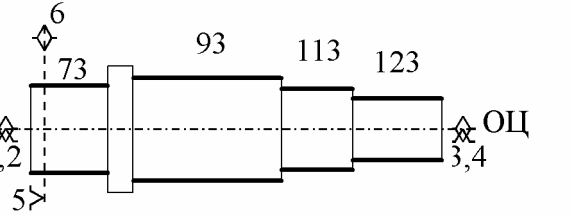


Рисунок 7.2 – Кодирование поверхностей и осей вала

Таблица 7.1 – Технологический процесс изготовления вала

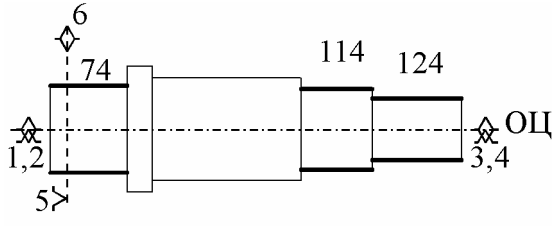
Этапы технологического процесса	Операционный эскиз, размерные параметры
<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">Исходная заготовка</p>	<p style="text-align: center;">2</p> 
<p>Операция 005 Фрезеровать торцы 11, 61 Центровать</p>	
<p>Операция 010 Точить поверхности 121, 111, 91, 81 с подрезкой торцов 51, 41, 31</p>	 <p><math>R(801-81), R(901-91), R(1101-111), R(1201-121)</math>  <math>E(801-ОЦ), E(901-ОЦ), E(1101-ОЦ), E(1201-ОЦ)</math>  <math>Z(110-111), Z(90-91), Z(80-81),</math>  <math>Z(50-51), Z(40-41), Z(30-31)</math></p>

Продолжение таблицы 7.1

1	2
<p>Операция 015 Точить поверхность 71 с подрезкой торца 21</p>	 <p><math>R(701-71), E(701-ОЦ), Z(70-71), Z(20-21)</math></p>
<p>Операция 020 Точить поверхности 122, 112, 92 с подрезкой торцов 52, 42, 32</p>	 <p><math>R(902-92), R(1102-112), R(1202-122)</math> <math>E(902-ОЦ), E(1102-ОЦ), E(1202-ОЦ)</math> <math>Z(121-122), Z(111-112), Z(91-92),</math> <math>Z(51-52), Z(41-42), Z(31-32)</math></p>
<p>Операция 025 Точить поверхность 72 с подрезкой торца 22</p>	 <p><math>R(702-72), E(702-ОЦ), Z(71-72), Z(21-22)</math></p>
<p>Операция 030 Шлифовать поверхности 123, 113, 93, 73</p>	 <p><math>R(703-73), R(903-93), R(1103-113), R(1203-123)</math> <math>E(703-ОЦ), E(903-ОЦ), E(1103-ОЦ), E(1203-ОЦ)</math> <math>Z(122-123), Z(112-113), Z(92-93), Z(72-73)</math></p>



Продолжение таблицы 7.1

1	2
<p>Операция 035 Шлифовать поверхности 124, 114, 74</p>	 <p><math>R(704-74), R(1104-114), R(1204-124)</math>  <math>E(704-ОЦ), E(1104-ОЦ), E(1204-ОЦ)</math>  <math>Z(123-124), Z(113-114), Z(73-74)</math></p>

Построение схемы линейных размеров начинается с вычерчивания эскиза заготовки и идентификации ее поверхностей, рисунок 7.3. Затем, на горизонтальной линии на равных расстояниях наносится 6 точек, соответствующих торцовым поверхностям вала. Поверхности, имеющиеся на исходной заготовке (10, 20, 30, 40, 60), отмечаются жирными точками. На вертикальных линиях, проведенных из всех точек, наносятся размеры исходной заготовки. Для однозначного определения размеров заготовки необходимо и достаточно задать число размеров на единицу меньшее числа поверхностей заготовки – 4 размера:  $A(10-20), A(30-40), A(40-60), A(10-60)$ .

Следующим этапом построения размерной схемы является включение в размерную схему размерных связей технологического процесса. Сначала в операции 005 производится обработка торца заготовки 10. В результате снятия припуска образуется новая поверхность 11. При этом необходимо указать следующие размерные связи: припуск  $Z(10-11)$  - замыкающее звено, размер  $A(11-20)$ , определяющий положение вновь образовавшейся поверхности относительно технологической базы - составляющее звено. Припуск и размер наносятся на размерную схему с использованием условных обозначений. Аналогично описывается обработка плоскости 61, на размерную схему наносится припуск  $Z(61-60)$  и размер  $A(11-61)$ . Обозначение припуска должно производиться от левой к правой поверхности. На операции 010 обрабатываются цилиндрические поверхности с одновременной подрезкой соответствующих торцовых поверхностей. Следует отметить, что переходы, связанные с обработкой цилиндров, на линейной размерной схеме не отражаются. В результате об-

работки торцов образуется поверхность 51. В данном случае производится обработка путем снятия напуска (поверхности до обработки не было). При этом величина припуска не указывается. Положение поверхности, обрабатываемой первой (51) задается до технологической базы (11). В размерную схему добавляются размер  $A(11-51)$ . При обработке в той же операции торцов 41, 31 в схему добавляются следующие размерные связи: припуски  $Z(41-40)$ ,  $Z(31-30)$ ; линейные размеры  $A(41-51)$ ,  $A(31-41)$ . Данные размеры определяют положение обработанных поверхностей до поверхностей, полученных ранее при той же установке заготовки. Они могли быть заданы и относительно технологических баз. После обработки в 015 операции торца 21 в размерную схему добавляются: припуск  $Z(20-21)$  и размер до технологической базы  $A(21-61)$ . При чистовой обработке торцовых поверхностей в операциях 020, 025 принята та же схема простановки операционных размеров, что и на операциях 010, 015. Размерная схема дополняется восемью связями: припусками  $Z(52-51)$ ,  $Z(42-41)$ ,  $Z(32-31)$ ,  $Z(21-20)$ ; линейными размерами  $A(11-52)$ ,  $A(42-52)$ ,  $A(32-42)$ ,  $A(22-61)$ . На шлифовальных операциях 030, 035 изменения линейных размеров не происходит, поэтому при построении размерной схемы они не учтены.

После описания последнего перехода необходимо оставить место для возможных замыкающих звеньев размеров и на тех же вертикалях нанести размеры детали с ее чертежа.

Далее необходимо выявить известные составляющие звенья. К числу известных составляющих звеньев относятся:  $A(11-61)$ ,  $A(42-52)$ ,  $A(32-42)$ . Данные размеры связывают окончательно полученные поверхности и имеются на чертеже детали.

Из сопоставления конструкторских размеров детали с известными составляющими звеньями следует, что размеры детали  $A(11-22)$ ,  $A(52-61)$  не получены непосредственно в ходе технологического процесса (этих размеров нет в числе известных составляющих). Размерную схему необходимо дополнить соответствующими замыкающими звеньями размерами. Число замыкающих звеньев и число неизвестных составляющих одинаково, что свидетельствует о правильности построения размерной схемы.

Полученная размерная схема представлена на рисунке 7.3

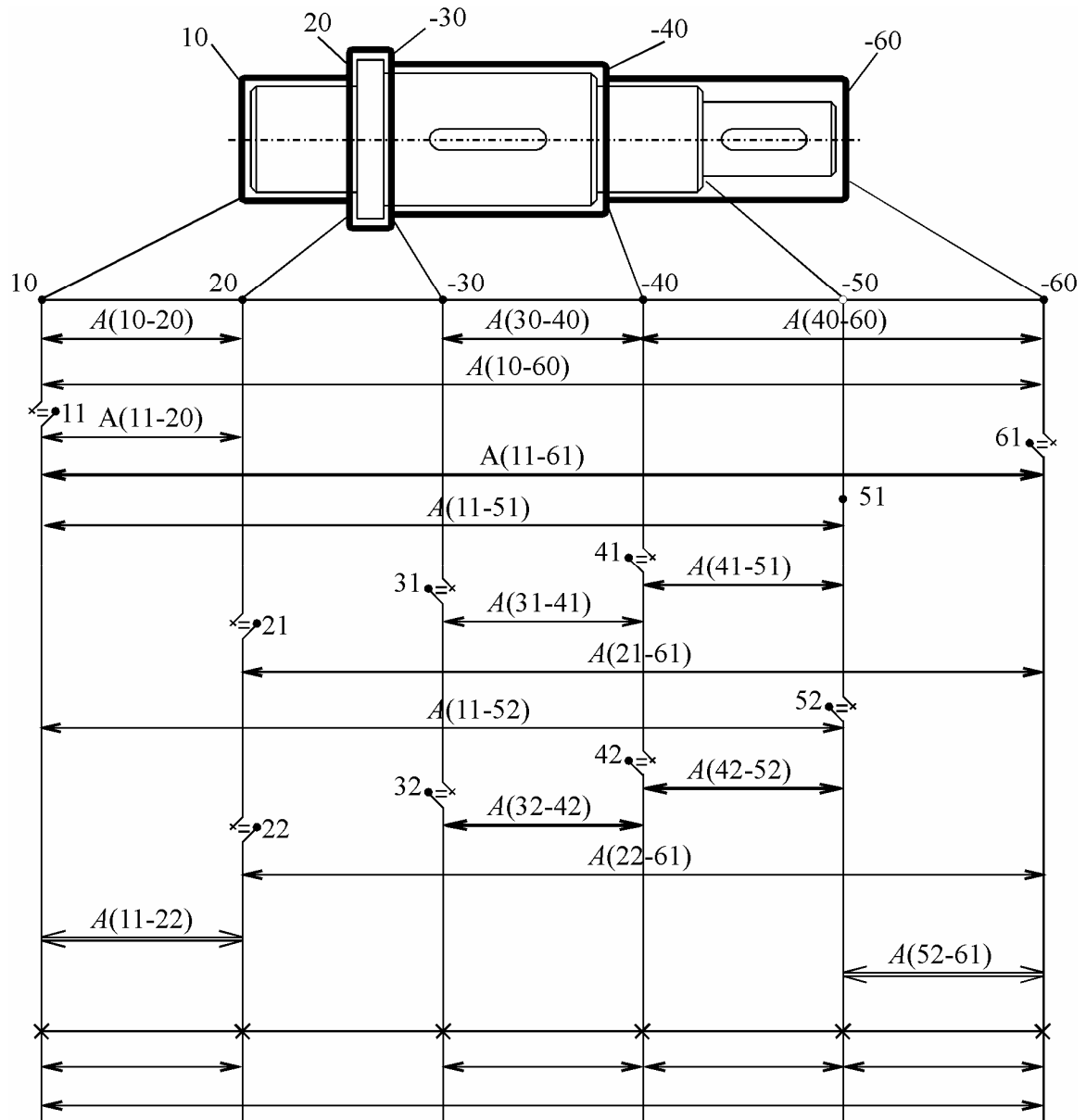


Рисунок 7.3 – Размерная схема линейных размеров

Построение схемы диаметральных размеров и отклонений от соосности начинается с вычерчивания эскиза заготовки (ось вала занимает вертикальное положение) и идентификации ее поверхностей, рисунок 7.4. Затем, на горизонтальной линии на равных расстояниях наносится 11 точек по числу цилиндрических поверхностей вала и их осей, а также оси центровых гнезд, используемой в качестве технологической базы. Все цилиндрические поверхности номинально соосны, поэтому порядок расположения поверхностей безразличен. Сначала указывается ось, а затем соответствующая ей цилиндрическая поверхность.

