

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский орден Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

И.А.Ивашенко, И.М.Трухван

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ
И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
учебного пособия

Куйбышев 1985

УДК 629.7.036

Иващенко И.А., Трухман И.М. Технологические размерные расчеты и их автоматизация с использованием ЭВМ. - Куйбышев: КуАИ, 1985. - 98с.

В учебном пособии излагаются теоретические и прикладные вопросы расчета припусков на обработку операционных размеров и допусков на них на основе теории размерных цепей. Наряду с традиционными (ручными) методами в пособии рассматривается методика и алгоритмы технологических размерных расчетов с использованием ЭВМ. В приложении дан нормативно-справочный материал, на базе которого должны выполняться расчеты.

Пособие предназначено для студентов специальностей "Авиационные двигатели" и "Двигатели летательных аппаратов", обучающихся по учебному плану целевой интенсивной подготовки (ЦИПГ), а также для студентов технологической и конструкторской специализаций при изучении ими курса "Технология производства двигателей", при выполнении расчетно-графических работ, курсовых и дипломных проектов по технологической тематике.

Ил. 27, табл. 25, библиогр. - 7 назв.

Рецензенты: к.т.н., проф. А.В.Еремин,
к.т.н. Г.В.Иванов

Св.план 1985, поз. 914

Иван Александрович Иващенко,
Игорь Михайлович Трухман

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ
И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Учебное пособие

Редактор Л.М.Балыкова
Техн.редактор Н.М.Каленюк
Корректор Н.С.Куприянова

Подписано в печать 5.II.85 г. БУ 06337.
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.
Усл.п.л.5.6+I вкл. Уч.-изд.л.5,0. Т.1000 экз.
Заказ 6676. Цена в мягкой обложке 20 к.,
в переплете - 35 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им.академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 151.

Тип.им.В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.

© Куйбышевский авиационный институт, 1985

П Р Е Д И С Л О В И Е

Определение размерных параметров технологического процесса механической обработки является наиболее ответственным и трудоемким этапом технологической подготовки производства.

В предлагаемом учебном пособии излагается методика технологических размерных расчетов, которая как в целом, так и в деталях полностью соответствует требованиям (закономерностям) теории размерных цепей. Это, в свою очередь, определило содержание и структуру пособия.

Первая глава "Технологические размерные цепи" является теоретической основой всего пособия, в ней излагаются особенности выявления и построения технологических размерных цепей, приводятся расчетные уравнения для решения проверочной и проектной задач как по методу расчета на максимум-минимум, так и по вероятностному методу, а также даются рекомендации по выбору метода решения размерных цепей и коэффициентов относительного рассеяния.

Во второй главе "Припуски и допуски на обработку" сформулированы правила (рекомендации) по выбору операционных допусков. При этом учитывается не только метод обработки, но и характер размера (межоперационный, внутриоперационный), и состояние технологической базы. Все вопросы о припусках на обработку (структура, система отчета, определения, возможные значения и способы их определения и т.д.) излагаются с учетом требования полного соответствия теории размерных цепей. Впервые в технической литературе показано влияние параллельной связи технологических цепей на величину предельных значений общего припуска. В конце главы даны пригодные для инженерных расчетов формулы определения минимального значения операционного припуска для трех характерных случаев механической обработки заготовок.

В третьей главе дана методика расчета операционных размеров и допусков на них с использованием теории размерных цепей. Приведены расчетные уравнения, содержание и последовательность (на примерах) определения линейных операционных размеров для трех наиболее характерных случаев: из условия обеспечения конструкторского размера, непосредственно не выполняемого при обработке; из условия обеспечения минимально необходимого припуска на последующую обработку и из условия обеспечения заданной глубины термоупрочненного слоя.

Ускорения и повышения качества выполнения технологических размерных расчетов можно достигнуть за счет применения ЭВМ. Содержание автоматизированного размерного анализа технологических процессов механической обработки заготовок приведено в четвертой главе пособия. Методика, алгоритмы и пакет прикладных программ разработаны и излагаются применительно к решению задачи на ЭВМ типа ЕС в пакетном режиме. Содержание подсистемы размерного анализа изложено в той мере, в которой ее должен знать пользователь (студент или инженер-технолог).

В приложении дана нормативно-справочная информация, необходимая как для традиционного (ручного), так и для автоматизированного (с использованием ЭВМ) определения размерных параметров технологического процесса. Таблицы допусков на размеры механически обрабатываемых поверхностей и на размеры заготовок являются извлечением из ГОСТов и ОСТов, а таблицы минимальных операционных припусков являются оригинальными.

I.1. Состав и основные закономерности размерной цепи

Теоретической основой методики расчета припусков и операционных размеров является теория размерных цепей, разработанная советскими учеными Б.С.Балакшиным, В.П.Лузановой, Н.А.Бородачевым, П.Ф.Дунаевым и др. Ниже излагаются ключевые положения теории размерных цепей на примере выявления, построения и решения технологических размерных цепей, имеющих свои особенности.

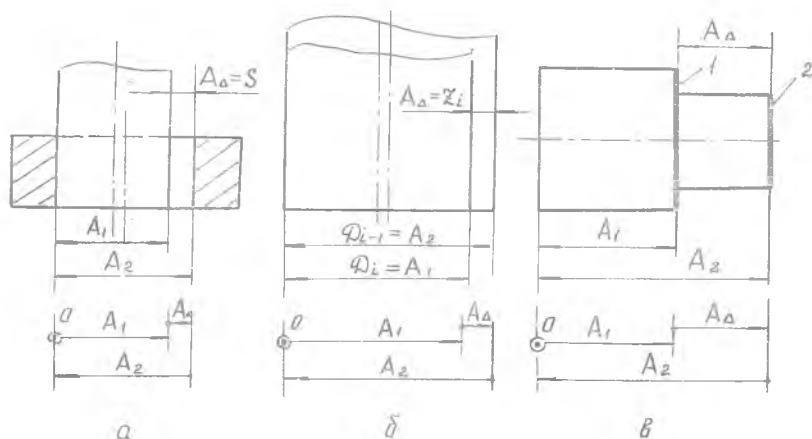
Размерной цепью называют "совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур"^х. Звеном размерной цепи может быть линейный или угловой размер машины, узла, детали, заготовки или системы СПИД. Каждая размерная цепь содержит одно (и только одно) исходное или замыкающее звено и несколько (1, 2, ...) составляющих звеньев. ГОСТ 16319-80 дает следующие определения звеньев цепи. Замыкающее звено - это звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получаемое последним в результате ее решения. Составляющее звено - звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном.

По характеру расположения звеньев, образующих цепь, различают пространственные, плоские, угловые и линейные размерные цепи. Большинство технологических размерных расчетов выполняют с использованием линейных размерных цепей. В линейной размерной цепи все звенья лежат в одной плоскости и параллельны друг другу (рис. 1). К виду линейных могут быть преобразованы пространственные и плоские размерные цепи.

В зависимости от принадлежности звеньев и поставленной задачи, размерные цепи разделяют на конструкторские, технологические и измерительные. Технологическими будем называть размерные цепи, звеньями которых являются операционные размеры и припуски, а также чертежные

^х ГОСТ 16319-80. Цепи размерные.

размеры обрабатываемой заготовки (рис. I б и в). Применительно к технологическим размерным цепям составляющими звеньями будут являться линейные операционные размеры и другие размерные параметры, кото-



Р и с. I. Конструкторская (а) и технологические (б) и (в) линейные размерные цепи

рые по технологическим операционным картам предписаны к обязательному выполнению в пределах допусков. Эти размеры непосредственно выдерживаются и контролируются при обработке. Замыкающим звеном технологической размерной цепи будет размер, который в процессе обработки заготовки непосредственно не выдерживается, а получается в результате выполнения других составляющих звеньев. Замыкающим звеном таких цепей наиболее часто является припуск на обработку или чертежный размер, непосредственно не выполняемый по технологическому процессу.

Замыкающее звено занимает в размерной цепи особое положение, выполняет особую роль - относительно этого звена строится размерная цепь. Необходимость в построении цепи возникает только тогда, когда необходимо обеспечить или измерить положение двух поверхностей не непосредственно, а через другие (составляющие) размеры узла, детали или технологического процесса. На рис. I б показана технологическая размерная цепь. Операционные размеры D_{i-1} и D_i выдерживаются и контролируются соответственно в предшествующей и выполняемой операциях, а припуск Z_i будет замыкающим звеном размерной цепи, поскольку при обработке заготовки он непосредственно не выдерживается. На рис. I в показана операция подрезки торцов 1 и 2, при которой выполняется операционные

размеры A_1 и A_2 . Если требуется знать расстояние A_Δ между торцами 1 и 2, то в размерной цепи оно будет замыкающим звеном, поскольку в процессе выполнения операции оно непосредственно не выдерживается и не контролируется. По характеру влияния на замыкающий размер (по качеству) составляющие звенья разделяют на увеличивающие и уменьшающие. Увеличивающим называют звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается, а уменьшающим — составляющее звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается. Все звенья одной цепи обозначают одной прописной буквой русского алфавита: составляющие звенья с индексом порядкового номера (1, 2, ...), замыкающее звено — с индексом Δ . При необходимости качество составляющих размеров обозначают стрелками: для увеличивающих звеньев $\overrightarrow{A}, \overrightarrow{B}$ и т.д., а для уменьшающих $\overleftarrow{A}, \overleftarrow{B}$ и т.д.

Начало расчета размерной цепи связано с составлением ее уравнения. Для этого на графической схеме цепи выбирают точку начала и конца отсчета (точка 0 на рис. 1) и, обходя цепь по контуру, записывают в уравнение все ее звенья. При этом звенья, направленные в одну сторону, записывают со знаком плюс, в противоположную — со знаком минус. Для цепей, показанных на рис. 1, уравнение размерной цепи будет

$$A_1 + A_\Delta - A_2 = 0.$$

Из уравнения размерной цепи может быть получено уравнение замыкающего звена

$$A_\Delta = A_2 - A_1.$$

На рис. 1 звенья размерных цепей ориентированы, изображены в виде векторов. Такое изображение звеньев значительно облегчает построение размерных цепей и составление их уравнений. Можно отметить следующую закономерность по направлениям звеньев: увеличивающие составляющие звенья A_2 имеют на схеме направление, противоположное направлению замыкающего звена A_Δ ; в уравнение замыкающего звена они входят со знаком плюс. Уменьшающие составляющие звенья A_1 имеют на схеме цепи направление, совпадающее с направлением замыкающего звена; в уравнение замыкающего звена они входят со знаком минус. Пользуясь указанными свойствами, уравнение замыкающего звена можно составлять непосредственно по схеме размерной цепи, не записывая уравнения цепи. Рассмотренное выше уравнение замыкающего звена размерной цепи относилось к частному примеру. В общем случае оно имеет вид

$$A_\Delta = \sum_m \overrightarrow{A}_i - \sum_n \overleftarrow{A}_i, \quad (1)$$

где m - число увеличивающих составляющих звеньев цепи; n - число уменьшающих звеньев. Уравнение (1) используют для расчета номинальных значений замыкающих размеров.

Связь между допусками (погрешностями) составляющих и замыкающего размеров определяется правилом суммирования допусков (погрешностей), которое является основой решения размерных цепей и заключается в следующем: допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев. Для каждой из размерных цепей, приведенных на рис. 1,

$$T_{A\Delta} = T_{A_2} + T_{A_1}.$$

Введем обозначения: $T_{A_i} = T_i$ - допуски составляющего звена и $T_{A\Delta} = T_{\Delta}$ - допуск замыкающего звена. Тогда уравнение связей допусков замыкающего и составляющих звеньев можно представить в общем виде

$$T_{\Delta} = \sum_{m+n} T_i. \quad (2)$$

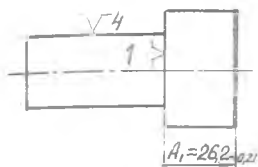
Допуск любого размера, в отличие от отклонений, представляет собой всегда существенно положительную величину, поэтому суммирование допусков по уравнению (2) должно производиться арифметически. Уравнение (2) выражает основное правило суммирования допусков при решении размерных цепей по методу расчета на максимум-минимум.

1.2. Выявление и построение технологических размерных цепей

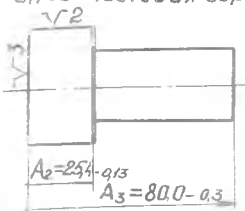
Исходной информацией для построения технологических размерных цепей является технология, содержащая операционные эскизы на формоизменяющие операции технологического процесса. Эту исходную информацию необходимо преобразовать - предварительно построить размерную схему технологического процесса.

Каждую размерную цепь строят относительно своего замыкающего звена. Поэтому в первую очередь необходимо, исходя из поставленной задачи, установить замыкающее звено. Обычно замыкающим звеном технологической размерной цепи является либо чертежный размер, непосредственно не выполняемый при обработке, либо припуск на обработку. Затем относительно этого замыкающего звена строится размерная цепь. Специфические приемы выявления и построения технологических размерных цепей рассмотрим на примере. Для технологического процесса, приведенного на рис. 2а, требуется проверить, выполняется ли конструкторский размер $KP2 = 30 \pm 0,3$ в заданных пределах.

