



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»

А.В. ШАШОК

**ЭЛЕМЕНТЫ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**Учебное пособие для студентов всех форм обучения
направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»**

Рекомендовано Сибирским региональным учебно-методическим центром высшего профессионального образования для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов механико-машиностроительных направлений подготовки

Рубцовск 2013

УДК 621.9

Шашок А.В. Элементы размерного анализа технологических процессов механической обработки деталей машин: Учебное пособие для студентов всех форм обучения направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»/Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. – 97 с.

Учебное пособие предназначено для студентов всех форм обучения направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» при изучении ими дисциплины «Анализ технологических процессов», а также при выполнении расчетно-графических и контрольных работ. В пособии приведены основные теоретические сведения о размерных связях и размерном анализе технологических процессов изготовления деталей машин, приведены примеры проведения размерного анализа действующего и вновь проектируемого технологического процесса.

Рассмотрены и одобрены
на заседании кафедры ТИТМиПП
Протокол № 1 от 31.01.2013 г.

Рецензенты:
заведующий кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО НГТУ
д.т.н. проф. Х.М. Рахимьянов;
профессор кафедры «Общая технология машиностроения» ФГБОУ ВПО АлтГТУ
им. И.И. Ползунова
д.т.н., проф. С.Л. Леонов

© Рубцовский индустриальный институт, 2013

Введение

Любая машина в процессе своего создания обязательно проходит этапы разработки ее конструктивных форм (конструкторская подготовка производства) и разработки технологического процесса (ТП) ее изготовления (технологическая подготовка производства). На этапе конструкторской подготовки производства, исходя из служебного назначения изделия, устанавливаются требования к точности относительных перемещений и (или) требования к точности взаимного расположения исполнительных поверхностей машины.

Для обеспечения требуемого взаимного расположения исполнительных поверхностей машины необходимо реализовать различного рода связи между исполнительными поверхностями и поверхностями основных и вспомогательных конструкторских баз ее отдельных деталей. Одним из видов таких связей являются размерные связи между поверхностями деталей, возникающие на этапе сборки машины. Учет размерных связей между поверхностями деталей машин позволяет конструктору обоснованно назначать требования к точности (допуски) размеров и взаимного расположения отдельных поверхностей деталей.

Основываясь на установленных значениях допусков, на этапе технологической подготовки производства для каждой детали выбираются методы обработки ее поверхностей, определяются значения припусков, а также устанавливаются требования к точности размеров и взаимного расположения поверхностей детали на всех этапах ее изготовления. Количественный расчет таких требований является возможным в силу наличия на каждом этапе изготовления детали размерных связей между поверхностями заготовки, поступающей на технологическую операцию, припусками, снимаемыми в процессе реализации операции, и поверхностями заготовки, получаемыми после ее обработки на операции. Указанные связи могут быть формализованы в виде размерной схемы ТП, представляющей собой совокупность технологических размерных цепей, связывающих размеры исходной заготовки, припуски, технологические размеры и размеры готовой детали. Все вышесказанное также

является справедливым и для величин, характеризующих точность взаимного расположения поверхностей детали.

Совокупность расчетов, позволяющих с использованием размерной схемы ТП определять значения припусков, обоснованно назначать требования к точности размеров и параметров взаимного расположения поверхностей деталей машин в процессе их изготовления, а также выявлять конструкторские размеры, точность которых не может быть обеспечена при изготовлении детали, в технологии машиностроения принято называть «размерным анализом» ТП.

Опыт отечественных и зарубежных машиностроительных предприятий показывает, что только на базе размерного анализа технологических процессов могут быть спроектированы качественные технологические процессы, требующие минимальной корректировки на этапе их внедрения.

Материал пособия излагается в четырех разделах: элементы теории размерных цепей и методы их расчета; размерный анализ спроектированных (действующих) вариантов ТП; основные этапы размерного анализа проектируемых (разрабатываемых) ТП и пример проведения размерного анализа проектируемого ТП.

При изложении материала предполагается, что с основной терминологией в области теории размерных связей в машиностроении студент знаком из обязательных курсов «Метрология, стандартизация и сертификация» и «Основы технологии машиностроения» ФГОС ВПО по направлению 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», а также из курса по выбору «Нормирование точности деталей машин», поэтому первый раздел пособия излагается не так подробно, как это обычно делается в указанных дисциплинах.

1 Элементы теории размерных цепей и методы их расчета

1.1 Основные понятия и определения

В машиностроении **размерной цепью** принято называть совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи. В зависимости от вида решаемой задачи размерные цепи подразделяют на конструкторские, технологические и измерительные.

Так, на рисунке 1.1, а) представлена конструкторская размерная цепь, с помощью которой решается задача обеспечения заданной точности зазора между торцом вала-шестерни и торцом втулки (размер A_{Δ}). Здесь же на рисунке 1.1, б) представлена схема этой размерной цепи. На рисунке 1.2 представлена технологическая размерная цепь, с помощью которой решается задача обеспечения заданной точности размера фаски (размер A_{Δ}). На рисунке 1.3 представлена измерительная размерная цепь, с помощью которой решается задача измерения линейного размера призматической детали с заданной точностью.

Размерные цепи принято изображать непосредственно на рабочих чертежах сборочных единиц, технологических эскизах обработки или измерения деталей, а также изображать в виде отдельных схем (рисунок 1.1, б).

Размеры, образующие размерную цепь, называются звеньями размерной цепи. Звеньями размерных цепей могут быть линейные или угловые размеры, которые принято обозначать прописными буквами русского алфавита ($A_1, A_2, \dots, B_1, B_2, \dots$) в случае, когда звеньями размерных цепей являются линейные размеры, либо строчными буквами греческого (кроме букв $\alpha, \delta, \xi, \lambda, \omega$) алфавита ($\beta_1, \beta_2, \dots, \gamma_1, \gamma_2, \dots$) в случае, когда звеньями размерных цепей являются угловые размеры.

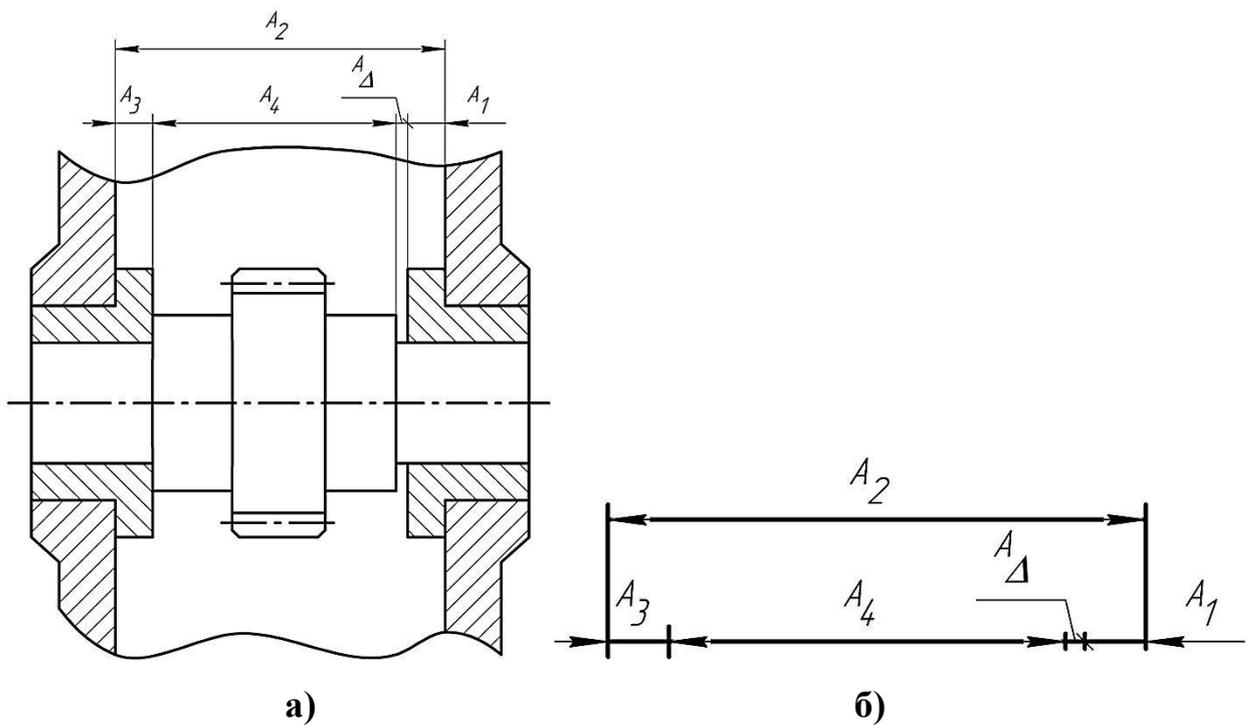


Рисунок 1.1 – Конструкторская размерная цепь редуктора, обеспечивающая зазор между торцом вала-шестерни и торцом втулки а), схема размерной цепи б) (1 – корпус; 2 – втулка; 3 – вал-шестерня; 4 – втулка)

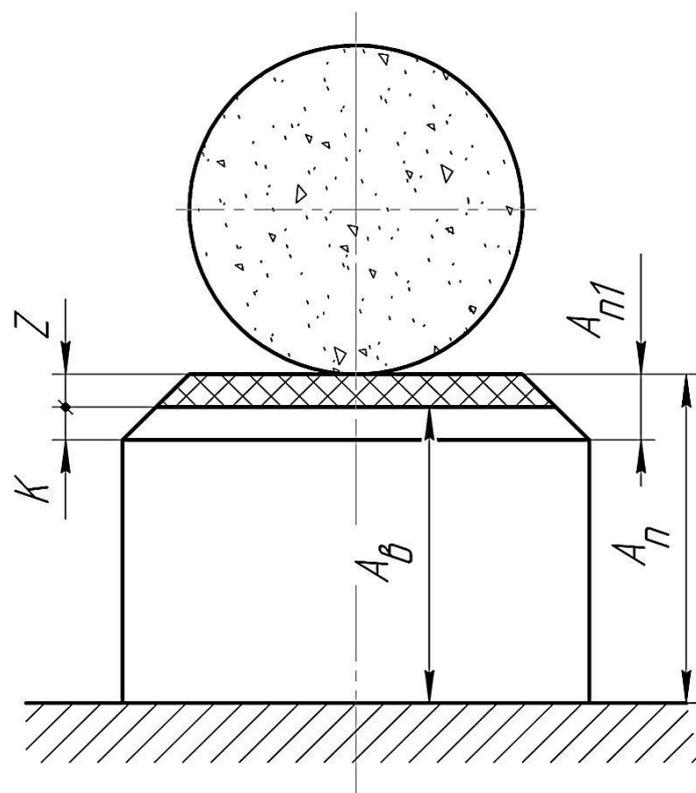


Рисунок 1.2 – Технологические размерные цепи, возникающие при обеспечении размера фаски

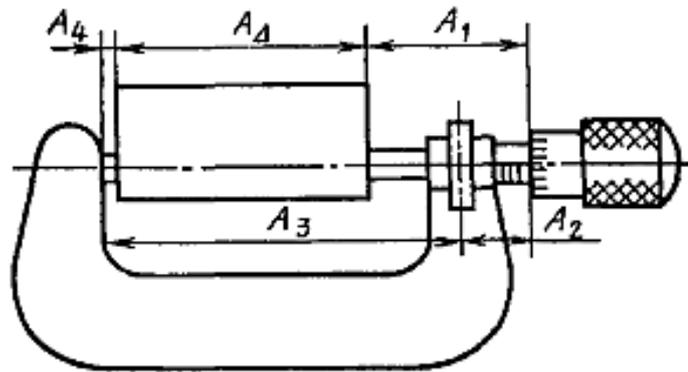


Рисунок 1.3 – Измерительная размерная цепь, возникающая при измерении линейного размера детали

В любой размерной цепи одно из звеньев является замыкающим, а все остальные являются составляющими звеньями.

Замыкающим (исходным) называют звено, которое является исходным при постановке задачи, или получается последним в результате ее решения. Например, если в конструкторской размерной цепи редуктора (рисунок 1.1) номинальная величина зазора (размер A_Δ) и его предельные отклонения являются известными, а параметры всех остальных звеньев (размеры A_1, \dots, A_4) неизвестны и требуется определить их значения, то в этом случае звено A_Δ будет являться исходным. Такая задача в теории размерных цепей называется прямой или конструкторской (проектной) задачей. Название «конструкторская» связано с тем, что с прямой задачей в основном сталкиваются конструкторы при обосновании допусков на линейные размеры деталей и обосновании допусков взаимного расположения поверхностей.

Напротив, если известными являются номинальные размеры и предельные отклонения размеров $A_1 - A_4$, а требуется определить номинальное значение и предельные отклонения размера A_Δ , то в этом случае данные параметры будут получены последними в результате решения задачи. Такая задача называется обратной или технологической задачей. Замыкающее звено размерной цепи всегда имеет обозначение с индексом Δ .

В зависимости от характера влияния составляющего звена на размер замыкающего звена размерной цепи различают увеличивающие и уменьшающие звенья. Так, например, увеличение номинального размера какого-либо из звеньев A_1 , A_3 , или A_4 , приведет к уменьшению номинального размера замыкающего звена. Такие звенья размерной цепи называются **уменьшающими звеньями** и на схемах размерных цепей обозначаются стрелкой, направленной влево. Напротив, увеличение номинального размера звена A_2 приведет к увеличению номинального размера замыкающего звена размерной цепи. Такие звенья размерной цепи называются **увеличивающими звеньями** и на схемах размерных цепей обозначаются стрелкой направленной вправо.

В зависимости от того, как расположены звенья размерной цепи, выделяют плоские (все звенья расположены в одной плоскости или параллельны одной плоскости) и пространственные (звенья расположены более чем в одной плоскости) размерные цепи. При этом в плоских размерных цепях звенья могут быть как параллельны, так и не параллельны друг другу.

1.2 Методы расчета размерных цепей

В настоящее время в машиностроении используется пять основных методов расчета размерных цепей: полной взаимозаменяемости (метод максимума-минимума), неполной взаимозаменяемости (вероятностный метод), групповой взаимозаменяемости, регулирования и пригонки. Однако при проведении размерного анализа технологических процессов, базирующегося на расчетах технологических размерных цепей, используются только методы полной и неполной взаимозаменяемости. Рассмотрим каждый из этих методов более подробно.

Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости (на максимум - минимум)

Пусть имеется простейшая размерная цепь (рисунок 1.4), состоящая из двух составляющих и одного замыкающего звена.

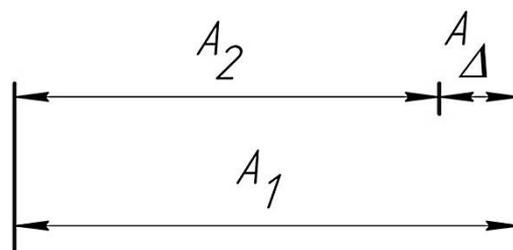


Рисунок 1.4 – Трехзвенная размерная цепь

Для этой размерной цепи номинальное значение звена A_{Δ} будет равно:

$$A_{\Delta} = \vec{A}_1 - \overleftarrow{A}_2, \quad (1.1)$$

т.е. разности увеличивающего и уменьшающего звена. В общем случае, когда число увеличивающих звеньев равно l , а количество уменьшающих звеньев равно n , данное уравнение запишется в виде:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^l \vec{A}_i - \sum_{j=1}^n \overleftarrow{A}_j. \quad (1.2)$$

Уравнение (1.2) можно записать более компактно в следующем виде:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i, \quad (1.3)$$

где ξ_i – передаточное отношение i -го звена, отражающее характер его влияния на величину замыкающего звена¹; $m - 1$ – общее количество составляющих звеньев размерной цепи. Уравнение (1.3) принято называть уравнением размерной цепи в номинальных значениях.

Вернемся к уравнению (1.1). Очевидно, что максимальное значение замыкающего звена будет в том случае, когда звено \vec{A}_1 будет наибольшим, а звено \overleftarrow{A}_2 будет наименьшим. И наоборот, минимальное значение замыкающего звена будет тогда, когда звено \vec{A}_1 будет наименьшим, а звено \overleftarrow{A}_2 будет наибольшим. Таким образом:

$$A_{\Delta}^{\text{нб}} = \vec{A}_1^{\text{нб}} - \overleftarrow{A}_2^{\text{нм}}, \quad A_{\Delta}^{\text{нм}} = \vec{A}_1^{\text{нм}} - \overleftarrow{A}_2^{\text{нб}}, \quad (1.4)$$

Очевидно, что в общем случае:

$$A_{\Delta}^{\text{нб}} = \sum_{i=1}^l \vec{A}_i^{\text{нм}} - \sum_{j=1}^n \overleftarrow{A}_j^{\text{нб}}; \quad (1.5)$$

¹ Большинство технологических размерных цепей являются плоскими с параллельными звеньями. В таких размерных цепях передаточное отношение может принимать значение +1 для увеличивающих звеньев и -1 для уменьшающих.

$$A_{\Delta}^{\text{HM}} = \sum_{i=1}^l \vec{A}_i^{\text{HM}} - \sum_{j=1}^n \vec{A}_j^{\text{H6}}. \quad (1.6)$$

Вычтем почленно из уравнения (1.5) уравнение (1.6). Замечая, что разности $A_{\Delta}^{\text{H6}} - A_{\Delta}^{\text{HM}}$, $\vec{A}_i^{\text{H6}} - \vec{A}_i^{\text{HM}}$ и $\vec{A}_j^{\text{H6}} - \vec{A}_j^{\text{HM}}$ равны допускам соответствующих звеньев, можно записать следующее уравнение:

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^l T_{\vec{A}_i} + \sum_{j=1}^n T_{\vec{A}_j} = \sum_{i=1}^{m-1} T_{\vec{A}_i} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_{A_i}, \quad (1.7)$$

которое принято называть уравнением размерной цепи в допусках.

Из уравнений (1.5 – 1.6), учитывая связь между наибольшим предельным размером, наименьшим предельным размером, допуском и координатой середины поля допуска, путем несложных преобразований можно получить еще одно уравнение, связывающее координаты середин полей допусков составляющих звеньев размерной цепи Δ_{o_i} и ее замыкающего звена $\Delta_{o_{\Delta}}$:

$$\Delta_{o_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{o_i}. \quad (1.8)$$

Уравнения (1.3, 1.7, 1.8) являются основой решения как прямой, так и обратной задачи расчета размерных цепей по методу полной взаимозаменяемости или по методу максимума-минимума. Относительно применения данных уравнений необходимо сделать следующее замечание. Зачастую при расчете технологических размерных цепей (особенно при решении обратных задач) приходится иметь дело не с допусками межпереходных размеров и параметров взаимного расположения поверхностей, а с их погрешностями. В этом случае при расчетах методом максимума-минимума также должны использоваться уравнения (1.3, 1.7, 1.8), записанные в несколько видоизмененном виде. Так, уравнение (1.7) должно быть записано в виде:

$$\omega_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \omega_{A_i}, \quad (1.9)$$

где символом ω обозначено поле рассеяния (погрешность) соответствующего звена. При этом в уравнении (1.8) под величинами Δ_{o_i} и $\Delta_{o_{\Delta}}$ необходимо понимать не координаты середин полей допусков, а координаты середин полей рассеивания соответствующих погрешностей.

Все приведенные зависимости получены в предположении о том, что в размерной цепи возможно одновременное сочетание наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих звеньев (или наоборот). Именно поэтому метод полной взаимозаменяемости по-другому называют **метод максимума-минимума**. Преимущество данного метода заключается в том, что он обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей, размеры которых включаются в размерную цепь, и исключает появление брака.

При этом очевидно, что при большом количестве составляющих звеньев вероятность указанного сочетания является малой величиной. Это обстоятельство позволяет применять при расчетах размерных цепей **вероятностный метод**. При применении данного метода в большинстве случаев предполагают, что:

1. размеры составляющих звеньев являются нормально распределенными случайными величинами;
2. координата середины поля допуска соответствует координате середины поля рассеяния;
3. поле допуска и поле рассеяния, ограниченное шестью среднеквадратическими отклонениями, равны и их границы совпадают, т.е. ($T = \omega = 6\sigma$).

При справедливости данных допущений можно записать:

$$T_{A_j} = 6\sigma_{A_j} \text{ или } \sigma_{A_j} = \frac{1}{6}T_{A_j}. \quad (1.10)$$

Учитывая правило сложения дисперсий (дисперсия суммы случайных величин есть сумма их дисперсий), имеем:

$$\sigma_{A_\Delta}^2 = \sum_{j=1}^{m-1} \sigma_{A_j}^2. \quad (1.11)$$

С учетом выражения (1.10):

$$T_{A_\Delta} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} T_{A_j}^2}. \quad (1.12)$$

Вероятностный метод расчета размерных цепей позволяет при решении прямой задачи устанавливать несколько большие допуски на составляющие звенья, входящие в размерную цепь. При этом, чем больше количество звеньев в размерной цепи, тем больше преимущество вероятностного метода.

Вместе с тем, при применении рассматриваемого метода с вероятностью 0,27% размер замыкающего звена может выйти за границы поля допуска. Если распределение размеров составляющих звеньев отличается от нормального, то допуск замыкающего звена рассчитывается по общей формуле:

$$T_{A_{\Delta}} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} T_{A_j}^2 k_j^2}, \quad (1.13)$$

где k_j - коэффициент относительного рассеяния (константа для конкретного закона распределения).

При проведении размерного анализа как спроектированных, так и проектируемых технологических процессов рекомендуется при небольшом количестве составляющих звеньев (2 – 4 звена) использовать метод расчета на максимум-минимум, а при значительном количестве звеньев рекомендуется использовать вероятностный метод расчета.

1.3 Пример расчета размерной цепи методами максимума-минимума и вероятностным методом

В качестве примера рассмотрим решение прямой и обратной задачи для конструкторской размерной цепи, представленной на рисунке 1.1, методом максимума-минимума и вероятностным методом.

При проведении расчетов примем, что номинальные размеры составляющих звеньев размерной цепи известны и равны:

$$\tilde{A}_1 = \tilde{A}_3 = 8 \text{ мм}; \tilde{A}_2 = 167 \text{ мм}; \tilde{A}_4 = 150 \text{ мм}. \quad (1.14)$$

Также известно, что редуктор будет способен выполнить свое служебное назначение, если зазор между торцом втулки (поз.2) и торцом вала-шестерни (поз. 3) будет равен:

$$A_{\Delta} = 1 \pm 0,2 \text{ мм}. \quad (1.15)$$

При решении прямой задачи необходимо так установить требования к точности составляющих звеньев размерной цепи, чтобы выполнялось условие (1.15). Условию (1.15) эквивалентны три условия относительно номи-

нального значения, допуска и координаты середины поля допуска замыкающего звена:

$$A_{\Delta} = 1 \text{ мм}; T_{A_{\Delta}} = 0,4 \text{ мм (400 мкм)}; \Delta_{0A_{\Delta}} = 0. \quad (1.16)$$

Запишем условия (1.3, 1.7, 1.8) с учетом (1.15), а также с учетом передаточных функций звеньев $A_1 - A_4$ (звенья A_1, A_3 и A_4 являются уменьшающими, а звено A_2 – увеличивающим):

$$-A_1 + A_2 - A_3 - A_4 = 1; \quad (1.17)$$

$$T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3} + T_{A_4} = 400; \quad (1.18)$$

$$-\Delta_{0A_1} + \Delta_{0A_2} - \Delta_{0A_3} - \Delta_{0A_4} = 0; \quad (1.19)$$

Подстановка номинальных значений составляющих звеньев размерной цепи (1.14) позволяет убедиться, что уравнение в номинальных значениях выполняется, т.е.:

$$A_{\Delta} = -8 + 167 - 8 - 150 = 1. \quad (1.20)$$

Однако при решении уравнений относительно допусков и координат середин полей допусков (1.18, 1.19) прямая задача допускает бесконечное число решений². Для нахождения некоторого приемлемого решения существуют три способа распределения допусков (способ подбора, способ равных допусков и способ одного качества). Рассмотрим применение одного из этих способов – способ одного качества. При этом способе предполагается, что размеры деталей, являющиеся звеньями рассматриваемой размерной цепи, должны быть изготовлены по одному качеству точности. Качество точности определяется путем расчета среднего количества единиц допуска по формуле:

$$a_{cp} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_{A_j}}, \quad (1.21)$$

где i_{A_j} - значение единицы допуска для соответствующего размера, определяемое в зависимости от его номинального значения по [1].

В данном случае для a_{cp} имеем:

² На самом деле прямая задача допускает бесконечное число решений и относительно номинальных значений, если эти значения заранее не являются заданными.

$$a_{cp} = \frac{400}{0,9+2,5+0,9+2,5} \approx 59,$$

которое находится между 9 и 10 квалитетом точности, ближе к 10 квалитету.

Назначим допуски на составляющие звенья A_1 , A_2 , A_3 по 10 квалитету. Таким образом, $T_{A1} = T_{A3} = 58$ мкм; $T_{A2} = 160$ мкм. Допуск на размер A_4 определим из уравнения (1.18):

$$T_{A4} = T_{A\Delta} - T_{A1} - T_{A2} - T_{A3} = 124 \text{ мкм.}$$

Для решения прямой задачи относительно координат середин полей допусков (1.18) назначим предельные отклонения на составляющие звенья A_1 и A_3 как на основные валы (т.е. верхнее отклонение примем равным нулю, а нижнее отклонение $-0,058$ мм), а на звено A_2 как на основное отверстие (т.е. нижнее отклонение равно нулю, а верхнее отклонение равно $+0,16$ мм).

Тогда координаты середин полей допусков звеньев A_1 , A_2 , A_3 : равны $\Delta_{O_{A1}} = \Delta_{O_{A3}} = -0,029$ мм; $\Delta_{O_{A2}} = +0,08$ мм. Координату середины поля допуска звена A_4 определим из уравнения (1.18):

$$\Delta_{O_{A4}} = \Delta_{O_{A2}} - \Delta_{O_{A1}} - \Delta_{O_{A3}} - \Delta_{O_{A\Delta}} = 0,08 + 0,029 + 0,029 - 0 = 0,138 \text{ мм}$$

Решение размерной цепи запишем в виде таблицы 1.1.

В случае решения обратной задачи исходными данными являются параметры составляющих данных, значения которых берутся из соответствующей конструкторской или технологической документации, а параметры замыкающего звена получаются последними в результате применения к исходным данным уравнений (1.3, 1.7, 1.8).

Таблица 1.1

Результат расчета размерной цепи методом максимума-минимума

| Обозначение звена | Номинальный размер A_j , мм | Допуск T_{A_j} , мкм | Координата середины поля допуска $\Delta_{O_{A_j}}$, мм | Передаточное отношение ξ_j , мм | Предельные отклонения, мм | |
|-------------------|-------------------------------|------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | | | | нижнее $\Delta_{H_{A_j}}$ | верхнее $\Delta_{B_{A_j}}$ |
| A_Δ | 1 | 400 | 0 | - | -0,2 | +0,2 |
| A_1 | 8 | 58 | -0,029 | -1 | -0,058 | 0 |
| A_2 | 167 | 160 | 0,08 | +1 | 0 | 0,16 |
| A_3 | 8 | 58 | -0,029 | -1 | -0,058 | 0 |
| A_4 | 150 | 144 | 0,138 | -1 | 0,2 | 0,076 |

Решим, например, обратную задачу при значениях исходных данных, полученных в результате решения прямой задачи. Имеем $A_1 = 8_{-0,058}$, $A_2 = 167^{+0,16}$, $A_3 = 8_{-0,058}$, $A_4 = 150^{+0,2}_{+0,076}$. Применяя формулы (1.3, 1.7, 1.8), имеем соответственно:

$$A_\Delta = -8 + 167 - 8 - 150 = 1 \text{ мм};$$

$$T_{A_\Delta} = 58 + 160 + 58 + 144 = 400 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{O_{A_\Delta}} = 0,029 + 0,08 + 0,029 - 0,138 = 0 \text{ мм}.$$

Таким образом, звено $A_\Delta = 1 \pm 0,2$, что соответствует значению, заданному конструктором.