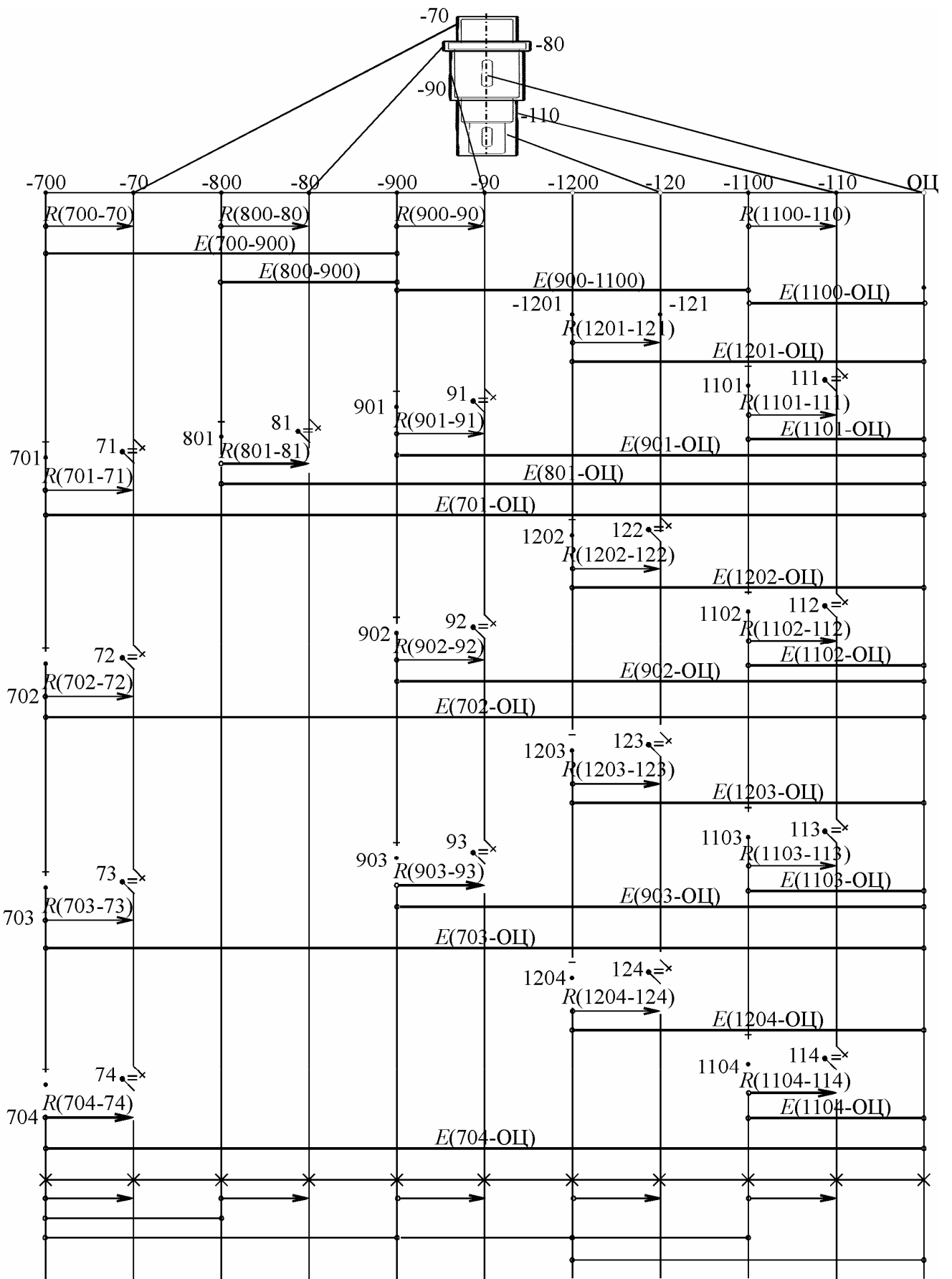


Рисунок 7.4 – Размерная схема диаметральных размеров

Ось центровых гнезд рекомендуется располагать справа и обозначать «ОЦ». Поверхности, имеющиеся на исходной заготовке (70, 80, 90, 110), отмечаются жирными точками. На вертикальных линиях, проведенных из всех точек, наносятся размеры исходной заготовки. Для однозначного определения размеров заготовки необходимо и достаточно семи размеров (на единицу меньше числа поверхностей и осей заготовки) – 4 радиуса:  $R(700-70)$ ,  $R(800-80)$ ,  $R(900-90)$ ,  $R(1100-110)$  и 3 отклонения от соосности:  $E(700-900)$ ,  $E(800-900)$ ,  $E(900-1200)$ .

Следующим этапом построения размерной схемы является включение в размерную схему размерных связей технологического процесса. Сначала в операции 005 производится образование центровых отверстий, ОЦ. Положение оси центров задается отклонением от соосности  $E(1100-ОЦ)$ , ось 1100 является технологической базой. В операции 010 обработка шейки 121, производится путем снятия напуска (поверхность отсутствует на заготовке). При этом необходимо указать следующие размерные связи: радиус  $R(1201-121)$ , отклонение от соосности  $E(1201-ОЦ)$ . При обработке шеек 111, 91, 81, имевшихся на заготовке, образуются припуски:  $Z(111-110)$ ,  $Z(91-90)$ ,  $Z(81-80)$ ; радиусы:  $R(1101-111)$ ,  $R(901-91)$ ,  $R(801-81)$  и отклонения от соосности:  $E(1101-ОЦ)$ ,  $E(901-ОЦ)$ ,  $E(801-ОЦ)$ . Обработка цилиндрических поверхностей вала в остальных технологических операциях отражается на размерной схеме единообразно – в результате обработки образуется соответствующее замыкающее звено припуск  $Z$ , радиус  $R$  и отклонение от соосности  $E$ . При этом положение всех осей цилиндрических поверхностей определяется отклонениями от соосности относительно оси центров ОЦ. В соответствии с технологическим процессом (таблица 6.1) шейки вала 7, 11 и 12 обрабатываются 4 раза, шейка 9 – 3 раза и шейка 8 – 1 раз.

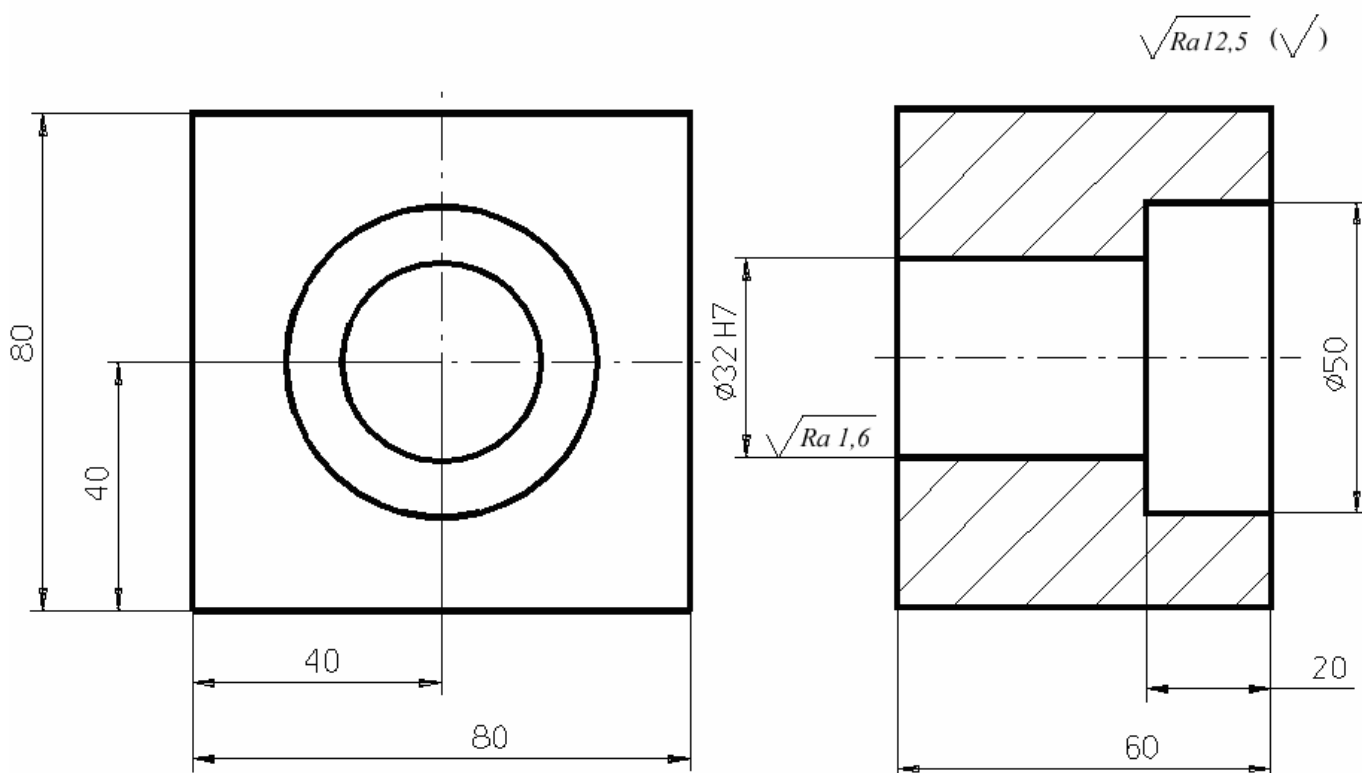
После описания последнего перехода необходимо оставить место для возможных замыкающих звеньев размеров и на тех же вертикалях нанести размеры детали с ее чертежа.

Далее необходимо выявить известные составляющие звенья. К числу известных составляющих звеньев относятся радиусы цилиндрических поверхностей после их окончательной обработки:  $R(801-81)$ ,  $R(903-93)$ ,  $R(704-74)$ ,  $R(1104-114)$ ,  $R(1204-124)$ . Известными составляющими являются также все отклонения от соосности, на-

чина от исходной заготовки до последнего технологического перехода. Данные размеры связывают окончательно полученные поверхности и их оси или две оси. Они либо имеются на чертеже детали, либо могут быть получены без пересчета из размеров детали.

Как правило, все конструкторские размеры детали (радиусы и отклонения от соосности) получают непосредственно в ходе технологического процесса. Необходимость дополнения размерной схемы замыкающими звеньями размерами отсутствует. Равенство числа замыкающих звеньев и числа неизвестных составляющих одинаково свидетельствует о правильности построения размерной схемы.

Рассмотрим построение размерной схемы для технологического процесса изготовления корпусной детали по одной из координатных осей, рисунок 7.5.



*Неуказанные предельные отклонения h14, H14, Js14/2*

Рисунок 7.5 – Корпусная деталь

Обозначение поверхностей и осей детали произведено в соответствии с правилами, изложенными в разделе 6, рисунок 7.6.

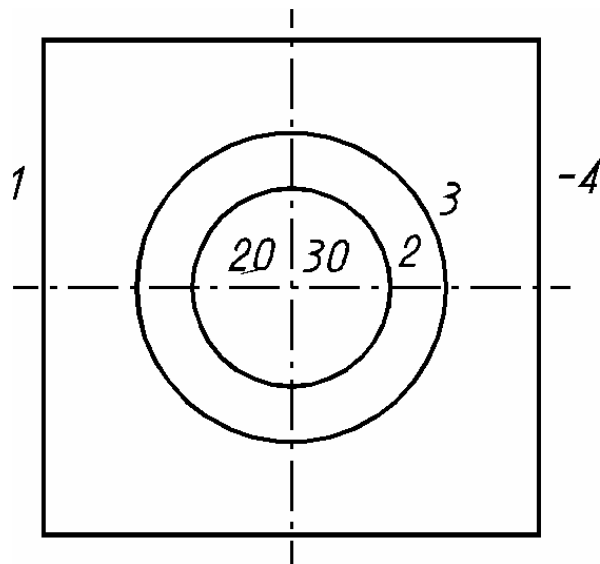


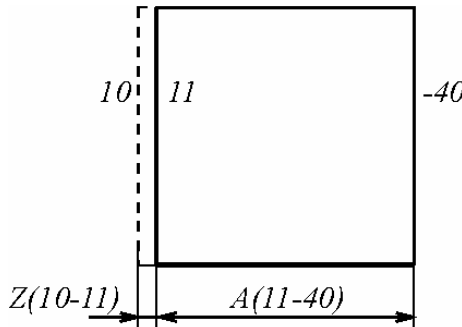
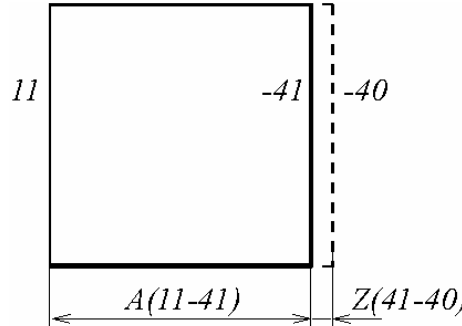
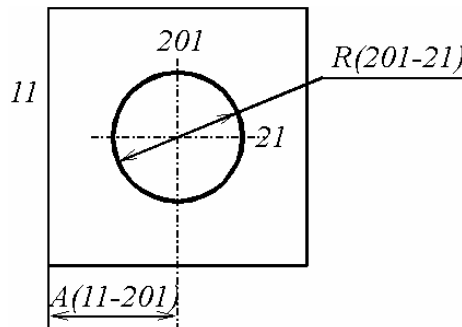
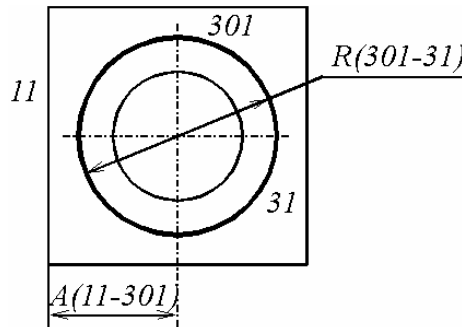
Рисунок 7.6 – Кодирование поверхностей и осей детали

Технологический процесс изготовления данной детали с исходными данными приведен в таблице 7.2. Исходная заготовка - отливка 8-го класса размерной точности по ГОСТ 26645-85\*, материал - чугун СЧ20. Чертеж детали содержит информацию в неявном виде: предполагается, что отверстия номинально соосны. Систему размеров детали необходимо дополнить отклонением от соосности отверстий 20 и 30.

Таблица 7.2 – Технологический процесс изготовления корпусной детали

Этапы технологического процесса	Операционный эскиз
1	2
Исходная заготовка	

Продолжение таблицы 7.2

1	2
Фрезеровать плоскость 11	
Фрезеровать плоскость 41	
Сверлить отверстие 21	
Расточить отверстие 31	



Продолжение таблицы 7.2

1	2
Зенкеровать отверстие 22	
Развернуть отверстие 23 предварительно	
Развернуть отверстие 24 окончательно	

Построение размерной схемы начинается с вычерчивания эскиза заготовки и идентификации ее поверхностей. Затем, на горизонтальной линии на равных расстояниях наносится 6 точек, соответствующих поверхностям и осям детали. Относительное положение поверхностей и осей отверстий должно строго соответствовать их расположению на детали (оси отверстий 200, 300 должны лежать между плоскостями 10,40). Поверхности и оси, имеющиеся на исходной заготовке (10, 40), отмечаются жирными точками. На вертикальных линиях, проведенных из всех то-

чек, наносятся размеры исходной заготовки. Для однозначного определения размеров заготовки необходимо и достаточно задать один размер:  $A(10-40)$ . В общем случае число размеров должно быть на единицу меньше числа поверхностей и осей цилиндрических поверхностей заготовки.