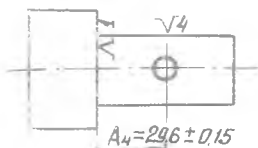
Оп. 25 Чистовая обработка



Оп. 30 Чистовая обработка

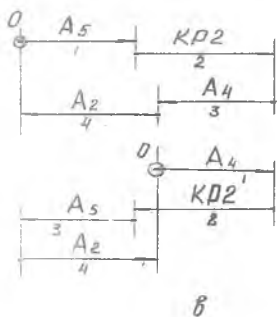
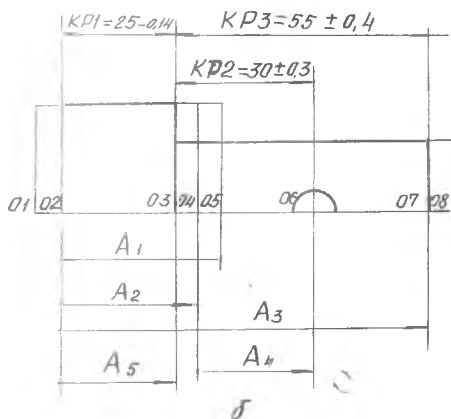
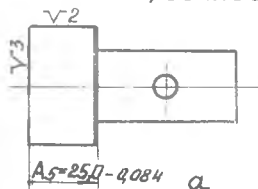


Оп. 35 Сверление, зенкерование



Оп. 40 Термообработка

Оп. 45 Шлифование



Р и с. 2. Технологический процесс (а), размерная схема ПП (б) и размерные цепи (в)

Первым шагом в решении задачи будет построение размерной схемы технологического процесса. Для начала в верхней части изображают контур готовой детали, над контуром наносят заданные по чертежу конструкторские размеры (рис. 2б). К контуру готовой детали пририсовывают припуски – в итоге получают контур заготовки. Затем на размерную схему переносят из технологического процесса операционные размеры A_1 , A_2 , ..., A_5 (рис. 2б).

Границы размеров (плоскости, торцы и оси на разных стадиях обработки) нумеруют слева направо. Сопоставляя по размерной схеме конструкторские размеры детали (над эскизом) и операционные размеры (под эскизом), мы убеждаемся в том, что конструкторский размер $KP1$ выполняется непосредственно при обработке — ему соответствует операционный размер A_5 . В то же время операционных размеров, соответствующих конструкторским размерам $KP2$ и $KP3$, по технологическому процессу (на размерной схеме) нет. Стало быть, они непосредственно не выдерживаются, а обеспечиваются косвенно через другие операционные размеры.

Для решения поставленной выше задачи необходимо построить и решить технологическую размерную цепь, в которой замыкающим звеном будет размер $KP2$. Для построения цепи выявим по размерной схеме, какие из операционных размеров войдут в размерную цепь в качестве составляющих звеньев. Для начала достаточно выявить два таких размера, которые будут непосредственно примыкать к замыкающему звену. Ими являются операционные размеры, которыми формируются (координируются) левая $O3$ и правая $O6$ границы замыкающего звена; в нашем примере это будут размеры A_5 и A_4 . Меньше затруднений бывает, когда начинают строить цепь с того из двух размеров, который по технологическому процессу получается позже; в нашем примере это будет размер A_5 . Отложив его из точки O (рис. 2в), откладываем затем замыкающее звено $KP2$ и выявленный ранее составляющий размер A_4 . Теперь нужно выявить и нанести на схему размерной цепи остальные составляющие (операционные) размеры, которые позволили бы замкнуть цепь (получить замкнутый контур), т.е. кратчайшим путем перейти с вертикали $O4$ (куда мы пришли по размеру A_4) на вертикаль $O2$, с которой мы вышли в начале построения цепи. В нашем примере это A_2 , отложив который, мы заканчиваем построение размерной цепи. На рис. 2в построенная цепь обозначена р.ц. I, цифры под векторами показывают последовательность ее построения. Не будет ошибкой, если начать построение размерной цепи с откладывания другого выявленного размера A_4 ; такая цепь показана на рис. 2в с обозначением р.ц. Ia. Легко видеть, что размерные цепи р.ц. I и р.ц. Ia совершенно идентичны по своему составу. Отсюда можно сделать вывод о том, что структура (состав) цепи не зависит от того, с какого размера начинают ее построение и в каком направлении выполняют построение замкнутого контура.

Составим теперь уравнения размерной цепи. Для этого, как уже указывалось в п. I. I, нужно обойти контур цепи и записать размеры, направленные в одну сторону (в нашем примере вправо) со знаком плюс, а направленные в другую сторону — с обратным знаком. Для цепи р.ц. I $A_5 + KP2 - A_4 - A_2 = 0$. Для цепи р.ц. Ia $A_4 - KP2 - A_5 + A_2 = 0$.

Решая эти уравнения относительно $KP2$, получим в обоих случаях одно и то же уравнение замыкающего звена

$$A_{\Delta} = KP2 = A_2 + A_4 - A_5.$$

Это дополнительно подтверждает идентичность размерных цепей р.ц. I и р.ц. Ia. Следует предостеречь от возможных ошибок при построении технологических размерных цепей. Наиболее характерной ошибкой является включение в контур цепи кроме замыкающего звена еще одного или нескольких размеров, непосредственно не выдерживаемых при обработке. Поэтому следует напомнить приведенное выше положение о том, что в составе размерной цепи может быть только один замыкающий размер, т.е. только один размер, непосредственно не выполняемый при обработке.

1.3. Расчетные уравнения для решения проверочной задачи по методу расчета на максимум-минимум

Содержанием проверочной задачи является определение замыкающего размера и его допуска (погрешности) по заданным (известным) значениям составляющих размеров и их допусков. В машиностроении применяют несколько способов задания (регламентации) точности размеров. Это обуславливает использование в практике расчетов следующих способов, служащих для определения замыкающего размера и его точности: координат допусков, предельных значений, отклонений, средних значений. Ниже рассматриваются два наиболее часто используемые способа - способ предельных значений и способ отклонений.

Способ предельных значений. Основой решения проверочной задачи по этому способу являются уравнения предельных значений замыкающего размера. Эти уравнения можно представить без выводов как очевидные

$$A_{\Delta \max} = \sum_m \widehat{A}_{i \max} - \sum_n \widehat{A}_{i \min}, \quad (3)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_m \widehat{A}_{i \min} - \sum_n \widehat{A}_{i \max}. \quad (4)$$

Из уравнения (3) следует, что максимальное значение замыкающего звена равно сумме максимальных значений увеличивающих составляющих размеров минус сумма минимальных значений уменьшающих составляющих размеров. Аналогично раскрывается уравнение (4). Используем уравнения (3) и (4) для решения поставленной в примере задачи - проверки обеспечения размера $KP2$ в заданных чертежом пределах. Уравнения

замыкающего звена размерной цепи. (оно было приведено в конце предыдущего п.1.2)

$$KP2 = A_2 + A_4 - A_5 \quad (6)$$

Уравнения предельных значений замыкающего звена по (7) и (4)

$$KP2_{max} = A_{2max} + A_{4max} - A_{5min} \quad (7)$$

$$KP2_{min} = A_{2min} + A_{4min} - A_{5max} \quad (8)$$

Значения операционных размеров были приведены на рис. 2а

$$A_2 = 25,4 \pm 0,15, \quad A_4 = 29,6 \pm 0,15, \quad A_5 = 25,0 \pm 0,8$$

Подставляя в уравнения (6) и (8) предельные значения операционных размеров, получим

$$KP2_{max} = 25,4 + 29,75 - 24,916 = 30,234 \text{ мм.}$$

$$KP2_{min} = 25,27 + 29,45 - 25,0 = 29,72 \text{ мм.}$$

Сопоставляя возможные значения $KP2$ с допустимыми (30,3 и 29,7), убеждаемся в том, что заданные чертежом значения $KP2$ по технологии обеспечиваются.

Способ отклонений. При решении проверочной задачи по способу отклонений используют уравнение для определения номинала замыкающего звена

$$A_{\Delta} = \sum_m \overline{A_i} - \sum_n \overline{A_i} \quad (1)$$

и уравнения для определения его верхнего $\Delta_{B\Delta}$ и нижнего $\Delta_{H\Delta}$ отклонений

$$\Delta_{B\Delta} = \sum_m \Delta_{\beta i} - \sum_n \Delta_{\alpha i}, \quad (5)$$

$$\Delta_{H\Delta} = \sum_m \Delta_{\alpha i} - \sum_n \Delta_{\beta i}. \quad (6)$$

Согласно уравнению (5), верхнее отклонение замыкающего звена равно разности между суммой верхних отклонений увеличивающих составляющих звеньев и суммой нижних отклонений уменьшающих размеров. Аналогично читается уравнение (6). Нелишне напомнить, что отклонения, в

отличие от допуска, имеют знак и поэтому уравнения (5) и (6) должны решаться алгебраически.

Покажем применение уравнений (1), (5) и (6) для решения поставленной выше задачи. Для этого перепишем значения составляющих звеньев в следующем виде:

$$A_2 = 25,4 \begin{matrix} +0,00 \\ -0,13 \end{matrix}, \quad A_4 = 29,6 \begin{matrix} +0,15 \\ -0,15 \end{matrix} \quad \text{и} \quad A_5 = 25,0 \begin{matrix} +0,00 \\ -0,084 \end{matrix}.$$

В соответствии с (1), номинал замыкающего звена

$$A_{\Delta} = A_2 + A_4 - A_5 = 25,4 + 29,6 - 25,0 = 30,0 \text{ мм.}$$

Его верхнее и нижнее отклонения по (5) и (6)

$$\Delta_{B\Delta} = [\Delta_{B2} + \Delta_{B4}] - [\Delta_{H5}] = [0,00 + 0,15] - [-0,084] = +0,234 \text{ мм,}$$

$$\Delta_{H\Delta} = [\Delta_{H2} + \Delta_{H4}] - [\Delta_{B5}] = [(-0,13) + (-0,15)] - [0,00] = -0,28 \text{ мм.}$$

В результате $A_{\Delta} = K P 2 = 30 \begin{matrix} +0,234 \\ -0,28 \end{matrix}$, что хорошо согласуется с результатами расчета размерной цепи по способу предельных значений. Подобные громоздкие записи при вычислении номинала и предельных отклонений нужны только при отсутствии навыка в решении задач по способу отклонений. Опытные заводские технологи ограничиваются записями типа

$$A_{\Delta} = 25,4 \begin{matrix} +0,00 \\ -0,13 \end{matrix} + 29,6 \begin{matrix} +0,15 \\ -0,15 \end{matrix} - 25,0 \begin{matrix} +0,00 \\ -0,084 \end{matrix} = 30 \begin{matrix} +0,234 \\ -0,28 \end{matrix}$$

При такой записи все вычисления выполняются в уме - сначала определяют номинал замыкающего размера, а потом отклонения. При этом отклонения увеличивающих размеров будут с их знаками, а отклонения уменьшающих - с обратными знаками.

1.4. Расчетные уравнения для решения проверочной задачи по вероятностному методу

Теоретические основы вероятностного метода решения размерных цепей разработаны профессорами Б.С.Бадакшиным и Н.А.Бородачевым. Уравнение для определения допуска замыкающего звена по вероятностному методу по ГОСТ 19415-74

$$T_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{m+n} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2}, \quad (7)$$

где λ_i - относительное среднее квадратичное отклонение, коэффициент, характеризующий закон рассеяния размеров, $\lambda_i = \frac{16}{\sigma_i}$;
 λ_{Δ} - коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена, он учитывает степень отличия закона распределения погрешностей замыкающего звена от нормального закона;
 ξ_i - передаточное отношение i -го звена. Для линейных размерных цепей $\xi_i^2 = 1,0$. Тогда уравнение (7) можно привести к виду

$$T_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 T_i^2}. \quad (8)$$

В работе [1] показано, что распределение погрешностей размеров в пределах генеральной совокупности по нормальному закону ($\lambda_i = 0,333$; $\lambda_i^2 = 0,111$) и закону равной вероятности ($\lambda_i = 0,577$; $\lambda_i^2 = 0,333$) в числом виде практически не имеет места, поэтому использование в расчетах крайних значений λ_i (0,333 и 0,577) будет необоснованным. Действительное распределение соответствует композиции закона нормального распределения и закона равной вероятности. В зависимости от соотношения поля мгновенного рассеяния (случайные погрешности) и величины систематической погрешности (например, закономерно изменяющейся погрешности от износа инструмента) величина λ_i меняется в пределах от $\lambda_i = 0,4$ до $\lambda_i = 0,5$. Эти значения и рекомендуется использовать при расчетах цепей по вероятностному методу [1].

Для определения коэффициента относительного рассеяния замыкающего звена λ_{Δ} для уравнения (8), ГОСТ 19415-74 рекомендует следующую эмпирическую формулу

$$\lambda_{\Delta} = \frac{1}{3} + \frac{0,183}{\sum_{m+n} T_i} (3\sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 T_i^2} - \sqrt{\sum_{m+n} T_i^2}). \quad (9)$$

При решении проверочной задачи по вероятностному методу целесообразно использовать способ координат допусков. Рассмотрим содержание и последовательность расчетов по этому способу на примере решения задачи, изложенной в предыдущем п. 1.3. Там требовалось выполнить расчет размерной цепи (рис. 2в), описываемой уравнением замыкающего звена

$$A_{\Delta} = KP2 = A_2 + A_4 - A_5. \quad (a)$$

при известных значениях составляющих звеньев

$$A_2 = 25,4 \begin{matrix} +0,0 \\ -0,13 \end{matrix}, \quad A_4 = 29,6 \begin{matrix} +0,15 \\ -0,15 \end{matrix} \quad \text{и} \quad A_5 = 25,0 \begin{matrix} +0,0 \\ -0,084 \end{matrix}.$$

При применении способа координат допусков вычисляют:

а) номинал замыкающего звена по уравнению (I). Для нашего примера было вычислено ранее $KP_2 = 30,00$;

б) координату середины поля допуска замыкающего звена по уравнению (для линейных цепей)

$$\Delta_{0\Delta} = \sum_m \Delta_{0i} - \sum_n \Delta_{0i}, \quad (10)$$

$$\text{где} \quad \Delta_{0\Delta} = \frac{\Delta_{B\Delta} + \Delta_{H\Delta}}{2}, \quad (11)$$

$$\Delta_{0i} = \frac{\Delta_{B_i} + \Delta_{H_i}}{2}. \quad (12)$$

Для размеров A_2, A_4 и A_5 значения Δ_{0i} по уравнению (12) будут

$$\Delta_{02} = \frac{0,0 + (-0,13)}{2} = -0,065, \quad \Delta_{04} = \frac{0,15 + (-0,15)}{2} = 0,0$$

$$\text{и} \quad \Delta_{05} = \frac{0,0 + (-0,084)}{2} = -0,042.$$

$$\text{Тогда} \quad \Delta_{с\Delta} = \Delta_{\Delta 2} + \Delta_{\Delta 4} + \Delta_{\Delta 5} = (-0,065) + 0,0 - (-0,042) = -0,023 \text{ мм};$$

в) допуск замыкающего звена T_{Δ} по уравнению (8). Примем значения коэффициентов относительного рассеяния для составляющих звеньев A_2, A_4 и A_5 ; $\lambda_2 = \lambda_4 = 0,4$ и $\lambda_5 = 0,433$.