Решим прямую задачу для рассматриваемой размерной цепи вероятностным методом. Примем, что размеры деталей, которые входят в размерную цепь, подчиняются **нормальному** закону распределения случайных величин, причем для каждого размера координата середины поля допуска соответствует координате середины поля рассеяния, поле допуска и поле рассеяния, ограниченное шестью среднеквадратическими отклонениями, равны и их границы совпадают. В этом случае для расчета среднего количества единиц допуска используют формулу:

$$a_{cp} = \frac{T_{A_\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} t_{A_j}^2}. \quad (1.22)$$

В соответствии с (1.22), имеем:

$$a_{cp} = \frac{T_{A\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_{A_j}^2} = \frac{400}{\sqrt{0,9^2+2,5^2+0,9^2+2,5^2}} = 106,$$

что примерно соответствует 11 качеству точности размеров. Исходя из этого, допуски на размеры A_1 , A_2 , A_3 назначим по 11 – му качеству, а на звено A_4 определим из уравнения (1.12).

Таким образом: $T_{A_1} = T_{A_3} = 90$ мкм, $T_{A_2} = T_{A_4} = 250$ мкм. Допуск на размер A_4 равен:

$$T_{A_4} = \sqrt{T_{A\Delta}^2 - T_{A_1}^2 - T_{A_2}^2 - T_{A_3}^2} = \sqrt{400^2 - 90^2 - 250^2 - 90^2} = 285 \text{ мкм.}$$

Предельные отклонения на размеры A_1 и A_3 назначим как для основных валов, тогда координаты середины полей допусков для этих звеньев $\Delta_{oA_1} = \Delta_{oA_3} = -0,045$. Допуск на размер A_2 назначим как на основное отверстие, тогда координата середины поля допуска для данного звена $\Delta_{oA_2} = +0,125$. Координату середины поля допуска звена A_4 определим из уравнения (1.19):

$$\Delta_{oA_4} = \Delta_{oA_2} - \Delta_{oA_1} - \Delta_{oA_3} - \Delta_{oA\Delta} = 0,125 + 0,045 + 0,045 - 0 = 0,138 \text{ мм.}$$

Результаты расчета сведены в таблицу 1.2. Окончательно для размеров деталей имеем:

$$A_1 = 8_{-0,09}; A_2 = 167^{+0,25}; A_3 = 8_{-0,09}; A_4 = 150_{+0,072}^{+0,358}.$$

Очевидно, что решение обратной задачи при таких значениях допусков и их координат середин полей допусков также приведет к значению звена $A_\Delta = 1 \pm 0,2$ мм.

По сравнению с методом максимума-минимума, применение вероятностного метода расчета позволяет назначить на составляющие звенья размерной цепи более широкие допуски на размеры деталей, что, естественно, сокращает затраты на их изготовление.

Результат решения размерной цепи вероятностным методом

| Обозначение звена | Номинальный размер A_j , мм | Допуск T_{Aj} , мкм | Координата середины поля допуска $\Delta_{O_{Aj}}$, мм | Передаточное отношение ξ_j , мм | Предельные отклонения, мм | |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------|---|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| | | | | | нижнее Δ_{HAj} | верхнее Δ_{BAj} |
| A_Δ | 1 | 400 | 0 | - | -0,2 | +0,2 |
| A_1 | 8 | 90 | -0,045 | -1 | -0,090 | 0 |
| A_2 | 167 | 250 | 0,125 | +1 | 0 | 0,250 |
| A_3 | 8 | 90 | -0,045 | -1 | -0,090 | 0 |
| A_4 | 150 | 285 | 0,215 | -1 | 0,072 | 0,358 |

Размерный анализ конструкции сборочной единицы, проводимый технологом, позволяет решить следующие задачи. Во-первых, установить технологичность допусков на составляющие звенья размерной цепи, а во-вторых, установить соответствие размерных связей между поверхностями детали размерным связям, возникающим в процессе сборки готового изделия. Это соответствие можно сформулировать следующим образом: если размер детали (или параметр, характеризующий взаимное расположение поверхностей), является составляющим звеном размерной цепи, определяющей возможность выполнения изделием своего служебного назначения, то этот размер (взаимное расположение поверхностей) должен быть указан на чертеже детали.

2 Размерный анализ спроектированных (действующих) технологических процессов изготовления деталей

2.1 Структура технологических размерных цепей

Сущность размерного анализа спроектированных (действующих) ТП состоит в решении обратных задач для технологических размерных цепей, связывающих технологические размеры, припуски и конструкторские размеры. Размерный анализ позволяет оценить качество ТП, в частности позволяет определить, будет ли он обеспечивать выполнение конструкторских размеров, непосредственно не выдерживаемых при обработке заготовки, оценить достаточность назначенных припусков на обработку для обеспечения требуемого качества поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей.

Для понимания сути задач размерного анализа ТП необходимо сначала рассмотреть структуру технологических размерных цепей. В технологических размерных цепях³ замыкающими звеньями могут быть либо размеры припусков на обработку, либо конструкторские (чертежные размеры детали). В большинстве технологических размерных цепей составляющими звеньями являются технологические размеры обрабатываемой детали. К ним относятся: размеры исходной заготовки; размеры, получаемые на всех операциях (переходах) обработки резанием; размеры термоупрочненных слоев.

Иными словами, составляющими звеньями технологических размерных цепей являются все размеры, которые указывают в технологической документации, регламентирующей изготовление детали. Однако в некоторых случаях припуски и конструкторские размеры могут являться и составляющими звеньями размерных цепей.

Рассмотрим, например, схему подрезки торца на токарном станке (рисунок 2.1, а). В технологической документации (операционной карте, карте эскизов) к выполнению предписывается размер A_B (выполняемый

³ Или операционных размерных цепях

размер), а размер $A_{\text{п}}$ был получен на предыдущем переходе. Размеры $A_{\text{в}}$ и $A_{\text{п}}$ являются составляющими звеньями технологической размерной цепи. Замыкающим звеном является припуск на обработку - Z .

Аналогично можно составить схему технологической размерной цепи при точении цилиндрической поверхности (или растачивании отверстия), в которой составляющими звеньями размерной цепи являются диаметральный размеры ступени валика (или отверстия) до обработки и после обработки, а припуск является замыкающим звеном (рисунок 2.1, б).

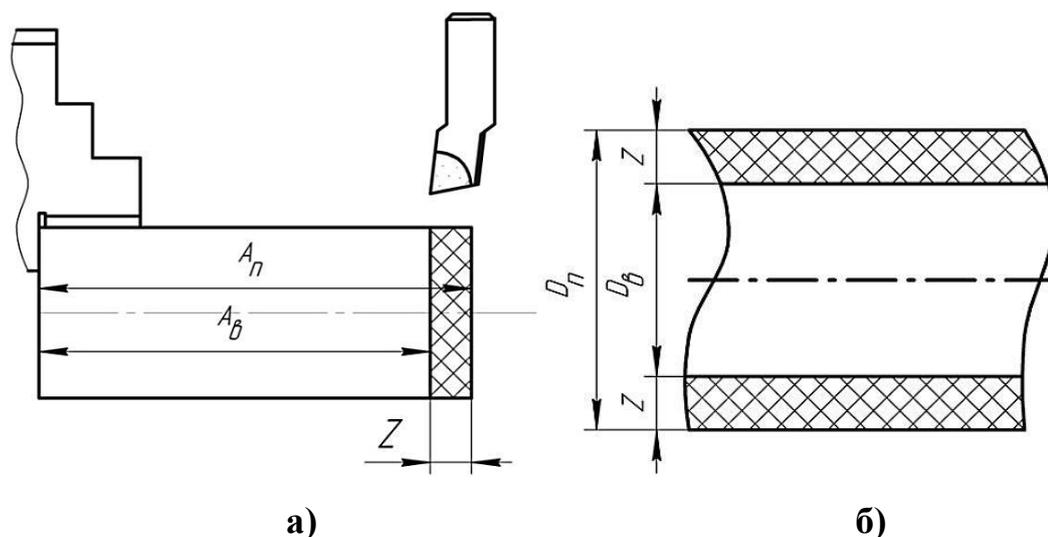


Рисунок 2.1 – Технологические размерные цепи с замыкающим звеном припуском (размеры $A_{\text{в}}$ и $A_{\text{п}}$ – составляющие звенья; припуск Z – замыкающее звено – а; размеры $D_{\text{в}}$ и $D_{\text{п}}$ – составляющие звенья; припуск Z – замыкающее звено – б)

В то же время припуск может являться и составляющим звеном технологической размерной цепи. Например, в том случае, когда значение припуска является строго регламентированным либо когда обрабатываемая поверхность является технологической базой на переходе (операции). Так, например, на рисунке 2.2 показана схема фрезерования торца, причем торец является опорной технологической базой заготовки (после приложения сил закрепления упор отводится от заготовки). В этом случае величина припуска не зависит ни от $A_{\text{в}}$, ни от $A_{\text{п}}$, и, следовательно, припуск должен быть принят в качестве составляющего звена размерной цепи. Тогда выполняемый размер

A_B должен быть принят в качестве замыкающего звена технологической размерной цепи.

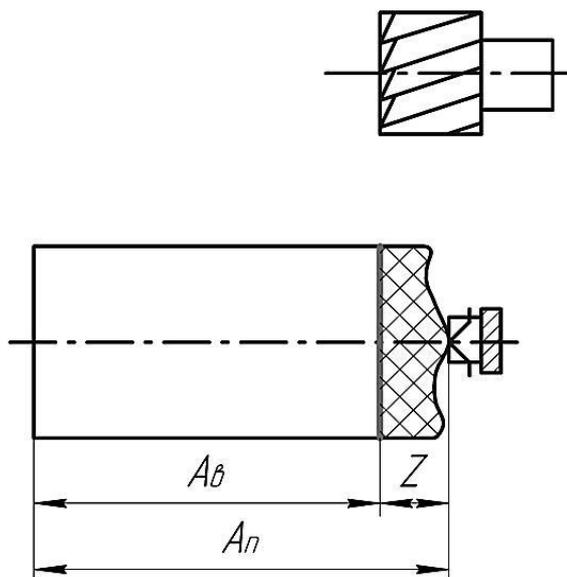


Рисунок 2.2 – Технологическая размерная цепь с припуском - составляющим звеном

На рисунке 2.3 – показана схема двустороннего фрезерования торцов заготовки, причем один из них является технологической базой на операции. В этом случае припуск Z_1 вместе с размерами A_B и A_n являются составляющими звеньями размерной цепи, а припуск Z_2 является замыкающим звеном технологической размерной цепи.

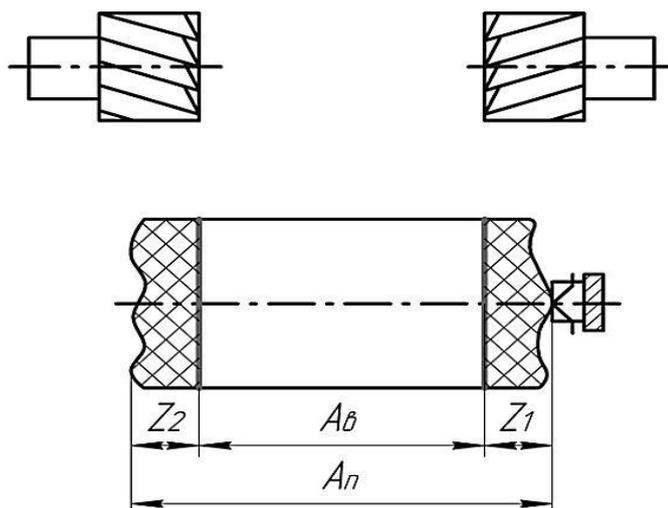


Рисунок 2.3 – Схема двустороннего фрезерования торцов (припуск Z_2 – замыкающее звено, припуск Z_1 , размеры A_B и A_n – составляющие звенья)

Конструкторский размер может оказаться замыкающим звеном размерной цепи в том случае, если он непосредственно не выдерживается при изготовлении детали. Так, на рисунке 2.4 показана схема шлифования плоскости заготовки. На операции выдерживается технологический размер A_B , на предыдущей операции были получены размеры A_{Π} и $A_{\Pi 1}$. Конструкторский размер K непосредственно на операции не выдерживается и должен быть принят в качестве замыкающего звена технологической размерной цепи:

$$K = A_{\Pi 1} - Z, \quad (2.1)$$

причем значение припуска Z определяется из второй технологической размерной цепи:

$$Z = A_{\Pi} - A_B. \quad (2.2)$$

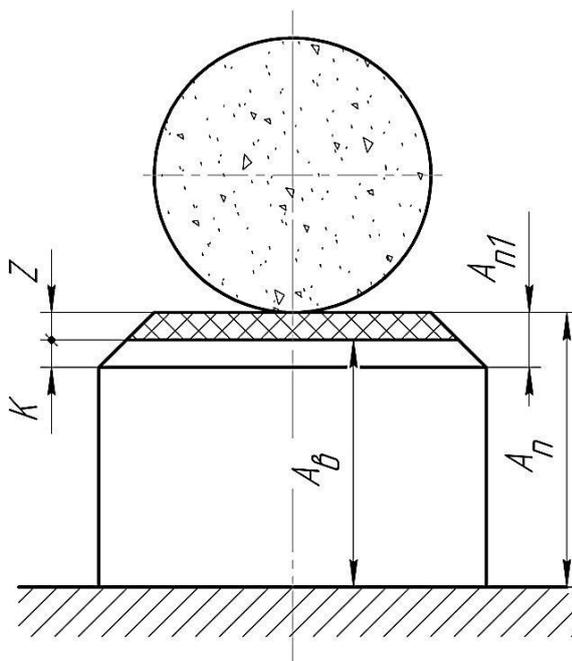


Рисунок 2.4 - Схема шлифования торца с замыкающим звеном конструкторским размером

При проведении размерного анализа необходимо учитывать, что наряду с припусками существуют так называемые напуски. Напуском называется слой металла, который приходится удалять из-за упрощения формы заготовки по отношению к форме обрабатываемой детали. В отличие от припусков

напуски не являются звеньями технологических размерных цепей и не должны учитываться при проведении размерного анализа ТП.

Рассмотренные схемы технологических размерных цепей показывают, что для проведения размерного анализа необходимо в качестве исходных данных иметь чертеж готовой детали, чертеж исходной заготовки и комплект документов на ТП механической обработки детали с операционными эскизами, на которых показаны обрабатываемые поверхности, а также показаны выдерживаемые размеры.

2.2 Размерная схема и граф размерных связей технологического процесса

Из материала, изложенного в п. 2.1, следует, что между размерами исходной заготовки, технологическими размерами, обеспечиваемыми на каждой из операций ТП, припусками и конструкторскими размерами существуют связи, которые могут быть обобщенно представлены в виде размерной схемы и графа размерных связей ТП.

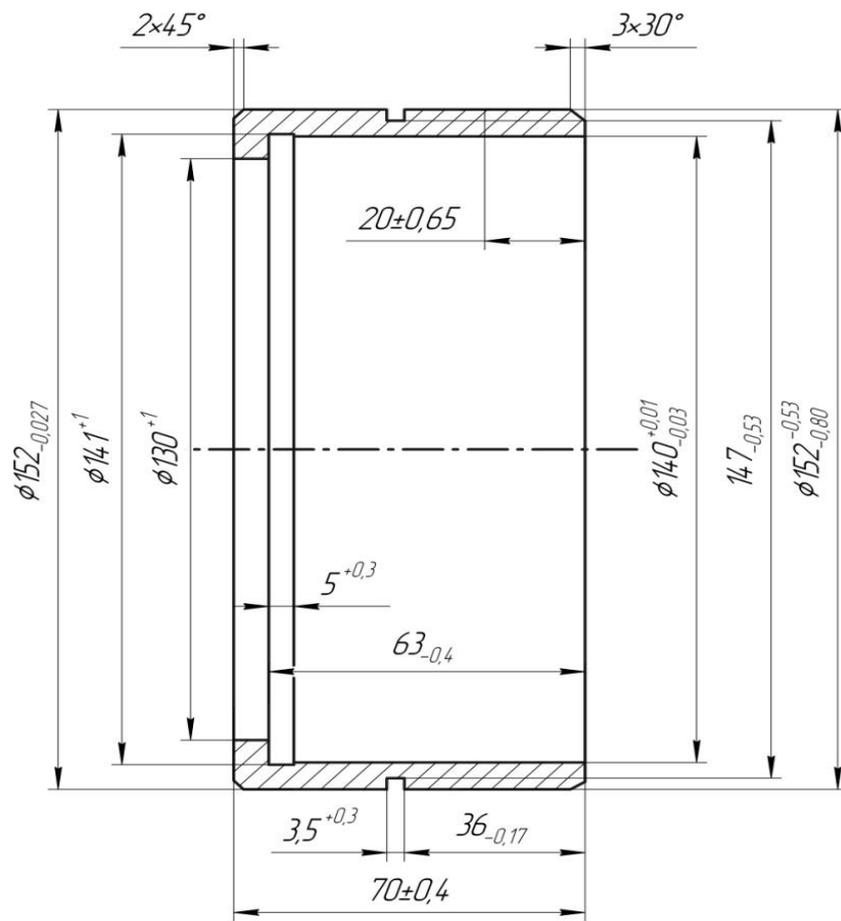
Порядок построения размерной схемы и графа размерных связей удобно излагать на реальном примере, в качестве которого был выбран технологический процесс ТП механической обработки стакана подшипника коробки перемены передач гусеничного трактора. На рисунке 2.5 представлены эскизы готовой детали и исходной заготовки. Выбор в качестве примера ТП указанной детали объясняется тем, что при проведении размерного анализа ТП изготовления деталей реального производства зачастую приходится сталкиваться с различного рода неопределенностями, возникающими в силу наличия напусков, упрощающих форму исходной заготовки, либо, как в случае с рассматриваемой деталью, наличием у детали поверхностей одного номинального размера, обработанных с разной точностью, и т.д.

Размерный анализ ТП обработки деталей типа тел вращения проводят в осевом и радиальном направлениях. В настоящем параграфе ограничимся проведением размерного анализа ТП только в осевом направлении.

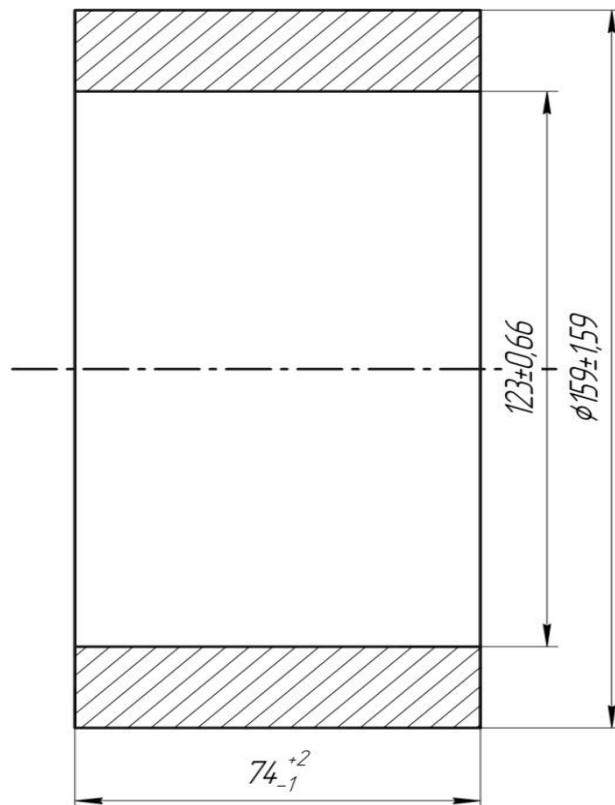
Кроме эскизов детали и сборочной единицы в качестве исходных данных для построения размерной схемы ТП, графа размерных связей и проведения размерного анализа ТП необходимо иметь операционные эскизы обработки детали с выдерживаемыми размерами. Указанные эскизы для рассматриваемой детали с выдерживаемыми на операциях линейными размерами представлены в таблице 2.1.

В связи с тем, что размерный анализ проводится в осевом направлении, в таблице 2.1 представлены только те операции и переходы, с которыми связано формирование размеров в рассматриваемом направлении.

Для удобства дальнейшего изложения введем следующие обозначения. Все размеры, предписанные к выполнению на операциях и переходах ТП, будем обозначать как $A_{i,j}$, где i – номер операции, а j – номер размера (для размеров заготовки индекс i полагается равным нулю). Конструкторские размеры будем обозначать как K_j (номер j можно присваивать конструкторским размерам произвольно). Припуски будем обозначать символом Z_{ij} , причем желательно, чтобы индексация припусков совпадала с индексацией получаемых технологических размеров.



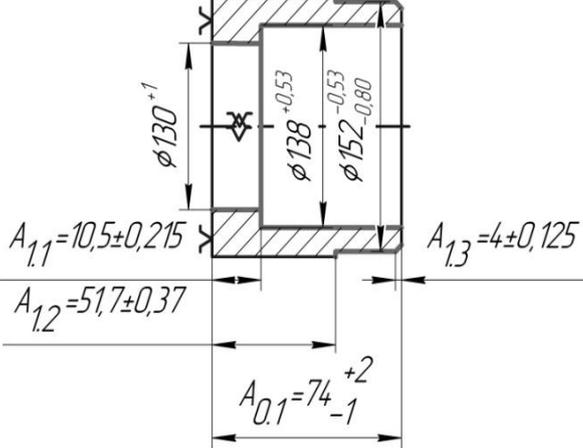
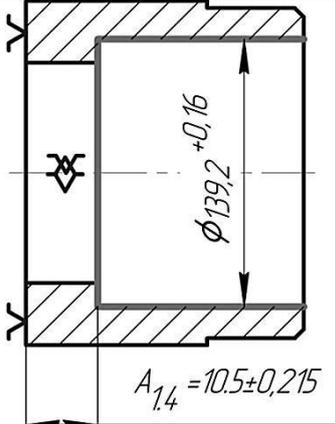
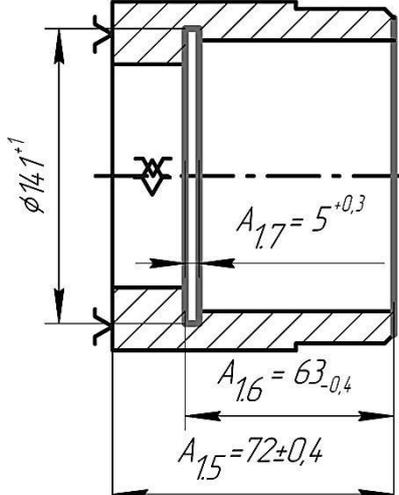
а)

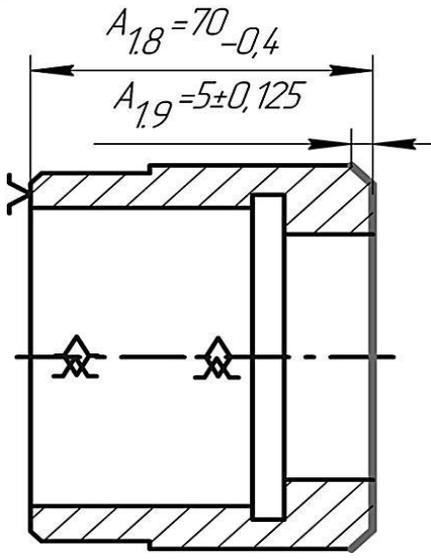
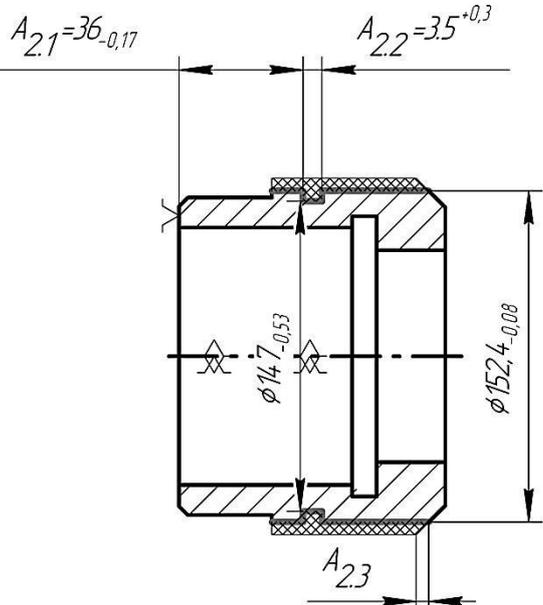
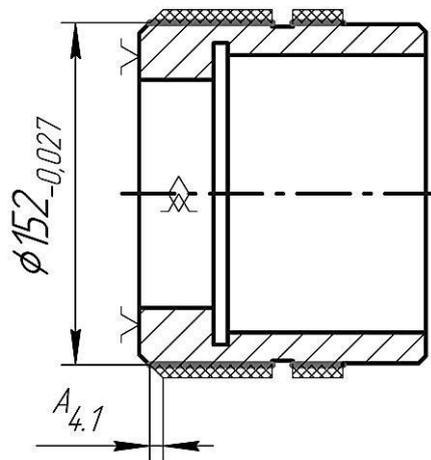


б)

Рисунок 2.5 – Эскиз стакана подшипника а) и его заготовки б)

Маршрутный ТП обработки стакана

| Номер и наименование операции | Номер и содержание перехода | Эскиз перехода |
|-------------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1. Токарная многошпиндельная | 1. Расточить поверхности $\varnothing 130^{+1}, \varnothing 138^{+0,53}$, точить поверхность $\varnothing 152^{-0,53}_{-0,80}$, точить фаску, выдержав размеры: $A_{1.1} = 10,5 \pm 0,215$ $A_{1.2} = 51,7 \pm 0,37$ $A_{1.3} = 4 \pm 0,125$ |  <p>Technical drawing showing diameters $\varnothing 130^{+1}$, $\varnothing 138^{+0,53}$, and $\varnothing 152^{-0,53}_{-0,80}$. Dimensions are $A_{1.1} = 10,5 \pm 0,215$, $A_{1.2} = 51,7 \pm 0,37$, $A_{1.3} = 4 \pm 0,125$, and $A_{0.1} = 74^{+2}_{-1}$.</p> |
| | 2. Расточить поверхность $\varnothing 139,2^{+0,16}$, выдержав размер $A_{1.4} = 10,5 \pm 0,21$. |  <p>Technical drawing showing diameter $\varnothing 139,2^{+0,16}$ and dimension $A_{1.4} = 10,5 \pm 0,215$.</p> |
| | 3. Точить торец, точить канавку, выдержав размеры: $A_{1.5} = 72 \pm 0,4$, $A_{1.6} = 63_{-0,4}$, $A_{1.7} = 5^{+0,3}$. |  <p>Technical drawing showing diameters $\varnothing 141^{+1}$ and $\varnothing 141^{+1}$. Dimensions are $A_{1.5} = 72 \pm 0,4$, $A_{1.6} = 63_{-0,4}$, and $A_{1.7} = 5^{+0,3}$.</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|--|--|
| | <p>6. Точить торец и фаску, выдержав размеры: $A_{1.8} = 70_{-0,4}$, $A_{1.9} = 5 \pm 0,125$.</p> |  |
| <p>2. Токарная многорезцовая</p> | <p>1. Точить диаметр $\varnothing 152,4_{-0,08}$, (удаляется припуск $A_{2.3}$) 2. Точить канавку $\varnothing 147_{-0,53}$, выдержав размеры $A_{2.1} = 36_{-0,17}$ и $A_{2.2} = 3,5^{+0,3}$.</p> |  |
| <p>4. Отделочно-обточная</p> | <p>1. Точить диаметр $\varnothing 152_{-0,027}$ (удаляется припуск $A_{4.1}$).</p> |  |

Необходимо отметить, что размеры $A_{2.3}$ и $A_{4.1}$ не были указаны непосредственно в технологической документации, однако эти размеры необходимо учитывать, т.к. они получаются в результате точения цилиндрических поверхностей на соответствующих операциях ТП и изменяют полученные ранее размеры фасок $A_{1.3}$ и $A_{1.9}$. Расчет этих технологических размеров можно осуществить, приняв, что эти размеры равны половине припуска на точение обрабатываемых поверхностей. Таким образом:

$$A_{2.3} = 0,5(159 \pm 1,59 - 152,4_{-0,08}) = 3,3_{-0,8}^{+0,83};$$

$$A_{4.1} = 0,5(152,4_{-0,08} - 152_{-0,027}) = 0,2_{-0,04}^{+0,014}.$$

После того, как установлено содержание операций, формирующих продольные размеры, необходимо вычертить эскиз детали и нанести на него припуски на обработку, начиная от последней операции и заканчивая исходной заготовкой. В частности, эскиз детали «стакан» с нанесенными припусками на обработку представлен на рисунке 2.6.