Следующим этапом построения размерной схемы является включение в размерную схему размерных связей технологического процесса. Сначала производится обработка плоскости заготовки 10. В результате снятия припуска образуется новая поверхность 11. При этом необходимо указать следующие размерные связи: припуск  $Z(10-11)$  - замыкающее звено, размер  $A(11-40)$ , определяющий положение вновь образовавшейся поверхности относительно технологической базы - составляющее звено. Припуск и размер наносятся на размерную схему с использованием условных обозначений. Аналогично описывается обработка плоскости 41, на размерную схему наносится припуск  $Z(41-40)$  и размер  $A(11-41)$ . При сверлении отверстия в третьем технологическом переходе образуется поверхность 21 и ее ось 201. В данном случае производится обработка путем снятия напуска (поверхности до обработки не было). При этом величина припуска не указывается. В размерную схему добавляются два размера - координата отверстия  $A(11-201)$  и радиус отверстия  $R(201-21)$ . При растачивании также образуется новая, отсутствовавшая на заготовке, поверхность 31. Размерная схема дополняется двумя связями - координатой  $A(11-301)$  и радиусом отверстия  $R(301-31)$ . В процессе зенкерования происходит образование новой поверхности и ее оси 22, 202 путем снятия припуска. На размерную схему наносятся припуск  $Z(21-22)$  и размеры  $A(11-202)$ ,  $R(202-22)$ . На этапе нормального развертывания отверстия также как и при зенкеровании образуются 3 размерные связи: припуск  $Z(22-23)$ ; координата  $A(11-203)$ ; радиус отверстия  $R(203-23)$ . Точное развертывание производится плавающей разверткой, поэтому положение оси не изменяется. Новая ось 204 и старая 203 связываются звеном с нулевым номиналом  $A(203-204)$ . В размерную схему добавляется припуск  $Z(23-24)$  и радиус  $R(204-24)$ .

После описания последнего перехода необходимо оставить место для возможных замыкающих звеньев размеров и на тех же вертикалях нанести размеры детали с ее чертежа.

Далее необходимо выявить известные составляющие звенья. К числу известных составляющих звеньев относятся:  $A(11-41)$ ,  $R(301-31)$ ,  $R(204-24)$  как размеры, связывающие окончательно полученные поверхности. Известными являются также координаты положения осей отверстий:  $A(11-201)$ ,  $A(11-301)$ ,  $A(11-202)$  и  $A(11-203)$  как размеры, связывающие окончательно полученную поверхность 11 и ось. Все данные размеры имеются на чертеже детали, размер  $A(11-301)$  хотя и отсутствует на чертеже детали, но может быть определен из размеров детали без пересчета.

Из сопоставления конструкторских размеров детали с известными составляющими звеньями следует, что все размеры получены непосредственно в ходе технологического процесса и необходимость дополнения размерной схемы замыкающими звеньями размерами отсутствует. Число замыкающих звеньев и число неизвестных составляющих одинаково, что свидетельствует о правильности построения размерной схемы.

Полученная размерная схема представлена на рисунке 7.7

Следует отметить, что построение размерных схем технологического процесса не является самоцелью. Они позволяют четко представить размерную структуру проектируемого процесса, а также произвести формирование технологических операционных размерных цепей для их последующего расчета.

Формирование размерных цепей производится путем нахождения размерных контуров для каждого из замыкающих звеньев по размерной схеме. Ряд формальных правил позволяет легко решить эту задачу:

- обход контуров следует начинать с замыкающего звена;
- не допускается включение в состав размерной цепи нескольких замыкающих звеньев;
- при формировании размерных контуров не следует пересекать разрывы осей и поверхностей.

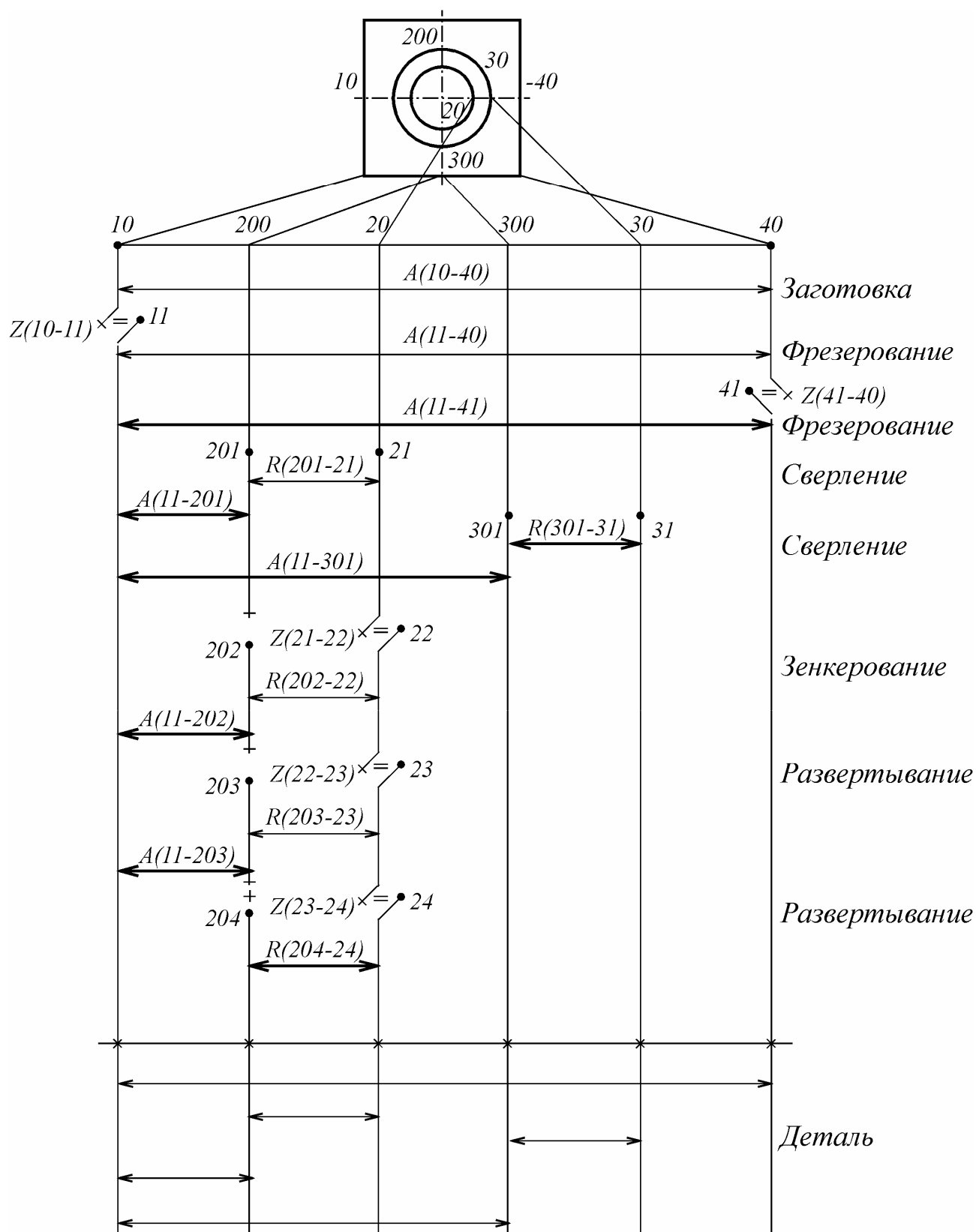


Рисунок 7.7 - Размерная схема технологического процесса

На рисунке 7.8 показана размерная цепь для замыкающего звена размера  $A(11-22)$ , рисунок 7.3.

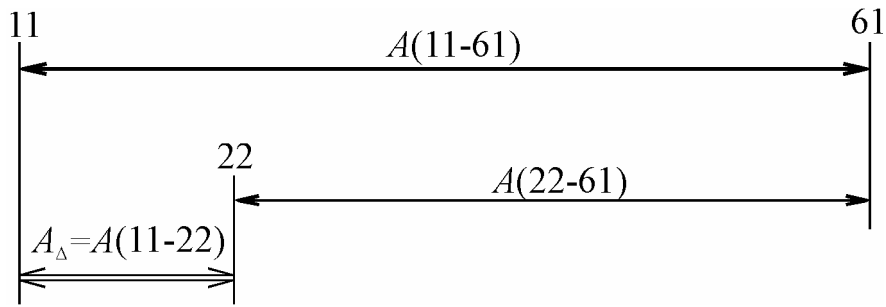


Рисунок 7.8 - Размерная цепь для замыкающего звена размера  $A(11-22)$

На рисунке 7.9 представлена размерная цепь для замыкающего звена припуска  $Z(74-73)$ , рисунок 7.4

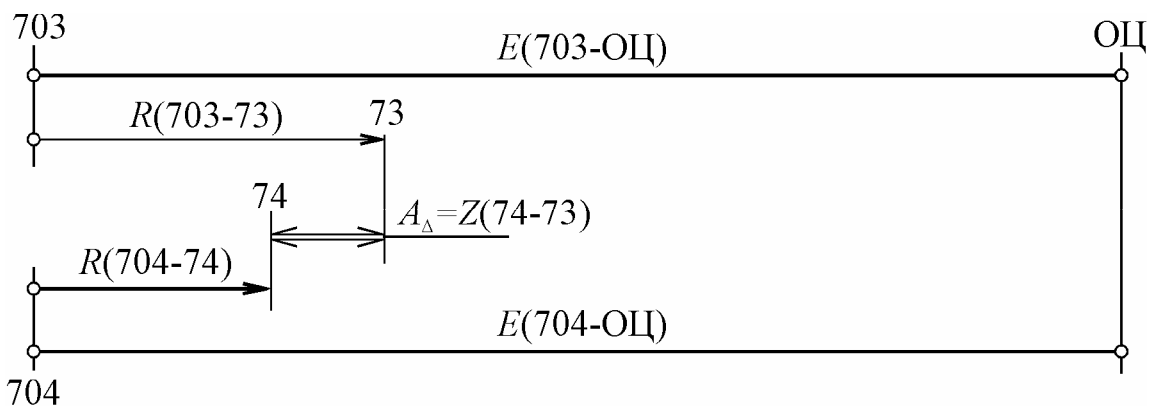


Рисунок 7.9 - Размерная цепь для замыкающего звена припуска  $Z(74-73)$

На рисунке 7.10 показана размерная цепь для замыкающего звена припуска  $Z(22-23)$  по размерной схеме, приведенной на рисунке 7.7.

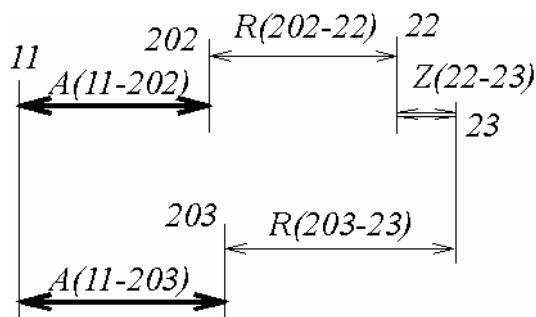


Рисунок 7.10 - Размерная цепь для замыкающего звена  $Z(22-23)$

При построении размерных схем технологических процессов изготовления корпусных деталей возникает необходимость дополнения размерной схемы замы-

кающими звеньями смещения осей отверстий. Для этого необходимо произвести формирование размерных цепей для звеньев, связывающих новое и старое положение оси отверстия. Включение в размерную схему замыкающих звеньев смещения осей производится, если в данную размерную цепь входят неизвестные составляющие звенья. Размерная цепь с предполагаемым замыкающим звеном смещением осей  $E(201-202)$  (рисунок 7.7) представлена на рисунке 7.11.

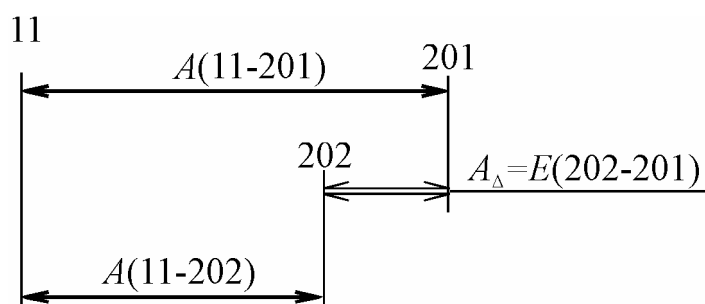


Рисунок 7.11 – Размерная цепь с замыкающим звеном смещением осей

В размерную цепь на рисунке 7.11 не входят неизвестные составляющие звенья, поэтому включения в размерную схему звена смещения осей  $E(202-201)$  не требуется.

Решение проектной задачи расчета технологических операционных размерных цепей следует начинать с размерной цепи, содержащей только одно составляющее звено с неизвестным номиналом. На рисунках 7.8, 7.9 размерная цепь для замыкающего звена размера  $A(11-22)$  или размерная цепь для замыкающего звена припуска  $Z(74-73)$ . Определив неизвестное составляющее звено и считая его известным в других операционных размерных цепях, последовательно рассчитывают эти размерные цепи. Проектный расчет для размерной цепи, приведенной на рисунке 7.10, невозможен, так как она содержит два неизвестных составляющих звена –  $R(202-22)$  и  $R(203-23)$ .

Вопросы для самопроверки:

- 1) С какой целью производится построение размерных схем технологического процесса?
- 2) Почему для одного технологического процесса строится несколько размерных схем?
- 3) Какие условные обозначения используются при построении размерных схем?
- 4) Какова общая последовательность построения размерных схем?
- 5) Как следует задавать операционные размеры?
- 6) Как определяются известные составляющие звенья?
- 7) Как производится выявление замыкающих звеньев размеров?
- 8) Что является критерием правильности построения размерной схемы?
- 9) В чем заключаются особенности построения диаметральных размерных схем?
- 9) В чем заключаются особенности построения размерных схем технологических процессов для изготовления корпусных деталей?
- 10) Как с помощью размерной схемы сформировать технологические операционные размерные цепи?

## **8 Автоматизация размерных расчетов**

Выполнение всех размерных расчетов вручную требует огромных затрат времени, в некоторых случаях до 80 часов. Это определяет необходимость применения при проведении технологических размерных расчетов автоматизированных систем. Большинство таких систем требует кодирования информации о звеньях технологических операционных размерных цепей. Для чего необходимо предварительно построить размерную схему технологического процесса, произвести назначение с помощью справочной литературы операционных допусков и минимальных припусков.