Вычислим предварительно коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена λ_{Δ} по уравнению (9)

$$\lambda_{\Delta} = \frac{1}{3} + \frac{0,183}{0,13 + 0,3 + 0,084} (3\sqrt{0,4^2 \cdot 0,13^2 + 0,4^2 \cdot 0,3^2 + 0,433^2 \cdot 0,084^2} - \sqrt{0,13^2 + 0,3^2 + 0,084^2}) = 0,4029.$$

Тогда

$$T_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 T_i^2} = \frac{1}{0,4029} \sqrt{0,4^2 \cdot 0,13^2 + 0,4^2 \cdot 0,3^2 + 0,433^2 \cdot 0,084^2} = 0,336 \text{ мм}.$$

Для сравнения вычислим допуск замыкающего звена по методу расчета на максимум-минимум по уравнению (2),

$$T_{\Delta} = \sum_{m+n} T_i = T_2 + T_4 + T_5 = 0,13 + 0,3 + 0,084 = 0,514 \text{ мм.}$$

Сопоставление показывает, что допуск замыкающего звена, вычисленный по вероятностному методу, в 1,5 раза меньше допуска, рассчитанного по методу максимума-минимума;

г) в заключение расчета по способу координат допусков определим предельные отклонения замыкающего звена

$$\Delta_{\delta\Delta} = \Delta_{0\Delta} + \frac{T_{\Delta}}{2} \quad (13)$$

$$\Delta_{н\Delta} = \Delta_{0\Delta} - \frac{T_{\Delta}}{2} \quad (14)$$

Подставляя в (13) и (14) найденные выше значения $\Delta_{0\Delta}$ и T_{Δ} , получим

$$\Delta_{\delta\Delta} = -0,023 + \frac{0,336}{2} = +0,145 \text{ мм,} \quad \Delta_{н\Delta} = -0,023 - \frac{0,336}{2} = -0,191 \text{ мм}$$

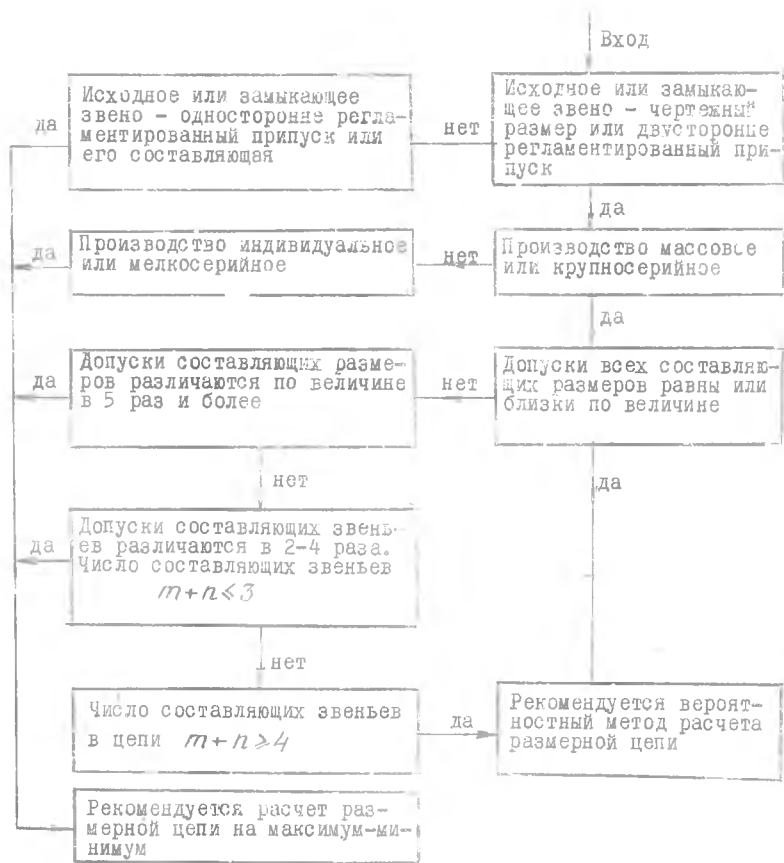
Таким образом, расчет по вероятностному методу дает следующее значение замыкающего звена $A_{\Delta} = K P_2 = 30,0 \begin{smallmatrix} +0,145 \\ -0,191 \end{smallmatrix}$. Для сравнения напомним, что при расчете по методу максимума-минимума было получено

$$A_{\Delta} = 30,0 \begin{smallmatrix} +0,234 \\ -0,28 \end{smallmatrix}$$

1.5. Выбор метода решения технологических размерных цепей

Проанализируем кратко достоинства и недостатки каждого из рассмотренных выше методов. Метод расчета на максимум-минимум базируется на допущении возможности неблагоприятного сочетания в размерной цепи деталей или узла крайних значений всех составляющих звеньев. В действительности такое сочетание маловероятно, и расчеты по этому методу приводят к большим запасам точности. Однако метод расчета на максимум-минимум имеет большие преимущества - простота, наглядность, малая трудоемкость вычислительных работ, полная гарантия от брака по неточности замыкающего звена, отсутствие необходимости допускать при расчете хотя бы небольшой процент риска.

Вероятностный метод дает возможность рассчитывать без излишних запасов допуски составляющих звеньев размерной цепи. В результате обработка деталей с допусками, рассчитанными по вероятностному методу, будет более экономичной, чем при расчете их по методу максимума-мини-



Р и с. 3. Блок-схема для выбора метода решения технологических размерных цепей

му. Но у вероятностного метода есть и существенные недостатки: расчет по этому методу не дает полной гарантии от брака по точности замыкающего звена и является сравнительно сложным и трудоемким. Широкому внедрению вероятностного метода в практику технологических размерных расчетов препятствует ряд трудностей, главная из которых — отсутствие достаточно надежных, а главное, регламентированных данных по коэффициентам относительного рассеяния для конкретных условий обработки.

Эффективность использования вероятностного метода решения размерных цепей в большой мере зависит от числа составляющих звеньев в цепи: чем $m+n$ больше, тем большую экономическую выгоду можно получить от применения вероятностного метода. На выбор метода решения цепей влияет тип производства, степень отлаженности и стабильности технологического процесса и тип замыкающего звена (чертежный размер или припуск).

С учетом изложенного предлагаются следующие рекомендации по выбору метода решения размерных цепей, приведенные в форме блок-схемы (рис. 3).

2.1. Операционные допуски и правила их выбора

Задача установления оптимальных припусков на обработку имеет большое технико-экономическое значение. Используемые в настоящее время методы расчета припусков базируются на исследованиях, проведенных советскими учеными А.П.Соколовским, В.М.Кованом, И.Б.Плоткиным, В.П.Пузановой, М.А.Калининым и другими. Для ведущих отраслей машиностроения (автомобильной, авиационной и др.) отраслевыми проектно-технологическими институтами разработаны нормативы для расчета общих и операционных припусков на обработку.

Точность операционных размеров регламентируется допусками, называемыми операционными. В литературе по технологии машиностроения и в заводской практике используют принципы (правила, рекомендации) выбора допусков на операционные размеры, выработанные на основе обобщения опыта машиностроения [1,2,4,6]. Прежде, чем изложить эти правила, рассмотрим коротко вопрос о точности размеров, служащей основой для этих правил.

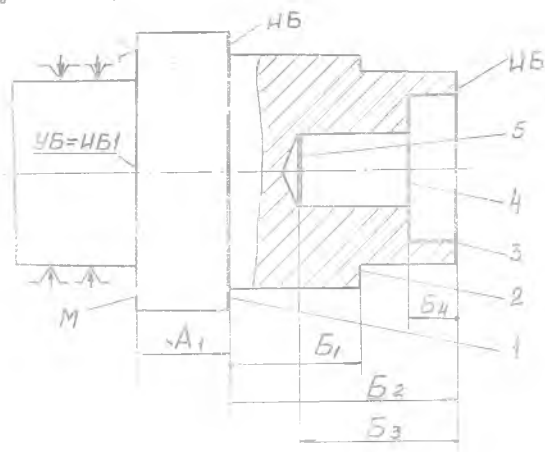
2.1.1. Структура (состав) погрешности операционного размера

При анализе точности операционные размеры, получаемые при механической обработке, целесообразно разделять на межоперационные и внутриоперационные. Межоперационным условимся называть линейный операционный размер, исходной базой которого является поверхность, обработанная ранее, т.е. в другой (предшествующей) операции. На рис.4 таким является размер A_i . Проф. А.П.Соколовский рекомендовал называть их размерами, образованными по схеме односторонней обработки. Погрешность межоперационного линейного размера, сформированного по схеме односторонней обработки, будет иметь структуру

$$\omega_i = \omega_{0i} + \omega_{yi}, \quad (15)$$

где ω_{oi} - составляющая, зависящая от метода обработки, погрешность метода обработки;

ω_{yi} - составляющая, зависящая от метода установки, погрешность установки.



Р и с. 4. Межоперационные (A_1) и внутриоперационные (B_1, B_2, B_3, B_4) размеры; 1-5 обрабатываемые поверхности

Внутриоперационным будем называть размер, для которого исходной базой является поверхность, обработанная в одной операции или в одном переходе с поверхностью, которую он координирует. Формирование внутриоперационных размеров выполняется по схеме двусторонней обработки, когда поверхности или участки одной поверхности, связанные размером, обрабатываются одновременно, т.е. в одной операции или одном сложном переходе. Для показанного на рис. 4 примера такими будут размеры B_1, B_2, B_3 и B_4 . Отметим также, что все диаметральные операционные размеры являются внутриоперационными.

Способ установки на точность внутриоперационных размеров не влияет ($\omega_{yi} = 0$). Поэтому состав погрешности таких размеров будет определяться уравнением

$$\omega_i = \omega_{oi} \quad (15a)$$

Сопоставляя уравнения (15) и (15a), можно сделать вывод о том, что при одном и том же методе обработки (черновая обработка, чистовая обработка и т.д.) точность внутриоперационных линейных размеров

B_i (размеров B_1, B_2, B_3 и B_4 на рис. 4) будет выше точности межоперационных размеров A_i (размер A_1 на рис. 4).

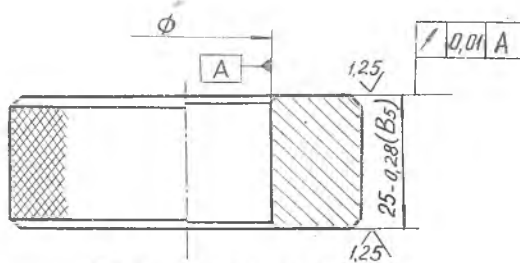
2.1.2. Правила (рекомендации) по выбору операционных допусков

Правило 1. Величину допуска на операционный размер следует принимать в соответствии со среднеэкономической точностью используемого метода обработки и с учетом схемы формирования размера. На точность размера влияет также и состояние (точность формы, расположения и качество) поверхности, используемой в качестве технологической базы. Пусть для изображенного на рис. 4 примера поверхность I подвергается черновой обработке. Считается, что среднеэкономическая точность чернового точения (подрезания) – 5 класс (\sim 13 квалитет). Но это будет правильно не всегда, а лишь при условии, что поверхность M, являющаяся технологической (исходной и измерительной) базой, механически обработана с такой же или более высокой точностью. Если она еще не обработана (черновая база), то среднеэкономическая точность размера A_1 (см. рис. 4) при черновом подрезании торца I будет соответствовать не 5, а 7 классу (14 квалитету), т.е. на I класс грубее. С учетом изложенного составлена таблица для выбора точности (квалитета, класса точности) операционных допусков на размеры механической обработки (табл. П2).

Правило 2. Допуски на размеры, выполняемые на операциях окончательной обработки, выбирают в соответствии с экономической точностью метода обработки и в том случае, если по чертежу требуется меньшая точность выдерживаемого размера.

Надобность в такой рекомендации появляется в тех случаях, когда целью окончательной обработки является не достижение заданной по чертежу точности размера, а выполнение других требований чертежа (например, высокого качества поверхности и т.п.).

На рис. 5 изображен эскиз калибрового кольца. Размер высоты коль-



Р и с. 5. Калибровое кольцо

ца имеет допуск по 5 классу точности. Для получения такой точности достаточно было бы черновой обработки торцов. Но для обеспечения шероховатости торцов по 7 классу, а также перпендикулярности и параллельности в пределах 0,01 мм, каждый торец должен иметь черновую и чистовую токарные обработки и шлифование. В соответствии с изложенным выше правилом, операционные допуски на размеры указанных операций следует принять: после черновой обработки — по B_5 (0,28 мм), после чистовой — B_7 (0,14 мм). Допуск на размер, выполняемый при окончательной обработке — шлифовании — следует принять также в соответствии с экономической точностью этого метода, т.е. по B_3 (0,045 мм), хотя по чертежу требуется меньшая точность (B_5). Достоинством выбора допусков по этому правилу является обеспечение окончательной обработки при малых колебаниях припуска $T_{\Sigma} = T_{i-1} + T_i$ за счет уменьшения допуска T_i на выполняемый размер. Это позволяет, в свою очередь, гарантировать высокое качество поверхности, повысить производительность шлифовальных операций и т.д.