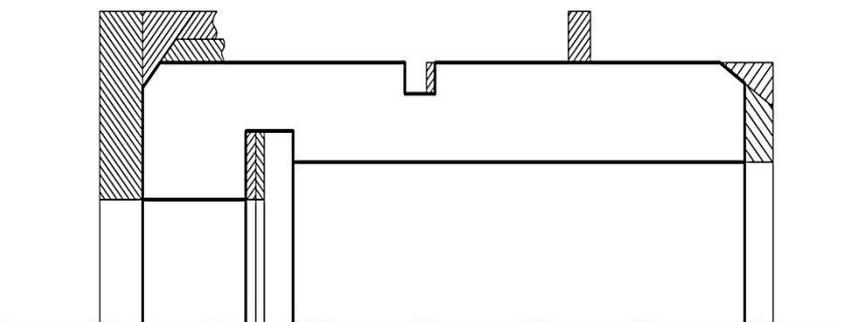


Рисунок 2.6 – Эскиз детали «стакан» с нанесенными припусками

Дадим некоторые пояснения к рисунку 2.6. Во-первых, на эскиз готовой детали нанесены только те припуски, которые оказывают влияние на формирование продольных размеров. Во-вторых, принято, что при обработке канавок припуски являются односторонними. В-третьих, технологические размеры $A_{1.1}$ и $A_{1.4}$ нужно рассматривать как один и тот же технологический размер и при построении размерной схемы учитывать один раз.

Далее для построения размерной схемы ТП необходимо провести вертикальные линии для поверхностей исходной заготовки и всех поверхностей,

которые образуются в процессе удаления соответствующих припусков. Проведенные вертикальные линии необходимо соединить соответствующими технологическими размерами, припусками и конструкторскими размерами так, как это показано на рисунке 2.7. Дадим пояснения к этому рисунку.

Во-первых, на рисунке 2.7 указано три дополнительных технологических размера $A_{0.2}$, $A_{0.3}$ и $A_{0.4}$, относящихся к исходной заготовке. Необходимость введения этих размеров объясняется наличием напусков на исходной заготовке, упрощающих ее форму по отношению к форме готовой детали. Формально этих размеров на заготовке не существует, но их наличие необходимо для контроля правильности построения размерной схемы ТП (для полной определенности размерной схемы решаемой задачи).

Во-вторых, технологические размеры $A_{1.6}$ и $A_{1.7}$ образуются при удалении одного и того же припуска $Z_{1.6}(Z_{1.7})$, поэтому указанный припуск при проверке правильности построения размерной схемы необходимо учитывать только один раз. То же самое относится и к технологическим размерам $A_{2.1}$ и $A_{2.2}$.

В-третьих, технологические размеры $A_{2.3}$ и $A_{4.1}$, получаемые в результате удаления припуска при точении наружных поверхностей, необходимо учитывать дважды: и как технологические размеры, и как припуски.

Правильность построения размерной схемы ТП определяется проверкой выполнения следующих условий:

- число технологических размеров должно быть на единицу меньше числа поверхностей (в нашем случае 17 поверхностей и 16 технологических размеров);
- число конструкторских размеров и припусков должно быть равно числу технологических размеров (в рассматриваемом случае 8 конструкторских размеров и 8 припусков).

В силу того, что указанные условия соблюдаются, можно считать, что размерная схема ТП составлена верно.

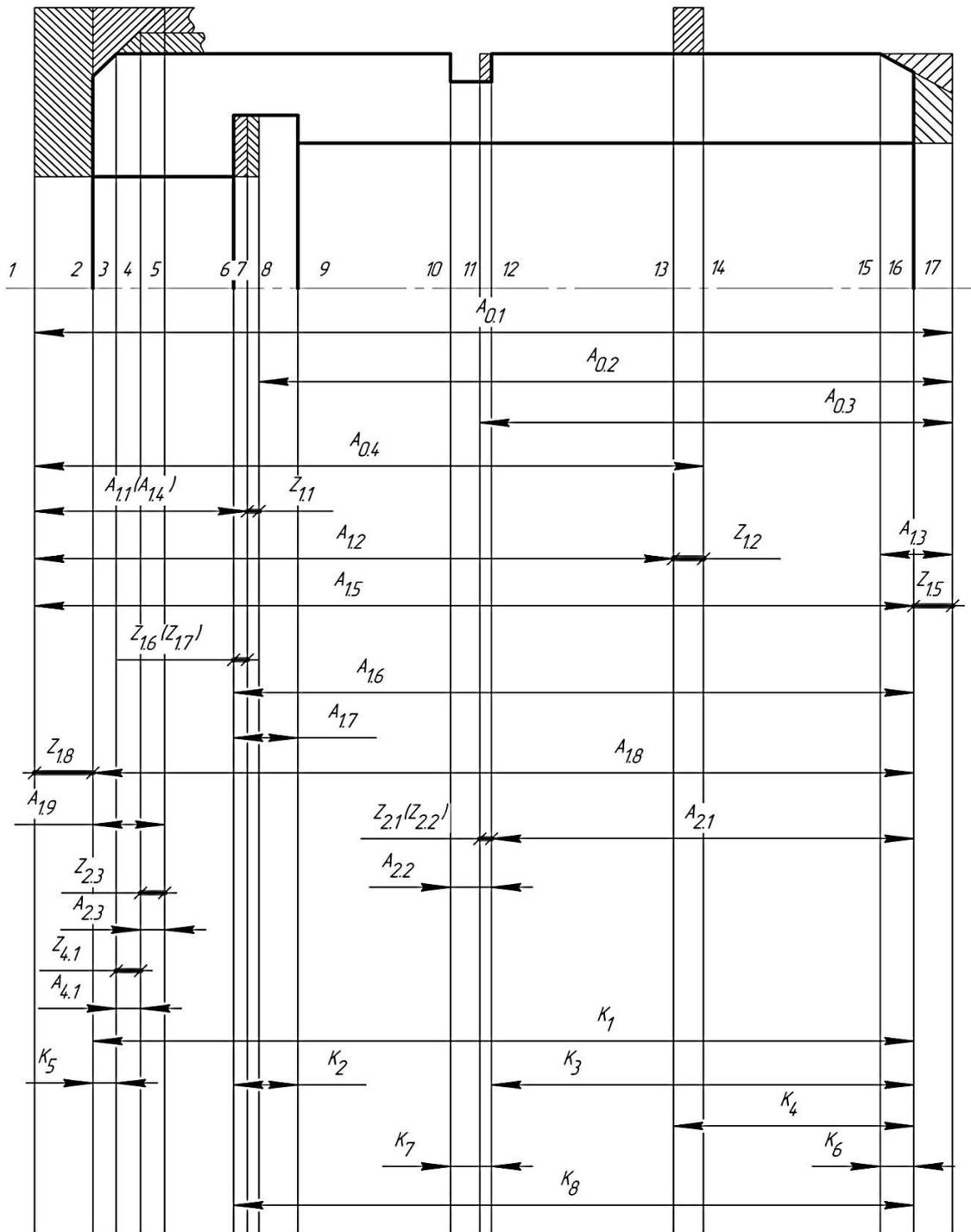


Рисунок 2.7 – Размерная схема технологического процесса изготовления детали «стакан»

Дальнейший анализ размерной схемы проводят, рассчитывая технологические размерные цепи, связывающие технологические размеры, размеры припусков на обработку и конструкторские размеры. Так, например, относительно припуска $Z_{1.5}$ можно составить следующее уравнение размерной цепи:

$$Z_{1.5} = A_{0.1} - A_{1.5}, \quad (2.3)$$

а относительно конструкторского размера, например K_5 , значение которого непосредственно не выдерживается при обработке:

$$K_5 = A_{1.9} - A_{2.3} - A_{4.1}. \quad (2.4)$$

Однако выявление технологических размерных цепей непосредственно по размерной схеме ТП является затруднительным, особенно в случае деталей с большим количеством поверхностей, технологических и конструкторских размеров. Поэтому более удобно выявлять технологические размерные цепи путем построения графа размерных связей анализируемого ТП. Вершинами данного графа являются поверхности исходной заготовки и поверхности, образующиеся в результате выполнения технологических переходов и операций, а ребрами являются технологические размеры, припуски и конструкторские размеры.

Построение графа начинается с вершины корня, в качестве которой можно принять поверхность, от которой задано наибольшее количество технологических размеров или которая является технологической базой на первой операции ТП. В рассматриваемом случае в качестве такой вершины удобно принять вершину с номером 1. Вершина-корень соединяется ребрами со всеми поверхностями, между которыми есть связь в виде технологического размера. Такая процедура повторяется для всех вершин, между которыми имеются размерные связи – технологические размеры.

Построенный граф технологических размеров для ТП изготовления детали «стакан» представлен на рисунке 2.8. Если размерная схема построена верно, то граф размерных связей должен представлять собой граф-дерево, т.е. на графе не должно быть замкнутых контуров, циклов, разрывов и т.д.

На граф технологических размеров необходимо нанести припуски (линиями с зигзагом) и конструкторские размеры (утолщенными линиями), в результате чего будет получен граф размерных связей ТП. На рисунке 2.9 представлен граф размерных связей для ТП изготовления рассматриваемой детали. По графу размерных связей можно составить уравнения всех технологи-

ческих размерных цепей, в которых замыкающими звеньями являются припуски или конструкторские размеры, а составляющими звеньями – технологические размеры.

Так, например, припуск $Z_{1.5}$ является замыкающим звеном в размерной цепи с составляющими звеньями $A_{0.1}$ и $A_{1.5}$. В свою очередь конструкторский размер K_6 является замыкающим звеном в размерной цепи с составляющими звеньями $A_{1.5}$, $A_{0.1}$ и $A_{1.3}$ (иными словами, этот конструкторский размер не выдерживается непосредственно на операции, а получается как результат выполнения нескольких операций ТП). В отличие от конструкторского размера K_6 конструкторский размер, например, K_6 совпадает с технологическим размером $A_{2.2}$ (иными словами, этот конструкторский размер выдерживается непосредственно на операции).

Для каждого припуска или конструкторского размера по графу размерных связей можно составить уравнение размерной цепи, пользуясь следующим правилом. Выбрав ребро - замыкающее звено, необходимо совершить мысленный обход по контуру, содержащему это звено, от вершины с большим номером к вершине с меньшим номером. Если в направлении обхода ребро – технологический размер соединяет вершину с меньшим номером с вершиной с большим номером, то этот технологический размер - увеличивающее звено. В противном случае технологический размер – уменьшающее звено.

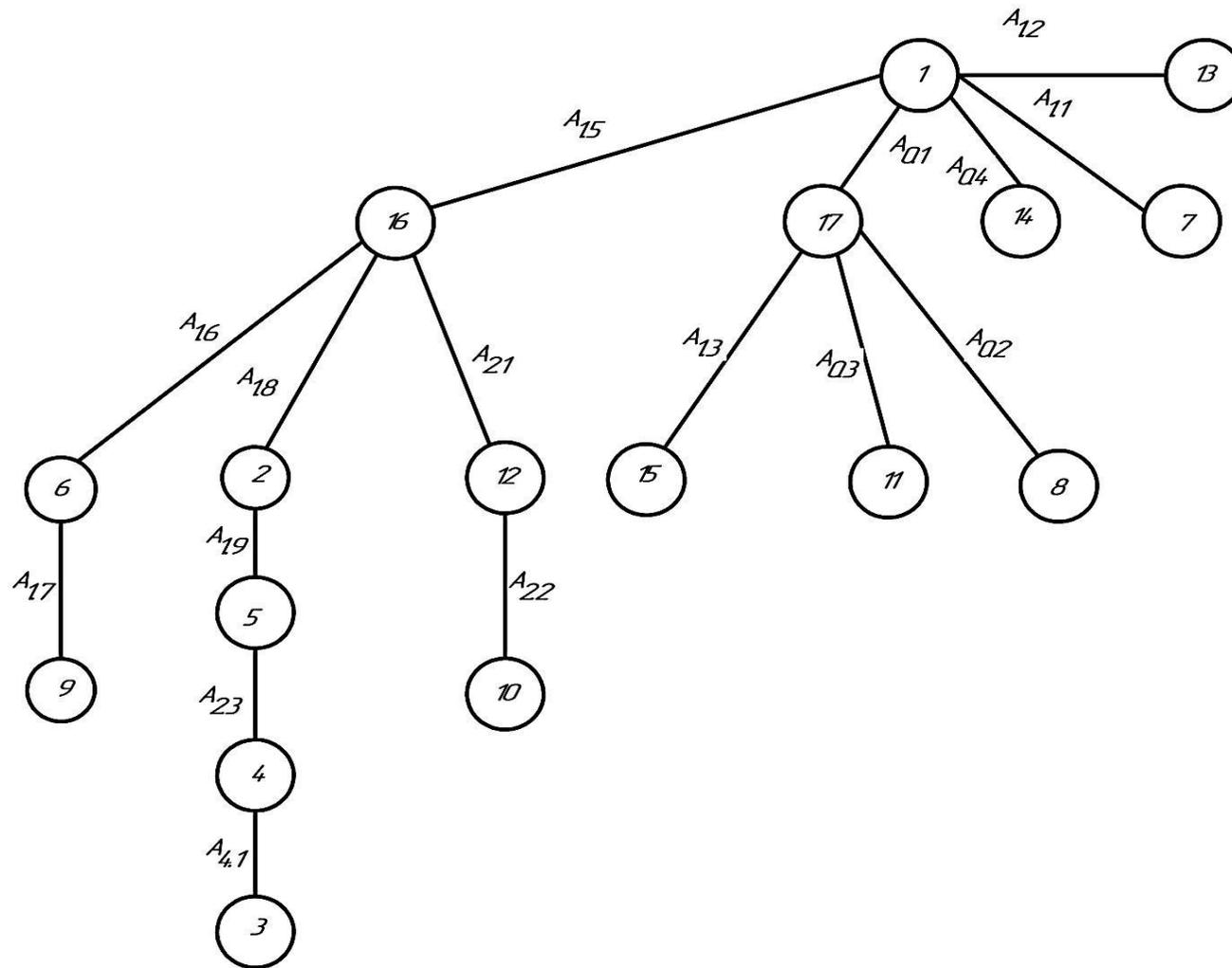


Рисунок 2.8 – Граф технологических размеров ТП изготовления детали «стакан»

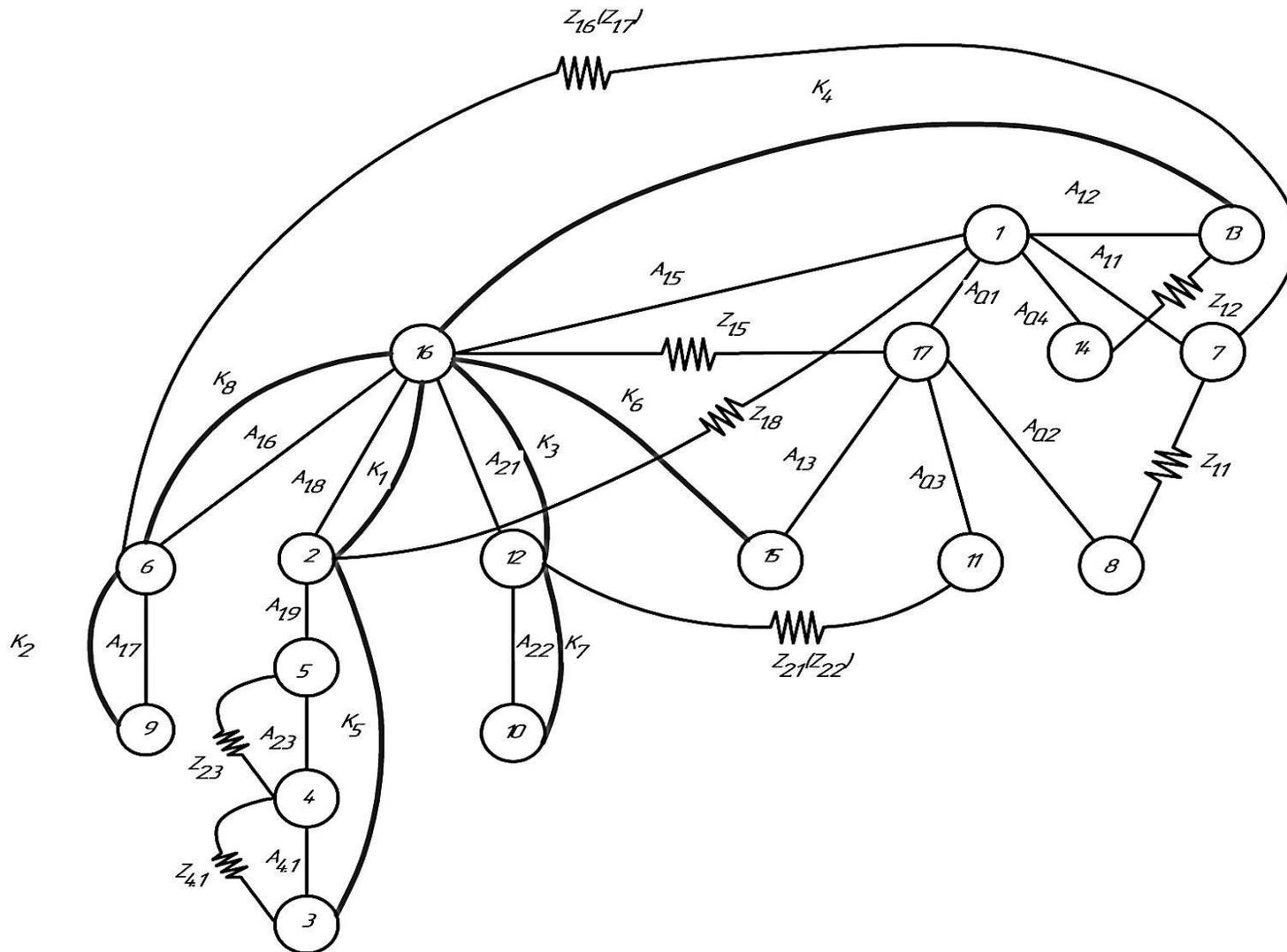


Рисунок 2.9 – Граф размерных связей ТП изготовления детали «стакан»

Так, например, для припуска $Z_{1.1}$ уравнение его размерной цепи будет иметь вид:

$$Z_{1.1} = -A_{1.5} + A_{0.1}, \quad (2.5)$$

что полностью совпадает с (2.3), а для конструкторского размера K_6 уравнение его размерной цепи будет иметь вид:

$$K_6 = -A_{1.3} + A_{0.1} - A_{1.5}. \quad (2.6)$$

Аналогично можно составить уравнения размерных цепей и для всех остальных конструкторских размеров и припусков. Для ТП изготовления детали «стакан» все размерные цепи для припусков и конструкторских размеров представлены в таблице 2.2. При проведении расчетов все размерные цепи в таблице 2.2 рассчитывались на «максимум-минимум». Кроме того было принято, что допуски на размеры фасок установлены по $\pm \frac{IT14}{2}$.

Таблица 2.2

Уравнения размерных цепей ТП изготовления детали «стакан», составленные по графу размерных связей ТП

| Конструкторский размер (припуск) | Схема и уравнение размерной цепи | Результат расчета |
|----------------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| $K_1 = 70_{-0,4}$ | $K_1 = A_{1.8}$ | $K_1 = 70_{-0,4}$ |
| $K_2 = 5^{+0,3}$ | $K_2 = A_{1.7}$ | $K_2 = 5^{+0,3}$ |
| $K_3 = 36_{-0,17}$ | $K_2 = A_{2.1}$ | $K_3 = 36_{-0,17}$ |
| $K_4 = 20 \pm 0,65$ | $K_4 = A_{1.5} - A_{1.2}$ | $K_4 = 72_{-0,4}^{+0,4} - 51,7_{-0,37}^{+0,37} = 20,3_{-0,77}^{+0,77}$ |
| $K_5 = 2,5 \pm 0,25$ | $K_5 = A_{1.9} - A_{2.3} - A_{4.1}$ | $K_5 = 5_{-0,125}^{+0,125} - 3,3_{-0,8}^{+0,83} - 0,2_{-0,04}^{+0,014} = 1,5_{-0,871}^{+0,869}$ |
| $K_6 = 3 \pm 0,25$ | $K_6 = A_{0.1} - A_{1.3} - A_{1.5}$ | $K_6 = 74_{-1}^{+2} - 4_{-0,125}^{+0,125} - 72_{-0,4}^{+0,4} = -2_{-1,525}^{+2,525}$ |
| $K_7 = 3,5^{+0,3}$ | $K_7 = A_{2.2}$ | $K_7 = 3,5^{+0,3}$ |
| $K_8 = 63_{-0,4}$ | $K_8 = A_{1.6}$ | $K_8 = 63_{-0,4}$ |
| $Z_{1.1}$ (напуск) | $Z_{1.1} = -A_{1.1} + A_{0.1} - A_{0.2}$ | Не учитывался |
| $Z_{1.2}$ (напуск) | $Z_{1.2} = -A_{1.2} + A_{0.4}$ | Не учитывался |
| $Z_{1.6(1.7)}$ | $Z_{1.6} = A_{1.6} - A_{1.5} + A_{1.1}$ | $Z_{1.6} = 63_{-0,4} - 72_{-0,4}^{+0,4} + 10,5_{-0,215}^{+0,215} = 1,5_{-1,015}^{+0,615}$ |

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|---|--|
| $Z_{1.8}$ | $Z_{1.8} = A_{1.5} - A_{1.8}$ | $Z_{1.8} = 72_{-0,4}^{+0,4} - 70_{-0,4} = 2_{-0,4}^{+0,8}$ |
| $Z_{2.1(2.2)}$ (напуск) | $Z_{2.1} = A_{0.3} - A_{0.1} + A_{1.5} - A_{2.1}$ | Не учитывался |
| $Z_{2.3}$ | $Z_{2.3} = A_{2.3}$ | $Z_{2.3} = 3, 3_{-0,8}^{+0,83}$ |
| $Z_{4.1}$ | $Z_{4.1} = A_{4.1}$ | $Z_{4.1} = 0, 2_{-0,04}^{+0,014}$ |

При расчетах припусков было учтено, что звенья $Z_{1.1}$, $Z_{1.2}$ и $Z_{2.1(2.2)}$ фактически являются не припусками, а напусками, и рассчитывать их не нужно.

Анализ результатов расчета размерных цепей, представленных в таблице 2.1, показывает, что ТП изготовления детали «стакан» не может обеспечить выполнение требований по точности конструкторских размеров. В частности по указанному ТП, не могут быть выдержаны конструкторские размеры K_4 , K_5 и K_6 . Более того, отрицательное номинальное значение конструкторского размера $K_6 = -2_{-1,525}^{+2,525}$ говорит о том, что у большей части готовых деталей фаски не будет вообще, что может потребовать введения дополнительной операции. Остальные конструкторские размеры выдерживаются непосредственно и совпадают с технологическими размерами.

Относительно значений припусков $Z_{1.6(1.7)}$, $Z_{1.8}$, $Z_{2.3}$ и $Z_{4.1}$ можно сделать заключение о том, что их минимальные значения вполне достаточны для обеспечения требуемого качества поверхностного слоя.

В силу вышеизложенного, ТП изготовления детали стакан не может быть признан качественным и нуждается во внесении корректировок. Например, необходимо изменить как номинальное значение, так и величину допуска на технологический размер $A_{1.2}$. Если значение технологического размера установить равным $A_{1.2} = 52 \pm 0,25$, то для конструкторского размера K_4 будет иметь место соотношение:

$$K_4 = 72_{-0,4}^{+0,4} - 52 \pm 0,25 = 20 \pm 0,65,$$

т.е. требуемая точность размера K_4 будет обеспечена.

Обеспечение же точности размеров фасок K_5 и K_6 может потребовать изменения структуры операций ТП. Например, для обеспечения точности размера фаски K_6 , ее точение более целесообразно осуществлять не до подрезки правого торца детали, как это делается в рассматриваемом ТП, а после подрезки торца либо совместить обработку указанных поверхностей и выполнять их на третьем переходе токарной многошпиндельной операции. В этом случае точность обработки фаски будет определяться только точностью настройки относительного положения режущих кромок подрезного и фасочного резцов. Также требуется принятие определенных технологических решений и для обеспечения точности размера фаски K_5 .

В отдельных случаях (особенно при большом количестве выявленных ошибок) может возникнуть ситуация, когда для обеспечения точности конструкторских размеров потребуются отказ от рассматриваемого варианта ТП и проектирование нового варианта. Для того, чтобы таких ситуаций не возникало, ТП изготовления деталей изначально должны проектироваться на основе методологии размерного анализа. Размерный анализ проектируемых ТП включает в себя выполнение следующих этапов:

- назначение допусков на технологические размеры;
- определение минимальных припусков на обработку;
- расчет технологических размеров.

Реализация этих этапов будет подробно рассмотрена в следующей главе.

3 Основные этапы проведения размерного анализа проектируемых технологических процессов изготовления деталей

3.1 Назначение допусков на технологические размеры

Допуски размеров, получаемых на операциях механической обработки, определяются с использованием специальных таблиц точности, в которых приводятся средние статистические погрешности механической обработки - ω_c для размеров, получаемых на станках различных типов. Наиболее полно указанные погрешности представлены в [2]. В настоящем пособии эти таблицы точности обработки приведены в приложении 1. При этом технологические размеры, для которых назначаются допуски, в зависимости от способа их получения разделены на различные группы. Например, для токарно-револьверных станков получаемые размеры поделены на три группы: получаемые от технологических баз, получаемые от настроечной базы с помощью резцов, установленных на разных позициях, получаемые между резцами, установленными в одной державке.

Необходимо понимать, что для указанных групп размеров величины погрешностей будут различными. Рассмотрим следующий пример. На рисунке 3.1 изображена схема подрезки двух торцов заготовки резцами, установленными в одном резцедержателе.

Если предположить, что на данной операции возникает погрешность закрепления в осевом направлении - ε_3 , то эта погрешность непосредственно войдет в погрешность размера A_1 , выдерживаемого от технологической базы, и не повлияет на погрешность размера A_2 , выдерживаемого между резцами. Аналогично можно рассмотреть и другие виды погрешностей (износ режущих инструментов, их упругие отжатия), которые будут существенно влиять на погрешность выдерживаемого размера A_1 и почти не будут влиять на погрешность размера A_2 . Таким образом, очевидно, что в целом погрешность размера A_2 будет меньше погрешности размера A_1 .