В таких случаях автоматизированная система размерного анализа производит только формирование и расчет размерных цепей. При этом трудоемкость размерных расчетов остается достаточно высокой. Еще одним из недостатков таких автоматизированных систем является наличие ошибок, неизбежных при вводе большого количества числовой информации. Одной из систем автоматизации размерных расчетов является автоматизированная система технологического размерного анализа (АСТРА), разработанная в ГОУ ОГУ. При ее применении не требуется: определять точность размерных связей и минимальные припуски на обработку, строить размерные схемы технологического процесса, формировать и рассчитывать размерные цепи. Это обеспечивается включением в состав системы достаточно полной базы данных, включающей: точность исходных заготовок, точность обработки различными методами, стандартные значения допусков, элементы минимальных припусков. Работа с системой сводится к описанию исходных данных по детали, исходной заготовке и технологическому процессу. Исходными данными для работы с системой являются: уточненный чертеж детали; эскиз, определяющий конфигурацию исходной заготовки, маршрут обработки. Работа с автоматизированной системой производится в несколько этапов, показанных на рисунке 8.1: расчет, настройка, работа с базами.

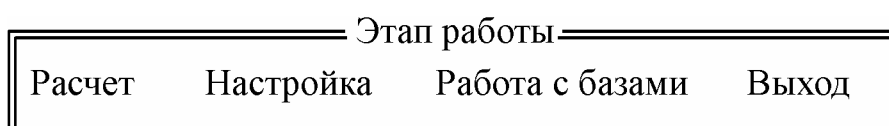


Рисунок 8.1 – Этапы работы

### 8.1 Подготовка системы АСТРА к работе

На данном этапе производится уточнение исходных данных расчета, выбор методов расчета размерных цепей и используемых расчетных параметров. При настройке системы устанавливаются следующие данные:

- качество точности свободных размеров (по умолчанию установлен 14);
- условие перехода к вероятностному методу расчета размерной цепи;



- параметры расчета вероятностным методом - коэффициент риска, относительное среднее квадратическое отклонение;

- допускаемое несоответствие требуемой и получаемой точности.

Квалитет точности свободных размеров указывается с целью упрощения ввода размеров. В тех случаях, когда размер детали указывается без предельных отклонений, для него устанавливаются предельные отклонения, в соответствии с квалитетом, установленным при настройке.

Условием для перехода к вероятностному методу расчета является число составляющих звеньев размерной цепи (по умолчанию установлено 4). То есть при числе равном и большем 4 используется вероятностный метод расчета, при меньшем – метод расчета на максимум-минимум.

Значения коэффициента риска и относительного среднего квадратического отклонения устанавливаются в соответствии с рекомендациями, приведенными в разделе 2. По умолчанию установлен коэффициент риска, равный 3 и относительное среднее квадратическое отклонение равно  $1/9$ . Это означает, что возможный процент выхода расчетных значений замыкающего звена за установленные пределы составляет 0,27 %. Закон распределения составляющих звеньев – нормальный.

При расчетах технологических операционных размерных цепей предполагается также использование метода статистических испытаний, который позволяет отказаться от указания некоторых исходных условий расчета.

В базе данных содержатся сведения по средней точности обработки, элементы минимального припуска. Все данные разделены на четыре группы по видам обрабатываемых поверхностей, рисунок 8.2.

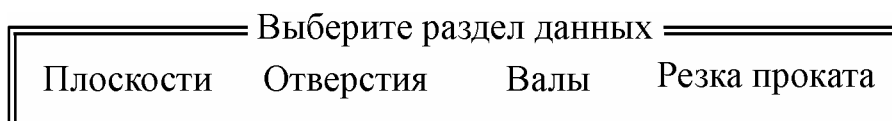


Рисунок 8.2 – Разделы базы данных

Структура разделов одинакова и содержит перечень методов и видов обработки, характерных для данных поверхностей. Для каждого вида обработки приводятся:

- средняя точность обработки в качествах;
- возможное повышение точности в результате применения данного метода в качествах, этот данных необходим для программной проверки правильности назначения технологических переходов;
- признак отделочного метода, при применении которого припуск является составляющим звеном, когда обработка производится в пределах шероховатости поверхности (0 – метод отделочный);
- глубина дефектного слоя, мкм;
- шероховатость поверхности, мкм;
- остаточные пространственные отклонения в долях от заготовки;
- для цилиндрических поверхностей также указывается точность положения оси (точность координатных размеров или величины отклонений от соосности), мм.

Для методов резки проката в базе данных содержатся:

- точность метода резки, качество;
- глубина дефектного слоя, мкм;
- шероховатость поверхности, мкм;
- удельные пространственные отклонения, мкм/мм.

Кроме изменения числовых величин, содержащихся в базе, возможно добавление, редактирование и удаление данных. Для корректной работы системы необходимо заполнение всех полей таблицы для вновь вводимых методов и видов обработки.

## **8.2 Автоматизированный расчет технологических операционных размерных цепей**

Первым этапом работы является описание детали. Сначала запрашивается имя файла, в который будут сохранены результаты расчета. Результаты сохраняются в папку «Rezult», находящуюся в главной папке программы. Затем необходимо ука-

зять число поверхностей детали и дополнительно указать, сколько из них цилиндрических поверхностей. При наличии внутренних или наружных цилиндров происходит увеличение числа рассматриваемых границ размеров за счет осей этих поверхностей. Не следует включать в число рассматриваемых поверхностей фаски, канавки и другие неотчетливые поверхности. В число поверхностей не следует также включать поверхности, обрабатываемые однократно путем снятия напуска: крепежные отверстия, лыски и т.п. Следует особо отметить, что в случае ввода данных не соответствующих чертежу детали, исходной заготовки или технологическому процессу возможен возврат только на один шаг. Это требует внимания при вводе данных и строгого следования инструкциям, появляющихся в окнах программы.

Все последующие действия будут производиться с использованием системы меток поверхностей, такой же, как и при ручном построении размерных схем. После ввода числа поверхностей на экране появится соответствующее число меток (звездочек), рисунок 8.3.

\* \* \* \* \*

Рисунок 8.3 – Отображение поверхностей и осей

Расстояние между метками зависит от их числа, при уменьшении числе меток расстояние между ними увеличивается. Для деталей повышенной сложности, имеющих большое число поверхностей и осей, все метки не будут уместиться в пределах экрана. В этих случаях предусмотрено динамическое перемещение меток влево или вправо.

После ввода числа поверхностей и осей следует произвести идентификацию поверхностей и осей в соответствии с ранее изложенными правилами (раздел 7). Расположение меток (идентификаторов) должно строго соответствовать реальному расположению поверхностей и осей детали. Для цилиндрических поверхностей следует указывать оси, то есть идентификаторы, кратные десяти. В этом случае идентификатор цилиндрической поверхности появится автоматически. Окно программы после ввода идентификаторов поверхностей и осей (использованы данные размер-

ной схемы, рисунок 7.4) представлено на рисунке 8.4. После ввода идентификаторов необходимо проверить правильность данных и произвести их редактирование. В случае отказа от редактирования производится описание поверхностей.

-700   -70   -800   -80   -900   -90   -1200   -120   -1100   -110  
\*   \*   \*   \*   \*   \*   \*   \*   \*   \*

Проверьте, правильно ли введены номера поверхностей	
Продолжить	Редактировать

Рисунок 8.4 - Ввод и редактирование меток поверхностей детали

Описание поверхностей сводится к заданию их шероховатости и габаритов. Шероховатость поверхностей задается значениями средней шероховатости  $R_a$  в микрометрах. Для упрощения процедуры ввода можно задать одно значение преобладающей шероховатости, которое имеет большинство поверхностей. Шероховатость поверхностей, отличающуюся от этого значения, указывается в режиме редактирования. Шероховатость поверхностей необходима для определения правильности выбранных методов и видов обработки.

Значения габаритов используются системой для определения составляющих минимального припуска через удельные пространственные отклонения. В качестве габаритов необходимо указывать наибольший размер поверхности, рисунок 8.5. Для цилиндрических поверхностей 4, 5 габаритами являются их длины  $G_4$ ,  $G_5$ . Для торцовых поверхностей 1, 2, 3 габаритами являются диаметры  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ .

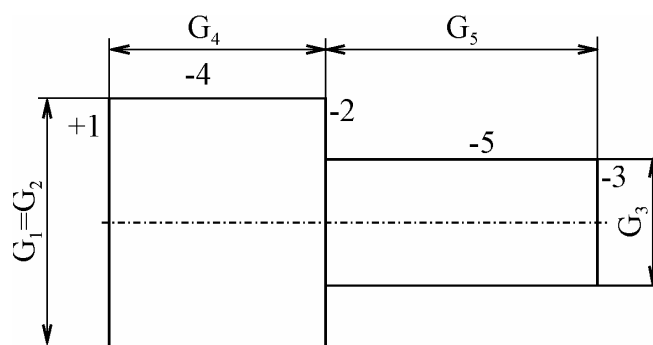


Рисунок 8.5 – Указание габаритов поверхностей

После ввода габаритов всех поверхностей предполагается их проверка и редактирование, рисунок 8.6. На рисунке указаны габариты цилиндрических поверхностей детали, показанной на рисунке 7.1. Некоторые размеры детали, являющиеся габаритами, могут отсутствовать на чертеже, в этих случаях необходимо их определить пересчетом размеров.

-700	-70	-800	-80	-900	-90	-1200	-120	-1100	-110
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	20		5		40		25		20

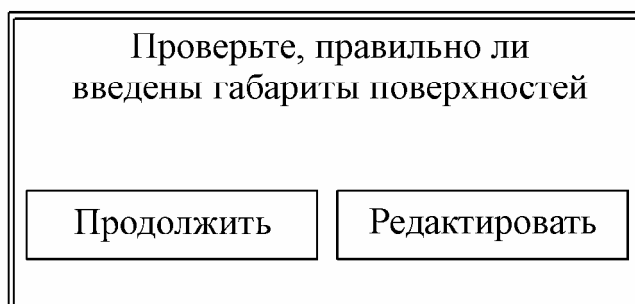


Рисунок 8.6 - Проверка и редактирование габаритов поверхностей

После ввода значений габаритов и при наличии среди поверхностей наружных цилиндров следует указать, предполагается ли обработка в центрах. Если такая обработка предусмотрена технологическим процессом, то к указанному ранее числу меток программно добавляется ось центров ОЦ, рисунок 8.7.

-700	-70	-800	-80	-900	-90	-1200	-120	-1100	-110	ОЦ
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Рисунок 8.7 – Добавление в число меток поверхностей оси центров

Размеры детали указываются между метками поверхностей в соответствии с чертежом. После указания левой и правой границ размера необходимо указать его номинал и предельные отклонения. При этом рекомендуется в первую очередь указать данные по диаметральным размерам. Эти данные используются системой для определения неуказанных отклонений от соосности. Диаметральные размеры и отклонения от соосности для вала (рисунок 7.1) представлены на рисунке 8.8.

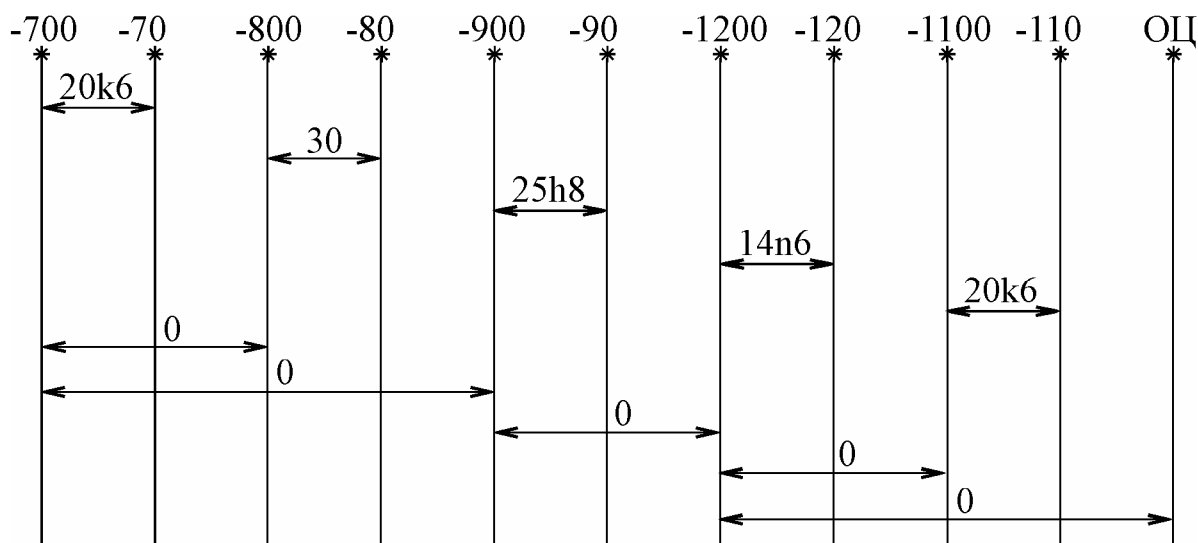


Рисунок 8.8 – Диаметральные размеры и отклонения от соосности вала

Номиналы и предельные отклонения размеров задаются либо номиналом и стандартным полем допуска ( $20k6$ ,  $25h8$ ,  $14n6$ ) либо свободным размером (30), предельные отклонения в этих случаях определяются из базы данных системы. При необходимости номинал и предельные отклонения задаются в виде числовых значений через запятую, например: 40, 0.2, -0.2. Для цилиндрических поверхностей указываются их диаметральные размеры. Далее программно производится проверка связанности системы размеров детали и правильности задания номиналов. Для связанности системы размеров необходимо:

- иметь число размеров детали на единицу меньше числа поверхностей;
- обеспечить определенность положения всех поверхностей.

Если условие связанности системы размеров не выполняется, то предлагается произвести корректировку размеров. При появлении сообщения о неправильном

указании номинальных размеров следует проверить введенные значения или соответствие положения меток поверхностей реальному расположению поверхностей детали.

Проверка правильности указания размеров детали производится на основе представления ее размеров координатным методом. Возможность построения такой системы размеров свидетельствует о связанности поверхностей детали. Если последовательно построенные координатные размеры не уменьшаются, то номинальные размеры указаны верно.