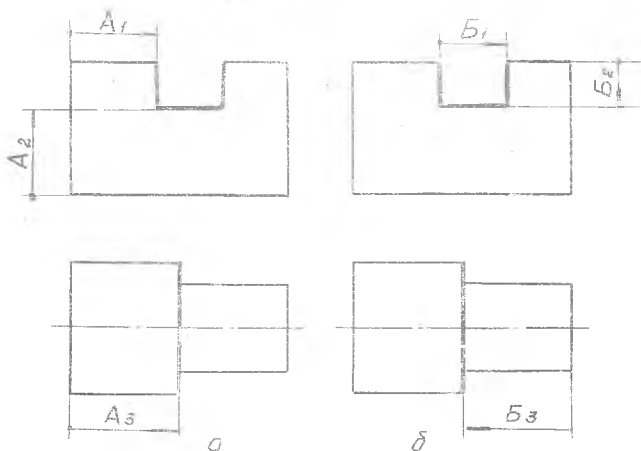
На некоторых машиностроительных заводах используется другой принцип установления допусков на размеры окончательной обработки в соответствии с указанной в чертеже точностью. При этом не всегда обеспечивается высокое качество поверхности, так как при широком допуске на размер окончательной обработки не может быть регламентирована глубина снимаемого при обработке слоя металла. Вследствие увеличения колебания припуска снижается производительность окончательной обработки. Следует отметить, что, принимая для операционного размера допуск более широкий, чем допуск, соответствующий экономической точности используемого метода обработки, технолог ничего не выигрывает — стоимость обработки при этом не уменьшается.

Правило 3. Система простановки допусков на операционный размер должна быть такой, чтобы поле допуска отсчитывалось в металл ("в тело").

Согласно этому правилу, отклонения на диаметральные размеры следует принимать по основной системе (или, что то же самое, по посадке скольжения): для размера вала — по системе вала (верхнее отклонение $ES = 0$), для размера отверстия — по системе отверстия (нижнее отклонение $EI = 0$). Выбор системы простановки допусков для линейных координирующих размеров зависит от направления выдерживания размера: для размеров A_i — по системе вала, для размеров B_i — по системе отверстия (рис. 6).

Иллюстрацией использования этого правила служат также приведенные на рис. 7 схемы расположения операционных допусков на размеры ва-

ла (рис. 7а) и отверстия (рис. 7б) при многоступенчатой (многократной) их обработке. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что изложенное выше правило выбора системы простановки допусков распространяется только на операционные размеры, получаемые при механической обработке (на размеры A_2, A_3, \dots, A_k на рис. 7). По действующим



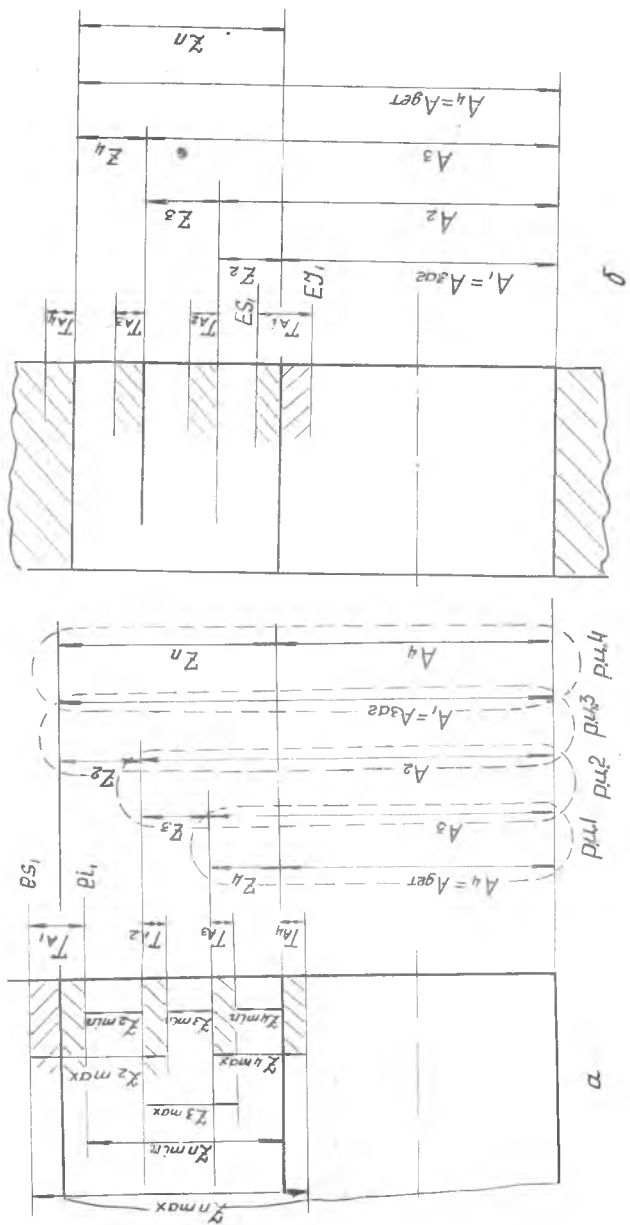
Р и с. 6. Схемы к выбору системы простановки допуска на операционный размер: а - по системе вала; б - по системе отверстия

в нашей стране общесоюзным и отраслевым стандартам поле допуска на размеры заготовок (проката, отливок, штамповок и т.д.) имеет двухстороннее расположение относительно номинала (см. поля допусков на размер A_1 на рис. 7а и 7б).

Правила 1-3 являются основными. В соответствии с ними разработаны таблицы отраслевых стандартов для выбора операционных допусков на размеры механически обрабатываемых поверхностей.

Правило 4. Допуски на размер, координирующий положение оси отверстия, следует проставлять по двусторонней симметричной системе (например, $A \pm 0,20$ мм). Аналогичная система простановки допусков используется и для размеров расстояний между осями шеек кривошипов и коленчатых валов.

Правило 5. Если поверхность, обрабатываемая в данной операции, в последующем будет использоваться в качестве базы, то допуск на ее размер выбирается, исходя из условия обеспечения заданной точности



Р и с. 7. Схемы расхождения полей операционных припусков и допусков на обработку вала (а) и от-верстия (б)

установки, точности измерения или точности настройки (в зависимости от того, в качестве какой базы будет использоваться рассматриваемая поверхность).

Правило 6. Если размер, выдерживаемый в данной операции, влияет на точность других размеров детали, то допуск на него определяется на основе решения соответствующих размерных цепей (см. гл. 3).

2.2. Категории и значения припусков

Для возможности обработки заготовок на металлорежущих станках для каждой поверхности предусматривают припуски. Стало быть, припуск - понятие, относящееся к определенной обрабатываемой поверхности, его измеряют по нормали к этой поверхности. Припуск принято отсчитывать на размер: для обработки цилиндрической поверхности припуск исчисляют на размер поверхности - диаметр (двусторонний симметричный припуск), для обработки плоскости или торца - на координирующий линейный размер (односторонний припуск). Общепринятыми являются следующие категории припусков: операционный припуск Z_i , или припуск на одну ступень обработки поверхности; общий припуск Z_n на обработку поверхности.

Операционным припуском называют слой металла, снимаемый с поверхности во время операции /5/. Общий припуск - это слой металла, необходимый для выполнения всей совокупности технологических операций по обработке данной элементарной поверхности от исходной заготовки до готовой детали. Номинальные значения общего и операционного припусков связаны зависимостью

$$Z_n = Z_2 + Z_3 + \dots + Z_k = \sum_k Z_i, \quad (16)$$

где Z_2, Z_3, \dots - припуски на черновую, чистовую и т.п. ступени обработки (см. рис.7); первая ступень обработки - заготовительная;

k - число ступеней обработки поверхности, включая и заготовительную.

Различают следующие значения припусков: номинальное, минимальное, максимальное и среднее. Как отмечалось в гл. I, припуск всегда (кроме небольшого числа частных случаев /4/) является замыкающим звеном в размерной цепи, образованной операционными размерами. Поэтому целесообразно для расчета возможных значений операционных и общих припусков использовать метод построения и решения технологических размерных цепей.

В правой части рис. 7а показаны размерные цепи Р.Ц.1, Р.Ц.2 и Р.Ц.3, построенные относительно операционных припусков. Для решения поставленной задачи следует по контуру каждой цепи составить уравнение замыкающего звена, решая которое, можно определить возможные значения операционного припуска. Так, для размерной цепи I уравнение замыкающего звена-припуска Z_4 на шлифование будет $A_\Delta = Z_4 = A_3 - A_4$. Подставляя в него номинальные значения размеров A_3 и A_4 , получим номинальное значение припуска Z_4 , а используя уравнения предельных значений (3) и (4), можно получить минимальное и максимальное значения припуска:

$$Z_{4min} = A_{\Delta min} = \sum_m \bar{A}_{i min} - \sum_n \bar{A}_{i max} = A_{3min} - A_{4max},$$

$$Z_{4max} = A_{\Delta max} = \sum_m \bar{A}_{i max} - \sum_n \bar{A}_{i min} = A_{3max} - A_{4min}.$$

Номинальное значение общего припуска можно определить двумя путями: I путь - используя уравнение (16). Для нашего примера (рис. 7а)

$$Z_n = \sum_K Z_i = Z_2 + Z_3 + Z_4; \quad (а)$$

2 путь - решая размерную цепь 4, где замыкающим звеном является общий припуск на обработку поверхности Z_n . Учитывая, что $A_1 = A_{заг}$, а $A_4 = A_{дем}$,

$$Z_n = A_1 - A_4 = A_{заг} - A_{дем}. \quad (17)$$

Тогда, используя уравнения предельных значений замыкающего звена (3) и (4), можно получить максимальное и минимальное значения общего припуска на обработку вала (рис.7а)

$$Z_{nmax} = A_{заг.max} - A_{дем.min}, \quad (18)$$

$$Z_{nmin} = A_{заг.min} - A_{дем.max}. \quad (19)$$

Аналогично рассуждая, можно получить уравнения для номинального и предельного значений общего припуска при обработке отверстия (рис.7б).

$$Z_n = A_{дем} - A_{заг} \dots \dots \quad (17а)$$

$$Z_{nmax} = A_{дем.max} - A_{заг.min}, \quad (18а)$$

$$Z_{nmin} = A_{дем.min} - A_{заг.max}. \quad (19а)$$

Выше была изложена методика определения номинального, максимального и минимального значений операционного и общего припусков для простой формы размерной связи, когда технологическая размерная цепь является трехзвенной (с двумя составляющими размерами). Покажем применение этой методики для случаев сложной размерной связи.

На рис. 8 показана размерная схема технологического процесса обработки двухступенчатой заготовки. Пусть необходимо определить номинальное и предельные значения операционного припуска Z_5 (на чистовую обработку торца 3). Для этого необходимо построить технологическую размерную цепь, в которой Z_5 будет замыкающим звеном. При построении цепи р.ц. I будем использовать указания по выявлению и построению размерных цепей, изложенные в п. I.2.

Уравнение замыкающего звена цепи

$$Z_5 = A_5 + A_6 - A_7 - A_8 .$$

Используя это уравнение, можно определить номинальное значение припуска Z_5 ,

$$Z_5 = 50,25 + 56,6 - 56,0 - 50,0 = 0,85 \text{ мм.}$$

Для определения предельных значений припуска используем закономерности по уравнениям (3) и (4)

$$Z_{5max} = A_{5max} + A_{6max} - A_{7min} - A_{8min} = 50,25 + 56,6 - 55,8 - 49,85 = 1,2 \text{ мм,}$$

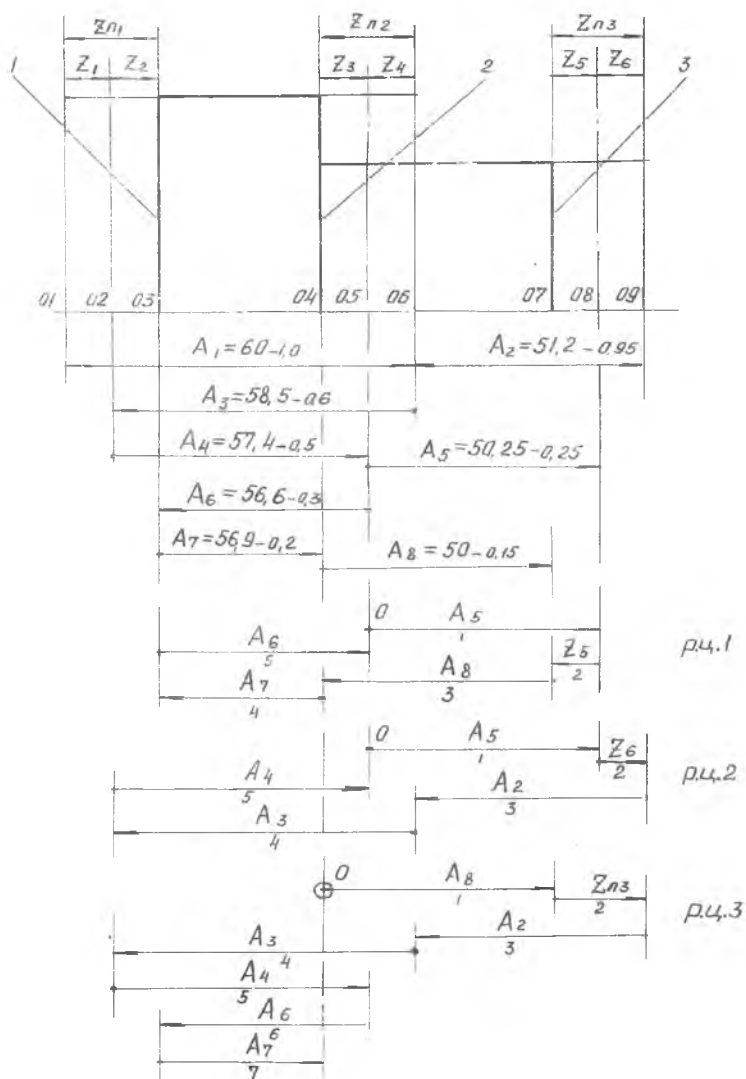
$$Z_{5min} = A_{5min} + A_{6min} - A_{7max} - A_{8max} = 50,0 + 56,3 - 56,0 - 50,0 = 0,3 \text{ мм.}$$

Методику определения общего припуска при сложной форме размерной связи рассмотрим на примере припуска $Z_{ПЗ}$ на обработку торца 3 (см. размерную схему на рис. 8). Для этого построим размерную цепь относительно $Z_{ПЗ}$ как замыкающего звена (см. р.ц. 3 на рис. 8).