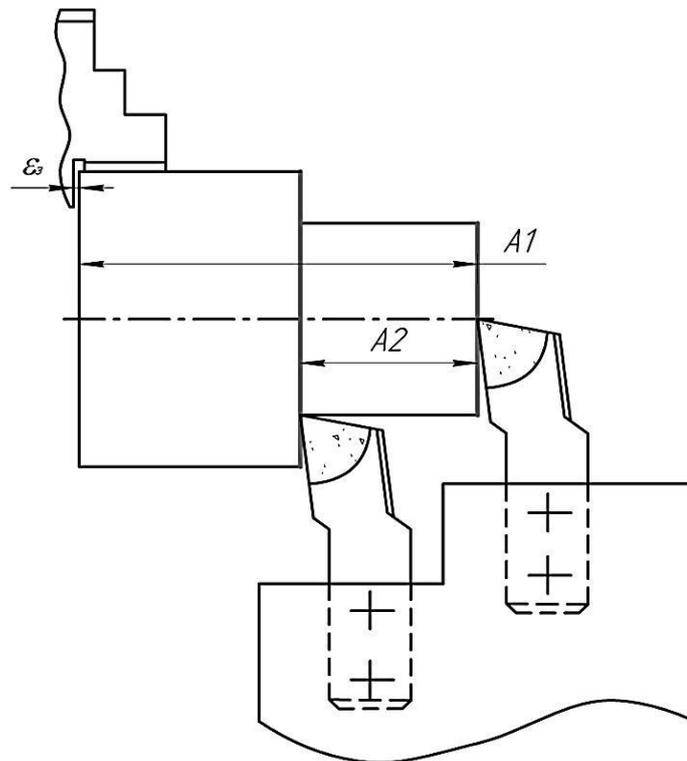


Рисунок 3.1 – Схема одновременной подрезки двух торцов на токарно-револьверном станке

Если бы подрезка торцов осуществлялась с разных позиций револьверной головки, то очевидно, что на погрешность размера A_2 оказала бы влияние погрешность фиксации револьверной головки и в этом случае погрешность размера A_2 оказалась бы больше, чем в предыдущем примере.

Подобные группы размеров выделены и на других станках, что позволяет с использованием таблиц точности наиболее обоснованно подойти к определению допусков на технологические размеры.

При использовании среднестатистических таблиц точности обработки необходимо учитывать следующее обстоятельство. Указанные таблицы составлялись для условий, когда погрешность базирования могла быть принята равной нулю и измерительные (технологические) базы имели минимальные пространственные отклонения. Если указанные условия не выполняются, то данный факт необходимо учитывать при назначении допусков на технологические размеры. Проиллюстрируем вышеизложенное на следующих примерах.

Пример 1. На рисунке 3.2 показана схема подрезки торцов заготовки. Исходная заготовка имела значительные пространственные отклонения измерительной (технологической) базы - $\rho_{И}$.

В этом случае получить размер A с погрешностью менее $\rho_{И}$ невозможно, поэтому она должна быть включена в допуск на выдерживаемый размер A . Следовательно:

$$T_A = \omega_c + \rho_{И} \quad (3.1)$$

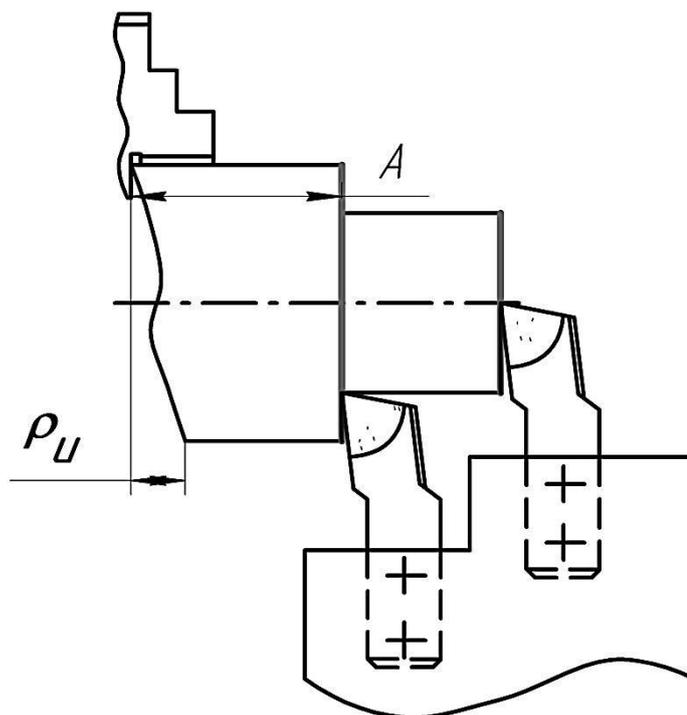


Рисунок 3.2 - Схема подрезки торцов

Пример 2. На рисунке 3.3 показана схема растачивания отверстия в размер D . В этом случае допуск на размер D может быть принят равным среднестатистической точности метода обработки, так как пространственные отклонения в этом случае повлияют только на равномерность припуска на обработку. Следовательно:

$$T_A = \omega_c. \quad (3.2)$$

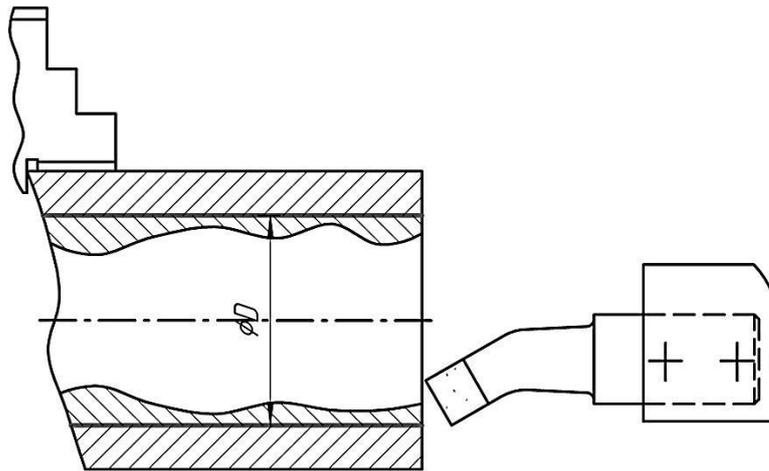


Рисунок 3.3 – Схема растачивания отверстия

Пример 3. На рисунке 3.4 показана схема точения ступеней вала проходными упорными резцами на многорезцовом полуавтомате. Вал базируется в жестких центрах.

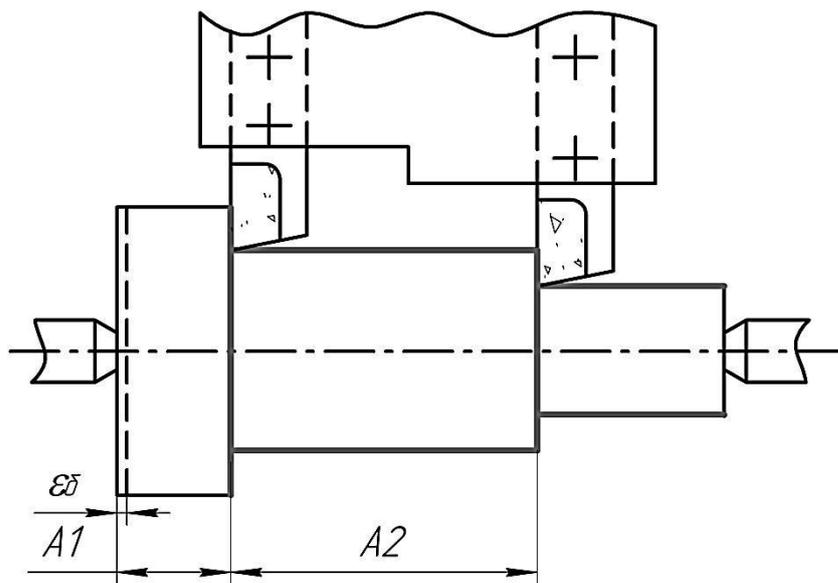


Рисунок 3.4 – Схема точения заготовки в центрах

При такой схеме установки вала при получении размера A_1 будет возникать погрешность базирования - ε_6 , связанная с изменением в пределах допуска глубины переднего центрового отверстия. Получить данный размер с погрешностью меньшей, чем ε_6 , невозможно, следовательно, данная погрешность должна быть учтена при назначении допуска на размер A_1 . Таким образом:

$$T_{A1} = \omega_c + \varepsilon_6. \quad (3.3)$$

Напротив, на размер A_2 погрешность базирования не будет оказывать никакого влияния (как на размер между двумя инструментами) и, следовательно:

$$T_{A1} = \omega_c. \quad (3.4)$$

Пример 4. На рисунке 3.5 показана схема точения наружной поверхности втулки, установленной на жесткой цилиндрической оправке с зазором.

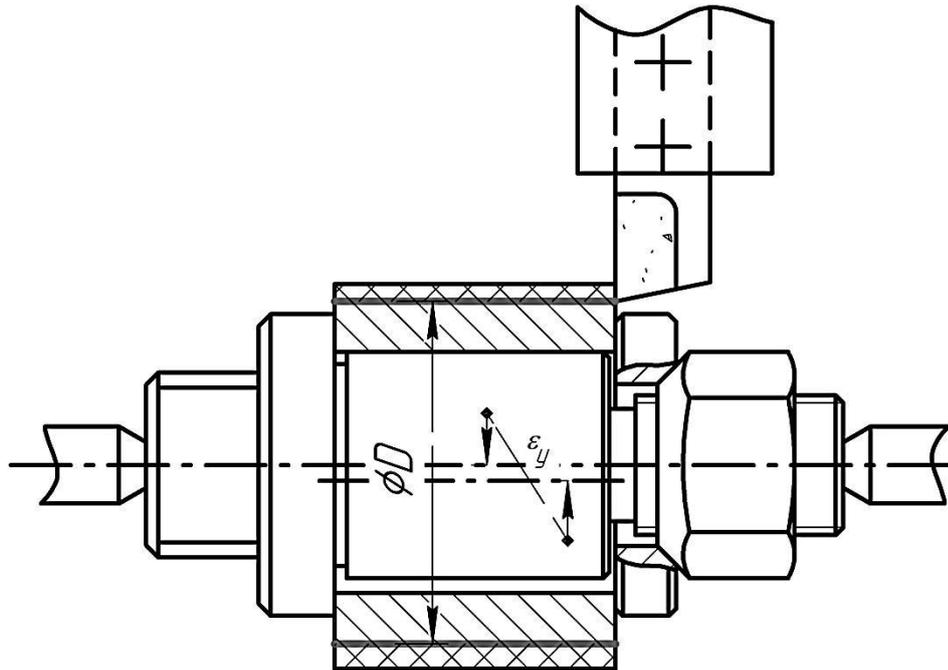


Рисунок 3.5 – Схема точения наружной поверхности втулки на оправке с зазором

Возникающая на операции погрешность установки ε_y , вызванная отклонением от соосности оси центровых отверстий оправки и оси внутренней поверхности втулки, не будет включаться в погрешность выполнения размера $\varnothing D$, а будет влиять на неравномерность снимаемого припуска. Следовательно, допуск на данный размер необходимо назначить равным среднестатистической погрешности метода обработки, т.е.:

$$T_D = \omega_c. \quad (3.5)$$

Исходя из рассмотренных примеров, можно сформулировать следующее общее правило назначения допусков на технологические размеры:

– допуски на диаметральные размеры, а также на расстояния между поверхностями, обрабатываемыми с одного установа, могут назначаться равными среднестатистической погрешности метода обработки;

– во всех остальных случаях назначаемые допуски на размеры между поверхностями должны рассчитываться по формуле:

$$T_A = \omega_c + \varepsilon_b + \rho_{и}. \quad (3.6)$$

Замечание: В принципе, допуски на технологические размеры, назначаемые с использованием таблиц точности, могут быть и больше их рассчитанных значений. Расширение допусков на обработку позволяет снизить затраты на выполнение операции, но при этом необходимо учитывать, что с увеличением допусков растут значения припусков на обработку, что в свою очередь повлияет на размеры исходной заготовки и, как следствие, на ее стоимость. Поэтому к расширению допусков на технологические размеры необходимо подходить с осторожностью и учитывать все затраты на изготовление детали.

3.2 Определение минимальных припусков на обработку

Припуском называется слой материала, который удаляется в процессе механической обработки заготовки для достижения требуемой точности и качества поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Различают промежуточные припуски и общие припуски. Промежуточный припуск – слой металла, который должен быть удален во время одной операции или перехода. Общий припуск – это припуск, который должен быть удален с заготовки в течение всех операций технологического процесса.

При расчетах припусков принято определять минимальное, максимальное, номинальное и среднее значение припуска на обработку. Первичным среди перечисленных понятий является понятие минимального припуска. При этом подразумевается, что минимальный припуск должен быть таким, чтобы его удаления было достаточно для обеспечения требуемой точности и

качества поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Минимальный припуск, удаляемый на i -м переходе, принято обозначать $Z_{i.min}$.

Существует три метода определения припусков: нормативный; расчетно-аналитический; вероятностно-аналитический. Однако в практике машиностроения в основном используются нормативный и расчетно-аналитический метод. При использовании нормативного метода припуски назначаются по таблицам, разработанным на основе обобщения производственных данных. При этом припуски, как правило, получаются завышенными, что приводит к увеличению отходов и, как следствие, к повышению себестоимости детали. При использовании расчетно-аналитического метода минимальный припуск находят путем суммирования его отдельных составляющих, обусловленных следующими факторами.

1. Шероховатость обрабатываемой поверхности, полученная на предыдущем переходе, - Rz_{i-1} . Иными словами, считается, что при выполнении первого перехода должна быть удалена шероховатость поверхности исходной заготовки. При выполнении второго перехода должна быть удалена шероховатость, оставшаяся при выполнении первого перехода, и т.д.

2. Толщина дефектного поверхностного слоя, сформированная на предыдущем переходе при обработке рассматриваемой поверхности, - h_{i-1} . Например, под h_{i-1} может пониматься толщина обезуглероженного слоя у заготовок, получаемых горячей объемной штамповкой, или толщина обезуглероженного слоя у деталей, нагреваемых под последующую закалку, или толщина перлитной корки на отливках из серого чугуна, которая обладает высокой твердостью, и т.д.

3. Погрешность формы обрабатываемой поверхности, полученная на предыдущем переходе при обработке рассматриваемой поверхности, - $\rho_{\phi,i-1}$, если эта погрешность не входит в допуск на получаемый размер. Например, если заготовка вала имеет погрешность формы в виде изогнутости оси (рисунок 3.5), то при измерении диаметра вала в любом сечении эта погрешность обнаружена не будет. Таким образом, эта погрешность не войдет в допуск на

получаемый размер и должна быть компенсирована частью минимального припуска. Как следует из рисунка 3.6, для получения вала диаметром D_i диаметр заготовки должен составлять не менее:

$$D_{i-1} = D_i + 2\rho_{\phi.i-1}. \quad (3.7)$$

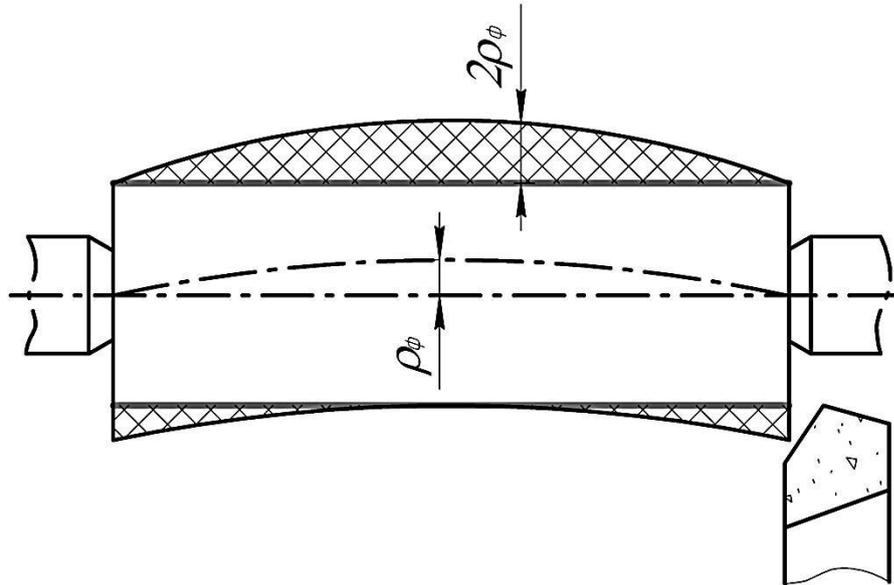


Рисунок 3.6 – Влияние изогнутости оси заготовки на величину припуска при точении

Например, если торец заготовки вала имеет погрешность формы (рисунок 3.7), то при контроле калибром-скобой это отклонение не будет входить в допуск на размер и должно быть компенсировано частью минимального припуска (иными словами, минимальный припуск не может быть меньше данной погрешности) и т.д.

4. Погрешность взаимного расположения обрабатываемой поверхности относительно технологических баз детали, возникшая на предыдущем переходе, - $\rho_{p.i-1}$, при обработке рассматриваемой поверхности.

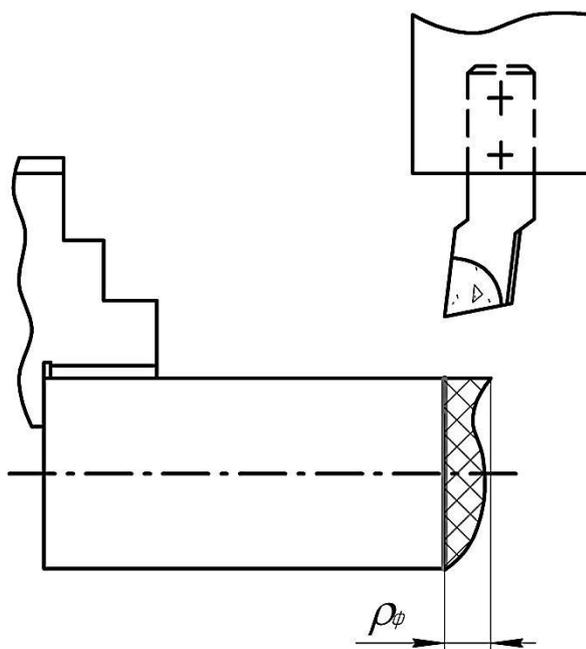


Рисунок 3.7 – Влияние погрешности формы торца заготовки на величину припуска при подрезании торца

На рисунке 3.8 представлена схема точения валика, у которого имеется погрешность взаимного расположения (отклонение от соосности) оси обрабатываемой поверхности и оси центровых отверстий. Очевидно, что при обработке данная погрешность расположения должна быть компенсирована частью минимального припуска на обработку.

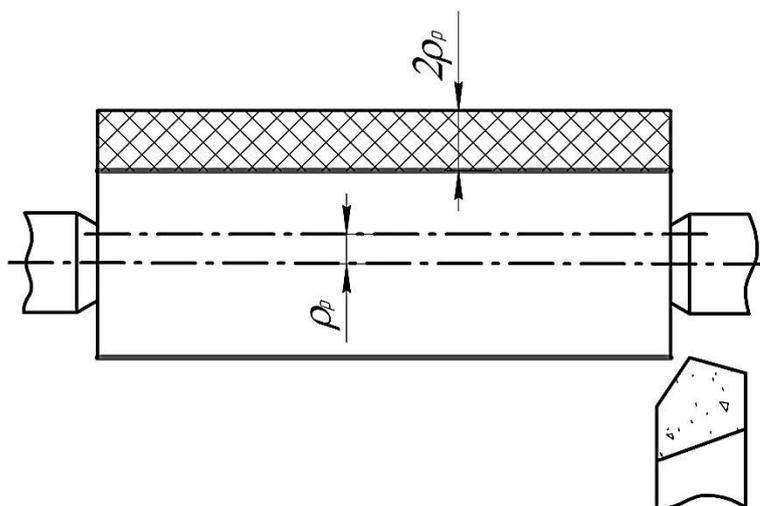


Рисунок 3.8 – Влияние погрешности взаимного расположения обрабатываемой поверхности и технологической базы на величину припуска при точении

На рисунке 3.9 представлена схема растачивания отверстия во втулке, у которой ось отверстия до его обработки смещена относительно оси наружной цилиндрической поверхности, используемой в качестве технологической базы. Данная погрешность расположения также должна быть компенсирована частью минимального припуска.

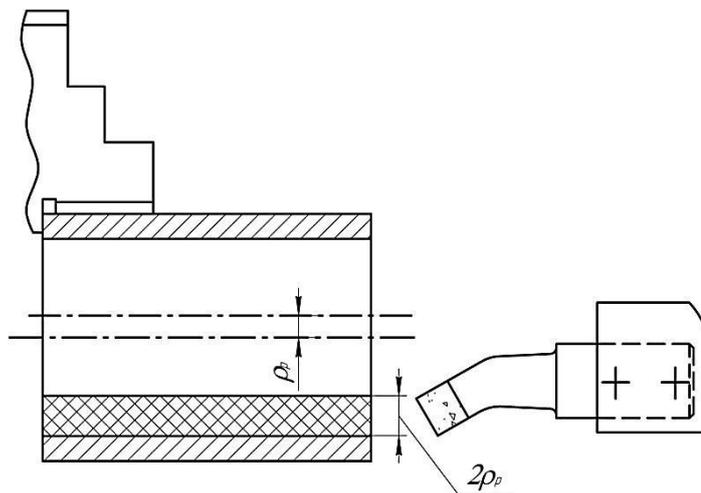


Рисунок 3.9 - Влияние погрешности взаимного расположения обрабатываемой поверхности и технологической базы на величину припуска при растачивании отверстия

На рисунке 3.10 дана схема подрезки торца заготовки, имеющего отклонение от перпендикулярности оси наружной цилиндрической поверхности, используемой в качестве базы. Указанная погрешность также должна быть компенсирована частью минимального припуска на подрезку торца.

При расчете припусков принято рассматривать векторную сумму погрешности формы и погрешности расположения. Указанную величину называют суммарными пространственными отклонениями обрабатываемой поверхности - ρ_{i-1} и рассчитывают по формуле:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{\phi.i-1}^2 + \rho_{p.i-1}^2} \quad (3.8)$$

Формула (3.8) справедлива для поверхностей вращения, а для плоскостей данные векторы являются коллинеарными, тогда:

$$\rho_{i-1} = \rho_{\phi.i-1} + \rho_{p.i-1} \quad (3.9)$$

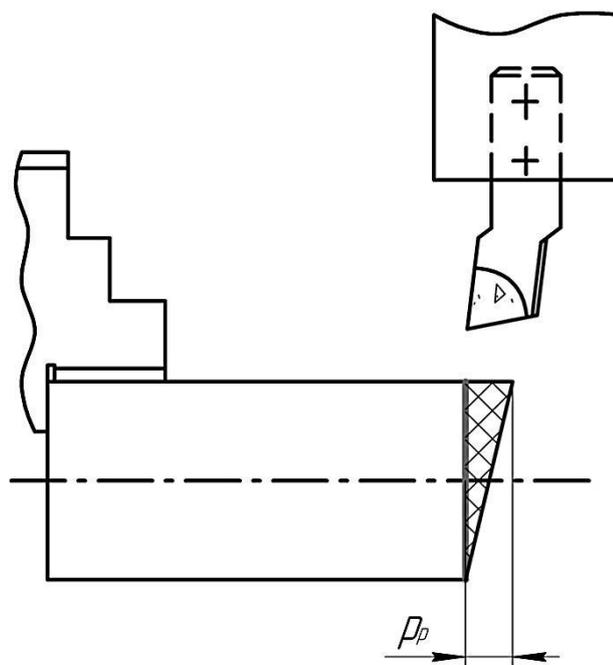


Рисунок 3.10 – Влияние погрешности взаимного расположения обрабатываемой поверхности и технологической базы на величину припуска при подрезании торца

5. Погрешность установки заготовки на выполняемом переходе $\varepsilon_{y,i}$.

На рисунке 3.11 показана схема точения наружной цилиндрической поверхности заготовки, установленной в трехкулачковом патроне. Наличие погрешности установки ε_y в радиальном направлении, вызванной, например, износом опорной поверхности кулачков, будет приводить к возникновению неравномерности припуска, так как это показано на рисунке 3.10. Очевидно, что данную погрешность необходимо компенсировать частью минимального припуска (т.е. указанную погрешность необходимо учитывать как составляющую припуска на обработку).

На рисунке 3.12 представлена схема точения наружной цилиндрической поверхности втулки, установленной на жесткой цилиндрической оправке с зазором. Возникающая в этом случае погрешность установки заготовки в радиальном направлении также должна быть компенсирована частью минимального припуска на обработку.

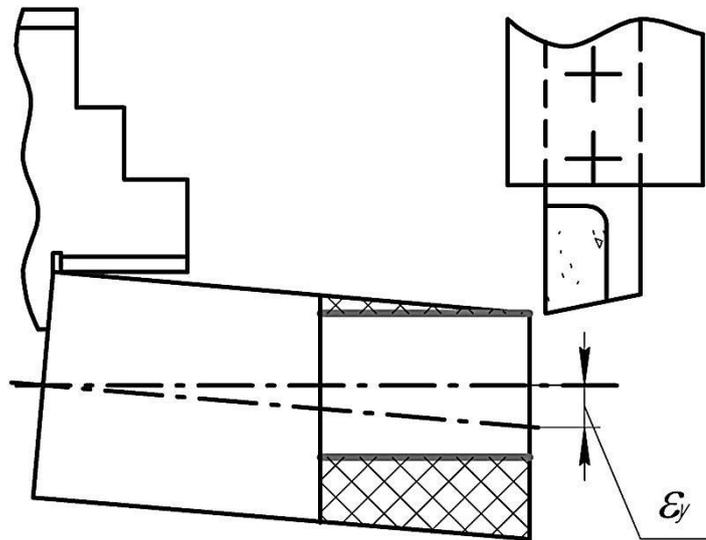


Рисунок 3.11 - Влияние погрешности установки заготовки на величину припуска при точении

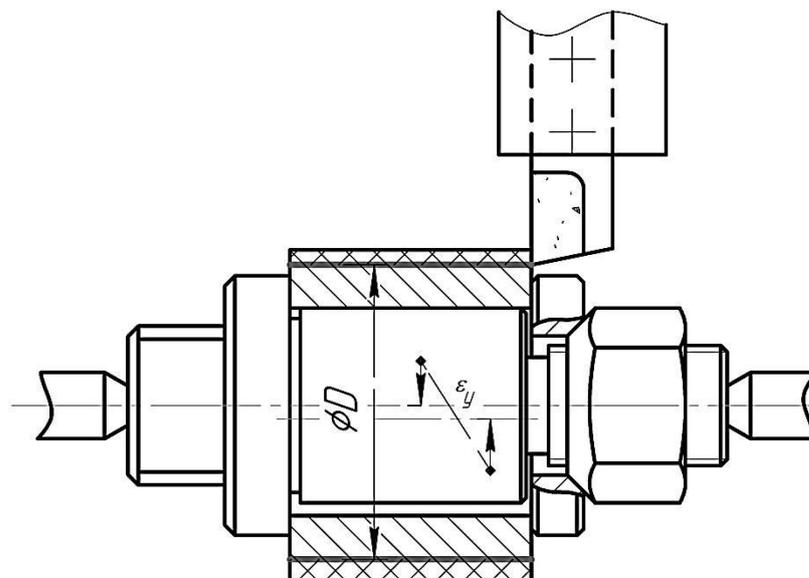


Рисунок 3.12 – Влияние погрешности установки на величину припуска при точении

Погрешность установки и пространственные отклонения также принято суммировать как векторные величины.

Учитывая все перечисленные факторы, можно записать общую формулу для расчета минимального припуска на обработку:

- при обработке поверхностей вращения:

$$Z_{i.min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{y,i}^2} \right); \quad (3.10)$$

– при обработке плоскостей:

$$Z_{i.min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{y,i}^2}; \quad (3.11)$$

Из данных формул для некоторых частных случаев можно получить более простые формулы расчета минимального припуска.