При правильном указании размеров возможен переход к следующему этапу – описанию исходной заготовки. При описании заготовки сначала указывается вид заготовки, затем уточняется метод ее получения. Базой данных автоматизированной системы АСТРА предусмотрено несколько видов исходных заготовок:

- отливки по ГОСТ 26645-85;
- поковки стальные штампованные по ГОСТ 7505-89;
- сталь горячекатаная круглая по ГОСТ 2590-2006;
- сталь калиброванная круглая по ГОСТ 7417-75;
- листовой прокат по ГОСТ 19903-74;
- полоса стальная 103-2006.

При выборе размеров заготовок, отсутствующих в базе данных, предельные отклонения размеров заготовки вводятся вручную. Также вводятся все данные, необходимые для определения точности заготовки. Например, для отливок указываются: материал, метод получения отливки, особенности данного метода, наибольший габаритный размер, отношение наибольшего и наименьшего размеров отливки (рисунок 8.9). В зависимости от вида заготовки и метода ее получения вид меню может быть иным.

Затем уточняется наличие поверхностей исходной заготовки, поскольку не все поверхности детали получаются в технологическом процессе изготовления заготовки. После чего задается система размеров заготовки. Способ простановки размеров исходной заготовки определяется технологом, он должен обеспечивать удобный контроль размеров, и отражать технологию получения заготовки. Для заготовок,

имеющих единственный размер (число поверхностей – 2), простановка размеров не предусмотрена. После описания данных исходной заготовки программно определяются ее допуски.

**Выбор вида исходной заготовки**

**Материал отливки**

**Метод получения отливки**

**Отливка в кокиль**

**Соотношение наибольшего и наименьшего габаритов отливки**

Укажите наибольший габарит отливки -

Рисунок 8.9 – Описание исходной заготовки

Следующим этапом является описание технологических переходов, при этом последовательно указывается: обрабатываемая поверхность, метод и вид обработки, технологическая база. Выбор в качестве технологической базы поверхности, отсутствующей на заготовке не допускается. Пример описания технологического перехода приведен на рисунке 8.10.





Рисунок 8.10 – Описание технологического перехода

При описании переходов проверяется правильность выбора переходов. Критерием правильности выбора переходов является возможное повышение точности в квалитетах для данного вида обработки. При постепенном повышении точности конкретной поверхности, соответствующем возможностям методов обработки, сообщения о некорректном выборе переходов отсутствует. В случае попытки применить точный метод для достаточно грубой поверхности, выводится сообщение, рисунок 8.11.

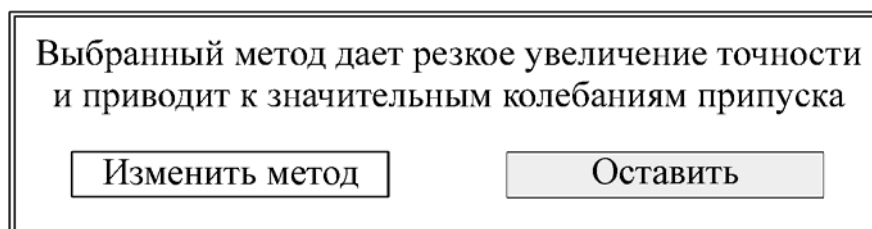


Рисунок 8.11 – Сообщение о некорректном вводе метода обработки

При вводе метода, применение которого не приводит к увеличению точности, выводится сообщение, приведенное на рисунке 8.12.

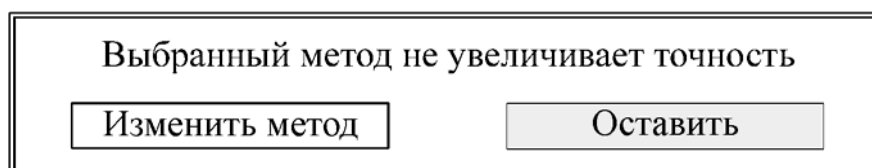


Рисунок 8.12 – Ошибочный ввод метода обработки

Состав меню зависит от вида обрабатываемой поверхности, на рисунке 8.10 приведено меню для обработки наружного цилиндра. В том случае, если все поверхности детали прошли хотя бы однократную обработку, производится запрос о необходимости продолжения описания переходов. Информация о введенных переходах для технологического процесса отображается в виде последовательности строк, рисунок 8.13. После описания каждого перехода возможно редактирование ранее данных путем возврата к предыдущим переходам.

### Описание и редактирование технологического процесса обработки

-704	-74	-801	-81	-903	-93	-1204	-124	-1104	-114	О Ц
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Сверление				Обраб. - центр. гнезда			База - -900		
2	Точение черновое				Обраб. пов-ть - -1101			База - ось центров		
3	Точение черновое				Обраб. пов-ть - -1201			База - ось центров		
4	Точение черновое				Обраб. пов-ть - -901			База - ось центров		
5	Точение черновое				Обраб. пов-ть - -801			База - ось центров		
6	Точение черновое				Обраб. пов-ть - -701			База - ось центров		
7	Точение чистовое				Обраб. пов-ть - -1102			База - ось центров		
8	Точение чистовое				Обраб. пов-ть - -1202			База - ось центров		
9	Точение чистовое				Обраб. пов-ть - -902			База - ось центров		
10	Точение чистовое				Обраб. пов-ть - -702			База - ось центров		
11	Шлифование предварительное				Обраб. пов-ть - -1103			База - ось центров		
12	Шлифование предварительное				Обраб. пов-ть - -1203			База - ось центров		
13	Шлифование предварительное				Обраб. пов-ть - -903			База - ось центров		
14	Шлифование предварительное				Обраб. пов-ть - -703			База - ось центров		
15	Шлифование чистовое				Обраб. пов-ть - -1104			База - ось центров		
16	Шлифование чистовое				Обраб. пов-ть - -1204			База - ось центров		
17	Шлифование чистовое				Обраб. пов-ть - -704			База - ось центров		

Рисунок 8.13 – Информация о введенных технологических переходах

Идентификаторы меток поверхностей в результате обработки увеличиваются, рисунок 8.13. Это позволяет оперативно следить за правильностью описания технологического процесса.

Определение числа и характера размерных связей, назначение операционных допусков и минимальных припусков производится программно с использованием

баз данных по точности обработки и элементов минимального припуска. При этом системой последовательно заполняется исходный список звеньев. После описания последнего перехода производится автоматизированное определение известных составляющих звеньев, замыкающих звеньев размеров и замыкающих звеньев смещений осей. При наличии замыкающих звеньев размеров производится установление возможностей их получения с требуемой точностью. При невозможности получения какого-либо размера детали выдается сообщение о некорректности проектируемого технологического процесса, рисунок 8.14. Расчет может быть прекращен или продолжен. Прекращение расчета предполагает внесение в технологический процесс изменений, направленных на его улучшение, и затем повторный расчет. При продолжении расчета будет оценена вероятность получения требуемой точности размеров детали.

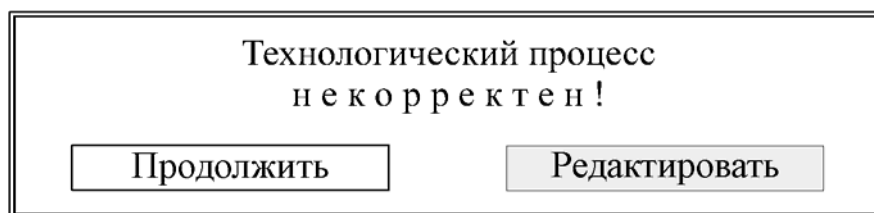


Рисунок 8.14 – Сообщение о некорректности технологического процесса

Дополненный и уточненный список звеньев используется для определения технологических операционных размерных цепей. Затем производится формирование системы линейных уравнений и определение неизвестных составляющих звеньев в соответствии с ранее рассмотренными алгоритмами. Полученные результаты представляются в виде списка размеров детали, размеров исходной заготовки, операционных размеров и значений максимальных припусков, рисунок 8.15.

Результаты расчета приводятся в соответствии с последовательностью выполнения технологических переходов и могут использоваться для проверки правильности исходных данных. В каждой строке указаны:

- левая и правая границы размера;
- номинальное значение размера;

- верхнее предельное отклонение;
- нижнее предельное отклонение.

Максимальные припуски могут существенно отличаться от своих номинальных значений, они необходимы для назначения режимов резания.

РАЗМЕРЫ ДЕТАЛИ:			
70 – 7	20.000	0.015	0.002
80 – 8	30.000	0.000	-0.520
90 – 9	25.000	0.000	-0.033
120 – 12	14.000	0.023	0.012
110 – 11	20.000	0.015	0.002
РАЗМЕРЫ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ:			
700 – 70	23.067	0.900	-0.500
800 – 80	31.372	0.900	-0.500
900 – 90	28.268	0.900	-0.500
1100 – 110	16.948	0.900	-0.500
ОПЕРАЦИОННЫЕ РАЗМЕРЫ:			
1101 – 111	15.425	0.000	-0.270
1201 – 121	21.501	0.000	-0.330
901 – 91	26.283	0.000	-0.330
801 – 81	30.000	0.000	-0.330
701 – 71	21.501	0.000	-0.330
1102 – 112	14.525	0.000	-0.070
1202 – 122	20.544	0.000	-0.084
902 – 92	25.325	0.000	-0.084
702 – 72	20.544	0.000	-0.084
1103 – 113	14.213	0.000	-0.043
1203 – 123	20.221	0.000	-0.052
903 – 93	25.000	0.000	-0.052
703 – 73	20.221	0.000	-0.052
1104 – 114	14.000	0.023	0.012
1204 – 124	20.000	0.015	0.002
704 – 74	20.000	0.015	0.002
МАКСИМАЛЬНЫЕ ПРИПУСКИ:			
111 – 110	1.422		
91 – 90	1.928		
81 – 80	1.364		
71 – 70	1.521		
112 – 111	0.655		
122 – 121	0.691		
92 – 91	0.691		
72 – 71	0.691		
113 – 112	0.257		

Рисунок 8.15 – Результаты расчета

Полученные результаты требуют определенной доработки. При этом необходимо произвести округление номинальных значений составляющих звеньев. Размеры исходной заготовки следует округлить до значений кратных 0,1; 0,5; 1,0 в зависимости от точности и размеров заготовки. Размеры заготовок, получаемых из сортового проката, следует округлить до значений определяемых соответствующими стандартами (приложение Б). Операционные размеры следует округлить до знака предельных отклонений. Операционные размеры, полученные стандартными инструментами, например сверлами, необходимо округлить до размеров, предусмотренными стандартами на режущий инструмент.

После выполнения расчетов по одной из координатных осей возможно три варианта продолжения расчетов:

- продолжение расчета для той же детали по другой координате;
- повтор выполненного расчета по той же координате;
- начало расчета для другой детали с первой координаты.

Рекомендуется расчеты по всем координатным направлениям выполнить за один раз. При этом не потребуется повторный ввод данных, описывающих вид и метод получения исходной заготовки.

На всех этапах работы с автоматизированной системой АСТРА возможно получение подсказок, вызываемых кнопкой F1.

При работе с автоматизированной системой не требуется построение размерных схем проектируемого технологического процесса. Но размерные схемы являются наглядным технологическим документом, с их помощью легко произвести анализ проектируемой технологии и внести изменения, направленные на ее совершенствование. В некоторых случаях при описании технологических процессов сложных корпусных деталей, имеющих плоскости, расположенные не под прямыми углами к другим плоскостям возникает необходимость расчетов по 4 и более координатным направлениям.

Автоматизированной системой предусмотрено описание только наиболее распространенных поверхностей: внутренних и наружных цилиндров, плоскостей. Между тем, очень часто встречаются детали, имеющие шлицевые и зубчатые поверх-

ности. Определение операционных размеров таких поверхностей необходимо производить, используя традиционные методы расчета припусков [3]. Некоторые значения межпереходных припусков на обработку шлицев и зубьев цилиндрических колес приведены в приложении Г.

Автоматизированной системой также не предусмотрено описание и обработка симметричных плоскостей корпусных деталей. Пример детали, имеющей симметричные плоскости 1 и 2, приведен на рисунке 8.16.

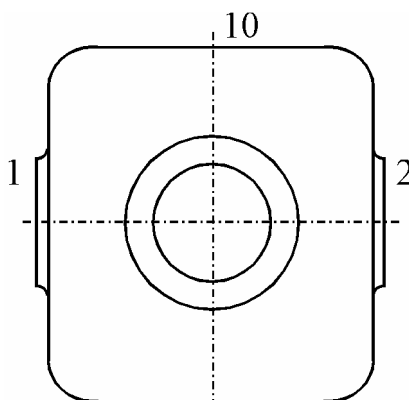


Рисунок 8.16 – Симметричная корпусная деталь

В тех случаях, когда в качестве технологической базы используется плоскость симметрии 10 возможно пару симметричных плоскостей рассматривать как наружную (внутреннюю) цилиндрическую поверхность. Плоскость симметрии при этом выступает в качестве оси этой цилиндрической поверхности.

Вопросы для самопроверки:

- 1) В чем заключается подготовка системы АСТРА к работе?
- 2) Какие базы данных включены в систему АСТРА?
- 3) Из каких этапов состоит описание данных по детали?
- 4) В чем состоит описание исходной заготовки?
- 5) Как производится указание технологических переходов?
- 6) Как расшифровать и корректировать результаты расчета?

## Список использованных источников

- 1 РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. М.: Изд-во стандартов. 1987. – 44 с.
- 2 Размерный анализ технологических процессов / В. В. Матвеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
- 3 Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов/ Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; под ред. В-А. Тимирязева.- М.: Высш. шк., 2004. – 272 с.
- 4 Размерный анализ в машиностроении: учеб. пособие для вузов / С. Г. Емельянов [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2010. - 331 с.
- 5 Размерный анализ технологических процессов в автоматизированном производстве: учеб. пособие для вузов / В. О. Соколов [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2009. - 219 с.
- 6 Основы размерного анализа технологических процессов изготовления деталей: учеб. пособие. / В.Ф.Скворцов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 100 с.