Уравнение замыкающего звена цепи

$$Z_{ПЗ} = A_2 + A_3 + A_6 - A_4 - A_7 - A_8 . \quad (a)$$

Подставляя в (a) значения операционных размеров, приведенных на размерной схеме (см. рис. 8), получим номинальное значение $Z_{ПЗ}$. Номинальное значение общего припуска $Z_{ПЗ}$ в условиях сложной размерной связи можно получить и по уравнению (16): $Z_{ПЗ} = \sum_k Z_i$. В нашем случае $Z_{ПЗ} = Z_5 + Z_6$.



Р и с. 8. Размерная схема технологического процесса и размерные цепи: 1-3 обрабатываемые поверхности

В то же время зависимость между предельными значениями общего и операционного припусков не является такой однозначной. Докажем, что при отсутствии параллельной связи технологических размерных цепей

$$Z_{\Pi \max} = \sum_K Z_{i \max} \quad (20)$$

и

$$Z_{\Pi \min} = \sum_K Z_{i \min}, \quad (21)$$

а при наличии параллельной связи в цепях

$$Z_{\Pi \max} \neq \sum_K Z_{i \max} \quad \text{и} \quad Z_{\Pi \min} \neq \sum_K Z_{i \min}.$$

По ГОСТ 16319-80 параллельно связанными называются размерные цепи, имеющие одно или несколько общих звеньев. Так, приведенные на рис. 7 а размерные цепи р.ц.1, р.ц.2 и р.ц.3 имеют параллельную связь: цепи р.ц.1 и р.ц.2 имеют общее звено A_3 , а цепи р.ц.2 и р.ц.3-общее звено A_2 . В левой части рис.7а показаны границы предельных значений общего и операционных припусков. По этой диаграмме можно установить, что

$$Z_{\Pi \max} = Z_{2 \max} + Z_{3 \max} + Z_{4 \max} - T_{A_2} - T_{A_3},$$

$$Z_{\Pi \min} = Z_{2 \min} + Z_{3 \min} + Z_{4 \min} + T_{A_2} + T_{A_3}.$$

Как было показано, звенья A_2 и A_3 являются общими. Обозначив их в общем виде A_0 , можно на основе этих примеров установить общие закономерности

$$Z_{\Pi \max} = \sum_K Z_{i \max} - \sum T_{A_0}, \quad (22)$$

$$Z_{\Pi \min} = \sum_K Z_{i \min} + \sum T_{A_0}. \quad (23)$$

Уравнение (22) показывает, что при наличии параллельной связи технологических размерных цепей максимальное значение общего припуска на обработку поверхности меньше суммы максимальных значений операционных припусков на сумму допусков общих звеньев. Аналогично раскрывается и уравнение (23).

Следует отметить, что значение $Z_{\Pi \max}$ по уравнению (18) и (18а) будет идентичным со значением $Z_{\Pi \max}$ по уравнению (22), а значение $Z_{\Pi \min}$ по (19) и (19а) будет идентичным значению $Z_{\Pi \min}$ по (23). Другими словами, уравнения (18) и (19) для вычисления предельных зна-

чений общего припуска автоматически учитывают наличие или отсутствие параллельной связи технологических цепей.

Уравнения (22) и (23) были установлены применительно к простой форме размерной связи (обработка цилиндрических поверхностей, трехзвенные технологические размерные цепи), но они в равной мере применимы и для сложной размерной связи (при обработке торцов и плоскостей).

Всегда ли имеет место параллельная связь технологических размерных цепей? Нет, не всегда. Для показанной на рис. 8 размерной схемы технологического процесса общий припуск на обработку торца I

$$Z_{\Pi 1} = Z_1 + Z_2.$$

Технологические размерные цепи, в которых операционные припуски будут замыкающими звеньями, не имеют общих звеньев и, стало быть, не имеют параллельной связи

$$Z_1 = A_1 - A_3, \quad Z_2 = A_4 - A_6.$$

Поэтому для определения предельных значений $Z_{\Pi 1}$ будут применяться уравнения (20) и (21).

Рассмотрим теперь зависимости между отдельными значениями операционного припуска. Для простой формы размерной связи (для всех припусков на обработку вала и отверстия на рис. 7, для припусков Z_1 , Z_2 , Z_3 и Z_4 на рис. 8) эти зависимости весьма простые

$$Z_{i \max} = Z_i + T_i \quad (24)$$

$$Z_{i \max} = Z_{i \min} + T_i + T_{i-1}, \quad (25)$$

$$Z_{i \min} = Z_i - T_{i-1}, \quad (26)$$

$$Z_{i \text{ ср}} = \frac{Z_{i \max} + Z_{i \min}}{2} = Z_{i \min} + \frac{T_i + T_{i-1}}{2}. \quad (27)$$

В этих уравнениях T_i - допуск на размер выполняемой операции, T_{i-1} - допуск на размер предшествующей операции.

Применение уравнений (24)-(26) покажем на примере припуска Z_3 на чистовую обработку (рис.7)

$$Z_{3 \max} = Z_3 + T_{A_3}, \quad Z_{3 \max} = Z_{3 \min} + T_{A_3} + T_{A_2},$$

$$Z_{3 \min} = Z_3 - T_{A_2}, \quad Z_{3 \min} = Z_{3 \max} - T_{A_2} - T_{A_3}.$$

Для случая сложной размерной связи (например, для припусков Z_5 и Z_6 на рис. 8) зависимость между максимальным и минимальным значениями операционного припуска выражается уравнением

$$Z_{i \max} = Z_{i \min} + \sum_{m+n} T_i, \quad (28)$$

где $\sum_{m+n} T_i$ - сумма допусков на все составляющие звенья цепи.

Уравнение (25) является частным случаем зависимости (28).

Зависимость между номинальным и минимальным значениями операционного припуска будет для схемы вала (29) и отверстия (30):

$$Z_i = Z_{i \min} + \sum_m T_{\bar{A}_i}, \quad (29)$$

$$Z_i = Z_{i \min} + \sum_n T_{\bar{A}_i}. \quad (30)$$

В уравнениях (29) и (30) $\sum_m T_{\bar{A}_i}$ и $\sum_n T_{\bar{A}_i}$ - суммы допусков соответственно увеличивающих и уменьшающих составляющих размеров. Схема (система) вала или отверстия определяется по отношению к рассчитываемому операционному размеру. Если в цепи, сформированной относительно припуска, искомый составляющий размер является увеличивающим, то будет система вала, если уменьшающим - то система отверстия.

2.3. Структура расчетного минимального операционного припуска

Примем в качестве расчетного минимальное значение операционного припуска $Z_{i \min}$ и рассмотрим его структуру (состав), но предварительно уточним понятие и определение минимального припуска, поскольку в технической литературе по этим вопросам нет надлежащей четкости и единства. Правильными будут такие понятия, определения, структура минимального припуска, которые соответствуют, подчиняются требованиям (закономерностям) теории размерных цепей. Суть этих требований в следующем.

Припуск - замыкающее звено технологической размерной цепи *; его предельные значения должны определяться по уравнениям предельных значений замыкающего звена (3) и (4), т.е.

$$Z_{i \max} = A_{\Delta \max} = \sum_m \bar{A}_{i \max} - \sum_n \bar{A}_{i \min}, \quad (31)$$

$$Z_{i \min} = A_{\Delta \min} = \sum_m \bar{A}_{i \min} - \sum_n \bar{A}_{i \max}. \quad (32)$$

* Кроме отдельных частных случаев, когда он выступает в роли составляющего звена [4].

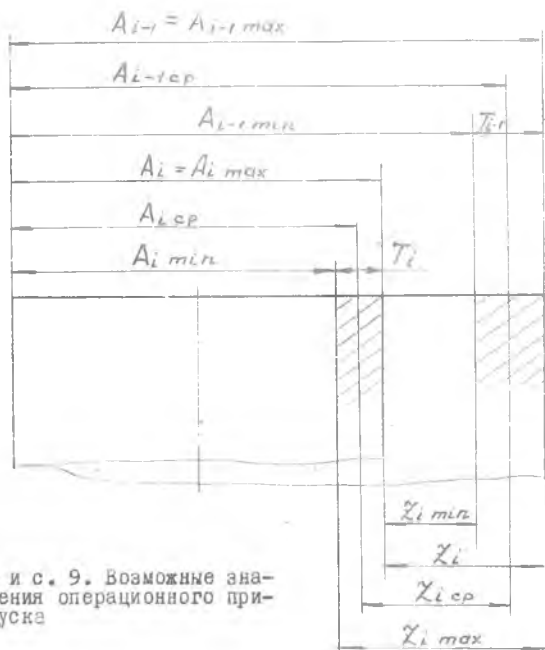
Его колебание (погрешность, допуск) должны определяться по уравнениям для определения допуска замыкающего звена (2) или (8)

$$T_z = z_{i \max} - z_{i \min} = T_{\Delta} = \sum_{m+n} T_i, \quad (33)$$

или

$$T_z = T_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 T_i^2}. \quad (34)$$

Из приведенной на рис. 9 схемы расположения полей операционного



Р и с. 9. Возможные значения операционного припуска

припуска z_i и операционных допусков предшествующей T_{i-1} и выполняемой T_i ступеней обработки * вытекает, что поле минимального припуска $z_{i \min}$ не пересекается и не перекрывается с полями допус-

* См. также схемы полей припусков и допусков на рис. 7.

ков T_{i-1} и T_i на операционные размеры (т.е. полми допусков на составляющие звенья цепи, в которой Z_i является замыкающим звеном). Это означает, что в состав Z_{imin} не должны включаться погрешности предшествующих и выполняемой операции, которые прямо или косвенно регламентируются допусками на операционные размеры (например, погрешности размеров, а также также погрешности формы, как конусность, бочкообразность, овалность или погрешности установки при односторонней обработке). С другой стороны, в его состав должны быть обязательно включены погрешности предшествующей и выполняемой ступеней обработки, которые ни прямо, ни косвенно не регламентируются (не учитываются, не контролируются) через допуски на операционные размеры (например, шероховатость и дефектный слой, неконтролируемые погрешности формы, погрешности установки при обработке цилиндрических поверхностей). Изложенное позволяет дать следующее определение минимального расчетного припуска.

Минимальный припуск — это слой металла, необходимый для осуществления заданной обработки, т.е. для удаления всех тех погрешностей предшествующей ступени обработки и компенсации всех тех погрешностей выполняемой ступени (операции), которые ни прямо, ни косвенно не регламентируются через допуски на операционные размеры.

С методической точки зрения целесообразно представить структуру минимального припуска в виде двух слагаемых

$$Z_{imin} = Z_{ia} + Z_{ib} \quad (35)$$

Слагаемое Z_{ia} представляет собой регулярную, одинаковую для всех участков обрабатываемой поверхности часть припуска, которую необходимо снять при обработке, чтобы удалить шероховатости и дефектный слой, оставшиеся на поверхности от предшествующей операции. Слагаемое Z_{ia} должно составлять:

для плоскостей и торцов (рис. 10а)

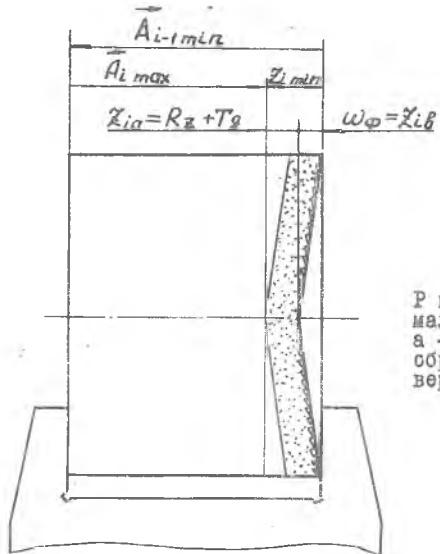
$$Z_{ia} = (R_z + T_g)_{i-1} \quad (36)$$

для поверхностей вращения (рис. 10б)

$$Z_{ia} = 2(R_z + T_g)_{i-1} \quad (37)$$

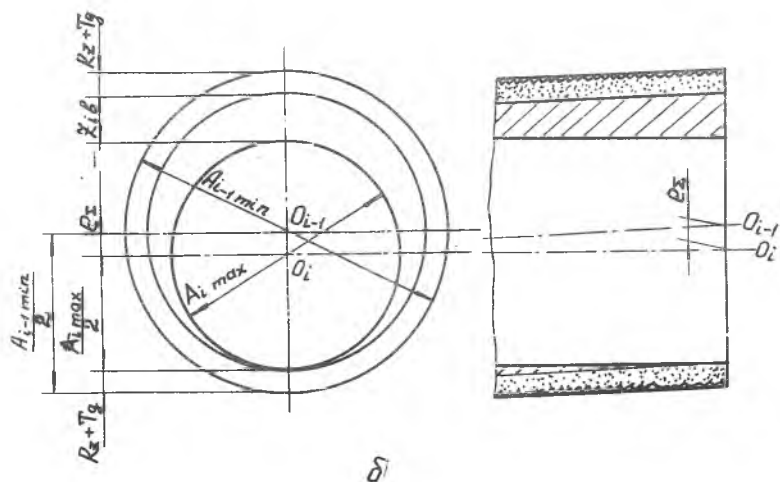
В уравнениях (36) и (37) R_z — высота шероховатостей и T_g — глубина подлежащей удалению части дефектного поверхностного слоя.