Например, при точении цилиндрических поверхностей валов с базированием в центрах можно пренебречь погрешностью установки, тогда минимальный припуск на обрабатываемый диаметр может быть определен как:

$$Z_{i.min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1}). \quad (3.12)$$

Например, при развертывании отверстия «плавающей» разверткой последняя самоустанавливается по отверстию, поэтому очевидно, что из формулы расчета припуска необходимо исключить погрешность установки и погрешность взаимного расположения оси обрабатываемого отверстия и базового торца, сохранив при этом в величине припуска погрешность формы отверстия, полученную на предыдущем переходе и, следовательно:

$$Z_{i.min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{\phi,i-1}). \quad (3.13)$$

Например, при полировании плоскости минимальный припуск должен быть предусмотрен только для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности и, следовательно:

$$Z_{i.min} = Rz_{i-1}. \quad (3.14)$$

Из формул (3.10 – 3.14) следует, что при расчетах минимального припуска всегда необходимо учитывать физическую сущность рассматриваемой операции.

Почти все составляющие минимального припуска (за исключением погрешности установки) определяют с помощью соответствующих нормативных материалов, а погрешность установки принято определять расчетом по формуле:

$$\varepsilon_{y,i} = \sqrt{\varepsilon_{6,i}^2 + \varepsilon_{3,i}^2}, \quad (3.15)$$

где $\varepsilon_{6,i}$ - погрешность базирования; $\varepsilon_{3,i}$ - погрешность закрепления. Как известно, погрешность базирования определяют расчетом в зависимости от принятой схемы базирования, а погрешность закрепления назначают по нормативным данным в зависимости от схемы закрепления.

В приложениях 2 – 19 настоящего пособия представлены справочные данные для определения всех параметров, необходимых как для назначения допусков на операционные размеры, так и для расчета минимальных припусков на обработку.

Рассмотрим пример расчета минимальных припусков на обработку для условий чернового точения ступени валика, установленного в трехкулачковом патроне (рисунок 3.13).

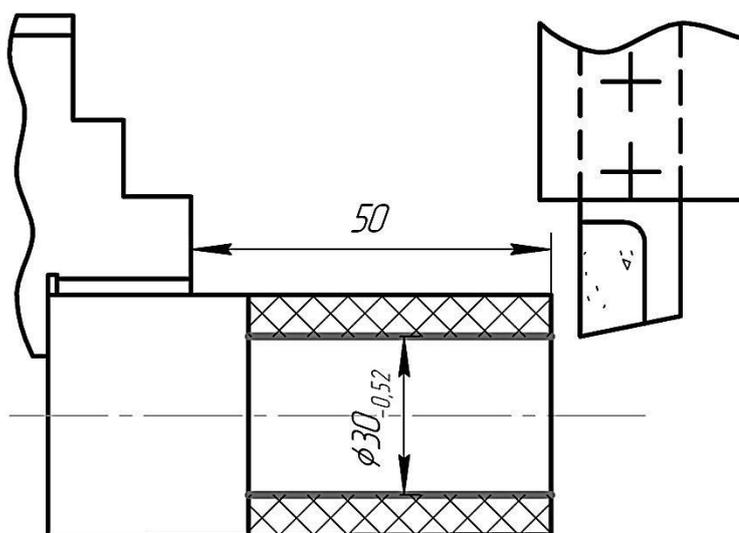


Рисунок 3.13 – Расчетная схема для определения минимального припуска при точении

Примем, что в качестве заготовки используется прокат повышенной точности. Определим составляющие минимального припуска на точение ступени. По приложению 4 примем, что для заготовок из проката повышенной точности шероховатость поверхности и толщина дефектного слоя проката могут быть приняты равными:

$$Rz_{i-1} = 75 \text{ мкм}; h_{i-1} = 125 \text{ мкм}.$$

Определим пространственные отклонения. Учтем, что обрабатываемая поверхность сама является базой на операции, следовательно, погрешность расположения можно принять равной нулю и тогда $\rho_{i-1} = \rho_{\phi,i-1}$.

По приложению 5 (кривизна профиля сортового проката) находим, что удельная кривизна проката повышенной точности равна $\Delta_k = 0,2$ мкм/мм. При вылете заготовки $l = 50$ мм погрешность формы заготовки, обусловленная кривизной ее оси, составит:

$$\rho_{i-1} = \rho_{\phi,i-1} = \Delta_k l = 0,2 \cdot l = 10 \text{ мкм.}$$

Погрешность установки будет складываться только из погрешности закрепления, т.к. погрешность базирования при получении диаметрального размера можно принять равной нулю. Тогда:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_3.$$

По приложению 17 находим, что погрешность закрепления в трехкулачковом патроне горячекатаных заготовок повышенной точности в радиальном направлении составляет 280 мкм. Таким образом, минимальный припуск на черновое точение ступени валика составит (3.10):

$$Z_{i.min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{y,i}^2} \right) = 2 \cdot \left(75 + 125 + \sqrt{10^2 + 280^2} \right) = \\ \approx 960 \text{ мкм.}$$

Аналогично рассчитываются припуски и на другие переходы (операции) ТП.

В практической деятельности минимальные припуски при обработке поверхностей деталей могут не рассчитываться, а назначаться по нормативным таблицам. В частности, такие таблицы представлены в [4].

3.3 Расчет технологических размеров

Исходными данными для расчета технологических размеров являются: чертеж детали, вид исходной заготовки, проектируемый вариант технологического процесса, назначенные значения допусков на технологические раз-

меры и рассчитанные в соответствии с методикой, изложенной в предыдущем параграфе, значения минимальных припусков на обработку.

Расчет технологических размеров производится из условий обеспечения минимальных припусков на обработку и конструкторских размеров, непосредственно не выдерживаемых при изготовлении детали.

Расчет технологических размеров (технологических размерных цепей) может выполняться методом максимума-минимума или вероятностным способом. Рекомендуемое количество составляющих звеньев при применении вероятностного способа больше или равно четырем.

При расчете технологических размеров из **условия обеспечения минимального припуска на обработку** типовой задачей является расчет технологической размерной цепи, изображенной на рисунке 3.14.

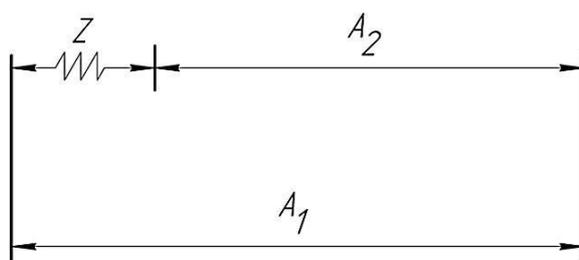


Рисунок 3.14 – Типовая технологическая размерная цепь с замыкающим звеном - припуском

В этом случае составляющими звеньями размерной цепи являются размер заготовки до обработки A_1 и размер заготовки после обработки A_2 . Замыкающим звеном размерной цепи является припуск на обработку. При этом размер A_2 или совпадает с конструкторским, или найден из уже рассмотренной ранее технологической размерной цепи.

Таким образом, в рассматриваемой технологической размерной цепи полностью известны параметры звена A_2 (т.е. известны номинальное значение звена и его верхнее $\Delta_{вA_2}$ и нижнее $\Delta_{нA_2}$ отклонения), известен допуск составляющего звена A_1 (T_{A_1}) и известно минимальное значение замыкающего звена припуска – Z (Z_{min}).

Такая задача не относится ни к прямым, ни к обратным задачам теории размерных цепей и называется смешанной [Матвеев, 2]. Решение этой задачи основано на способе средних значений, согласно которому среднее значение замыкающего звена равно алгебраической сумме составляющих звеньев. Т.е.:

$$Z^c = \sum_{j=1}^l \vec{A}_j^c - \sum_{j=1}^n \overleftarrow{A}_j^c, \quad (3.16)$$

где Z^c – среднее значение замыкающего звена (припуска); \vec{A}_j^c – среднее значение j -го увеличивающего звена; \overleftarrow{A}_j^c – среднее значение j -го уменьшающего звена; l и n – общее количество увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

Применительно к типовой технологической размерной цепи (рисунок 3.14) уравнение (3.16) используется следующим образом.

1. Определяется среднее значение полностью известного звена A_2 :

$$A_2^c = A_2 + \Delta_{oA_2} = A_2 + \frac{\Delta_{вA_2} + \Delta_{нA_2}}{2}. \quad (3.17)$$

Звено записывается в виде: $A_2 = A_2^c \pm \frac{T_{A_2}}{2}$.

2. Определяется среднее значение припуска по формуле:

$$Z^c = \frac{Z_{min} + Z_{max}}{2}. \quad (3.18)$$

Учтем, что $Z_{max} = Z_{min} + T_{A_1} + T_{A_2}$, и подставим в (3.18), имеем:

$$Z^c = Z_{min} + \frac{T_{A_1} + T_{A_2}}{2}. \quad (3.19)$$

3. После определения A_2^c (3.17) и Z^c (3.19) определяется среднее значение звена A_1 (3.16), т.е.:

$$A_1^c = A_2^c + Z^c. \quad (3.20)$$

Звено A_1 записывают в виде $A_1 = A_1^c \pm \frac{T_{A_1}}{2}$.

Еще одна разновидность данной задачи возникает тогда, когда для звена A_1 известны его предельные отклонения: верхнее $\Delta_{вA_1}$ и нижнее $\Delta_{нA_1}$. Задача сводится к расчету номинального значения рассматриваемого звена с использованием уравнения средних значений.

В этом случае после расчета по уравнению (3.1) среднего значения звена A_1 его номинальное значение определяется по формуле:

$$A_1 = A_1^c - \frac{\Delta_{BA_1} + \Delta_{HA_1}}{2}. \quad (3.21)$$

В случае расчета технологической размерной цепи из условия обеспечения конструкторского размера, непосредственно не выдерживаемого при обработке, типичной является задача, в которой замыкающим звеном является конструкторский размер, а составляющими технологические размеры (рисунок 3.15).

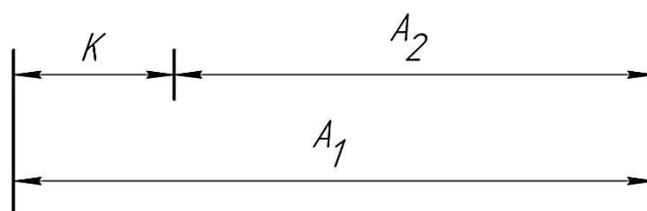


Рисунок 3.15 - Типовая технологическая размерная цепь с замыкающим звеном – конструкторским размером

В такой размерной цепи известны: номинальное значение и предельные отклонения (допуск) конструкторского размера. Известны параметры звена A_2 (из ранее рассмотренной размерной цепи) и известен допуск звена A_1 . В этом случае задача также относится к смешанной задаче, и для ее решения также применяют способ средних значений.

Сначала проверяют условие обеспечения точности конструкторского размера в зависимости от принятого способа расчета.

При способе максимума-минимума:

$$T_K \geq \sum_{j=1}^{n+p} T_{A_j}. \quad (3.22)$$

При вероятностном способе:

$$T_K \geq \sqrt{\sum_{j=1}^{n+p} T_{A_j}^2}. \quad (3.23)$$

Если условия (3.22 или 3.23) выполняются (т.е. точность конструкторского размера обеспечивается), то по способу средних значений (3.21) вычисляется среднее значение звена A_1^c . В рассматриваемом случае:

$$A_1^c = A_2^c + K^c.$$

Звено A_1 записывается в виде: $A_1 = A_1^c \pm \frac{T_{A_1}}{2}$.

4. Пример проведения размерного анализа проектируемого ТП

4.1 Исходные данные для проведения размерного анализа ТП

Методику проведения размерного анализа проектируемого ТП рассмотрим на примере ТП механической обработки вала, эскиз которого представлен на рисунке 4.1. Вал получают из штампованной на ГКМ заготовки класса точности Т5 с исходным индексом ИИ=14⁴. Размерный анализ проектируемого ТП будем проводить как в радиальном, так и в осевом направлении. При проведении анализа технологические размеры вала в радиальном направлении будем обозначать символом D с соответствующей индексацией, а размеры вала в осевом направлении символом A с соответствующей индексацией. Размерный анализ проектируемых ТП рекомендуется проводить в следующей последовательности. Сначала проводится размерный анализ в радиальном направлении, а затем в продольном (осевом направлении)⁵.

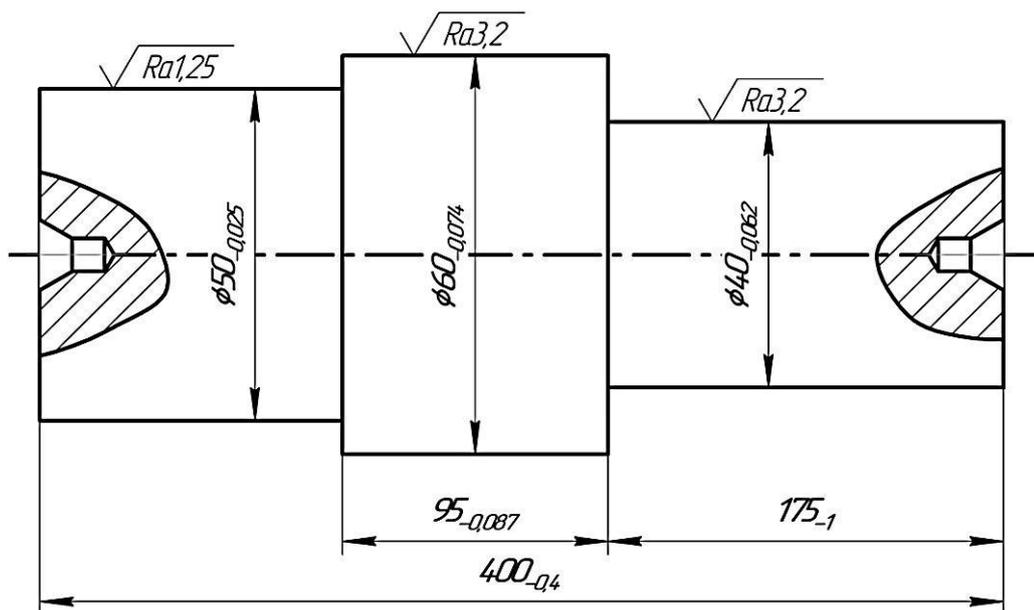


Рисунок 4.1 – Эскиз вала для проведения размерного анализа проектируемого ТП

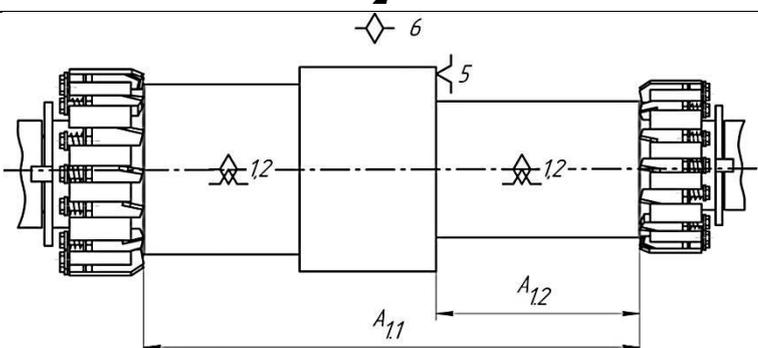
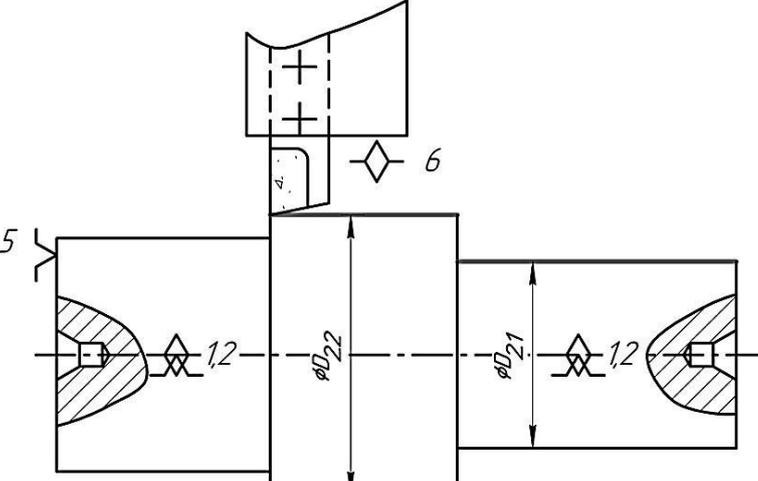
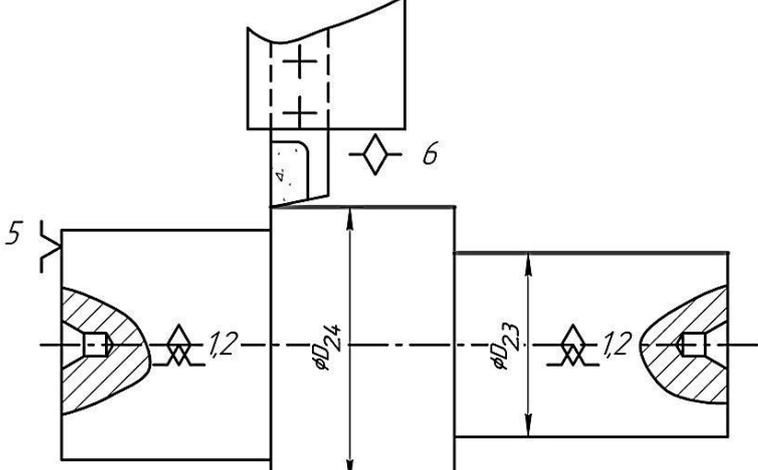
Эскизы операций (переходов) ТП с указанием планируемых к получению технологических размеров представлены в таблице 4.1.

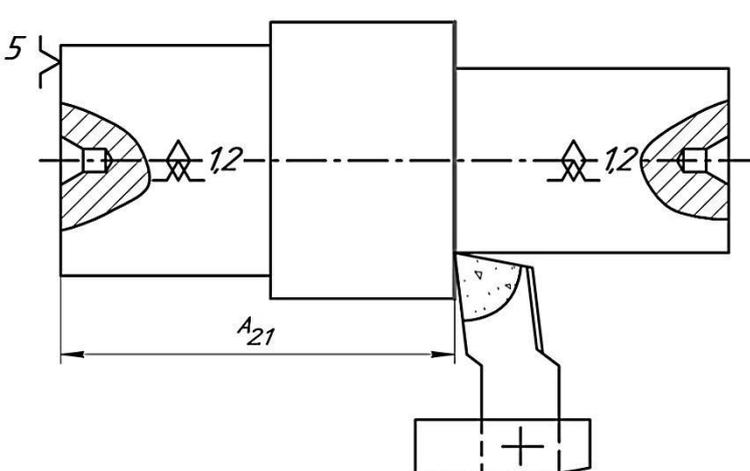
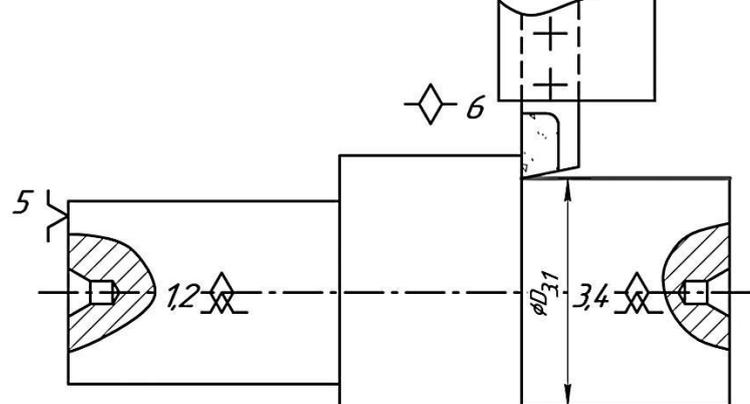
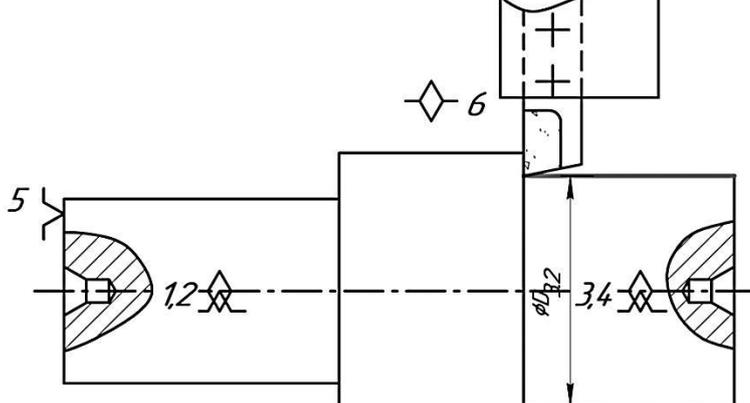
⁴ Порядок расчета исходного индекса, а также значения допусков на линейные размеры штампованных заготовок приведен в [3].

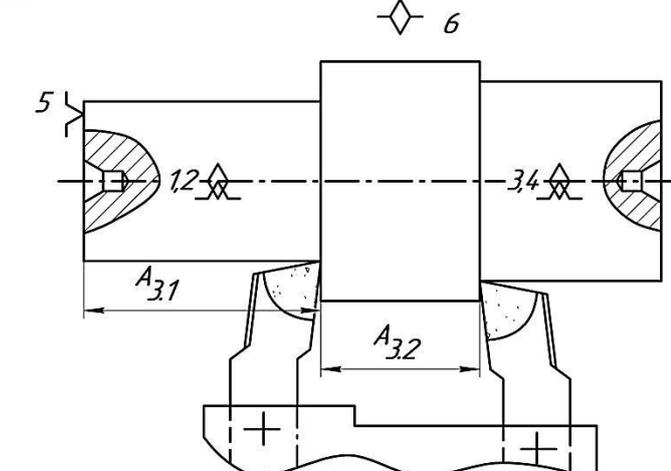
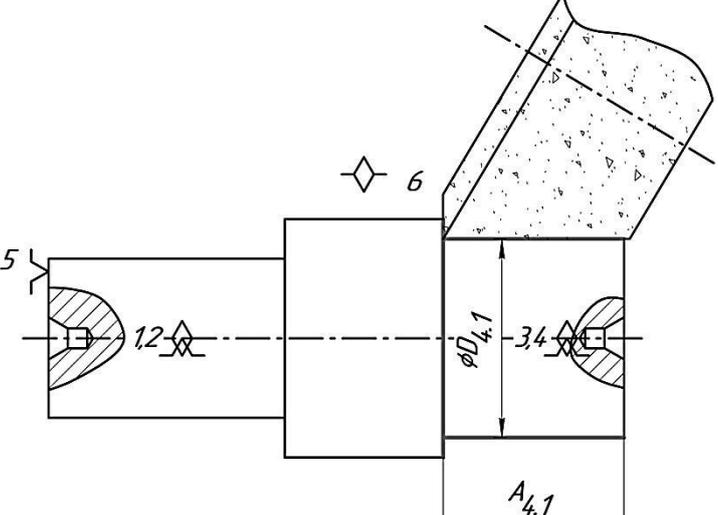
⁵ Такой порядок обусловлен тем, что зачастую (смотри п. 2.1) изменение размеров заготовки в радиальном направлении приводит к изменению размеров в осевом направлении.

Таблица 4.1

Маршрутный ТП обработки вала

| Опера-ция/переход | Схема перехода | Содержа-ние пере-хода |
|---|--|--|
| <p>1</p> <p>1/1 Фрезерно-центровальная (фрезерный переход)</p> | <p>2</p>  | <p>3</p> <p>Фрезеровать торцы, выдержав размеры $A_{1.1}, A_{1.2}$</p> |
| <p>2/1 Токарно-копировальная</p> |  | <p>Точить поверхности, выдержав размеры $D_{2.1}, D_{2.2}$</p> |
| <p>2/2 Токарно-копировальная</p> |  | <p>Точить поверхности, выдержав размеры $D_{2.3}, D_{2.4}$</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|--|---|
| <p>2/3 Токарно-копировальная</p> |  | <p>Подрезать торец, выдержав размер $A_{2.1}$</p> |
| <p>3/1 Токарно-копировальная</p> |  | <p>Точить поверхность, выдержав размер $D_{3.1}$</p> |
| <p>3/2 Токарно-копировальная</p> |  | <p>Точить поверхность, выдержав размер $D_{3.2}$</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|---|---|
| <p>3/3 Токарно-копировальная</p> |  | <p>Подрезать торцы, выдержав размеры $A_{3.1}$, $A_{3.2}$</p> |
| <p>4/1 цекруглошлифовальная</p> |  | <p>Одновременно шлифовать цилиндрическую поверхность и торец, выдержав размеры $D_{4.1}$, $A_{4.1}$</p> |

4.2 Размерный анализ проектируемого ТП в радиальном направлении

Проведем размерный анализ проектируемого ТП в радиальном направлении. Для этого построим его размерную схему в рассматриваемом направлении. При построении размерной схемы необходимо придерживаться тех же правил, что и при построении размерной схемы ТП в осевом направлении, т.е. вычертить упрощенный эскиз готовой детали и «наслоить» на нее удаляемые в процессе обработки припуски. При построении размерной схемы можно ограничиться изображением только одной половины вала, в качестве составляющих звеньев указывать диаметры до и после обработки, а в каче-

стве замыкающих звеньев – удвоенные значения припусков⁶. Построенная таким образом размерная схема ТП механической обработки представлена на рисунке 4.2.

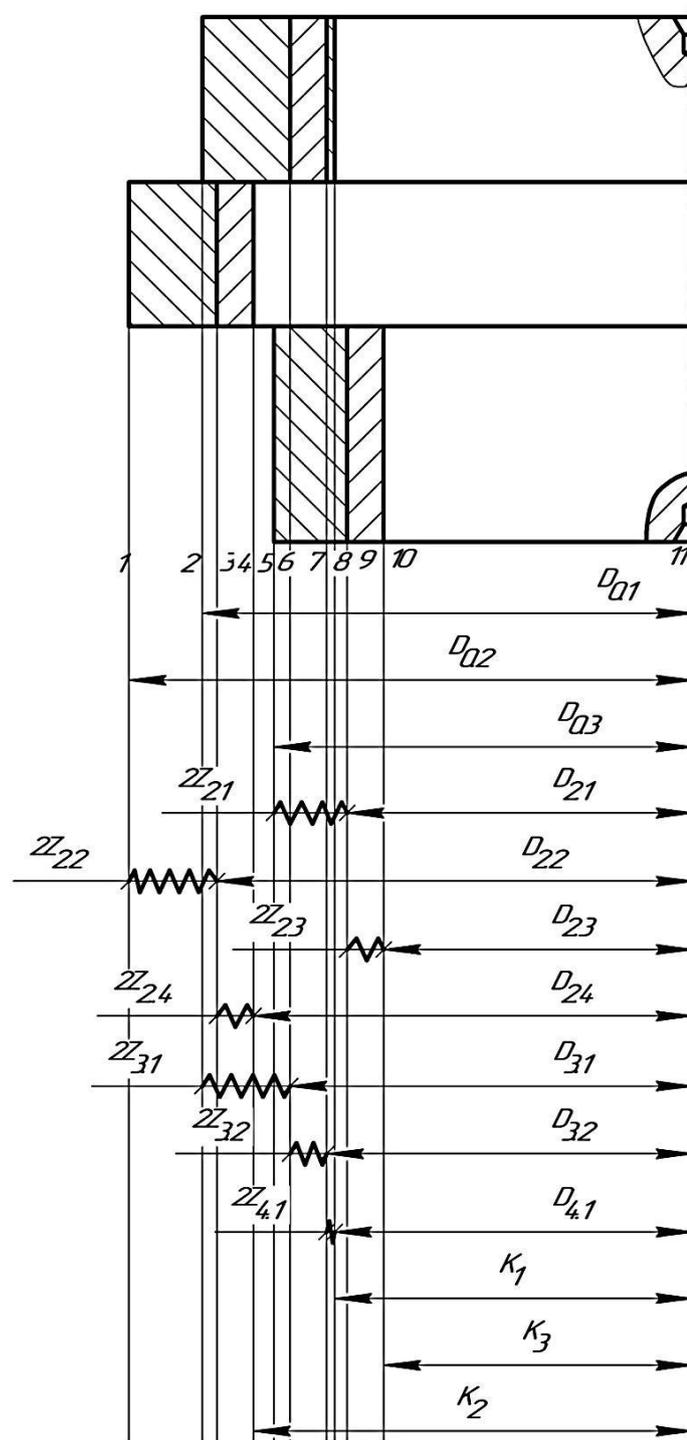


Рисунок 4.2 – Размерная схема ТП механической обработки вала (радиальное направление)

⁶ Для абсолютно точного построения размерной схемы на ней необходимо показывать все цилиндрические поверхности и их оси, а также учитывать при расчетах припусков и технологических размеров отклонения от соосности осей поверхностей в качестве составляющих звеньев технологических цепей.