## Приложение А (рекомендуемое)

### Допуски размеров

Таблица А.1 - Поля допусков для размеров до 500 мм (ГОСТ25346-89)

В миллиметрах

Размер	Квалитеты						
	5	6	7	8	9	10	11
До 3	0,004	0,006	0,01	0,014	0,025	0,04	0,06
Св.3 до 6	0,005	0,008	0,012	0,018	0,03	0,048	0,075
>>6 >>10	0,006	0,009	0,015	0,022	0,036	0,058	0,09
>>10 >>18	0,008	0,011	0,018	0,027	0,043	0,07	0,11
>>18 >>30	0,009	0,013	0,021	0,033	0,052	0,084	0,13
>>30 >>50	0,011	0,016	0,025	0,039	0,062	0,1	0,16
>>50 >>80	0,013	0,019	0,03	0,046	0,074	0,12	0,19
>>80 >>120	0,015	0,022	0,035	0,054	0,087	0,14	0,22
>>120 >>180	0,018	0,025	0,04	0,063	0,1	0,16	0,25
>>180 >>250	0,02	0,029	0,046	0,072	0,115	0,185	0,29
>>250 >>315	0,023	0,032	0,052	0,081	0,13	0,21	0,32
>>315 >>400	0,025	0,036	0,057	0,089	0,14	0,23	0,36
>>400 >>500	0,027	0,04	0,063	0,097	0,155	0,25	0,4

Продолжение таблицы А.1

В миллиметрах

Размер	Квалитеты						
	11	12	13	14	15	16	17
До 3	0,06	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1,0
Св.3 до 6	0,075	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2
>>6 >>10	0,09	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5
>>10 >>18	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8
>>18 >>30	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1
>>30 >>50	0,16	0,25	0,39	0,62	1,0	1,6	2,5
>>50 >>80	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3,0
>>80 >>120	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5
>>120 >>180	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0
>>180 >>250	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6
>>250 >>315	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2
>>315 >>400	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7
>>400 >>500	0,4	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	6,3



## Приложение Б

### Допуски исходных заготовок

(рекомендуемое)

Таблица Б.1 - Классы размерной точности отливок в соответствии с ГОСТ 26645-85\*

Методы получения отливок	Наибольший габаритный размер, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Класс размерной точности			
1	2	3	4	5	6
Литье под давлением в металлические формы	До 100	3Г - 6	3 - 7Г	4 - 7	5Г - 8
	Св. 100 - 250	3 - 7Г	4 - 7	5Г - 8	5 - 9Г
	Св. 250 - 630	4 - 7	5Г - 8	5 - 9Г	6 - 9
Литье по выжигаемым моделям	До 100	3 - 7	4 - 8	5Г - 9Г	5 - 9
	Св. 100 - 250	4 - 8	5Г - 9Г	5 - 9	6 - 10
	Св. 250 - 630	5Г - 9Г	5 - 9	6 - 10	7Г - 11Г
Литье по выплавляемым моделям	До 100	4 - 8	5Г - 9Г	5 - 9	6 - 10
	Св. 100 - 250	5Г - 9Г	5 - 9	6 - 10	7Г - 11Г
	Св. 250 - 630	5 - 9	6 - 10	7Г - 11Г	7 - 11

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
Литье под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней	До 100	5Г - 9Г	5 - 9	6 - 10	7Г - 11Г
	Св. 100 - 250	5 - 9	6 - 10	7Г - 11Г	7 - 11
	Св. 250 - 630	6 - 10	7Г - 11Г	7 - 11	8 - 12
	Св. 630 - 1600	7Г - 11Г	7 - 11	8 - 12	9Г - 13Г
Литье в песчаноглинистые сырые формы (влажность до 2,8 %) Литье по газифицированным моделям в песчаные формы Литье в формы, отверждаемые в контакте с холодной оснасткой Литье под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями Литье в облицованный кокиль	До 100	5 - 10	6 - 11Г	7Г - 11	7 - 12
	Св. 100 - 250	6 - 11Г	7Г - 11	7 - 12	8 - 13Г
	Св. 250 - 630	7Г - 11	7 - 12	8 - 13Г	9Г - 13
	Св. 630 - 1600	7 - 12	8 - 13Г	9Г - 13	9 - 13

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
Литье в песчаноглинистые сырые формы (влажность от 2,8 % до 3,5 %) Литье центробежное (внутренние размеры) Литье в формы, отверждаемые в контакте с холодной оснасткой Литье в вакуумно-пленочные формы	До 100	6 - 11т	7т - 11	7 - 12	8 - 13т
	Св. 100 - 250	7т - 11	7 - 12	8 - 13т	9т - 13
	Св. 250 - 630	7 - 12	8 - 13т	9т - 13	9 - 13
	Св. 630 - 1600	8 - 13т	9т - 13	9 - 13	10 - 14
Литье в песчаноглинистые сырые формы (влажность от 3,5 % до 4,5 %) Литье в оболочковые формы Литье в формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой Литье в формы из жидких самоотвердеющих смесей Литье в песчаноглинистые подсушенные и сухие формы	До 100	7т - 11	7 - 12	8 - 13т	9т - 13
	Св. 100 - 250	7 - 12	8 - 13т	9т - 13	9 - 13
	Св. 250 - 630	8 - 13т	9т - 13	9 - 13	10 - 14
	Св. 630 - 1600	9т - 13	9 - 13	10 - 14	11т - 14

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
Литье в песчано-глинистые сырые формы (влажность более 4,5 %)	До 100	7 - 12	8 - 13т	9т - 13	9 - 13
	Св. 100 - 250	8 - 13т	9т - 13	9 - 13	10 - 14
	Св. 250 - 630	9т - 13	9 - 13	10 - 14	11т - 14
	Св. 630 - 1600	9 - 13	10 - 14	11т - 14	11 - 15
<p>Примечание - К цветным легкоплавким сплавам отнесены сплавы с температурой плавления ниже 700 °С (973К), к цветным тугоплавким – сплавы с температурой плавления выше 700 °С (973К), к легким отнесены сплавы с плотностью до 3,0 г/см<sup>3</sup>, к тяжелым – сплавы с плотностью свыше 3,0 г/см<sup>3</sup>.</p>					

Допуски размеров отливок определяются в зависимости от класса размерной точности по таблице Б.2

Таблица Б.2 - Допуски размеров отливок для классов размерной точности

В миллиметрах

Интервал номинальных размеров	Классы размерной точности										
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8
До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64
Св. 4>6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70
>6>10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80
>10>16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90
>16>25	0,10	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00
>25>40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10
>40>63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
>63>100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40
>100>160	0,16	0,2	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60
>160>250	-	-	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80
>250>400	-	-	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
>400>630	-	-	-	-	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20
>630>1000	-	-	-	-	-	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40
>1000>1600	-	-	-	-	-	-	-	1,40	1,80	2,20	2,80

Продолжение таблицы Б.2

В миллиметрах

Интервал номинальных размеров	Классы размерной точности										
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 4	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-
Св. 4>6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	-	-	-	-	-
>6>10	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4	5	-	-	-
>10>16	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	-	-
>16>25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0
>25>40	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0
>40>63	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0
>63>100	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0
>100>160	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
>160>250	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0
>250>400	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0
>400>630	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0
>630>1000	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0
>1000>1600	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0

Для определения предельных отклонений стальных штампованных поковок по ГОСТ 7505-89 следует найти индекс поковки по формуле

$$I = N + (M - 1) + (C - 1) + 2(T - 1), \quad (\text{Б.1})$$

где  $N$  - коэффициент, зависящий от массы заготовки;

$M$  - коэффициент, зависящий от группы стали заготовки;

$C$  - коэффициент, зависящий от степени сложности заготовки;

$T$  - коэффициент, зависящий от класса точности заготовки.

Коэффициент  $N$  принимается по таблице Б.3

Таблица Б.3 - Значения коэффициента  $N$  в зависимости от массы заготовки

Масса, кг	$N$
До 0,5	1
Св. 0,5 до 1,0	2
Св. 1,0 до 1,8	3
Св. 1,8 до 3,2	4
Св. 3,2 до 5,6	5
Св. 5,6 до 10,0	6
Св. 10,0 до 20,0	7
Св. 20,0 до 50,0	8
Св. 50,0 до 125,0	9
Св. 125,0 до 250,0	10

В соответствии с ГОСТ 7505-89 установлено три группы стали:  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$ .

$M1$  - сталь с массовой долей углерода до 0,35 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0 %, ( $M = 1$ ).

$M2$  - сталь с массовой долей углерода свыше 0,35 % до 0,65 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 % до 0,5 %, ( $M = 2$ ).

$M3$  - сталь с массовой долей углерода свыше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5,0 %, ( $M = 3$ ).

Степень сложности, определяется путем вычисления отношения массы (объема)  $G_n$  поковки к массе (объему)  $G_\phi$  геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. Геометрическая фигура может быть шаром, параллелепипедом, цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами или прямой правильной призмой. При вычислении отношения  $G_n/G_\phi$  принимают геометрическую фигуру, имеющую наименьшую массу (объем). Степеням сложности поковок соответствуют следующие численные значения отношения  $G_n/G_\phi$ :

C1 - св. 0,63 ( $C = 1$ );

C2 - св. 0,32 до 0,63 ( $C = 2$ );

C3 - св. 0,16 до 0,32 ( $C = 3$ );

C4 - до 0,16 ( $C = 4$ ).

Класс точности поковки устанавливается в зависимости от технологического процесса и оборудования для ее изготовления, а также исходя из требований, предъявляемых к точности размеров поковки по таблице Б.4. Эти требования определяются конструктивными характеристиками поковки, шероховатости обработанной поверхности детали, изготавливаемой из поковки, от величин размеров и массы поковки, от типа производства.

Таблица Б.4 - Классы точности штампованных поковок

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные прессы: - открытая штамповка; - закрытая штамповка; - выдавливание.				+	+
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Значения коэффициента  $T$  в формуле (Б.1) соответствуют классам точности:

T1 -  $T = 1$ ;

$$T2 - T = 2;$$

$$T3 - T = 3;$$

$$T4 - T = 4;$$

$$T5 - T = 5.$$

Предельные отклонения размеров поковок назначаются в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по таблице Б.5.

Таблица Б.5 – Предельные отклонения размеров поковок

Исходный индекс	Наибольшая толщина поковки, мм					
	До 40	40-63	63-100	100-160	160-250	Св. 250
	Длина, ширина, диаметр, глубина, высота поковки, мм					
	До 40	40-100	100-160	160-250	250-400	400-630
1	2	3	4	5	6	7
1	+0,2 -0,1	+0,3 -0,1	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,2
2	+0,3 -0,1	+0,3 -0,1	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3
3	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3
4	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4
5	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5
6	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5
7	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7
8	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8
9	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9
10	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0
11	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,	+2,1 -1,1



Продолжение таблицы Б.5

1	2	3	4	5	6	7
12	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,0	+2,1 -1,1
13	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3
14	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5
15	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7
16	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9
17	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1
18	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4
19	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7
20	+3,3 -1,7	+3,7 -1,0	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0
21	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3
Примечание - Допускаемые отклонения внутренних размеров поковок должны устанавливаться с обратными знаками						

Допуски штампованных заготовок из титановых сплавов также могут быть приняты по ГОСТ 7505-89

Допуски штампованных заготовок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов устанавливаются ОСТ 1.41137-87. Предельные отклонения определяются в зависимости от класса точности штамповки и вида размера. Данным стандартом предусмотрено шесть классов точности (таблица Б.6) и несколько видов размеров, отличающихся условиями получения их в штампах (рисунок Б.1).

Таблица Б.6 – Классы точности штампованных заготовок из цветных сплавов

Класс точности штамповки	Метод получения
1	Заготовки, подвергаемые холодной плоскостной калибровке (чеканке) повышенной точности
2	Заготовки, подвергаемые холодной плоскостной калибровке (чеканке) обычной точности
3	Заготовки, подвергаемые горячей плоскостной калибровке
4	Заготовки, получаемые обычными методами с применением в большинстве случаев калибровочных операций
5	Заготовки, получаемые обычными методами с применением в отдельных случаях калибровочных операций
6	Заготовки, получаемые обычными методами штамповки

На рисунке Б.1 показаны виды размеров поковок.