Дефектным слоем считают верхний слой металла, у которого структура, химический состав, механические свойства, или все эти парамет-



a

Р и с. 10. Составляющие минимального операционного припуска:
 а - на обработку торца; б - на обработку цилиндрической поверхности



б

ры одновременно, отличаются от параметров основного металла. Так, после горячей обработки стальных заготовок поверхностный слой оказывается значительно обезуглероженым, имеет недостаточно плотную структуру и пониженные механические свойства, то есть по своему качеству является неполноценным, дефектным. Такой же слой содержится у стальных заготовок из черного проката.

Поверхностный слой отливки из серого чугуна имеет твердую перлитную корку со следами формовочного песка. При обработке заготовок лезвийным инструментом корка будет являться дефектным слоем, поскольку нормальные условия резания обеспечиваются лишь при глубине, превышающей толщину корки. После механической обработки стальных заготовок остается дефектный слой, имеющий разрушенную структуру металла и поверхностные остаточные напряжения.

Слагаемое Z_{iB} включается в состав минимального припуска из-за необходимости компенсировать его неравномерность, обусловленную пространственными отклонениями отдельных участков обрабатываемой поверхности. Для поверхностей различной формы причины возникновения неравномерности припуска и характер их влияния на Z_{imin} будут различными, поэтому рассмотрим неравномерность припуска для обработки плоскостей, торцов и цилиндрических поверхностей заготовок раздельно.

На рис. 10а показана одна из характерных причин возникновения неравномерности припуска при обработке плоских поверхностей — неконтролируемая погрешность формы — неплоскостность. В технологии машиностроения доказывается, что погрешность формы влияет на точность размеров и косвенно регламентируется через допуски на размеры. В примере на рис. 10 а погрешность формы торца Δ_{ϕ} (неплоскостность) влияет на точность размера A_{i-1} и в принципе должна бы регламентироваться допуском T_{i-1} . В действительности при принятых методах и средствах контроля эта погрешность не выявляется, не регламентируется допуском T_{i-1} и должна поэтому учитываться отдельно. Поэтому для плоскостей и торцов составляющая $Z_{iB} = \Delta_{\phi}$, где Δ_{ϕ} — неконтролируемая погрешность формы (неплоскостность).

В отдельных работах по расчету припусков (справочниках, пособиях и т.п.) необоснованно рекомендуется включать в состав Z_{imin} на обработку плоскостей и торцов составляющую, учитывающую погрешности установки и базирования. Это неправильно. Погрешности установки и базирования входят в состав погрешности выдерживаемого размера, регламентируются (учитываются) допуском на этот размер и вторично учитываться не должны.

Для выяснения причин возникновения неравномерности припуска при обработке цилиндрических поверхностей рассмотрим построения на рис. 106. Линия O_i на схеме изображает ось поверхности вала после выполнения операции, она же является и базой обработки, т.е. осью вращения.* Ось O_{i-1} заготовки, как правило, не совпадает с осью вращения. Если подвести к поверхности заготовки индикатор и повернуть шпиндель станка, то индикатор покажет биение, которое, как известно, является следствием смещения оси заготовки на величину ϱ_Σ . Индекс Σ показывает, что смещение вызвано многими причинами. Несоосность e_Σ обрабатываемой и обработанной поверхностей приводит к неравномерности припуска

$$z_{ib} = 2\varrho_\Sigma, \quad (38)$$

где ϱ_Σ - наибольшее несовмещение осей заготовки и детали.

Размер заготовки A_{i-1} должен определяться из размерной цепи, приведенной в левой части рис. 106

$$\frac{A_{i-1min}}{2} = \frac{A_{imax}}{2} + (R_z + T_g)_{i-1} + \varrho_\Sigma.$$

Перенеся член $\frac{A_{imax}}{2}$ в левую часть равенства и удвоив его, получим

$$A_{i-1min} - A_{imax} = 2(R_z + T_g)_{i-1} + 2\varrho_\Sigma.$$

Раньше было показано, что $A_{i-1min} - A_{imax} = z_{imin}$.

Тогда

$$z_{imin} = 2(R_z + T_g)_{i-1} + 2\varrho_\Sigma. \quad (39)$$

Следует оговорить, что под неравномерностью подразумевается колебание припуска на отдельных участках рассматриваемой поверхности одной заготовки. Колебание припуска у партии заготовок вследствие изменения размеров A_{i-1} и A_i в пределах их допусков учитывается уравнениями (31)-(32) и в понятие неравномерности не входит.

При обработке цилиндрических поверхностей неравномерность припуска обусловлена влиянием большого числа факторов, которые вызывают

* Вследствие деформации системы СПИД под действием сил резания происходит копирование биения заготовки. В результате ось обработанной поверхности не будет совпадать с осью вращения детали во время обработки. Однако это остаточное биение незначительно, поэтому предположение о совмещении оси обработанной поверхности с осью вращения детали вполне допустимо.

смещение и перекося оси обрабатываемой поверхности относительно оси поверхности после обработки. Основные из этих факторов: погрешность установки, допущенная на выполняемой операции; погрешности установки, имевшие место на предшествующих операциях; неконтролируемая погрешность формы цилиндрических заготовок - изогнутость оси; смещение осей обрабатываемых отверстий в корпусных заготовках за счет колебания координирующих размеров в пределах их допусков.

Характер и степень влияния этих факторов будут рассмотрены в следующем параграфе.

2.4. Методы определения припусков на обработку

В машиностроении используются два метода определения припусков: поэлементный или расчетно-аналитический и нормативный или табличный. Первый из них позволяет получать значения припусков, близкие к оптимальным, за счет более точного учета конкретных условий выполнения операций. Недостатки его - значительная трудоемкость вычислительных работ, необходимость создания нормативных материалов большого объема для выбора и расчета составляющих элементов припуска. Нормативный метод является более простым, удобным, менее трудоемким. Недостаток его - дает менее оптимальные значения припусков, чем поэлементный метод.

2.4.1. Поэлементный метод определения припусков

Многообразие условий выполнения операций можно разделить на 3 расчетных случая.

Первый расчетный случай - определение припусков на обработку плоскостей и торцов. Расчетное уравнение (см. схему на рис. 10а) может быть представлено в виде

$$Z_{i \min} = (R_z + T_q + \omega_{\varphi})^{i-1} \quad (40)$$

Значения высоты шероховатостей R_z , глубины дефектного слоя T_q и неконтролируемой погрешности формы ω_{φ} могут быть приняты по справочным данным (табл. П7, П8). Индекс $i-1$ означает, что значения R_z , T_q и ω_{φ} следует принимать по характеру предшествующей операции. Например, при расчете $Z_{i \min}$ на чистовую обработку следует принимать R_z , T_q и ω_{φ} , получающиеся (остающиеся) после черновой обработки и т.д.

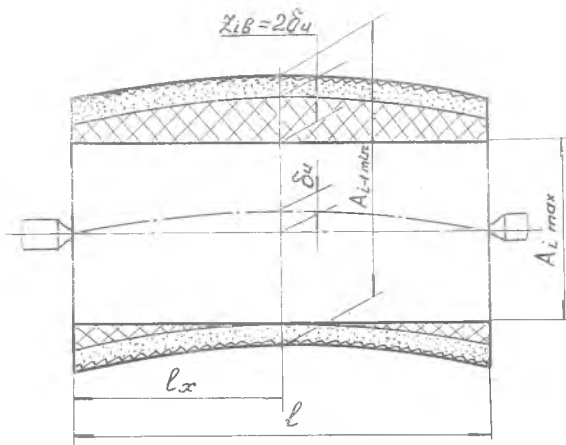
Второй расчетный случай - определение припусков на обработку цилиндрических поверхностей деталей, представляющих собой тела вращения (валы, втулки и т.д.)

В исходном уравнении $Z_{i \min} = Z_{ia} + Z_{ib}$ составляющая Z_{ia} принимает значение $Z_{ia} = 2(R_z + T_g)_{i-1}$. Составляющая $Z_{ib} = 2\delta_z$, как отмечалось ранее, включается в состав $Z_{i \min}$ для компенсации неравномерности припуска вследствие наличия пространственных отклонений отдельных участков обрабатываемой поверхности. Необходимая для расчета Z_{ib} несоосность обрабатываемой и обработанной поверхностей является суммой двух векторов

$$\vec{e}_z = \vec{\delta}_n + \vec{T}_{e\Delta}, \quad (41)$$

где $\vec{\delta}_n$ - смещение оси заготовки в расчетном сечении за счет изогнутости (рис. II);

$\vec{T}_{e\Delta}$ - несоосность обрабатываемой и обработанной поверхностей в результате погрешностей установки на выполняемой и предшествующих операциях.



Р и с. II. Неравномерность припуска в результате коробления оси заготовки

Обычно в технических требованиях (ТТ) на операцию указывается не погрешность установки, а допуск T_{ei} , регламентирующий допустимую несоосность обрабатываемой поверхности относительно базовой. Поэтому вектор $\vec{T}_{e\Delta}$ можно представить

$$\vec{T}_{e\Delta} = \sum_{m+n} \vec{T}_{ei}, \quad (42)$$

где $m+n$ - число составляющих звеньев в размерной цепи несоосностей, в которой T_{e_i} является замыкающим звеном.

Тогда составляющую $Z_{i\beta}$ можно представить

$$Z_{i\beta} = 2\sigma_{\Sigma} = 2(\bar{\sigma}_n + \sum_{m+n} \bar{T}_{e_i}).$$

В технологической литературе общепринятым является приближенный метод квадратичного суммирования векторов, в основе которого лежит предположение о том, что наиболее вероятным является расположение векторов \bar{T}_{e_i} под прямым углом.

Тогда

$$Z_{i\beta} = 2\sigma_{\Sigma} = 2\sqrt{\sigma_n^2 + \sum_{m+n} T_{e_i}^2}, \quad (43)$$

а расчетное уравнение для определения Z_{imin} принимает вид

$$Z_{imin} = 2[(R_z + T_g)_{i-1} + \sqrt{\sigma_n^2 + \sum_{m+n} T_{e_i}^2}]. \quad (44)$$

В производственных условиях некоцентричность цилиндрических поверхностей у деталей - тел вращения - удобнее регламентировать и контролировать через допуски на биение T_{e_i} . Учитывая, что $T_{e_i} = 2T_{e_i}$, получаем

$$Z_{imin} = 2(R_z + T_g)_{i-1} + \sqrt{(2\sigma_n)^2 + \sum_{m+n} T_{e_i}^2}. \quad (45)$$

Рассмотрим теперь способы определения элементов Z_{imin} . Значения R_z и T_g находят по справочным данным в зависимости от характера предшествующей обработки (таол. П7) /1,7/. Изогнутость заготовок принято характеризовать величиной удельной изогнутости Δ_n в мкм/мм. Значения Δ_n заготовок из черного проката и получаемых литьем и горячей штамповкой, имеются в соответствующих ГОСТах и ОСТах, значения Δ_n заготовок после механической обработки - в пособиях и справочниках по расчету припусков на механическую обработку /1,7/.

После определения значения удельной изогнутости Δ_n определяют расчетную изогнутость σ_n (см.рис. II)

$$\sigma_n = 2\Delta_n l_x. \quad (46)$$

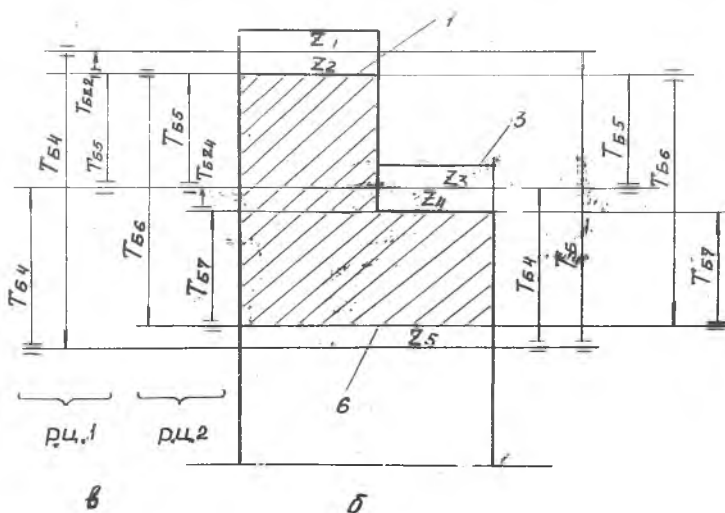
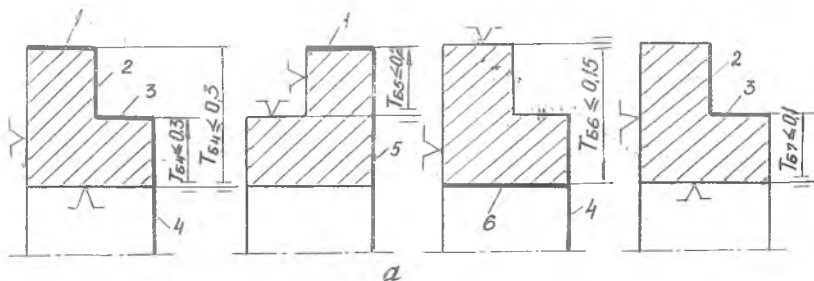
При установке в центрах $l_x = 0,5l$, где l - расстояние между опорами (центрами); при установке заготовки в патроне l_x означает расстояние (вылет) от торца кулачков до места обработки.

Следует отметить, что интенсивность влияния σ_n на величину Z_{imin} зависит от соотношения l/d длины к диаметру заготовки.