При проведении размерного анализа в радиальном направлении для проектируемого ТП можно обойтись без построения графа его технологических размеров и графа его размерных связей, в силу простоты выявления технологических размерных цепей. Кроме того, учитывая простоту конструкции вала, можно не проводить расчет технологических размерных цепей из условия обеспечения конструкторских диаметральных размеров, не выдерживаемых непосредственно при обработке, а ограничиться расчетом технологических размеров (в том числе и размеров исходной заготовки), исходя из условий обеспечения минимального припуска на обработку. Схемы технологических размерных цепей радиального направления ТП представлены на рисунках 4.3-4.5.

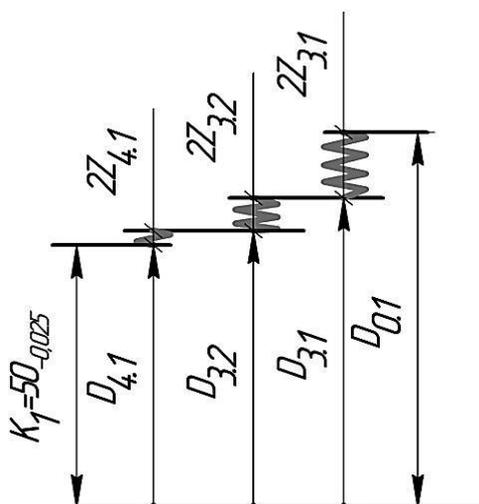


Рисунок 4.3 – Размерная схема диаметра $\varnothing 50_{-0,025}$

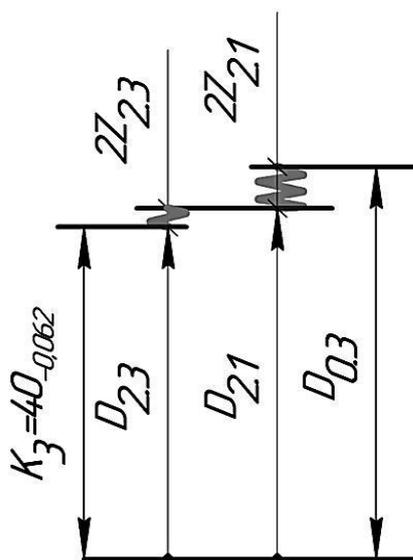


Рисунок 4.4 – Размерная схема диаметра $\varnothing 40_{-0,062}$

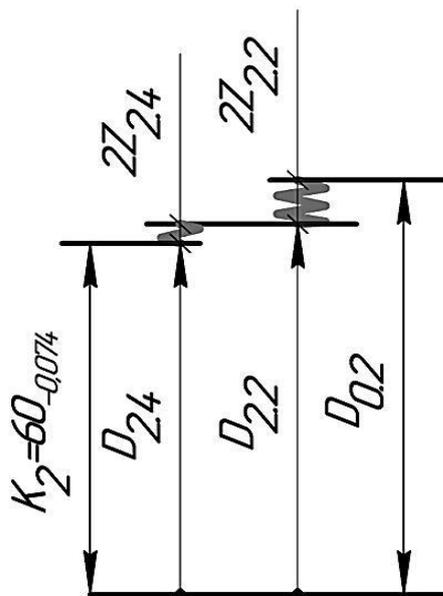


Рисунок 4.5 – Размерная схема диаметра $\phi 60_{-0,074}$

Для решения задачи расчета технологических размерных цепей необходимо, во-первых, назначить требования к точности технологических размеров, в соответствии с методикой, изложенной в п. 3.1, а, во-вторых провести расчет минимальных припусков на обработку цилиндрических поверхностей в соответствии с методикой, изложенной в п.3.2.

В таблице 4.2 представлены значения допусков, назначенные на технологические размеры диаметров вала, в соответствии с приложением 1.

Таблица 4.2

Допуски на технологические размеры диаметров вала

| Технологические размеры | Метод обработки | Принятый квалитет | Допуски на технологические размеры |
|---------------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ступень вала $\phi 50_{-0,025}$ | | | |
| $D_{0.1}$ | Заготовка (поковка) | Класс точности Т5 | $T_{D_{0.1}} = 2,8$ |
| $D_{3.1}$ | Черновое точение | IT12 | $T_{D_{3.1}} = 0,3$ |
| $D_{3.2}$ | Чистовое точение | IT10 | $T_{D_{3.2}} = 0,12$ |
| $D_{4.1}$ | Шлифование | IT7 | $T_{D_{4.1}} = 0,025$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---------------------|-------------------|-----------------------|
| Ступень вала $\varnothing 40_{-0,062}$ | | | |
| $D_{0.3}$ | Заготовка (поковка) | Класс точности Т5 | $T_{D_{0.3}} = 2,8$ |
| $D_{2.1}$ | Черновое точение | IT12 | $T_{D_{2.1}} = 0,25$ |
| $D_{2.3}$ | Чистовое точение | IT9 | $T_{D_{2.3}} = 0,062$ |
| Ступень вала $\varnothing 60_{-0,074}$ | | | |
| $D_{0.2}$ | Заготовка (поковка) | Класс точности Т5 | $T_{D_{0.2}} = 2,8$ |
| $D_{2.2}$ | Черновое точение | IT12 | $T_{D_{2.2}} = 0,3$ |
| $D_{2.4}$ | Чистовое точение | IT9 | $T_{D_{2.4}} = 0,074$ |
| Примечание. Допуски на размеры заготовки были назначены в соответствии с [3] | | | |

Результаты расчета минимальных припусков $2Z_{i.min}$ для каждой ступени вала представлены в таблицах 4.3 – 4.5. Расчет минимальных припусков производился в соответствии с методикой, рассмотренной в п. 3.2. При расчетах припусков в качестве исходных использовались данные, представленные в приложениях 2 – 17.

В качестве расчетной формулы для определения погрешности формы на первом переходе использовалась формула:

$$\rho_{\phi.1} = \Delta_k \cdot L, \quad (4.1)$$

где Δ_k – удельная кривизна поковок, изготавливаемых на ГКМ (была принята равной 6 мкм/мм); L – расстояние от ближайшего торца до сечения в котором должна наблюдаться максимальная погрешность, вызванная кривизной поковки.

При расчете погрешности взаимного расположения технологической базы и обрабатываемой поверхности (для рассматриваемого случая это отклонение от соосности общей оси центровых отверстий и оси обрабатываемой поверхности) на первом переходе использовалась формула:

$$\rho_{p.1} = 0,25 \cdot \sqrt{T_D^2 + 1}, \quad (4.2)$$

где T_D – допуск на диаметр базы, используемой при сверлении центровых отверстий.

Суммарные пространственные отклонения ρ определялись по (3.8). Погрешностью установки заготовки в центрах в радиальном направлении пренебрегали, в силу ее малости по сравнению с другими составляющими минимального припуска.

Таблица 4.3

Результаты расчета минимальных припусков для ступени вала $\varnothing 50_{-0,025}$

| Переход | Составляющие припуска, мкм | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|-------|-----------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Rz_i | h_i | $\rho_{\phi.i}$ | $\rho_{p.i}$ | ρ | ε_y | $2Z_{min}$ |
| 1 Заготовка ($D_{0,1}$) | 250 | 250 | 840 | 740 | ≈ 1120 | - | |
| 2 Черновое точение ($D_{3,1}$) | 50 | 50 | 50 | 100 | ≈ 110 | - | ≈ 3240 |
| 3 Чистовое точение ($D_{3,2}$) | 25 | 25 | 20 | 50 | ≈ 55 | - | ≈ 420 |
| 4 Шлифование ($D_{4,1}$) | | - | - | - | - | - | ≈ 210 |

Таблица 4.4

Результаты расчета припусков для ступени вала $\varnothing 40_{-0,062}$

| Переход | Составляющие припуска, мкм | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|-------|-----------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Rz_i | h_i | $\rho_{\phi.i}$ | $\rho_{p.i}$ | ρ | ε_y | $2Z_{min}$ |
| 1 Заготовка | 250 | 250 | 1200 | 740 | ≈ 1410 | - | |
| 2 Черновое точение | 50 | 50 | 50 | 100 | ≈ 110 | - | ≈ 3820 |
| 3 Чистовое точение | - | - | - | - | - | - | ≈ 420 |

Таблица 4.5

Результаты расчета припусков для ступени вала $\varnothing 60_{-0,074}$

| Переход | Составляющие припуска, мкм | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|-------|-----------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Rz_i | h_i | $\rho_{\phi.i}$ | $\rho_{p.i}$ | ρ | ε_y | $2Z_{min}$ |
| 1 Заготовка | 250 | 250 | 1050 | 740 | ≈ 1280 | - | |
| 2 Черновое точение | 50 | 50 | 50 | 100 | ≈ 110 | - | ≈ 3560 |
| 3 Чистовое точение | - | - | - | - | - | - | ≈ 420 |

Расчеты технологических размеров проведем только для поверхности $\varnothing 50_{-0,025}$. Для остальных диаметров рекомендуем расчеты сделать читателю.

Расчет диаметра поверхности $D_{3,2}$ после чистового точения. Исходные данные:

- диаметр после обработки (полностью известное звено) $D_{4,1} = 50_{-0,025}$;
- допуск диаметра после чистового точения $T_{D_{3,2}} = 0,12$;
- минимальный припуск на шлифование $2Z_{4,1 \min} = 0,21$.

В соответствии с формулами (3.17-3.21) определяем:

- среднее значение звена $D_{4,1}$ (3.17):

$$D_{4,1}^c = 50 + \frac{0-0,025}{2} = 49,9875;$$

- записываем звено $D_{4,1}$ в виде:

$$D_{4,1} = 49,9875 \pm 0,0125;$$

- определяем среднее значение припуска (3.18-3.19):

$$2Z_{4,1}^c = 0,21 + \frac{0,025+0,12}{2} = 0,2825;$$

- определяем среднее значение технологического размера поверхности $D_{3,2}$ после чистового точения (3.20):

$$D_{3,2}^c = 49,9875 + 0,2825 = 50,27;$$

- звено $D_{3,2}$ записываем в виде:

$$D_{3,2} = 50,27 \pm 0,06;$$

- в операционную карту и на карте эскизов размер $D_{3,2}$ может быть записан (как охватываемый размер) в виде:

$$D_{3,2} = 50,33_{-0,12}.$$

Аналогичным образом определяются и остальные технологические размеры $D_{3,1}$ и $D_{0,1}$. Их рассчитанные значения представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Результаты расчета технологических размеров для поверхности $\emptyset 50_{-0,025}$

| Технологический размер | Значение |
|------------------------|---|
| $D_{3,2}$ | $\emptyset 50,27 \pm 0,06$ ($\emptyset 50,33_{-0,12}$) |
| $D_{3,1}$ | $\emptyset 50,9 \pm 0,15$ ($\emptyset 51,05_{-0,3}$) |
| $D_{0,1}$ | $\emptyset 55,69 \pm 1,4$ ($\emptyset 56,09_{-1,8}^{+1,0}$) |

Для упрощения изготовления измерительного инструмента технологические размеры после чернового и чистового точения целесообразно представить в виде $D_{3.2} = 50,3_{-0,09}^{+0,03}$ и $D_{3.1} = 51_{-0,25}^{+0,05}$.

Относительно номинального диаметра $\varnothing 56,09$ поверхности исходной заготовки необходимо сделать следующее замечание. Целесообразно значение этого диаметра записать в виде $\varnothing 56_{-1,8}^{+1,0}$, т.е. несколько уменьшить (на 0,09 мм) номинальный диаметр исходной заготовки до целого значения. Внесение такой коррекции может привести к возможному снижению величины минимального припуска на черновое точение $2Z_{3.1 \min}$ с 3,24 мм до 3,15 мм.

Очевидно, что в силу малости величины коррекции ее внесение не может значительно сказаться на параметрах точности и качества поверхности, получаемых после чернового точения, и поэтому такая коррекция номинального размера исходной заготовки вполне допустима.

4.3 Размерный анализ проектируемого ТП механической обработки вала в осевом направлении

Проведем размерный анализ проектируемого технологического процесса механической обработки вала в осевом направлении. Для этого составим размерную схему ТП в рассматриваемом направлении (рисунок 4.6), граф технологических размеров (рисунок 4.7) и граф размерных связей ТП (рисунок 4.8).

Легко убедиться, что размерная схема, граф технологических размеров и граф размерных связей ТП построены верно (выполняются все правила, приведенные на странице 30).

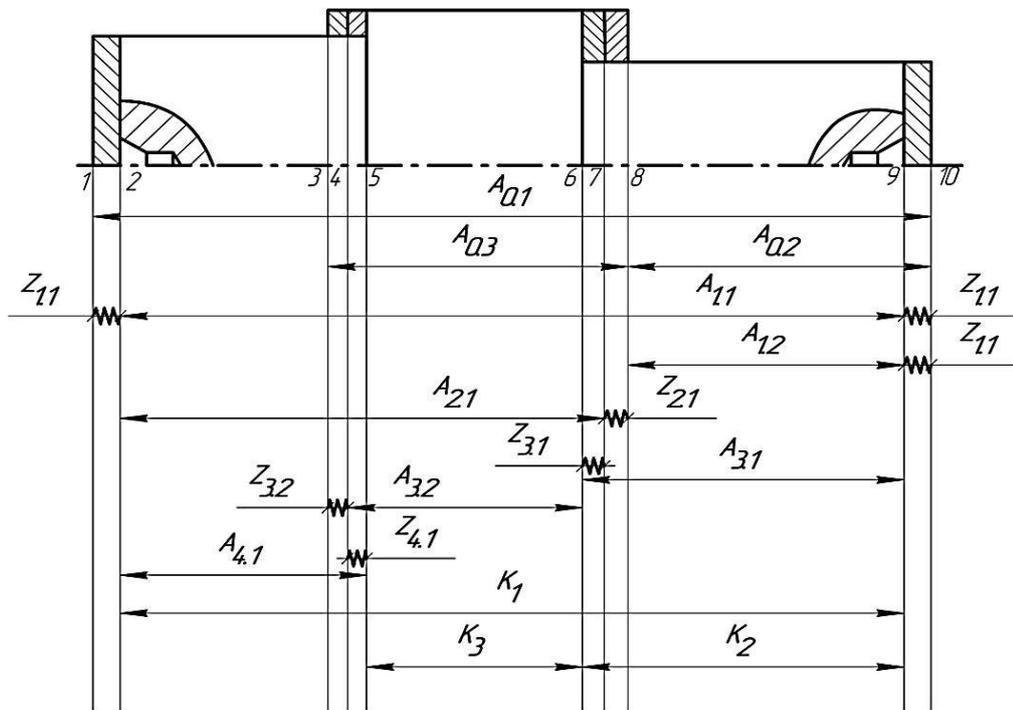


Рисунок 4.6 – Размерная схема ТП механической обработки вала (осевое направление)

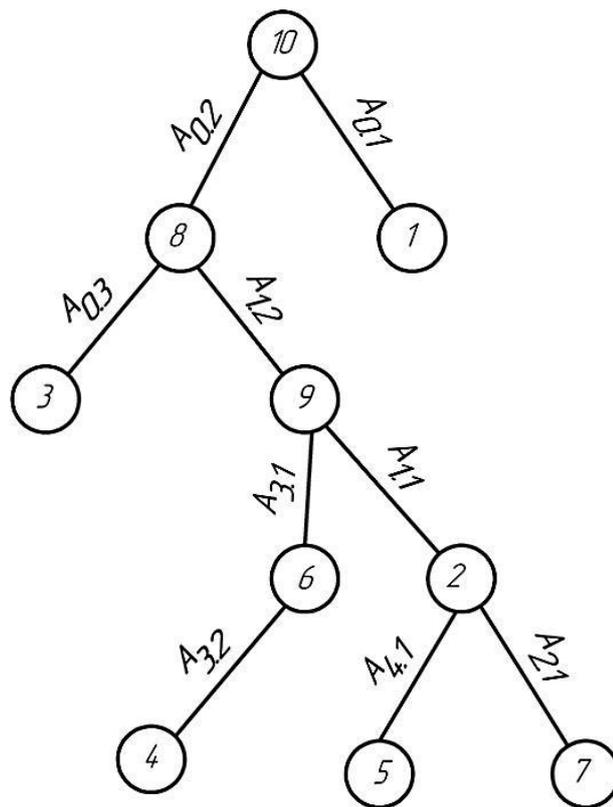


Рисунок 4.7 – Граф технологических размеров ТП механической обработки вала (осевое направление)

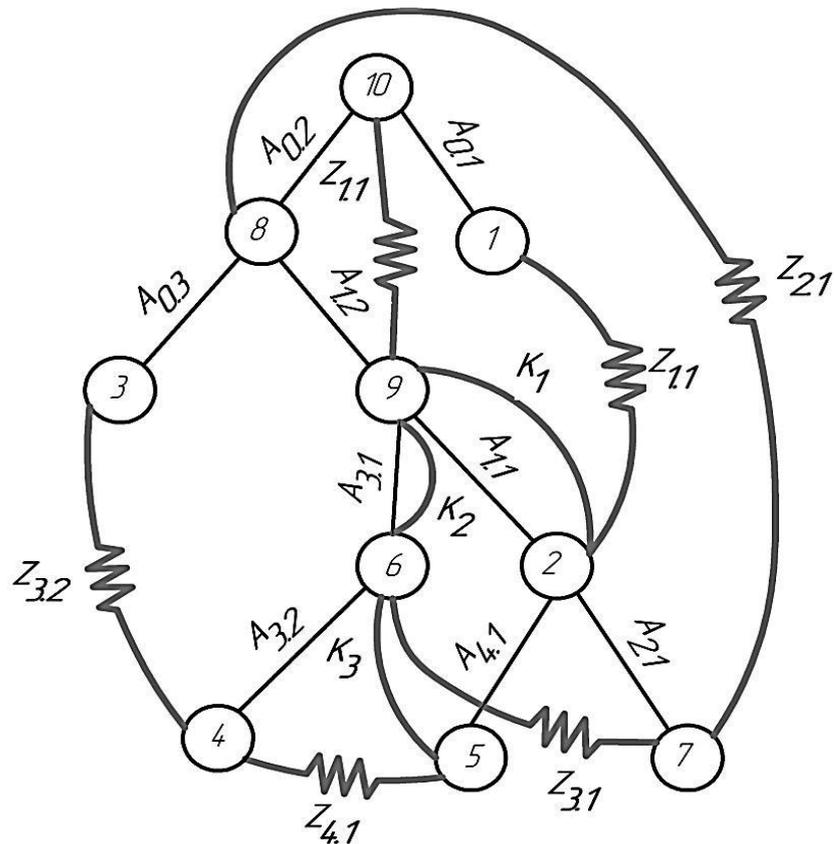


Рисунок 4.8 – Граф размерных связей ТП механической обработки вала (осевое направление)

Сначала проведем размерный анализ проектируемого ТП исходя из условий обеспечения конструкторских размеров. Как следует из графа размерных связей ТП, два из трёх конструкторских размеров K_1 и K_2 выдерживаются непосредственно (т.е. равны соответствующим технологическим размерам), а размер K_3 является замыкающим звеном в размерной цепи с составляющими звеньями $A_{3.1}$, $A_{1.1}$ и $A_{1.4}$.

Уравнение указанной размерной цепи будет иметь вид:

$$K_3 = A_{1.1} - A_{4.1} - A_{3.1}, \quad (4.3)$$

причем технологические размеры $A_{1.1}$ и $A_{3.1}$ должны определяться из технологических размерных цепей:

$$K_1 = A_{1.1}; K_2 = A_{3.1}. \quad (4.4)$$

Учитывая, что среднестатистическая точность фрезерования на двусторонних барабанно-фрезерных станках составляет $\omega_{сА_{1.1}} \approx 0,12$ мм, а средне-

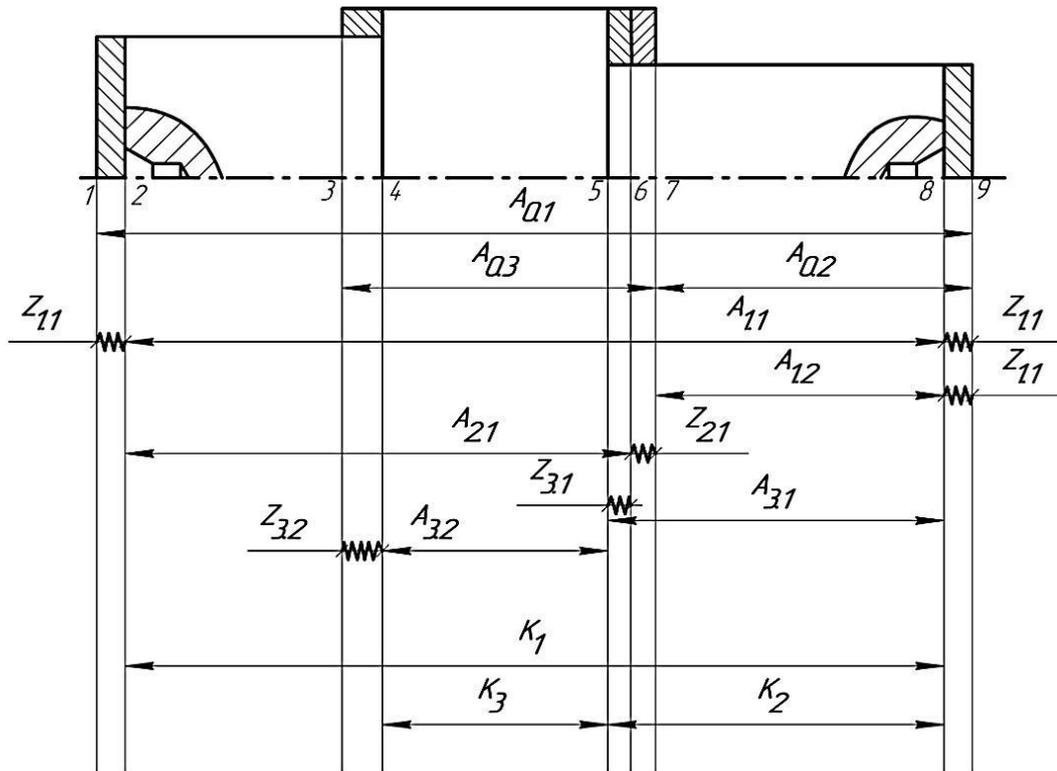


Рисунок 4.10 – Скорректированная размерная схема ТП механической обработки вала (осевое направление) после замены торцеукруглошлифовальной операции на круглошлифовальную

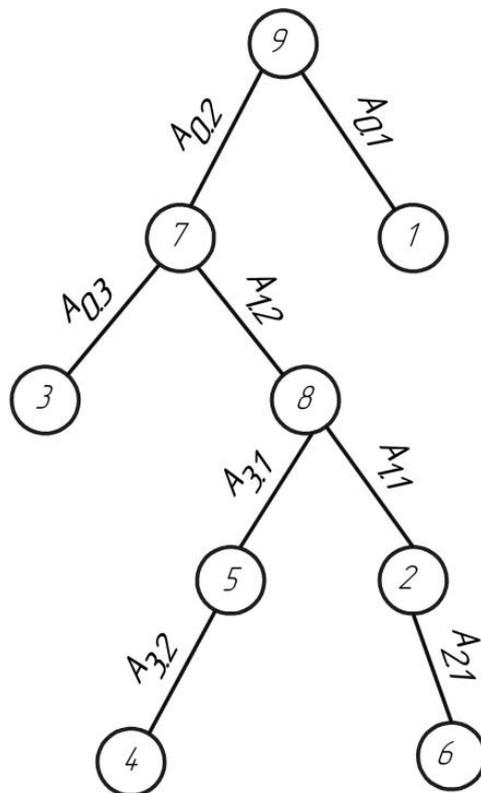


Рисунок 4.11 – Скорректированный граф технологических размеров ТП механической обработки вала (осевое направление)

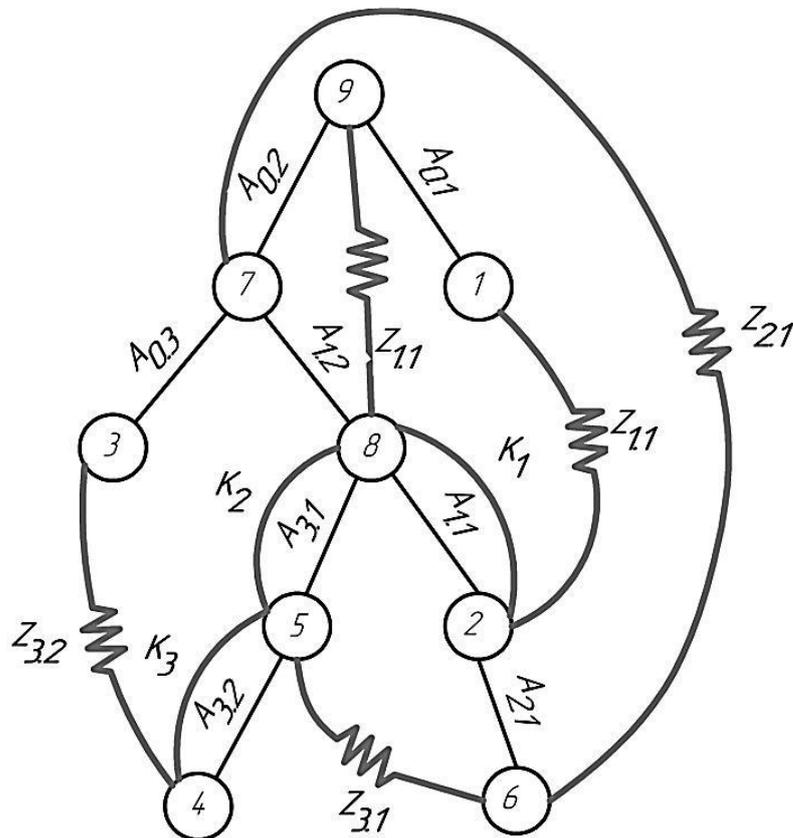


Рисунок 4.12 – Скорректированный граф размерных связей ТП механической обработки вала (осевое направление)

Как следует из графа размерных связей скорректированного ТП, в нем все конструкторские размеры совпадают с технологическими размерами (т.е. являются замыкающими звеньями в двухзвенных размерных цепях). Исходя из условия обеспечения заданной точности конструкторских размеров номинальные значения и допуски на технологические размеры $A_{1.1}$, $A_{3.1}$, $A_{3.2}$ должны быть назначены равными конструкторским размерам K_1 , K_2 и K_3 соответственно. Таким образом, $A_{1.1} = 400_{-0,4}$, $A_{3.1} = 175_{-1}$, $A_{3.2} = 95_{-0,087}$.