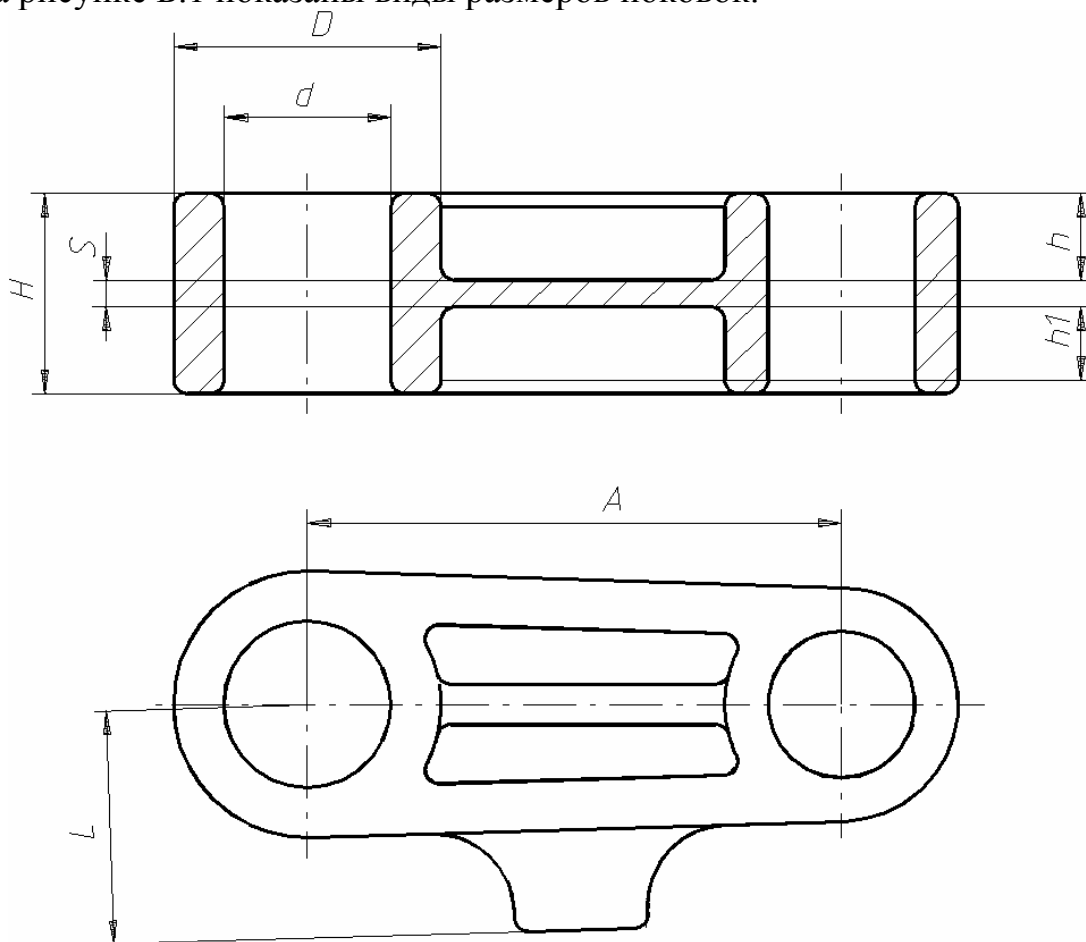


Рисунок Б.1 – Виды размеров заготовки

Предельные отклонения на размеры поковок назначаются:

- на вертикальные размеры  $H$ ,  $S$ , определяющие толщину штампованной заготовки и зависящие от двухстороннего износа штампов по таблице Б7;
- на размеры  $h_1$ , определяющие высоту ребра, зависящие от одностороннего износа штампов по таблице Б8;
- на размеры  $h$ , определяющие глубину выемки, зависящие от одностороннего износа штампов по таблице Б7 (отклонения увеличиваются в 1,5 раза и принимаются с обратным знаком);
- на горизонтальные размеры  $D$ ,  $d$ , определяющие длину, ширину или диаметр штампованной заготовки и зависящие от двухстороннего износа штампов по таблице Б9;
- на горизонтальные размеры  $L$ , зависящие от одностороннего износа штампов по таблице Б9;
- на размеры  $A$ , определяющие расстояния между центрами бобышек и независящие от износа штампов по таблице Б10.;

Таблица Б.7 – Предельные отклонения размеров  $H$ ,  $S$  (толщина заготовки)

Площадь проекции заготовки на плоскость разъема, см <sup>2</sup>	Классы точности		
	4	5	6
	Предельные отклонения, мм		
До 16	+0,20	+0,30	+0,50
	-0,10	-0,20	-0,30
св. 16 до 25	0,25	+0,40	+0,60
	-0,15	-0,20	-0,30
св. 25 до 40	0,30	+0,50	+0,70
	-0,15	-0,30	-0,40
св. 40 до 80	+0,35	+0,60	+0,90
	-0,20	-0,30	-0,50
св. 80 до 160	+0,45	+0,70	+1,10
	-0,20	-0,40	-0,60
св. 160 до 320	+0,55	+0,90	+1,40
	-0,25	-0,50	-0,70
св. 320 до 480	+0,70	+1,10	+1,80
	-0,35	-0,60	-0,90

Таблица Б.8 – Предельные отклонения размеров  $h_1$  (высота ребра)

Площадь проекции заготовки на плоскость разъема, см <sup>2</sup>	Классы точности		
	4	5	6
	Предельные отклонения, мм		
До 16	+0,05	+0,10	+0,15
	-0,05	-0,10	-0,15
св. 16 до 25	0,05	+0,10	+0,15
	-0,10	-0,15	-0,20
св. 25 до 40	0,10	+0,15	+0,20
	-0,10	-0,150	-0,25
св. 40 до 80	+0,10	+0,15	+0,25
	-0,15	-0,20	-0,30
св. 80 до 160	+0,10	+0,20	+0,30
	-0,15	-0,25	-0,40
св. 160 до 320	+0,15	+0,25	+0,35
	-0,20	-0,30	-0,50

Таблица Б.9 – Предельные отклонения размеров  $D$ ,  $L$  и  $d$  (горизонтальные наружные и внутренние размеры)

Размер заготовки, мм	Классы точности		
	4	5	6
	Предельные отклонения, мм		
До 16	+0,20	+0,30	+0,40
	-0,10	-0,20	-0,20
св. 16 до 25	0,30	+0,40	+0,60
	-0,15	-0,20	-0,30
св. 25 до 40	0,35	+0,50	+0,70
	-0,15	-0,30	-0,40
св. 40 до 60	+0,40	+0,60	+0,80
	-0,20	-0,30	-0,50
св. 60 до 100	+0,55	+0,70	+0,90
	-0,30	-0,40	-0,60
св. 100 до 160	+0,70	+0,90	+1,10
	-0,40	-0,50	-0,70
св. 160 до 250	+0,85	+1,10	+1,40
	-0,55	-0,70	-0,90
св. 250 до 360	+1,10	+1,30	+1,80
	-0,75	-0,80	-1,10

Примечания

1 Предельные отклонения на внутренние размеры  $d$  принимаются с обратными знаками.

2 Предельные отклонения на размеры  $L$  принимаются для удвоенных размеров с уменьшением отклонений в два раза.

Таблица Б.10 – Предельные отклонения размеров А (расстояния между центрами бобышек)

Размер заготовки, мм	Классы точности		
	4	5	6
	Предельные отклонения, мм		
До 40	±0,05	±0,10	±0,15
св. 40 до 60	±0,10	±0,15	±0,20
св. 60 до 100	±0,15	±0,20	±0,30
св. 100 до 160	±0,20	±0,30	±0,50
св. 160 до 250	±0,25	±0,40	±0,70
св. 250 до 360	±0,35	±0,55	±0,90
св. 360 до 50±0	±0,45	±0,70	±1,10

Предельные отклонения листовой стали принимаются по таблице Б.11.

Таблица Б.11- Предельные отклонения листовой стали в соответствии с ГОСТ 19903-74

Толщина стали		Предельные отклонения при ширине						
от	до	1000-1200	1200-1500	1500-1700	1700-1800	1800-2000	2000-2300	2300-2500
12,0	25,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	0,8
		-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
25,0	30,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
		-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
30,0	34,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
		-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
34,0	40,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0
		-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
40,0	50,0	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1
		-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
50,0	60	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
		-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
60,0	70,0	-	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
			-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
70,0	80,0	-	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
			-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
80,0	90,0	-	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
			-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
90,0	100,0	-	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
			-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7

Продолжение таблицы Б. 11

Толщина стали		Предельные отклонения при ширине						
от	до	2500- 2600	2600- 2800	2800- 3000	3000- 3200	3200- 3400	3400- 3600	3600- 3800
12,0	25,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4
		-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
25,0	30,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
		-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
30,0	34,0	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
		-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
34,0	40,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
		-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
40,0	50,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
		-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
50,0	60	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
		-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
60,0	70,0	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
		-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
70,0	80,0	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
		-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2
80,0	90,0	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
		-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
90,0	100,0	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
		-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7

Допуски круглой калиброванной стали по ГОСТ 7417-75 соответствуют стандартным полям допусков h9, h10, h11, h12. Номинальные диаметры калиброванного прутка: 3,0; 3,1; 3,2; 3,3; 3,4; 3,5; 3,6; 3,7; 3,8; 3,9; 4,0; 4,1; 4,2; 4,4; 4,5; 4,6; 4,8; 4,9; 5,0; 5,2; 5,3; 5,5; 5,6; 5,8; 6,0; 6,1; 6,3; 6,5; 6,7; 6,9; 7,0; 7,1; 7,3; 7,5; 7,7; 7,8; 8,0; 8,2; 8,5; 8,8; 9,0; 9,2; 9,3; 9,5; 9,8; 10,0; 10,2; 10,5; 10,8; 11,0; 11,2; 11,5; 11,8; 12,0; 12,2; 12,5; 12,8; 13,0; 13,2; 13,5; 13,8; 14,0; 14,2; 14,5; 14,8; 15,0; 15,2; 15,5; 15,8; 16,0; 16,2; 16,5; 16,8; 17,0; 17,2; 17,5; 17,6; 17,8; 18,0; 18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 23,0; 24,0; 25,0; 26,0; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0; 31,0; 32,0; 33,0; 34,0; 35,0; 36,0; 37,0; 38,0; 39,0; 40,0; 41,0; 42,0; 44,0; 45,0; 46,0; 48,0; 49,0; 50,0; 52,0; 53,0; 55,0; 56,0; 58,0; 60,0; 61,0; 62,0; 63,0; 65,0; 67,0; 69,0; 70,0; 71,0; 73,0; 75,0; 78,0; 80,0; 82,0; 85,0; 88,0; 90,0; 92,0; 95,0; 98,0; 100,0.

Точность горячекатаного проката приведена таблице Б.12. Группы точности:  
 А – высокая; Б – повышенная; В – нормальная.

Таблица Б.12 – Предельные отклонения проката  
 ГОСТ 2590-2006

Диаметр $d$ , мм	Предельные отклонения, мм, при точности прокатки		
	А	Б	В
1	2	3	4
5			
5,5			
6			
6,3	+0,1		
6,5	-0,2		
7			
8			
9			
10		+0,1	+0,3
11		-0,5	-0,5
12			
13			
14	+0,1		
15	-0,3		
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22		+0,2	+0,4
23		-0,5	-0,5
24	+0,1		
25	-0,4		
26			
27		+0,2	+0,3
28		-0,7	-0,7

Продолжение таблицы Б.12

1	2	3	4
29			+0,3
30			-0,7
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38	+0,1	+0,2	
39	-0,5	-0,7	+0,4
40			-0,7
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
50			
52			
53	+0,1	+0,2	+0,4
54	-0,7	-1,0	-1,0
55			
56			
58			
60			
62			
63			
65			
67	+0,1	+0,3	+0,5
68	-0,9	-1,1	-1,1
70			
72			
75			
78			



Продолжение таблицы Б.12

1	2	3	4
80			
82			
85			
87	+0,3	+0,3	+0,5
90	-1,1	-1,3	-1,3
92			
92			
95			
97			
100			
105		+0,4	+0,6
110		-1,7	-1,7
115			
120			
125			
130			
135		+0,6	+0,8
140		-2,0	-2,0
145			
150			
155			
160			
165			
170	-		
175			
180			+0,9
185			-1,5
190			
195			
200		-	
210			
220			
230			+1,2
240			-3,0
250			
260			+2,0
270			-4,0

Предельные отклонения по ширине и толщине полосового проката приведены в таблице Б.13.

Таблица Б.13 - Предельные отклонения полосы по ГОСТ 103-2006

Толщина полосы, мм	Предельные отклонения по толщине, мм		Ширина полосы, мм	Предельные отклонения по ширине, мм	
	Точность			Точность	
	Повышенная	Нормальная		Повышенная	Нормальная
От 4 до 6	+0,2 -0,3	+0,3 -0,5	Св. 10 до 60	+0,3 -0,9	+0,5 -1,0
Св. 6 до 16	+0,2 -0,4	+0,2 -0,5	63; 65	+0,3 -1,1	+0,5 -1,3
Св. 16 до 35	+0,2 -0,6	+0,2 -0,8	70; 75	+0,3 -1,3	+0,5 -1,4
Св. 25 до 32	+0,2 -0,7	+0,2 -1,2	80; 85	+0,5 -1,4	+0,7 1,6
36; 40	+0,2 -1,0	+0,2 -1,6	90; 95	+0,6 -1,6	+0,9 -1,8
45; 50	+0,2 -1,5	+0,3 -2,0	100; 105	+0,7 -1,8	+1,0 -2,0
Св. 50 до 60	+0,2 -1,8	+0,3 -2,4	110	+0,8 -2,0	+1,0 -2,2
			120; 125	+0,9 -2,2	+1,1 -2,4
			Св. 130 до 150	+1,0 -2,4	+1,2 -2,8
			Св. 150 до 180	+1,2 -2,5	+1,4 -3,2
			Св. 180 до 200	+1,4 -2,8	+1,7 -4,0

## Приложение В (рекомендуемое)

### Данные для определения операционных допусков

Таблица В.1 - Точность обработки наружных цилиндрических поверхностей

Метод и вид обработки	Квалитет точности
Точение черновое	от 12 до 14
Точение получистовое	13
Точение однократное	от 11 до 12
Точение чистовое	от 8 до 10
Точение тонкое	от 6 до 9
Шлифование предварительное	от 8 до 9
Шлифование чистовое	от 6 до 7
Шлифование тонкое	от 5 до 6
Обкатывание, алмазное выглаживание	от 5 до 10
Примечание – Данные таблицы относятся к стальным деталям. Для деталей из чугуна или цветных сплавов предельные отклонения по точности можно принимать на один квалитет выше.	