При $l/d \leq 3$ влияние изогнутости на величину припуска становится незначительным и его можно не учитывать (т.е. принимать $\delta_n^* = 0$).

Определение составляющей $\sqrt{\sum_{i=1}^n T_{\delta i}^2} = T_{\delta \Delta}$ для простых случаев может быть легко выполнено по операционным эскизам. При сложной размерной связи определение $T_{\delta \Delta}$ целесообразно выполнять путем построения и расчета размерных цепей биений. Рассмотрим решение этой задачи на примере. На рис. 12а показан фрагмент технологического

Оп4 Черновое оттачивание Оп5 Чистовое оттачивание Оп6 Чистовое оттачивание Оп7 Чистовое оттачивание



Р и с. 12. Технологический процесс (а), размерная схема ТП (б) и размерные цепи биений (в): 1-6 обрабатываемые поверхности

процесса обработки заготовки. Обрабатываемые поверхности обозначены цифрами, а установочные и исходные базы - знаком \checkmark . Каждая обрабатываемая цилиндрическая поверхность координируется относительно технологической базы через допуск на биение T_B с индексом номера операции. Пусть необходимо определить составляющую $T_{B\Delta}$ для припуска Z_2 на чистовую обработку поверхности 1 в операции 5 и для припуска Z_4 на чистовую обработку поверхности 3 в операции 7. Для наглядности и во избежание ошибок построим размерную схему технологического процесса обработки цилиндрических поверхностей (рис. 120). На размерной схеме допуски на биение показаны в виде своеобразных векторов с началом на базовой поверхности и стрелкой к поверхности обработанной от этой базы. Искомые составляющие $T_{B\Delta}$ припусков Z_2 и Z_4 (на рис. 120 они обозначены T_{BZ_2} и T_{BZ_4}) будут замыкающими звеньями размерных цепей биений. Выявление состава и построение таких цепей производится так же, как и технологических размерных цепей (см. примеры построения в пп. 1.2 и 1.3). Необходимые для расчета T_{BZ_2} и T_{BZ_4} цепи биений показаны на рис. 120 слева от размерной схемы. Отличительной особенностью цепей биений является то, что их составляющими звеньями являются параметры, номинальное значение которых равно нулю. Поэтому для них нет необходимости составлять уравнение размерной цепи - уравнение замыкающего звена составляется сразу. Запишем уравнение допусков цепи в соответствии с уравнением (2).

Для цепи р.ц. 1

$$T_{\Delta} = T_{BZ_2} = T_{B4} + T_{B4} + T_{B5} \quad (a)$$

Для цепи р.ц. 2

$$T_{\Delta} = T_{BZ_4} = T_{B5} + T_{B6} + T_{B7} \quad (б)$$

Теперь необходимо скорректировать уравнения по их составу. Дело в том, что поверхности, обработанные в одной операции, можно считать практически соосными. При принятой же методике построения цепей биений это обстоятельство не учитывается, и возникает формальная ошибка - в размерную цепь биений (уравнение (a)) оказалась включенной пара допусков на биение $T_{B4} + T_{B4}$. Для устранения таких ошибок нужно выполнять рекомендацию: если в уравнении допусков цепи биений имеется пара одинаковых звеньев, то они исключаются. С учетом этой рекомендации уравнение (a) р.ц.1 преобразуется к виду

$$T_{BZ_2} = T_{B5} \quad \text{или} \quad T_{BZ_2} = 0,2 \text{ мм.}$$

Уравнение (5) не нуждается в корректировке. Подставляя в него приведенные на рис. 12а значения T_{B_i} , получим значение $T_{B\Delta}$ для припуска Z_2

$$\overline{T}_{B_{Z_2}} = \overline{T}_{B_5} + \overline{T}_{B_7} = \sqrt{T_{B_5}^2 + T_{B_6}^2 + T_{B_7}^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,15^2 + 0,1^2} = 0,27 \text{ мм}$$

Третий расчетный случай - определение припусков на обработку цилиндрических поверхностей, координируемых линейными размерами (отверстий в корпусных деталях и т.п.). В исходном уравнении $Z_{i \max} = Z_{i \Delta} + Z_{i \beta}$ составляющая $Z_{i \Delta} = 2(R_2 + T_0)_{i-j}$. Для определения характера неравномерности припуска, которую необходимо компенсировать включением в состав $Z_{i \min}$ составляющей $Z_{i \beta}$, рассмотрим пример обработки отверстия в корпусной детали (рис. 13). В верхней части рисунка показаны операции черного и чистового растачивания отверстия от одних и тех же баз так, что номинальные значения соответствующих координирующих размеров идентичны, т.е. $X_1 = X_2$ и $Y_1 = Y_2$. Эти размеры могут изменяться в пределах соответствующих допусков. В результате будет меняться взаимное положение осей отверстий O_{i-1} и O_i , что приведет к неравномерности припуска на чистовую обработку отверстия на размер D_i . Для расчета следует принять худший случай сочетания действительных предельных значений координирующих размеров. Один из таких расчетных случаев приведен на рис. 13б: размеры X_1 и Y_1 выполнены с минимальными допустимыми предельными значениями, а размеры X_2 и Y_2 - с максимальными. В результате несоосность отверстий достигнет значения

$$e_{\Delta} = \sqrt{(0,5T_{X_1} + 0,5T_{X_2})^2 + (0,5T_{Y_1} + 0,5T_{Y_2})^2}, \quad (5)$$

а неравномерность припуска, которую следует учитывать при определении $Z_{i \min}$ на операцию чистового растачивания, будет равна

$$Z_{i \beta} = 2e_{\Delta} = \sqrt{(T_{X_1} + T_{X_2})^2 + (T_{Y_1} + T_{Y_2})^2} \quad (6)$$

По отношению к припуску Z_i на чистовую расточку отверстия

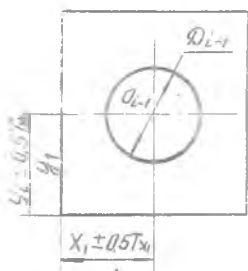
$$T_{X_1} = T_{X_{i-1}}, T_{Y_1} = T_{Y_{i-1}}, T_{X_2} = T_{X_i} \text{ и } T_{Y_2} = T_{Y_i}.$$

Тогда уравнения (6) можно привести к виду

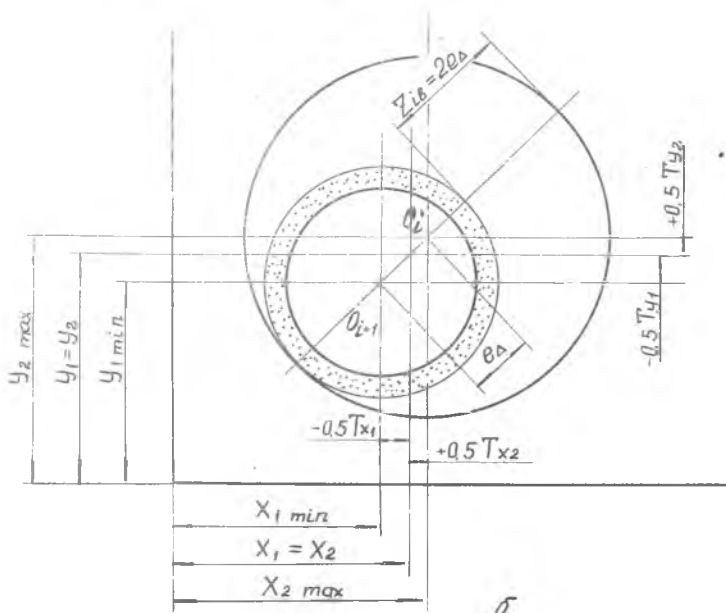
$$Z_{i \beta} = 2e_{\Delta} = \sqrt{(T_{X_{i-1}} + T_{X_i})^2 + (T_{Y_{i-1}} + T_{Y_i})^2}. \quad (47)$$

0п1 Черновое растачивание отверстия

0п2 Чистовое растачивание отверстия



а



б

Р и с. 13. Схема для определения неравномерности припуска на чистовую обработку отверстия: а - технологический процесс; б - размерная схема ПП

С учетом этого расчетное уравнение для определения Z_{imin} будет

$$Z_{imin} = 2(R_z + T_g)_{i-1} + \sqrt{(T_{x_{i-1}} + T_{x_i})^2 + (T_{y_{i-1}} + T_{y_i})^2} \quad (48)$$

Следует отметить, что в уравнениях (47) и (48) должны вноситься полные значения допусков на координатные размеры. Если, например,

$x_1 = 50 \pm 0,4$, то $T_{x_1} = 0,8$ мм. Если по одному из направлений координация положения оси отверстия осуществляется путем регламентации смещения оси отверстия относительно оси симметрии заготовки, то в уравнение (48) вместо допуска на отсутствующий координатный размер следует подставить полную величину допуска на несимметричность. Следует отметить, что уравнения (47) и (48) могут быть использованы только в том случае, если предшествующая и рассматриваемая операции обработки цилиндрической поверхности выполняются с координацией осей от одних и тех же базирующих поверхностей.

Рассмотрим теперь определение Z_{if} и Z_{imin} для более сложного случая, когда координация осуществляется от различных баз. На рис. 14а показан эскиз и размерная схема технологического процесса. Величине неравномерности припуска, которую нужно определить, на эскизе обозначена Z_{if} . Из анализа приведенных на схеме координирующих размеров можно установить, что плоскость $i-1$, в которой лежит ось предварительно обработанного отверстия, и плоскость i , в которой лежит ось отверстия после чистового растачивания, номинально совпадают. Практически же всегда будет иметь место их несовпадение, что приведет к появлению несоосности отверстий на величину e_{Δ} (см. рис. 14).

Искомая несоосность e_{Δ} является замыкающим звеном размерной цепи, изображенной на рис. 14б. Уравнение замыкающего звена

$$e_{\Delta} = A_3 + A_5 - A_4 - A_6 = 61 + 110 - 111 - 60 = 0$$

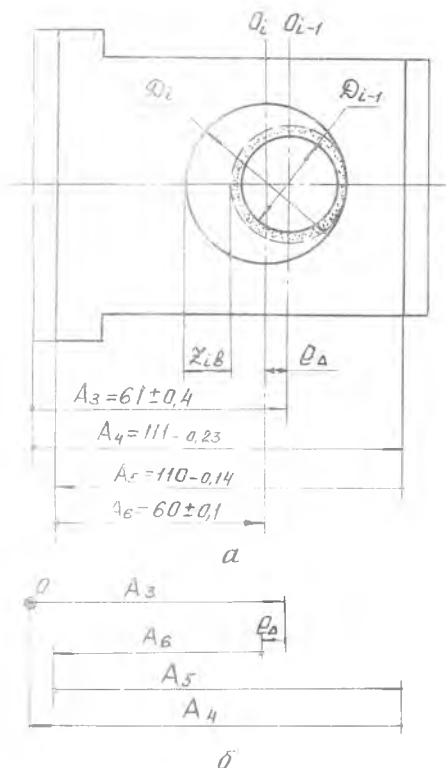
Используем для решения поставленной задачи способ отклонений.

Верхнее и нижнее отклонения по уравнениям (5) и (6)

$$\Delta_{Be_{\Delta}} = [\Delta_{B_3} + \Delta_{B_5}] - [\Delta_{H_4} + \Delta_{H_6}] = [(+0,4) + 0] - [(-0,23) + (-0,1)] = +0,73 \text{ мм},$$

$$\Delta_{He_{\Delta}} = [\Delta_{H_3} + \Delta_{H_5}] - [\Delta_{B_4} + \Delta_{B_6}] = [(-0,4) + (-0,14)] - [0 + (+0,1)] = -0,64 \text{ мм}.$$

Таким образом, возможны два неблагоприятных сочетания крайних значений составляющих размеров. В первом случае $i-1$ будет правее (выше) оси i на 0,73 мм, во втором - левее (ниже) на 0,64 мм.



Р и с. 14. Размерная схема (а) и размерная цепь (б) для определения e_{Δ}

$$e_{\Delta} = 0 \begin{matrix} +0,73 \\ -0,64 \end{matrix}$$

Для определения припуска следует принять худший случай т.е. $e_{\Delta \max} = 0,73$ мм. В уравнение (48) вместо $(T_{i-1} + T_i)^2$ нужно поставить $(2e_{\Delta \max})^2$.

В рассмотренном примере смещение осей отверстий рассматривалось только в одном направлении. Если же имеет место несоосность и в другом координатном направлении, то методика его определения будет аналогичной. Для такого общего случая уравнение (48) можно представить в виде

$$z_{i \min} = 2(R_z + T_g)_{i-1} + \sqrt{(2e_{\Delta x})^2 + (2e_{\Delta y})^2}. \quad (49)$$

2.4.2. Нормативный метод определения припусков

Этот метод получил в машиностроении наиболее широкое распространение благодаря своей простоте, наглядности, возможности нормировать припуски в масштабе целой отрасли машиностроения и создать единую систему операционных припусков и допусков. При обычном, немеханизированном проектировании технологических процессов, задача установления операционных припусков по нормативам решается при минимальных затратах труда технолога. ГОСТы и ОСТы на припуски, а также многие справочники по технологии машиностроения содержат таблицы номинальных припусков

$$Z_i = Z_{i \min} + T'_{i-1} = Z_{iA} + Z_{iB} + T'_{i-1} . \quad (50)$$

Нормативный номинальный припуск содержит все составляющие по (50) для некоторых осредненных, типичных условий обработки. В том случае, когда конкретные условия выполнения операции отличаются от принятых при разработке норматива, табличный припуск будет либо завышенным, либо меньше действительно необходимого значения. Это обуславливает невысокую точность определения припусков по нормативному методу, что является его весьма существенным недостатком.

На машиностроительных предприятиях используются общесоюзные стандарты, а также отраслевые нормативы (ОСТы) на припуски.