Для нахождения значений всех остальных технологических размеров необходимо определить минимальные значения операционных припусков, назначить операционные допуски на технологические размеры и решить технологические размерные цепи, исходя из условия обеспечения минимальных припусков на обработку. Порядок расчета минимальных припусков на обработку полностью рассмотрен в п. 3.2 и п. 4.2, поэтому при проведении анализа в осевом направлении минимальные припуски на фрезерование, черно-

вую и чистовую подрезку торцов $Z_{1.1}$, $Z_{2.1}$, $Z_{3.1}$ и $Z_{3.2}$ назначим по таблицам, представленным в [4]. Таким образом:

$$Z_{1.1 \min} = 2,4 \text{ мм}; Z_{2.1 \min} = 2,4 \text{ мм}; Z_{3.1 \min} = 1,4 \text{ мм}; Z_{3.2 \min} = 2,4 \text{ мм}.$$

Операционные допуски на технологические размеры $A_{1.2}$, $A_{2.1}$, $A_{0.1}$, $A_{0.2}$ и $A_{0.3}$ назначим в соответствии с реализуемыми методами обработки по приложению 1. Их значения, а также значения допусков на технологические размеры $A_{1.1}$, $A_{3.1}$, $A_{3.2}$ представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Значения допусков на технологические размеры

| Технологический размер $A_{i,j}$, мм | Допуск на технологический размер, $T_{A_{i,j}}$, мм. |
|---------------------------------------|---|
| $A_{0.1}$ | $T_{A_{0.1}} = 4$ |
| $A_{0.2}$ | $T_{A_{0.2}} = 3,6$ |
| $A_{0.3}$ | $T_{A_{0.3}} = 3,2$ |
| $A_{1.1}$ | $T_{A_{1.1}} = 0,4$ |
| $A_{1.2}$ | $T_{A_{1.2}} = 0,3$ |
| $A_{2.1}$ | $T_{A_{2.1}} = 0,35$ |
| $A_{3.1}$ | $T_{A_{3.1}} = 1,0$ |
| $A_{3.2}$ | $T_{A_{3.2}} = 0,087$ |

Назначенные значения припусков и допусков на технологические размеры позволяют приступить к определению технологических размеров $A_{1.2}$, $A_{2.1}$, $A_{0.1}$, $A_{0.2}$ и $A_{0.3}$. Технологические размерные цепи для расчета указанных технологических размеров, построенные по графу размерных связей ТП, представлены на рисунке 4.13. Размерные схемы на рисунке 4.13 представлены в порядке, удобном для их расчета (каждый раз в размерной схеме присутствует только один определяемый технологический размер).

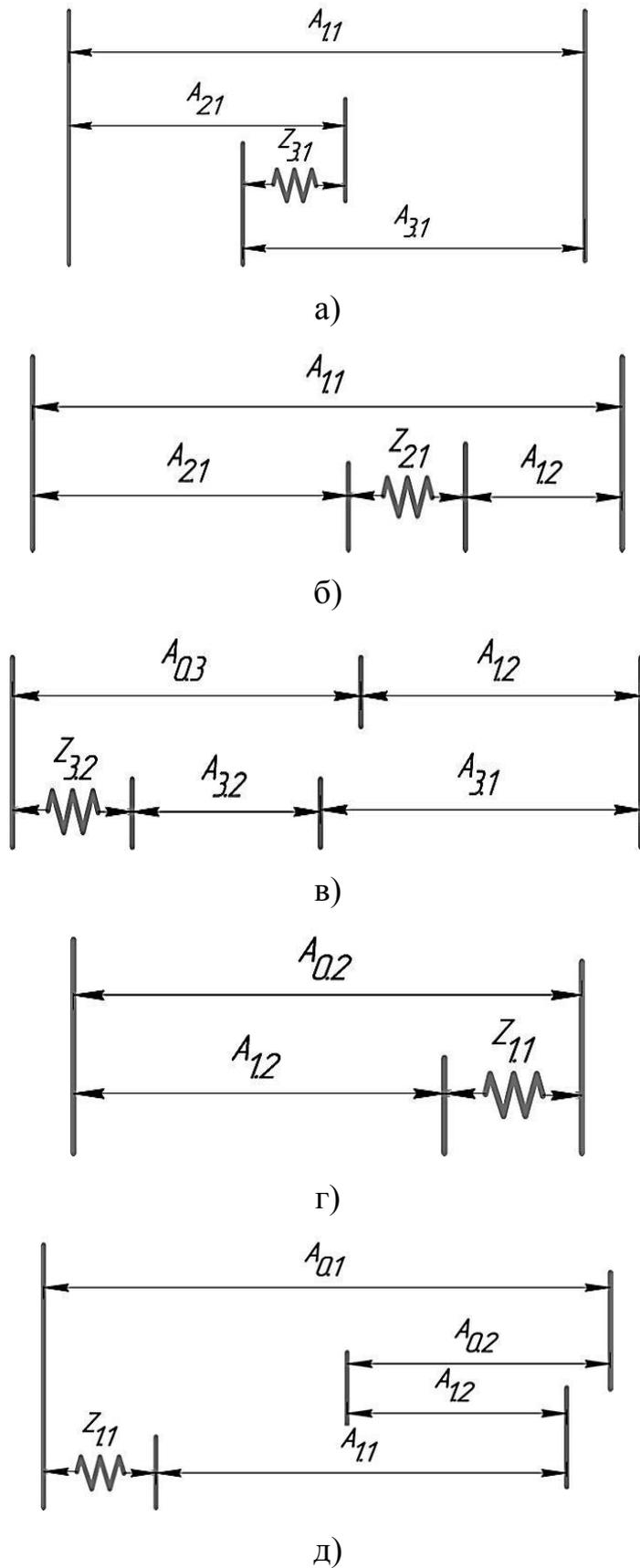


Рисунок 4.13 – Размерные схемы ТП механической обработки вала

Определяем технологический размер $A_{2.1}$ (размерная цепь, представленная на рисунке 4.13, а). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{2.1}^c = Z_{3.1}^c + A_{1.1}^c - A_{3.1}^c. \quad (4.5)$$

Среднее значение припуска:

$$Z_{3.1}^c = Z_{3.1} \min + \frac{T_{A_{1.1}} + T_{A_{2.1}} + T_{A_{3.1}}}{2}. \quad (4.6)$$

По формулам (4.5, 4.6) определяем:

$$Z_{3.1}^c = 1,4 + \frac{0,4+0,35+1,0}{2} = 2,275;$$

$$A_{2.1}^c = 2,275 + 399,8 - 174,5 = 227,575.$$

С учетом операционного допуска на размер $A_{2.1}$

$$A_{2.1} = 227,575 \pm 0,175.$$

Учитывая также, что размер $A_{2.1}$ является охватываемым размером, окончательно для этого размера можно записать:

$$A_{2.1} = 227,75_{-0,35}.$$

Определяем технологический размер $A_{1.2}$ (размерная цепь, представленная на рисунке 4.13, б). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{1.2}^c = A_{1.1}^c - A_{2.1}^c - Z_{2.1}^c. \quad (4.7)$$

Среднее значение припуска:

$$Z_{2.1}^c = Z_{2.1} \min + \frac{T_{A_{1.1}} + T_{A_{2.1}} + T_{A_{1.2}}}{2}. \quad (4.8)$$

По формулам (4.7, 4.8) определяем:

$$Z_{2.1}^c = 2,4 + \frac{0,4+0,35+0,3}{2} = 2,925.$$

$$A_{1.2}^c = 399,8 - 227,575 - 2,925 = 169,3.$$

С учетом операционного допуска на размер $A_{1.2}$:

$$A_{1.2} = 169,3 \pm 0,15.$$

Размер $A_{1.2}$ не относится ни к охватываемым, ни к охватывающим размерам, поэтому оставляем его без изменений.

Определяем технологический размер $A_{0.3}$ (размерная цепь, представленная на рисунке 4.13, в). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{0.3}^c = Z_{3.2}^c + A_{3.2}^c + A_{3.1}^c - A_{1.2}^c. \quad (4.9)$$

Среднее значение припуска:

$$Z_{3.2}^c = Z_{3.2 \min} + \frac{T_{A_{3.2}} + T_{A_{3.1}} + T_{A_{1.2}} + T_{A_{0.3}}}{2}. \quad (4.10)$$

По формулам (4.9, 4.10) определяем:

$$Z_{3.2}^c = 2,4 + \frac{0,087+1,0+0,3+3,2}{2} = 4,6935.$$

$$A_{0.3}^c = 4,6935 + 94,9565 + 174,5 - 169,3 = 104,85.$$

С учетом операционного допуска на размер $A_{0.3}$:

$$A_{0.3}^c = 104,85 \pm 1,6.$$

С учетом правил записи предельных отклонений для поковок:

$$A_{0.3}^c = 104,35_{-1,1}^{+2,1}.$$

Определяем технологический размер $A_{0.2}$ (размерная цепь, представленная на рисунке 4.13, г). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{0.2}^c = Z_{1.1}^c + A_{1.2}^c. \quad (4.11)$$

Среднее значение припуска:

$$Z_{1.1}^c = Z_{1.1 \min} + \frac{T_{A_{1.2}} + T_{A_{0.1}}}{2}. \quad (4.12)$$

По формулам (4.11, 4.12) определяем:

$$Z_{1.1}^c = 2,4 + \frac{0,3+4}{2} = 2,75;$$

$$A_{0.2}^c = 2,75 + 169,3 = 172,05.$$

С учетом операционного допуска на размер $A_{0.2}$:

$$A_{0.2}^c = 172,05 \pm 1,8.$$

С учетом правил записи предельных отклонений для поковок:

$$A_{0.2}^c = 171,45_{-1,2}^{+2,4}.$$

Определяем технологический размер $A_{0.1}$ (размерная цепь, представленная на рисунке 4.13, д). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{0.1}^c = Z_{1.1}^c + A_{0.2}^c - A_{1.2}^c + A_{1.1}^c. \quad (4.13)$$

Среднее значение припуска:

$$Z_{1.1}^c = Z_{1.1 \min} + \frac{T_{A_{0.2}} + T_{A_{1.2}} + T_{A_{1.1}} + T_{A_{0.1}}}{2}. \quad (4.14)$$

По формулам (4.13, 4.14) определяем:

$$Z_{1.1}^c = 2,4 + \frac{3,6+0,3+0,4+4}{2} = 6,55;$$

$$A_{0.1}^c = 6,55 + 172,05 - 169,3 + 399,8 = 409,1.$$

С учетом операционного допуска на размер $A_{0.3}$:

$$A_{0.1}^c = 409,1 \pm 2.$$

С учетом правил записи предельных отклонений для поковок:

$$A_{0.1}^c = 406,4_{-1,3}^{+2,7}.$$

Полностью результаты расчета технологических размеров сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8

Результаты расчета технологических размеров ТП изготовления вала

| Технологический размер $A_{i,j}$, мм | Значение, мм |
|---------------------------------------|------------------------|
| $A_{0.1}$ | $406,4_{-1,3}^{+2,7}$ |
| $A_{0.2}$ | $171,45_{-1,2}^{+2,4}$ |
| $A_{0.3}$ | $104,35_{-1,1}^{+2,1}$ |
| $A_{1.1}$ | $400_{-0,4}$ |
| $A_{1.2}$ | $169,3 \pm 0,15$ |
| $A_{2.1}$ | $227,75_{-0,35}$ |
| $A_{3.1}$ | 175_{-1} |
| $A_{3.2}$ | $95_{-0,087}$ |

Размеры заготовки $A_{0.1}$, $A_{0.2}$, $A_{0.3}$ целесообразно округлить до целых значений миллиметров, а размер $A_{2.1}$ записать в виде $A_{2.1} = 227,8_{-0,4}^{-0,05}$. Окончательно принятые технологические размеры представлены в таблице 4.9

Таблица 4.9

Принятые значения технологических размеров ТП изготовления вала

| Технологический размер $A_{i,j}$, мм | Значение, мм |
|---------------------------------------|------------------------|
| $A_{0.1}$ | $407_{-1,3}^{+2,7}$ |
| $A_{0.2}$ | $172_{-1,2}^{+2,4}$ |
| $A_{0.3}$ | $105_{-1,1}^{+2,1}$ |
| $A_{1.1}$ | $400_{-0,4}$ |
| $A_{1.2}$ | $169,3 \pm 0,15$ |
| $A_{2.1}$ | $227,8_{-0,4}^{+0,05}$ |
| $A_{3.1}$ | 175_{-1} |
| $A_{3.2}$ | $95_{-0,087}$ |

СРЕДНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (БЕЗ УЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОТ НЕСОВПАДЕНИЯ БАЗ ε_6 И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ρ_{Π})

| Вид обработки | Оборудование и методы обработки | Способ обеспечения точности | Проходы | Шероховатость, мкм | | Точность | | | | |
|---|---------------------------------|--|---------|--------------------|---------|-------------------------------|-------|----------|-----------|---------|
| | | | | Rz | Ra | Диаметраль-ных размеров, JT | До 80 | 80 – 260 | 260 – 500 | Св. 500 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Токарная обработка | Токарно-винторезные станки | По предварительно настроенному лимбу с использованием поворотного резцедержателя | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,70 |
| | | | II | – | 2,5 | 10 | 0,12 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
| | Прецизионные токарные станки | То же | I | 40 | – | 8 – 9 | 0,08 | 0,010 | 0,12 | 0,15 |
| | | | II | – | 1,25 | 6 – 7 | 0,04 | 0,054 | 0,084 | 0,10 |
| | Токарные станки с ЧПУ | По программе | I | 80 | – | 11 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 |
| | | | II | – | 2,5 | 10 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| | Малые карусельные станки | По предварительно настроенному лимбу По упорам | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,45 |
| | | | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,07 | 0,10 | 0,12 | 0,18 |
| | Операционные токарные станки | По упорам | I | 80 | – | 11 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
| | | | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 |
| | Токарно-револьверные станки | По упорам от установочных баз | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 |
| | | | II | – | 2,5 | 11 | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| | | От настроечной базы между позициями | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 |
| | | | II | – | 2,5 | 10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 |
| Между резцами в много-резцовой державке | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | | |
| | II | – | 2,5 | 10 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | | |
| Многорезцовые токарные полуавтоматы | По упорам от установочных баз | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | |
| | | II | – | 2,5 | 10 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
|--------------------|---|--|---|---------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Токарная обработка | | Между резцами в одном блоке | I II | 80 – | – 2,5 | 12 – 13 10 | 0,15 0,08 | 0,20 0,10 | 0,25 0,12 | 0,30 0,15 | |
| | | Между резцами с различных суппортов | I II | 80 – | – 2,5 | 12 – 13 11 | 0,20 0,12 | 0,25 0,17 | 0,30 0,20 | 0,35 0,25 | |
| | | Гидрокопировальные токарные полуавтоматы | По копиру от установочной базы | I II | 80 – | – 2,5 | 12 – 13 10 | 0,25 0,15 | 0,30 0,17 | 0,35 0,20 | 0,40 0,25 |
| | | | Между резцами в одном блоке | I II | 80 – | – 2,5 | 11 8 – 9 | 0,17 0,12 | 0,20 0,17 | 0,25 0,20 | 0,30 0,25 |
| | Между резцами с различных суппортов | | I II | 80 – | – 2,5 | 12 – 13 10 | 0,20 0,17 | 0,25 0,20 | 0,30 0,25 | 0,35 0,30 | |
| | Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы | | По копирам и упорам от установочных баз | I II | 80 – | – 2,5 | 12 – 13 10 | 0,20 0,12 | 0,25 0,15 | 0,30 0,20 | – – |
| | | | Между резцами в одном блоке | I II | 80 – | – 2,5 | 11 8 – 9 | 0,17 0,08 | 0,20 0,10 | 0,25 0,12 | – – |
| | | | Между резцами с различных суппортов и позиций | I II | 80 – | – 2,5 | 12 – 13 10 | 0,20 0,15 | 0,25 0,20 | 0,30 0,25 | – – |
| | Автоматы фасонно-продольного точения | По копирам от настроечной базы | I II | 40 – | – 2,5 | 10 7 – 8 | 0,12 0,08 | 0,17 0,10 | – – | – – | |
| | | Между резцами с различных суппортов | I II | 40 – | – 2,5 | 10 7 – 8 | 0,10 0,06 | 0,12 0,08 | – – | – – | |
| | Токарно-револьверные автоматы | По копирам от настроечной базы (с револьверными головками) | I II | 40 – | – 2,5 | 11 8 – 9 | 0,12 0,08 | 0,17 0,10 | – – | – – | |
| | | От упора или настроечной базы с поперечного суппорта | I II | 40 – | – 2,5 | 11 8 – 9 | 0,12 0,08 | 0,17 0,10 | – – | – – | |
| | | Фасонным резцом | I | 20 | – | 10 | 0,02 | 0,04 | – | – | |
| | | Многорезцовой державкой | I | 20 | – | 10 | 0,06 | 0,08 | – | – | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------------------|---|--|----|----|-----|---------|------|------|------|----|
| | Горизонтальные многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы | По копирам от установочной или настроечной базы с продольного суппорта | I | 40 | – | 11 | 0,12 | 0,17 | – | – |
| | | | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,08 | 0,10 | – | – |
| | | | I | 40 | – | 11 | 0,12 | 0,17 | – | – |
| | | | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,08 | 0,10 | – | – |
| | | То же, с независимых инструментальных суппортов | I | 40 | – | 11 | 0,15 | 0,20 | – | – |
| | | | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,10 | 0,12 | – | – |
| | | По порам с поперечных суппортов | I | 40 | – | 11 | 0,12 | 0,17 | – | – |
| | | | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,08 | 0,10 | – | – |
| | | | I | 40 | – | 11 | 0,10 | 0,12 | – | – |
| | | Между резцами в многорезцовой державке | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,06 | 0,08 | – | – |
| | | | I | 20 | – | 10 | 0,02 | 0,04 | – | – |
| | | | I | 20 | – | 10 | 0,02 | 0,04 | – | – |
| Токарная обработка | Обработка глухих отверстий на вертикально-сверлильных и агрегатных станках спиральными сверлами | По лимбу | – | 80 | – | 12 – 13 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | – |
| | | По упорам | – | 80 | – | 12 – 13 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | – |
| Сверление | То же, ружейными сверлами | По лимбу | – | 40 | – | 8 – 10 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | – |
| | | По упорам | – | 40 | – | 8 – 10 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | – |
| | То же, зенкерование черных отверстий | – | – | 80 | – | 12 – 13 | – | – | – | – |
| | То же, зенкование после сверления | – | – | – | 40 | 10 – 11 | – | – | – | – |
| | То же, развертывание | – | – | – | 2,5 | 6 – 7 | – | – | – | – |
| | то же, зенкование | По упорам | – | 40 | – | 12 – 13 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | – |
| | То же, цекование | По упорам | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | То же, обработка ступенчатых отверстий комбинированным инструментом | – | – | 80 | – | 11 – 13 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | – |
| Растачивание | Растачивание ступенчатых отверстий на горизонтально-расточных станках | По лимбу | I | 80 | – | 11 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | – |
| | | | II | – | 2,5 | 8 – 9 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | – |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|--|--------------------------------------|-----------------|---------|-----------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Между резцами в одной борштанге | | | | | 0,10 0,05 | 0,12 0,08 | 0,15 0,10 | – – |
| | | Между резцами в одной головке | I II | 20 – | – 1,25 | 8 – 9 6 – 7 | 0,05 0,02 | 0,06 0,04 | 0,08 0,06 | – – |
| | | Между инструментами с разных головок | I II | 20 – | – 1,25 | 8 – 9 6 – 7 | 0,08 0,04 | 0,10 0,05 | 0,12 0,06 | – – |
| Фрезерование | Фрезерование цилиндрическими фрезами на горизонтальных и универсальных станках | По установам и упорам | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 |
| | | | II | – | 2,5 | 11 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| | | | III | – | 1,25 | 8 – 9 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,15 |
| | Фрезерование торцовыми фрезами на вертикальных и универсальных станках | По установам и упорам | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 |
| | | | II | – | 2,5 | 10 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| | | | III | – | 1,25 | 7 – 8 | 0,04 | 0,06 | 0,10 | 0,12 |
| Фрезерование на двусторонних карусельных и барабанных станках | От базы по установам | I | 80 | – | 12 – 13 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 | |
| | | II | – | 2,5 | 11 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | |
| | | Между фрезами | I II | 80 – | – 2,5 | 12 – 13 10 | 0,10 0,08 | 0,15 0,10 | 0,17 0,12 | 0,20 0,15 |
| Строгание | Долбежные станки | По лимбу | I | 80 | – | – | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,60 |
| | | | II | 20 | – | – | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 |
| | Поперечно-строгальные станки | По лимбу и установам | I | 80 | – | – | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,60 |
| | | | II | – | 2,5 | – | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| | Продольно-строгальные станки | По лимбу и установам | I | 80 | – | – | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 |
| II | | | – | 2,5 | – | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | |
| | Протягивание внутреннее | – | I | – | 2,5 | 6 – 7 | – | – | – | – |
| | Протягивание наружное | – | I | – | 2,5 | – | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| Шлифование | Круглошлифовальные станки | По лимбу и пробными проходами | Предварительное | – | 2,5 | 10 | – | – | – | – |
| | | | Чистовое | – | 0,63 | 6 – 7 | – | – | – | – |
| | | | Тонкое | – | 0,16 | 5 – 6 | – | – | – | – |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|------|------|-------|------|------|------|------|
| | Торцекруглошлифовальные станки | По упорам | Предварительное | – | 2,5 | 10 | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| | | | Чистовое | – | 0,63 | 6 – 7 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15 |
| | | С позиционированием | Предварительное | – | 2,5 | 10 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,17 |
| | | | Чистовое | – | 0,63 | 6 – 7 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 |
| | Внутришлифовальные станки | По лимбу, упорам и пробными проходами | Предварительное | – | 2,5 | 10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | – |
| | | | Чистовое | – | 0,63 | 6 – 7 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | – |
| | | | Тонкое | – | 0,16 | 5 – 6 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | – |
| | Плоскошлифовальные станки | По лимбу, упорам и пробными проходами | Предварительное | – | 2,5 | – | 0,15 | 0,20 | 0,25 | – |
| Чистовое | | | – | 0,63 | – | 0,08 | 0,10 | 0,12 | – | |
| Тонкое | | | – | 0,16 | – | 0,05 | 0,08 | 0,10 | – | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------------|---|------|----------|--|---|----|----|
| Шлифование | Бесцентрово-шлифовальные станки | По упорам | Предварительное | – | 2,5 | 8 – 9 | – | – | – | – |
| | | | Чистовое | – | 1,25 | 6 – 7 | – | – | – | – |
| Доводка | Хонингование | | Предварительное | – | 0,32 | – | Точность обработки примерно соответствует точности предварительно выполненных размеров | | | |
| | | | Чистовое | – | 0,32 | 5 – 6 | | | | |
| | Суперфиниширование | | Предварительное | – | 0,32 | – | | | | |
| | | | Чистовое | – | 0,08 | – | | | | |
| Доводка (притирка) | | | Предварительное | – | 0,32 | – | | | | |
| | | | Тонкое | – | 0,08 | – | | | | |
| Многопроходная размерная притирка | | | | – | 0,08 | Точнее 3 | | | | |

ТОЧНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ρ_f И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ρ_p ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

| Вид обработки | Метод обработки и оборудование | Рабочий ход | Вид погрешности | Величина погрешности (мкм) в зависимости от номинального размера, мм | | | | | |
|---------------|--|-------------|-----------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | | | | До 10 | 10 – 50 | 50 – 160 | 160 – 300 | 300 – 500 | Св. 500 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Токарная | Токарные, револьверные, карусельные, многошпиндельные и прочие токарные станки | Первый | $\rho_{ф.п}$ | 6 – 16 | 10 – 30 | 25 – 50 | 40 – 80 | 60 – 120 | 100 – 250 |
| | | | $\rho_{ф.ц}$ | 10 – 24 | 20 – 40 | 30 – 60 | 50 – 100 | 80 – 150 | 150 – 300 |
| | | | $\rho_{р.п}$ | 25 – 60 | 40 – 120 | 100 – 200 | 150 – 360 | 300 – 450 | 400 – 1000 |
| | | | $\rho_{р.ц}$ | 40 – 80 | 50 – 100 | 80 – 120 | 100 – 200 | 150 – 250 | 200 – 400 |
| | | Второй | $\rho_{ф.п}$ | 2,5 – 6 | 4 – 16 | 10 – 25 | 16 – 35 | 25 – 50 | 40 – 100 |
| | | | $\rho_{ф.ц}$ | 2 – 10 | 6 – 16 | 8 – 20 | 20 – 25 | 12 – 30 | 16 – 50 |
| | | | $\rho_{р.п}$ | 6 – 16 | 10 – 40 | 16 – 50 | 25 – 80 | 40 – 100 | 80 – 300 |
| | | | $\rho_{р.ц}$ | 20 – 30 | 30 – 60 | 40 – 80 | 60 – 100 | 80 – 160 | 100 – 500 |
| | | Третий | $\rho_{ф.п}$ | 0,6 – 1 | 1 – 2,5 | 1,6 – 6 | 4 – 10 | 8 – 16 | 10 – 40 |
| | | | $\rho_{ф.ц}$ | 1,2 – 3 | 2,5 – 4 | 3 – 8 | 5 – 10 | 7 – 12 | 10 – 25 |
| | | | $\rho_{р.п}$ | 1,6 – 4 | 4 – 10 | 6 – 16 | 8 – 20 | 10 – 30 | 16 – 100 |
| | | | $\rho_{р.ц}$ | 5 – 16 | 8 – 20 | 10 – 25 | 12 – 30 | 16 – 40 | 20 – 80 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|---|--------|--|--|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Сверление и растачивание | Сверление спиральными сверлами | Один | $\rho_{ф.ц}$ $\rho_{р.п}$ | 12 – 25 25 – 60 | 16 – 40 40 – 120 | 20 – 50 80 – 250 | 160 – 400 | | |
| | Сверление ружейными сверлами | Один | $\rho_{ф.ц}$ $\rho_{р.п}$ | 2 – 5 2,5 – 6 | 4 – 10 4 – 16 | 8 – 16 10 – 25 | 12 – 20 20 – 50 | | |
| | Зенкерование | Один | $\rho_{ф.ц}$ $\rho_{р.п}$ | 2 – 8 4 – 10 | 6 – 12 8 – 16 | 8 – 20 20 – 25 | 16 – 40 | | |
| | Развертывание | Один | $\rho_{ф.ц}$ $\rho_{р.ц}$ | 1,5 – 2 | 2,5 – 8 | 5 – 10 | 8 – 16 | | |
| | Алмазное растачивание | Один | $\rho_{ф.п}$ $\rho_{ф.ц}$ $\rho_{р.п}$ $\rho_{р.ц}$ | 0,4 – 1 0,5 – 1,2 0,6 – 1,6 2,5 – 6 | 0,8 – 2 1 – 2,8 1,2 – 4 3 – 8 | 1,2 – 4 2 – 5 2,5 – 6 5 – 10 | 2,5 – 8 4 – 10 4 – 8 6 – 12 | 6 – 10 6 – 16 6 – 10 8 – 16 | 10 – 20 8 – 16 10 – 20 |
| Фрезерная | Вертикальные, горизонтальные и продольно-фрезерные станки | Первый | $\rho_{ф.п}$ $\rho_{р.п}$ | 6 – 16 25 – 60 | 10 – 20 40 – 120 | 16 – 40 100 – 250 | 28 – 80 200 – 360 | 50 – 120 250 – 450 | 100 – 600 400 – 1200 |
| | | Второй | $\rho_{ф.п}$ $\rho_{р.п}$ | 1 – 4 4 – 10 | 2,5 – 10 6 – 30 | 6 – 16 20 – 60 | 10 – 20 40 – 80 | 16 – 30 60 – 120 | 20 – 100 100 – 400 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|--------------------------------|--|-----------------|---|--|---------|-----------|---------|----------|----------|--|
| | Протягивание и прошивание | Один | $\rho_{ф.п}$ | 1,6 – 4 | 2,5 – 8 | 6 – 16 | 8 – 20 | 10 – 25 | | |
| | | | $\rho_{ф.ц}$ | 2 – 5 | 4 – 8 | 5 – 12 | 8 – 16 | 10 – 20 | 16 – 30 | |
| | | | $\rho_{р.п}$ | Может увеличиваться на 30 % по сравнению с исходным | | | | | | |
| | | | $\rho_{р.ц}$ | Перпендикулярность торцов к оси отверстий 0,15 : 100 | | | | | | |
| Шлифование | Круглошлифовальные, внутришлифовальные и плоскошлифовальные станки | Предварительный | $\rho_{ф.п}$ | 2,5 – 6 | 4 – 10 | 6 – 16 | 10 – 25 | 20 – 40 | 20 – 100 | |
| | | | $\rho_{ф.ц}$ | 1,6 – 4 | 2,5 – 8 | 5 – 12 | 8 – 16 | 10 – 20 | 16 – 40 | |
| | | | $\rho_{р.п}$ | 4 – 10 | 8 – 10 | 16 – 30 | 20 – 50 | 30 – 60 | 50 – 160 | |
| | | | $\rho_{р.ц}$ | 20 – 30 | 25 – 50 | 40 – 60 | 50 – 80 | 60 – 100 | 80 – 200 | |
| | | Чистой | $\rho_{ф.п}$ | 1 – 4 | 2,5 – 8 | 6 – 12 | 10 – 20 | 16 – 25 | 20 – 60 | |
| | | | $\rho_{ф.ц}$ | 0,8 – 2,5 | 1,6 – 4 | 2,5 – 5 | 4 – 6 | 5 – 8 | 6 – 16 | |
| | | | $\rho_{р.п}$ | 1,6 – 4 | 2,5 – 6 | 4 – 10 | 8 – 16 | 10 – 25 | 20 – 100 | |
| | | | $\rho_{р.ц}$ | 8 – 12 | 6 – 16 | 12 – 20 | 16 – 30 | 20 – 40 | 30 – 120 | |
| Бесцентровошлифовальные станки | Один | $\rho_{ф.ц}$ | 2,5 – 6 | 4 – 10 | 6 – 12 | 10 – 20 | 16 – 40 | 30 – 50 | | |
| | | $\rho_{р.п}$ | Может увеличиваться на 10 % по сравнению с исходным | | | | | | | |
| Отделка | Хонингование | Один | $\rho_{ф.п}$ | 0,6 – 1,6 | 1,2 – 4 | 2,6 – 6 | 4 – 8 | 6 – 10 | 8 – 30 | |
| | | | $\rho_{ф.ц}$ | 0,5 – 1,2 | 1 – 2,5 | 1,6 – 3 | 2,5 – 5 | 3 – 6 | | |
| | | | $\rho_{р.ц}$ | Может увеличиваться на 20 % по сравнению с исходным | | | | | | |
| Суперфиниширование | Один | $\rho_{ф.ц}$ | 0,4 – 1 | 0,6 – 1,6 | 1 – 2,5 | 1,6 – 4 | 2,5 – 8 | 4 – 20 | | |
| | | $\rho_{р.ц}$ | 0,3 – 0,8 | 0,5 – 1,2 | 0,8 – 2 | 1,2 – 3 | 2 – 5 | 3 – 10 | | |
| | Один | $\rho_{ф.п}$ | 0,2 – 0,6 | 0,4 – 1,2 | 1 – 2,5 | 1,6 – 4 | 2,5 – 8 | 4 – 16 | | |
| | | $\rho_{ф.ц}$ | 0,3 – 0,8 | 0,5 – 1,6 | 0,8 – 2 | 1,6 – 2,5 | 2 – 3 | | | |
| | | $\rho_{р.п}$ | Может увеличиваться на 10 % по сравнению с исходным | | | | | | | |
| | | $\rho_{р.ц}$ | Может увеличиваться на 10 % по сравнению с исходным | | | | | | | |