Таблица В.2 – Точность обработки плоскостей

Метод и вид обработки	Квалитет точности
1	2
Фрезерование и строгание черновое	От 10 до 12
Фрезерование и строгание чистовое	От 7 до 10
Фрезерование и строгание тонкое	от 6 до 8

Продолжение таблицы В.2

1	2
Торцовое точение черновое	От 11 до 14
Торцовое точение чистовое или однократное	От 8 до 12
Торцовое точение тонкое	от 7 до 9
Протягивание	От 7 до 10
Шлифование предварительное	От 7 до 10
Шлифование чистовое	от 6 до 8
Шлифование тонкое	от 5 до 7
Притирка, тонкое шабрение	5

Таблица В.3 - Точность обработки отверстий

Метод и вид обработки	Квалитет точности
1	2
Сверление и рассверливание	от 6 до 7
Зенкерование черновое	от 12 до 13
Зенкерование однократное литого или прошитого отверстия	от 10 до 13
Зенкерование чистовое после чернового или сверления	от 8 до 9
Развертывание нормальное	от 10 до 11
Развертывание точное	от 7 до 9
Развертывание тонкое	от 5 до 6
Протягивание черновое	от 10 до 11
Протягивание чистовое	от 6 до 9
Растачивание черновое	от 11 до 13
Растачивание чистовое	от 8 до 10
Растачивание тонкое	от 5 до 7

Продолжение таблицы В.3

1	2
Фрезерование черновое	от 11 до 13
Фрезерование чистовое	от 8 до 10
Шлифование предварительное	от 8 до 9
Шлифование окончательное	от 6 до 7
Шлифование тонкое	5
Притирка, хоннирование	от 4 до 5
Раскатывание, калибрование, алмазное выглаживание	от 5 до 10

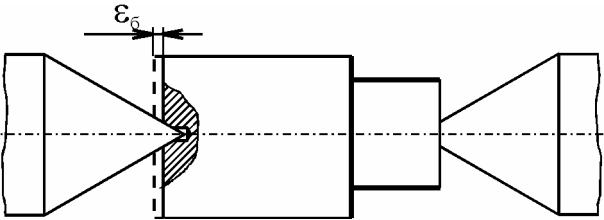
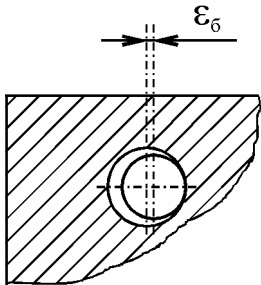
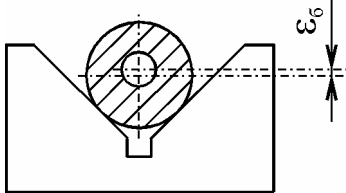
Таблица В.4 – Средняя точность положения осей отверстий

Метод и вид обработки	Точность положения оси, мм
Сверление без зацентровки	0,20
Сверление с зацентровкой	0,10
Зенкерование черновое	0,12
чистовое	0,08
Развертывание нормальное	0,06
Развертывание точное	0,05
Развертывание тонкое	0,04
Растачивание черновое	0,20
Растачивание чистовое	0,07
Растачивание тонкое	0,04
Фрезерование черновое	0,12
Фрезерование чистовое	0,08
Шлифование черновое	0,08
Шлифование чистовое	0,04
Шлифование тонкое	0,03

Таблица В.5 – Средние значения отклонений от соосности наружных цилиндрических поверхностей

Метод и вид обработки	Отклонения от соосности, мм
1	2
Точение черновое	0,120
Точение чистовое	0,050
Точение тонкое	0,020
Шлифование черновое	0,030
Шлифование чистовое	0,020
Шлифование тонкое	0,010

Таблица В.6 – Погрешности базирования

Базирование	Схема установки	Погрешность базирования, мм
На жесткий передний центр		$\varepsilon_{\delta} = \Delta_{\text{ц}}$
На гладкую оправку (палец)		$\varepsilon_{\delta} = \frac{S_{\text{max}}}{2}$
В призму		$\varepsilon_{\delta} = 0,5T_d \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right)$
<p>Примечание – в формулах используются:  <math>\Delta_{\text{ц}}</math> - просадка центров;  <math>S_{\text{max}}</math> - максимальный зазор между пальцем и отверстием;  <math>T_d</math> - допуск базирующего диаметра;  <math>\alpha</math> - угол призмы.</p>		

Величина просадки центров, в зависимости от наибольшего диаметра центрального отверстия приведена в таблице В.7.

Таблица В.7 – Просадка центров

Наибольший диаметр центрального отверстия, мм	1; 2; 2,5	4; 5; 6	7; 8; 10	12,5; 15	20; 30
Просадка центров, мм	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25

## Приложение Г

(рекомендуемое)

### Составляющие минимального припуска на механическую обработку

Таблица Г.1 – Состояние поверхности и пространственные отклонения отливок

Метод получения отливки	Шероховатость $R_z$ , мкм	Дефектный слой $h$ , мкм	Удельные пространственные отклонения $\rho$ , мкм/мм
Литье в песчано-глинистые формы (ручная формовка)	100 – 500	200 – 600	10,0
Литье в песчано-глинистые формы (машинная формовка)	80 – 300	150 – 400	8,0
Литье в металлические формы	100 – 200	100 – 300	5,0
Центробежное литье	40 – 100	100 – 200	3,2
Литье в оболочковые формы	20 – 80	150 – 250	2,0
Литье по выплавляемым моделям	10 – 40	80 – 150	1,6
Литье под давлением	10 – 40	80 – 150	1,0

Таблица Г.2 – Состояние поверхности и пространственные отклонения поковок

Метод получения поковки	Шероховатость $R_z$ , мкм	Дефектный слой $h$ , мкм	Удельные пространственные отклонения $\rho$ , мкм/мм
Свободная ковка	2000		4,0
Штамповка обычной точности	100 – 250	200 – 400	2,5
Штамповка повышенной точности	80 – 200	150 – 300	1,5



Таблица Г.3 – Состояние поверхности и пространственные отклонения круглого сортового проката

Вид проката	Шероховатость $R_z$ , мкм	Дефектный слой $h$ , мкм	Удельные пространственные отклонения $\rho$ , мкм/мм
Прокат горячекатаный обычной точности	80 – 150	100 – 1150	0,5 – 2,5
Прокат горячекатаный повышенной точности	50 – 100	80 – 150	0,2 – 1,0
Прокат калиброванный	40 – 80	50 – 100	0,1 – 0,5
Рубка на прессах и ножницах	100 – 300	100 – 150	0,5 – 1,0
Разрезание пилами на станках	80 – 160	100 – 150	0,1 – 0,2

Таблица Г.4 – Качество поверхности наружных цилиндрических поверхностей после обработки

Метод и вид обработки	Шероховатость $R_z$ , мкм	Глубина дефектного слоя $h$ , мкм	Остаточные пространственные отклонения $\rho_{ост}$ , % от $\rho$ заготовки
Точение черновое	50 – 6,3	120 – 60	7
Точение чистовое	6,3 – 0,4	30 – 20	4
Точение тонкое	1,6 – 0,2	10 – 5	2
Шлифование предварительное	6,3 – 0,4	20	3
Шлифование чистовое	3,2 – 0,2	15 – 5	2
Шлифование тонкое	1,6 – 0,1	6 – 2	1
Притирка, суперфиниш	0,8 – 0,1	5 – 3	1
Обкатывание, алмазное выглаживание	0,8 – 0,05	–	1

Таблица Г.5 – Качество поверхности плоскостей после обработки

Метод и вид обработки	Шероховатость $R_z$ , мкм	Глубина дефектного слоя $h$ , мкм	Остаточные пространственные отклонения $\rho_{ост}$ , % от $\rho$ заготовки
Фрезерование и строгание черновое	25 – 12,5	100 – 50	6
Фрезерование и строгание чистовое	6,3 – 1,6	50 – 20	4
Фрезерование и строгание тонкое	1,6 – 0,8	30 – 10	2
Торцовое точение черновое	50 – 25	100 – 50	6
Торцовое точение чистовое	25 – 3,2	50 – 20	4
Торцовое точение тонкое	3,2 – 0,8	30 – 10	2
Протягивание плоское	6,3 – 1,6	50 – 10	3
Шлифование предварительное	3,2	20	3
Шлифование чистовое	1,6 – 0,8	15 – 5	2
Шлифование тонкое	0,8 – 0,2	5	1
Притирка, шабрение	0,8 – 0,2		1

Таблица Г.6 – Качество поверхности отверстий после обработки

Метод и вид обработки	Шероховатость $R_z$ , мкм	Глубина дефектного слоя $h$ , мкм	Остаточные пространственные отклонения $\rho_{ост}$ , % от $\rho$ заготовки
1	2	3	4
Сверление и рассверливание	25 – 6,3	70 – 25	–
Зенкерование черновое	25 – 12,5	50 – 30	8
Зенкерование однократное литого или прошитого отверстия	12,5 – 6,3	40 – 25	8
Зенкерование чистовое после чернового или сверления	12,5 – 6,3	40 – 25	7

Продолжение таблицы Г.6

1	2	3	4
Развертывание нормальное	3,2	25 – 15	5
Развертывание точное	1,6	10	4
Развертывание тонкое	0,8	5	4
Протягивание черновое	3,2	25 – 15	1
Протягивание чистовое	1,6 – 0,8	10 – 5	1
Растачивание черновое	25 – 12,5	50 – 30	7
Растачивание чистовое	6,3 – 3,2	25 – 15	5
Растачивание тонкое	1,6 – 0,4	10 – 4	5
Шлифование предварительное	3,2	20	7
Шлифование окончательное	1,6 – 0,8	20 – 5	5
Шлифование тонкое	0,8 – 0,2	5	4
Притирка, хоннирование	0,4 – 0,05	5 – 3	1
Раскатывание, калибрование, алмазное выглаживание	0,8 – 0,1	–	1

Таблица Г.7 – Припуски на чистовую обработку зубьев цилиндрических зубчатых колес

В миллиметрах

Модуль	Диаметр колеса		
	До 100	100 – 200	200 - 500
1	2	3	4
Чистовое зубофрезерование и зубодолбление			
3-5	0,6 - 0,9	0,8 - 1,0	1,0-1,2
5-10	0,8 - 1,0	1,0-1,2	1,1-1,6
Шевингование			
До 3	0,06-0,10	0,08-0,12	0,10-0,15
3-5	0,08-0,12	0,10-0,15	0,12-0,18
5-7	0,10-0,14	0,12-0,16	0,15-0,18

Продолжение таблицы Г.7

1	2	3	4
7-10	0,12-0,16	0,15-0,18	0,18-0,20
Шлифование			
До 3	0,15-0,20	0,15-0,25	0,18-0,30
3-5	0,18-0,25	0,18-0,30	0,20-0,35
5-10	0,25 - 0,40	0,30 - 0,50	0,35-0,60

Таблица Г.8 – Припуски на чистовую обработку червяков

В миллиметрах

Модуль	Чистовое нарезание после предварительного	Шлифование закаленных червяков
До 2	0,35 - 0,40	0,10 - 0,15
Св. 2 до 3	0,50 - 0,60	0,15 - 0,20
Св. 3 до 5	0,6 - 0,70	0,20 - 0,25
Св. 5 до 7	0,70 - 0,80	0,25 - 0,30
Св. 7 до 10	0,80 - 0,90	0,30 - 0,35
Св. 10 до 12	0,90 - 1,00	0,35 - 0,40

Припуски на обработку зубьев устанавливаются на эвольвентную поверхность зубьев. Контроль размеров зубьев чаще всего производится путем измерения длины общей нормали. Значения длины общей нормали цилиндрических зубчатых колес приведены в таблице Г.9.

В таблице Г.9:  $z$  – число зубьев колеса,  $z_n^*$  – число зубьев, охватываемых при измерении,  $W_b$  – длина общей нормали. Для определения длины общей нормали для зубчатых колес модулем, отличным от единицы, следует табличное значение умножить на модуль. Допускается округление значений, приведенных в таблице Г.9 до сотых долей миллиметра. Схема измерения длины общей нормали для зубчатого колеса с модулем  $m = 1$  мм и числом зубьев  $z = 20$  показана на рисунке Г.1.

Таблица Г.9 – Значения длины общей нормали для прямозубых колес при модуле  $m = 1$  мм

В миллиметрах

$z$	$z_n^*$	$W_b$	$z$	$z_n^*$	$W_t$	$z$	$z_n^*$	$W_t$	$z$	$z_n^*$	$W_t$
8	2	4,54024	20	3	7,66043	32	4	10,78062	44	5	13,90081
9	2	4,55424	21	3	7,67443	33	4	10,79462	45	5	13,91482
10	2	4,56825	22	3	7,68844	34	4	10,83863	46	6	16,88095
11	2	4,58225	23	3	7,70244	35	4	10,82264	47	6	16,89496
12	2	4,59626	24	3	7,71645	36	4	10,83664	48	6	16,90896
13	2	4,61026	25	3	7,73045	37	5	13,80278	49	6	16,92297
14	2	4,62427	26	3	7,74446	38	5	13,81678	50	6	16,93697
15	2	4,63827	27	3	7,75846	39	5	13,83079	51	6	16,95098
16	2	4,65228	28	4	10,72460	40	5	13,84479	52	6	16,96498
17	2	4,66628	29	4	10,73860	41	5	13,85880	53	6	16,97899
18	2	4,68029	30	4	10,75261	42	5	13,87280	54	6	16,99299
19	3	7,64642	31	4	10,76661	43	5	13,88681	55	7	19,95913

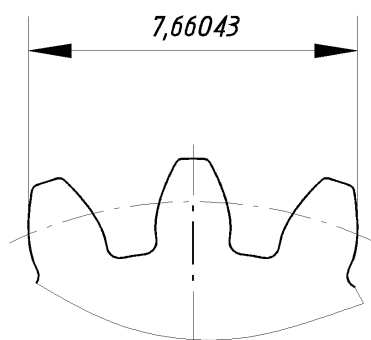


Рисунок Г.1 – Измерение длины общей нормали

Для определения длины общей нормали, полученной на предварительном переходе обработки зубьев необходимо увеличить ее на удвоенную величину припуска (таблица Г.7)

$$W_{t0} = W_{t1} + 2z.$$

Таблица Г.10 - Припуски на чистовую обработку шлицев

В миллиметрах

Диаметр вала	Длина шлицев		
	До 100	св. 100 до 200	св. 200 до 350
10 – 18	0,4 - 0,6	0,5 - 0,7	-
	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	
18 – 30	0,5 - 0,7	0,6 - 0,8	0,7 - 0,9
	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,2 - 0,4
30 – 50	0,6 - 0,8	0,7 - 0,9	0,8 - 1,0
	0,2 - 0,3	0,2 - 0,4	0,3 - 0,5