Обозначения: $\rho_{ф.п}$ – отклонения от плоскости и прямолинейности; $\rho_{ф.ц}$ – отклонения от цилиндричности (конусообразность, бочкообразность, овальность, огранка); $\rho_{р.п}$ – отклонения от перпендикулярности, торцовое биение; $\rho_{р.ц}$ – радиальное биение.

ТОЧНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ $\rho_{p.c}$

| Вид обработки и оборудование | Метод координации инструмента | Расстояние до отверстия, мм | | | | Удельный перекос (мкм) на 1 мм длины отверстия | | | |
|--|---|-----------------------------|----------|-----------|-----------|--|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | | отверстия | | | |
| | | До 50 | 50 – 120 | 120 – 260 | 260 – 600 | До 10 | 10 – 30 | 30 – 50 | Св. 50 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Литье в земляные формы | | ± 1,0 | ± 1,5 | ± 2,0 | ± 2,5 | – | 20 – 10 | 15 – 5 | 10 – 3 |
| Литье в кокиль | | ± 0,3 | ± 0,5 | ± 0,75 | ± 1,0 | – | – | – | – |
| Литье точное (под давлением, корковое литье по выплавляемым моделям) | | ± 0,15 | ± 0,2 | ± 0,25 | ± 0,35 | 4,0 – 2,0 | 3,0 – 1,5 | 2,0 – 1,0 | 1,5 – 0,7 |
| Свободная ковка | | ± 1,5 | ± 2,0 | ± 2,5 | ± 3,0 | – | – | – | – |
| Штамповка обычной точности | | ± 0,5 | ± 0,7 | ± 1,0 | ± 1,5 | – | – | – | – |
| Штамповка повышенной точности | | ± 0,3 | ± 0,5 | ± 0,75 | ± 1,0 | – | – | – | – |
| Сверление на сверлильных и радиально-сверлильных станках | По разметке | ± 0,5 | ± 0,7 | ± 0,8 | ± 1,0 | 4,0 – 2,0 | 3,0 – 1,5 | 2,0 – 1,0 | 1,5 – 0,8 |
| | По кондуктору со сменными втулками нормальной точности | ± 0,1 | ± 0,15 | ± 0,2 | ± 0,25 | 2,0 – 1,5 | 1,8 – 1,6 | 1,5 – 0,7 | 1,0 – 0,5 |
| | По кондуктору с вращающимися втулками повышенной точности | ± 0,035 | ± 0,04 | ± 0,05 | ± 0,06 | 1,0 – 0,7 | 0,8 – 0,5 | 0,6 – 0,4 | 0,5 – 0,3 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| | Ружейными сверлами | $\pm 0,035$ | $\pm 0,04$ | $\pm 0,05$ | $\pm 0,06$ | 0,8 – 0,5 | 0,6 – 0,3 | 0,4 – 0,2 | 0,3 – 0,1 |
| Растачивание отверстий на горизонтально-расточных станках | По разметке | $\pm 0,4$ | $\pm 0,6$ | $\pm 0,7$ | $\pm 0,8$ | 3,0 – 2,0 | 2,0 – 1,0 | 1,0 – 0,8 | 0,5 – 0,3 |
| | По шкале с нониусом | $\pm 0,15$ | $\pm 0,2$ | $\pm 0,3$ | $\pm 0,4$ | – | – | – | – |
| | По штангмасу | $\pm 0,05$ | $\pm 0,07$ | $\pm 0,1$ | $\pm 0,12$ | – | – | – | – |
| | По концевым мерам | $\pm 0,03$ | $\pm 0,04$ | $\pm 0,05$ | $\pm 0,06$ | – | – | – | – |
| Растачивание отверстий на алмазно-расточных станках | По нониусу | $\pm 0,02$ | $\pm 0,025$ | $\pm 0,03$ | $\pm 0,04$ | – | – | – | – |
| Растачивание на координатно-расточных станках | По шкале с нониусом | $\pm 0,02$ | $\pm 0,03$ | $\pm 0,04$ | $\pm 0,05$ | – | – | – | – |
| | По оптическим приборам | $\pm 0,005$ | $\pm 0,01$ | $\pm 0,015$ | $\pm 0,02$ | – | – | – | – |

Примечание. Приведенные в таблице величины погрешностей расположения отверстий действительны для интервала диаметров отверстий 18 – 30. При обработке отверстий других размеров табличные величины необходимо умножить на коэффициент K :

| | | | | | |
|-------------|-------|---------|---------|---------|--------|
| Диаметр, мм | | 10 – 18 | 18 – 30 | 30 – 50 | Св. 50 |
| K | | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 |

**ШЕРОХОВАТОСТЬ И ВЕЛИЧИНА ДЕФЕКТНОГО СЛОЯ
ПОВЕРХНОСТЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ**

| Метод обработки | Шероховатость R_z , мкм | Дефектный слой, мкм |
|---|------------------------------|------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Литье в песчано-глинистую форму при ручной формовке | 100 – 500 | 200 – 600 |
| Литье в песчано-глинистую форму при машинной формовке | 80 – 300 | 150 – 400 |
| Литье в металлические формы | 100 – 200 | 100 – 300 |
| Центробежное литье | 40 – 100 | 100 – 200 |
| Литье в оболочковые формы | 20 – 80 | 150 – 250 |
| Литье по выплавляемым моделям | 10 – 40 | 80 – 150 |
| Литье под давлением | 10 – 40 | 80 – 150 |
| Ковка | 300 – 500 | 400 – 600 |
| Штамповка обычной точности | 100 – 250 | 200 – 400 |
| Штамповка повышенной точности | 80 – 200 | 150 – 300 |
| Прокат горячекатаный обычной точности | 80 – 150 | 100 – 150 |
| Прокат повышенной точности | 50 – 100 | 80 – 150 |
| Прокат холоднотянутый калиброванный | 40 – 80 | 50 – 100 |
| Рубка на прессах и ножницах | 100 – 300 | 100 – 150 |
| Резание пилами на станках | 80 – 160 | 100 – 150 |
| Точение черновое | 80 – 150 | 50 – 100 |
| Точение получистовое | 30 – 50 | 40 – 60 |
| Точение чистовое | 15 – 25 | 20 – 30 |
| Точение тонкое | 6 – 10 | 10 – 20 |
| Строгание предварительное | 80 – 150 | 100 – 150 |
| Строгание окончательное | 15 – 25 | 20 – 30 |
| Сверление | 80 – 150 | 50 – 100 |
| Сверление глубокое | 15 – 30 | 25 – 50 |
| Зенкерование черновое | 30 – 50 | 40 – 50 |
| Зенкерование чистовое | 20 – 30 | 30 – 40 |
| Развертывание предварительное | 10 – 20 | 15 – 25 |
| Развертывание чистовое | 6 – 10 | 5 – 10 |
| Растачивание алмазное | 3,2 – 6,3 | 4 – 10 |
| Фрезерование обдирочное | 80 – 150 | 80 – 100 |
| Фрезерование чистовое | 20 – 50 | 40 – 60 |
| Фрезерование тонкое | 3,2 – 6,3 | 10 – 30 |
| Протягивание черновое | 6 – 10 | 10 – 20 |
| Протягивание чистовое | 3,2 – 6,3 | 5 – 10 |
| Растачивание черновое | 40 – 80 | 50 – 100 |

Продолжение приложения 4

| 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|------------|---------|
| Растачивание чистовое | 10 – 20 | 15 – 30 |
| Шлифование черновое | 20 – 40 | 30 – 50 |
| Шлифование чистовое | 5 – 10 | 15 – 25 |
| Шлифование тонкое | 1,5 – 3,5 | 5 – 10 |
| Хонингование | 1 – 3 | 3 – 6 |
| Суперфиниш | 0,2 – 0,8 | 3 – 5 |
| Притирка предварительная | 0,8 – 3,2 | 3 – 5 |
| Притирка окончательная | 0,05 – 0,4 | 3 – 5 |
| Полирование | 0,05 – 0,4 | 2 – 3 |

Приложение 5

КРИВИЗНА ПРОФИЛЯ СОРТОВОГО ПРОКАТА (мкм на 1 мм)

| Характеристика проката, мм | Длина проката | | | | |
|----------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | До 120 | Св. 120 до 180 | Св. 180 до 315 | Св. 315 до 400 | Св. 400 до 500 |
| Без правки при точности проката: | | | | | |
| обычной | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 |
| повышенной | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| высокой | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |

Приложение 6

КРИВИЗНА ПРОФИЛЯ СОРТОВОГО ПРОКАТА (мкм на 1 мм)

| Характеристика проката, мм | Длина проката | | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| | До 30 | Св. 30 до 50 | Св. 50 до 80 | Св. 80 до 120 | Св. 120 до 180 |
| Без правки после закалки в печах ТВЧ | 2,00 | 1,30 | 0,90 | 0,6 | 0,50 |
| | 1,00 | 0,60 | 0,30 | 0,3 | 0,15 |
| После правки на прессах | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,1 | 0,08 |

ОТКЛОНЕНИЕ ОТ СООСНОСТИ $\Delta_{\text{СМ}}$ (1 мм) ЭЛЕМЕНТОВ, ШТАМПУЕМЫХ В РАЗНЫХ ПОЛОВИНАХ ШТАМПА, ДЛЯ ПОКОВОК ТИПА ВАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ТОЧНОСТИ

| Масса поковки, кг | Штамповка на молотах | | Штамповка на прессах | |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Повышенная точность | Нормальная точность | Повышенная точность | Нормальная точность |
| До 0,25 | 0,30 | 0,4 | 0,20 | 0,3 |
| Св. 0,25 до 0,63 | 0,35 | 0,5 | 0,25 | 0,4 |
| Св. 0,63 до 1,60 | 0,40 | 0,6 | 0,30 | 0,5 |
| Св. 1,60 до 2,50 | 0,45 | 0,8 | 0,35 | 0,6 |
| Св. 2,50 до 4,00 | 0,50 | 1,0 | 0,40 | 0,7 |
| Св. 4,00 до 6,30 | 0,63 | 1,1 | 0,45 | 0,8 |
| Св. 6,30 до 10 | 0,70 | 1,2 | 0,50 | 0,9 |
| С.в 10 до 16 | 0,80 | 1,3 | 0,60 | 1,0 |
| Св. 16 до 25 | 0,90 | 1,4 | 0,70 | 1,1 |
| Св. 25 до 40 | 1,00 | 1,6 | 0,80 | 1,2 |
| Св. 40 до 63 | 1,20 | 1,8 | — | — |
| Св. 63 до 100 | 1,40 | 2,2 | — | — |
| Св. 100 до 125 | 1,60 | 2,4 | — | — |
| Св. 125 до 160 | 1,80 | 2,7 | — | — |
| Св. 160 до 200 | 2,20 | 3,2 | — | — |

КРИВИЗНА $\Delta_{\text{к}}$ (мкм на 1 мм) ДЛЯ ПОКОВОК

| Масса поковки, кг | Штамповка на молотах | | Штамповка на прессах | |
|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Повышенная точность | Нормальная точность | Повышенная точность | Нормальная точность |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| До 0,25 | 0,30 | 0,4 | 0,20 | 0,3 |
| Св. 0,25 до 0,63 | 0,35 | 0,5 | 0,25 | 0,4 |
| Св. 0,63 до 1,60 | 0,40 | 0,6 | 0,30 | 0,5 |
| Св. 1,60 до 2,50 | 0,45 | 0,8 | 0,35 | 0,6 |
| Св. 2,50 до 4,00 | 0,50 | 1,0 | 0,40 | 0,7 |
| Св. 4,00 до 6,30 | 0,63 | 1,1 | 0,45 | 0,8 |
| Св. 6,30 до 10 | 0,70 | 1,2 | 0,50 | 0,9 |
| С.в 10 до 16 | 0,80 | 1,3 | 0,60 | 1,0 |

Продолжение приложения 8

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|------|-----|------|-----|
| Св. 16 до 25 | 0,90 | 1,4 | 0,70 | 1,1 |
| Св. 25 до 40 | 1,00 | 1,6 | 0,80 | 1,2 |
| Св. 40 до 63 | 1,20 | 1,8 | – | – |
| Св. 63 до 100 | 1,40 | 2,2 | – | – |
| Св. 100 до 125 | 1,60 | 2,4 | – | – |
| Св. 125 до 160 | 1,80 | 2,7 | – | – |
| Св. 160 до 200 | 2,20 | 3,2 | – | – |

Приложение 9

КРИВИЗНА Δ_K (МКМ НА 1 ММ) ДЛЯ ПОКОВОК

| Вид обработки | Диаметр или размер | | | | |
|---|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | До 120 | Св. 120 до 180 | Св. 180 до 250 | Св. 250 до 315 | Св. 315 до 500 |
| Ковка | 3 | 2 | 1 | 0,8 | 0,6 |
| <i>Механическая обработка</i> | | | | | |
| Обдирочная | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| Черновая | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| Получистовая | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| После термообработки (закалка и правка) | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,02 |

Приложение 10

КРИВИЗНА Δ_K (МКМ НА 1 ММ) ДЛЯ ПОКОВОК ТИПА ВАЛОВ

| Диаметр поковки | После термообработки | | После штамповки | После правки на прессах |
|-----------------|----------------------|------|-----------------|-------------------------|
| | В печах | ТВЧ | | |
| До 25 | 2,5 | 0,25 | 4 | 0,20 |
| Св. 25 до 50 | 1,5 | 0,75 | 3 | 0,15 |
| Св. 50 до 80 | 1,5 | 0,75 | 2 | 0,12 |
| Св. 80 до 120 | 1,0 | 0,5 | 1,8 | 0,10 |
| Св. 120 до 180 | 1,0 | 0,5 | 1,6 | 0,08 |
| Св. 180 до 260 | – | – | 1,4 | 0,06 |
| Св. 260 до 360 | – | – | 1,2 | – |
| Св. 360 до 500 | – | – | 1,0 | – |

Приложение 11

ОТКЛОНЕНИЕ ОТ КОНЦЕНТРИЧНОСТИ И КОРОБЛЕНИЕ ВЫСАДКИ
ПОКОВОК ТИПА ДИСКОВ И РЫЧАГОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ НА ПРЕССАХ
РАЗЛИЧНОЙ ТОЧНОСТИ

| Толщина (высота) или ширина поковок, мм | Отклонение от концентричности отверстий $D_{экс}$, мм | | Коробление $D_{кор}$, мм | |
|--|--|------------------------|---------------------------|------------------------|
| | Повышенная точность | Нормальная точность | Повышенная точность | Нормальная точность |
| До 50 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,5 |
| св. 50 до 120 | 0,63 | 1,4 | 0,5 | 0,5 |
| Св. 120 до 180 | 0,80 | 2,0 | 0,5 | 0,7 |
| Св. 180 до 260 | 1,00 | 2,8 | 0,6 | 0,9 |
| Св. 260 до 360 | 1,50 | 3,2 | 0,7 | 1,0 |
| Св. 360 до 500 | 2,50 | 3,6 | 0,8 | 1,1 |

Приложение 12

КРИВИЗНА Δ_k (мкм на 1 мм) СТЕРЖНЯ ПОСЛЕ ФЛАНЦА
НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЕ

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

Приложение 13

СМЕЩЕНИЕ Δ_c (мм) ОСИ ФЛАНЦА ОТНОСИТЕЛЬНО СТЕРЖНЯ
ПРИ ВЫСАДКЕ ЕГО НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЕ

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

Приложение 14

ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТИ Δ_k (мкм на 1 мм радиуса)
ТОРЦА ФЛАНЦА К ОСИ ПОКОВКИ

| Масса поковки, кг | При штамповке | | Масса поковки, кг | При штамповке | |
|----------------------|---------------|-----------|----------------------|---------------|-----------|
| | на прессе | на ГКМ | | на прессе | на ГКМ |
| До 0,25 | 0,2 | 0,3 | Св. 4 до 10 | 0,5 | 0,9 |
| Св. 0,25 до 1,6 | 0,3 | 0,5 | Св. 10 до 25 | 0,6 | 1,1 |
| Св. 1,6 до 4 | 0,4 | 0,7 | Св. 25 до 40 | 0,7 | 1,2 |

Приложение 15

КРИВИЗНА ПОКОВКИ Δ_k (МКМ НА 1 ММ ДЛИНЫ) ПОСЛЕ КОВКИ
НА ВРКМ

| Диаметр поковки, мм | Δ_k | Диаметр поковки, мм | Δ_k |
|---------------------|------------|---------------------|------------|
| До 60 | 2 | Св. 60 | 1 |

Приложение 16

УДЕЛЬНОЕ КОРОБЛЕНИЕ ОТЛИВОК

| Детали | Δ_k (мкм на 1 мм длины) | Детали | Δ_k (мкм на 1 мм длины) |
|-----------|--------------------------------|--------|--------------------------------|
| Корпусные | 0,7 – 1,0 | Плиты | 2 – 3 |

Примечание. Величина смещения отливок по плоскости разъема определяется по ГОСТ 26645 – 85. Базирование заготовки по черному отверстию следует использовать только на первой операции.

**ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК (мкм)
В РАДИАЛЬНОМ И ОСЕВОМ НАПРАВЛЕНИЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ДИАМЕТРАЛЬНЫХ РАЗМЕРАХ ЗАГОТОВКИ**

| Вид образца-заготовки | Направление смещения заготовки | Диаметр базы, мм | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | | Св. 6 | Св. 10 | Св. 18 | Св. 30 | Св. 50 | Св. 80 | Св. 120 | Св. 180 | Св. 260 |
| | | до 10 | до 18 | до 30 | до 50 | до 80 | до 120 | до 180 | до 260 | до 500 |
| <i>Установка в цанговом патроне</i> | | | | | | | | | | |
| Шлифовальная контрольная оправка, установленная в новом патроне | Расстояние от торца, мм | 25 | 50 | 75 | 100 | 150 | – | – | – | – |
| | Погрешность в радиальном направлении | 15 | 15 | 20 | 25 | 30 | – | – | – | – |
| Прутки калиброванные | Радиальное | 50 | 60 | 70 | 90 | 100 | 120 | – | – | – |
| | Осевое | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | – | – | – |
| <i>Установка в трехлачковом самоцентрирующемся патроне</i> | | | | | | | | | | |
| Прутки горячекатаные: повышенной точности обычной точности | Радиальное | 100 | 120 | 150 | 200 | 300 | 450 | 650 | – | – |
| | Осевое | 70 | 80 | 100 | 130 | 200 | 300 | 420 | – | – |
| | Радиальное | – | 200 | 220 | 280 | 400 | 500 | 800 | – | – |
| | Осевое | – | 130 | 150 | 190 | 250 | 350 | 520 | – | – |
| Единичная заготовка: с шлифовальной базой с чисто обработанной базой отливка по выплавляемой модели или в оболочковую форму | Радиальное | 20 | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 40 | 40 | 50 |
| | Осевое | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 15 | 25 | 25 | 30 |
| | Радиальное | 50 | 50 | 50 | 50 | 80 | 80 | 100 | 100 | 120 |
| | Осевое | 30 | 30 | 30 | 30 | 50 | 50 | 800 | 80 | 100 |
| Предварительно обработанная поверхность; литье в постоянную форму; заготовка штампованная на КШП | Радиальное | 200 | 200 | 200 | 200 | 300 | 300 | 400 | 400 | 500 |
| | Осевое | 80 | 80 | 80 | 80 | 100 | 100 | 120 | 120 | 150 |

Примечание. При установке в цанговых патронах единичных заготовок вместо прутковых погрешность установки в осевом направлении увеличивается на 10 – 30 мкм. При неподвижной цанге смещение в осевом направлении минимально (5 – 20 мкм). Поджатием деталей при закреплении в патронах погрешность установки можно уменьшить на 20 – 30 %. В патронах с пневматическими и гидравлическими силовыми узлами погрешность установки уменьшается на 20 – 40 % по сравнению с указанными в таблице.

ПОГРЕШНОСТЬ (МКМ) УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК
НА ПОСТОЯННЫЕ ОПОРЫ

| Вид поверхности | Наибольший размер заготовки по нормали к обработанной поверхности, мм | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Постоянные опоры | | | | | | Пластины опорные | | | | | |
| | 6 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 6 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 |
| | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 120 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 120 |
| <i>Установка в приспособлении с винтовыми или эксцентриковыми зажимами</i> | | | | | | | | | | | | |
| Шлифованная | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Чисто обработанная, полученная литьем под давлением | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Предварительно обработанная, полученная литьем по выплавляемым моделям или в оболочковые формы | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Полученная литьем: в постоянную форму в песчаную форму машинной формовки; по металлическим моделям | – | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| | 90 | 100 | 125 | 150 | 170 | 200 | 90 | 100 | 110 | 120 | 135 | 150 |
| <i>Установка в приспособлении с пневматическим приводом</i> | | | | | | | | | | | | |
| Чисто обработанная, полученная литьем под давлением | 35 | 40 | 50 | 55 | 60 | 70 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
| Предварительно обработанная, полученная литьем по выплавляемым моделям или в оболочковые формы | 65 | 70 | 75 | 80 | 90 | 100 | 35 | 40 | 50 | 55 | 60 | 70 |
| Полученная литьем: в постоянную форму в песчаную форму машинной формовки; по металлическим моделям | – | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 80 |
| | 70 | 90 | 100 | 120 | 140 | 160 | 70 | 80 | 90 | 100 | 80 | 120 |

ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК РАЗМЕРОМ ДО 60 ММ
В ТИСКАХ

| Тиски | Метод установки | Смещение заготовок, мкм |
|----------------|---|----------------------------|
| Винтовые | На подкладке в свободном состоянии | 100 – 200 |
| Винтовые | На подкладке с постукиванием при зажиме | 50 – 80 |
| Эксцентриковые | С подкладкой | 40 – 100 |
| | Без подкладки | 30 – 50 |

Примечание. При соблюдении постоянства силы зажима погрешность снижается на 30 – 40 %.

Список литературы

1. ГОСТ 25346 – 89. Единая система допусков и посадок. Основные положения, ряды допусков и основных отклонений.
2. Размерный анализ технологических процессов/ В.В. Матвеев, М.М. Тверской. Ф.И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. М.: Издательство стандартов, 1990 – 36 с.
4. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов/ Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; под ред. В.А. Тимирязева. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 272 с.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Элементы теории размерных цепей и методы их расчета | 5 |
| 1.1 Основные понятия и определения..... | 5 |
| 1.2 Методы расчета размерных цепей..... | 8 |
| 1.3 Пример расчета размерной цепи методами максимума-минимума и вероятностным методом..... | 12 |
| 2. Размерный анализ спроектированных (действующих) технологических процессов изготовления деталей | 18 |
| 2.1 Структура технологических размерных цепей | 18 |
| 2.2 Размерная схема и граф размерных связей технологического процесса .. | 22 |
| 3. Основные этапы проведения размерного анализа проектируемых технологических процессов изготовления деталей | 37 |
| 3.1 Назначение допусков на технологические размеры..... | 37 |
| 3.2 Определение минимальных припусков на обработку..... | 42 |
| 3.3 Расчет технологических размеров..... | 51 |
| 4. Пример проведения размерного анализа проектируемого ТП..... | 55 |
| 4.1 Исходные данные для проведения размерного анализа ТП | 55 |
| 4.2 Размерный анализ проектируемого ТП в радиальном направлении | 58 |
| 4.3 Размерный анализ проектируемого ТП механической обработки вала в осевом направлении | 65 |
| Список литературы | 96 |

Александр Васильевич Шашок

ЭЛЕМЕНТЫ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Учебное пособие для студентов всех форм обучения
направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 19.08.13. Формат 60x84/16.

Усл.печ.л. 6,06 .Тираж 40 экз. Заказ 131149. Рег. № 3.

Отпечатано в Рубцовском индустриальном институте
658207, г. Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.