В авиационной и некоторых других отраслях машиностроения обязательными являются отраслевые стандарты: ССТ I.4I187-78 "Заготовки штампованные. Допуски на размеры и припуски на обработку" и ОСТ I.4I154-82 "Отливки из сплавов на основе алюминия, магния, меди, свинца, цинка, титана, железа и никеля. Допуски на размеры и припуски на механическую обработку".

На основе указанных стандартов можно определять общие номинальные припуски и размеры заготовок до разработки технологии механической обработки. Такая система позволяет сдать заказы заготовительным цехам или заводам на поставку заготовок не ожидая, пока будет спроектирован технологический процесс механической обработки. Это значительно сокращает время освоения нового объекта производства.

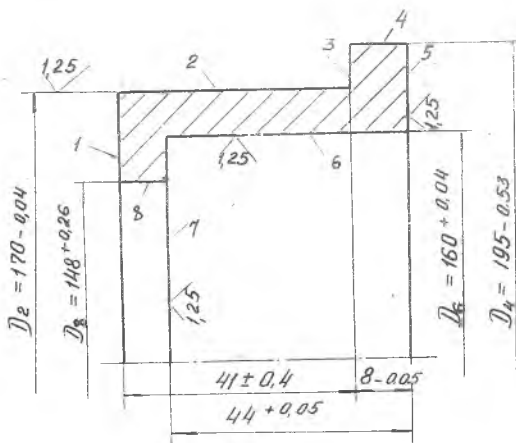
Наибольшее применение находит ОСТ I.4I512-74 "Детали механообрабатываемые. Размеры технологические нормальные. Припуски и допуски межоперационные (промежуточные) на механическую обработку". Этот стандарт, вместе с двумя указанными выше, позволяет решать задачу установления припусков и определения размеров заготовки в "нормальном" порядке: на основе разработанного технологического процесса

механической обработки устанавливаются операционные припуски, общий припуск определяется как сумма операционных припусков.

Точность нормативного метода может быть значительно повышена, если в основу его положить не номинальные, а минимальные значения припусков. Нормативной базой для нового варианта нормативного метода могут служить таблицы наименьших припусков, приведенные в технической литературе по технологии машиностроения [1,4 и др.], а также в приложении настоящего учебного пособия (табл.П9-П21). Важным достоинством нормативов $Z'_{i, min}$, сравнительно с Z_i , является малый объем таблиц, компактность, что особенно важно при расчете припусков и операционных размеров на ЭВМ.

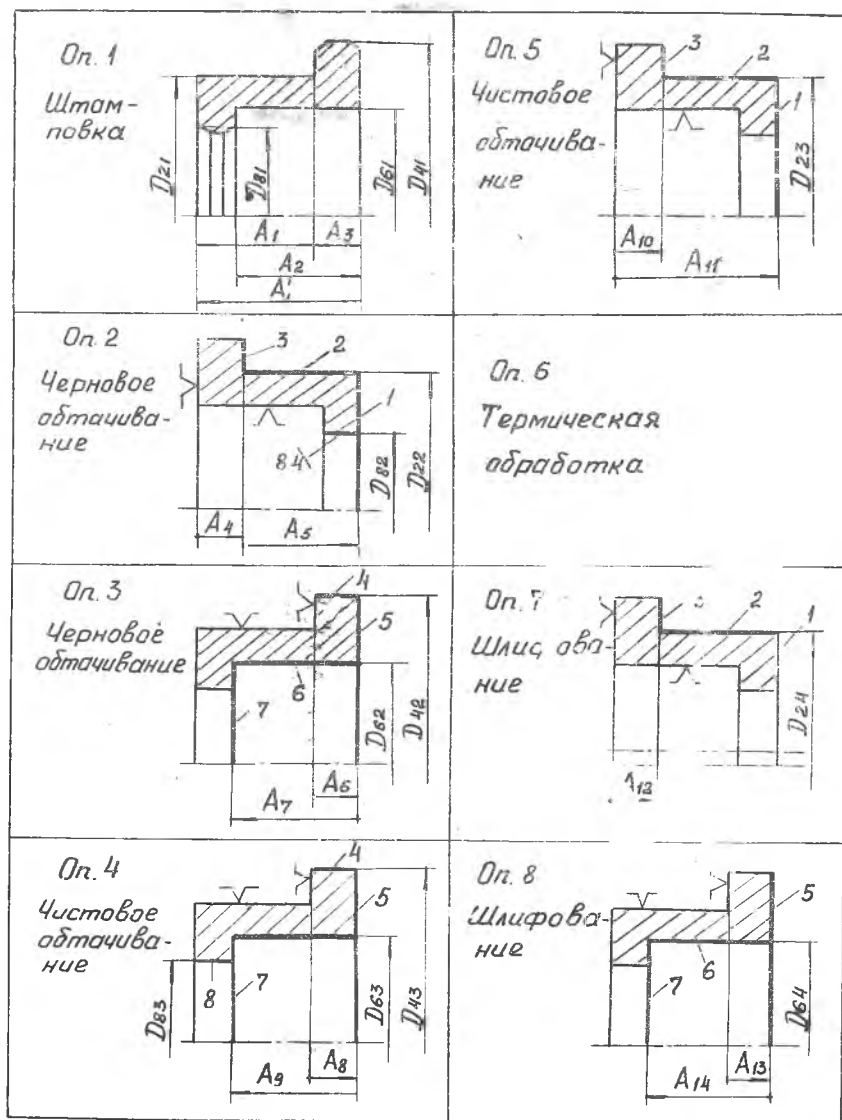
3.1. Расчет операционных размеров цилиндрических поверхностей

Основой расчета диаметральных и линейных операционных размеров является теория размерных цепей, основные закономерности которой применительно к технологическим размерным цепям, были рассмотрены в предыдущих главах. Для наглядности методику решения поставленной задачи будем рассматривать на примере. На рис. 15 приведен чертеж детали - обоймы подшипника, а на рис. 16 - технологический процесс ее изготовления. Требуется определить припуски на обработку, операционные



Р и с. 15. Эскиз детали-обоймы подшипника:
1-8 обрабатываемые поверхности

размеры и допуски на них. В качестве расчетной величины будем принимать минимальное значение припуска Z_{imin} .



Р и с. 16. Технологический процесс изготовления детали на рис. 15

Расчет диаметральных операционных размеров выполняется по уравнениям:

а) при использовании для расчетов номинального значения припуска Z_i

$$D_{i-1} = D_i + Z_i \quad - \text{ для вала, (51)}$$

$$D_{i-1} = D_i - Z_i \quad - \text{ для отверстия; (52)}$$

б) при расчетах на основе минимального припуска Z_{imin}

$$D_{i-1} = D_i + Z_{imin} + T_{i-1} \quad - \text{ для вала, (53)}$$

$$D_{i-1} = D_i - Z_{imin} - T_{i-1} \quad - \text{ для отверстия. (54)}$$

При определении размеров заготовки ($A_i = A_{зад}$) в уравнения (53) и (54) включают не всю величину допуска на размер заготовки, а только ту его часть, которая откладывается в металл. Для этого случая целесообразно преобразовать уравнения (53) и (54) к виду:

$$D_{i-1} = D_i + Z_{imin} - \epsilon_{i-1} \quad - \text{ для вала, (55)}$$

$$D_{i-1} = D_i - Z_{imin} + \epsilon_{i-1} \quad - \text{ для отверстия. (56)}$$

Чтобы не допустить ошибок при ручном выполнении расчетов, решение задачи ведут по поверхностям: сначала определяют операционные размеры, припуски и допуски для одной обрабатываемой поверхности, потом для другой и т.д. Удобно вести расчет по форме табл. I. Сначала, в соответ-

Т а б л и ц а I

Расчет операционных размеров на поверхность 2

$$D_2 = 170 - 0,04, \quad L_{дем} = 55 \text{ мм}$$

№ пп	Наименование операции	Операционный размер			Операционный допуск	Припуск		
		обозначение	расчетн.	принят		обозначение	нормативы	скорректирован.
7.	Шлифование	D_{24}	170,0	170,0	-0,04	Z_4	0,3	0,34
6.	Термообработка	-	-	-	-	-	-	-
5.	Чистовое обтачивание	D_{23}	170,46	170,5	-0,16	Z_3	0,7	0,9
2.	Черновое обтачивание	D_{22}	171,6	171,8	-0,4	Z_2	2,2	2,4
I.	Штамповка	D_{21}	175,1	175,3	+1,6 -1,1	-	-	-

вии с технологическим процессом, в таблицу записывают все операции (начиная с последней), в которых обрабатывается рассматриваемая поверхность (колонка 2). Далее по нормативам определяют допуски на все операционные размеры и заносят в колонку 6 таблицы. Затем необходимо для каждой операции определить значения припусков. При использовании нормативного метода в зависимости от характера нормативов можно определить номинальные припуски $Z_{i \min}$ (например, по ОСТ 1.41512-74) или минимальные припуски (например, по табл. П9-П21). Этот путь был использован в данном примере. Наконец, можно для каждой операции рассчитать Z_i по элементам, как это было описано в конце предыдущей главы. Принятые по нормативам (таблицам) или рассчитанные значения припусков заносятся в колонку 8 таблицы.

Пользуясь уравнениями (51)-(56) рассчитывают операционные размеры (начиная с верха таблицы, т.е. с конца технологического процесса) и заносят полученные значения A_i в колонку 4. Расчетные значения размеров округляются с тем, чтобы они имели окончания по ОСТ 1.41512-74 (табл. П22). Например, полученный при расчете размер $D_{23} = 170,46$ мм округляется до 170,5 мм. При этом корректируется и $Z_{i \min}$ с 0,3 мм до 0,34 мм. Следует оговорить, что нормативные (табличные) значения $Z_{i \min}$ предназначены для использования их при обработке цилиндрических поверхностей у деталей тел вращения. Определение $Z_{i \min}$ на образце отверстий в корпусных деталях или шеек кривошипов (эксцентриков) следует выполнять по аналитическому (поэлементному) методу - см третий расчетный случай в конце предыдущей главы.

3.2. Определение линейных операционных размеров

3.2.1. Построение размерной схемы П и размерных цепей

Расчет линейных операционных размеров и допусков на них является более сложной и трудоемкой задачей, поскольку должен выполняться путем построения и решения технологических размерных цепей. Эта работа выполняется в следующей последовательности.

Для заданного технологического процесса строится размерная схема. Если нужно определить операционные размеры по двум или трем координатным направлениям, то строится несколько размерных схем, по каждому направлению отдельно.

На рис. 17а (вкладка) приведена размерная схема технологического процесса, показанного на рис. 16. Последовательность и приемы построения размерной схемы подробно описаны в п. 1.2. Следует обратить внимание на индексацию припусков: для удобства последующих расчетов рекомендуется присваивать операционным припускам номера операционных размеров, при выполнении которых они удаляются. Так, левый крайний припуск обозначен Z_5 , поскольку он снимается при выдерживании операционного размера A_5 и т.д.

Следующим шагом будет выявление замыкающих звеньев (чертежных размеров и припусков на обработку) и построение относительно каждого замыкающего звена технологической размерной цепи. Число размерных цепей (включая и двухзвенные) должно в точности соответствовать сумме чисел чертежных размеров K_D и припусков Z_i . На рис. 17б показаны все размерные цепи, необходимые для расчета линейных операционных размеров технологического процесса по рис. 16. Методика выявления и построения технологических размерных цепей была подробно описана в п.1.2. В числе размерных цепей - двухзвенные цепи р.ц. 1 и р.ц.2. Обычно при ручном расчете операционных размеров такие цепи не строят, но при автоматизированном проектировании ТП ЭВМ будет строить и двухзвенные размерные цепи по унифицированной программе. Построение размерных цепей, как и их последующее решение, начинается с конца технологического процесса.

3.2.2. Составление уравнений замыкающих звеньев размерных цепей и упорядочение цепей

Методика составления уравнений цепей была описана в п.1,2. В табл. 2 приводятся уравнения замыкающих звеньев цепей, показанных на рис. 17б. На контурах размерных цепей и в уравнениях цепей подчеркнуты размеры (A_i), которые могут быть определены при решении данной размерной цепи.

Как отмечалось в гл. 2, технологические размерные цепи могут быть параллельно связанными, т.е. иметь общие звенья. Иначе говоря, некоторые операционные размеры могут входить в качестве составляющих звеньев в несколько размерных цепей. Так, размер A_{12} входит в состав р.ц.3, р.ц.4, р.ц.5 и р.ц.6 (см. рис. 17б, табл. 2), благодаря чему они являются параллельно связанными. В каждой цепи он выполняет функции составляющего звена, т.е. при своем изменении в пределах допуска увеличивает или уменьшает величину замыкающего зве-

Т а б л и ц а 2

Уравнения замыкающих звеньев размерных цепей по рис. 176 и последовательности их расчета

Индекс цепи	Уравнения замыкающего звена	Номер последовательности решения
р.ц. I	$KP2 = \underline{A}_{13}$	I
р.ц. 2	$KP3 = \underline{A}_{14}$	2
р.ц. 3	$Z_3 = \underline{A}_{12} - A_{13}$	3
р.ц. 4	$KP1 = \underline{A}_{11} - A_{12}$	4
р.ц. 5	$Z_{12} = \underline{A}_{10} - A_{12}$	5
р.ц. 6	$Z_{14} = A_{12} + \underline{A}_{14} - A_9 - A_{13}$	6
р.ц. 7	$Z_{10} = \underline{A}_8 - A_{10}$	7
р.ц. 8	$Z_8 = \underline{A}_5 - A_8$	8
р.ц. 9	$Z_9 = A_6 + A_9 - \underline{A}_7 - A_8$	9
р.ц. 10	$Z_6 = \underline{A}_4 - A_6$	10
р.ц. 11	$Z_{11} = \underline{A}_5 + A_8 - A_{11}$	11
р.ц. 12	$Z_4 = \underline{A}_3 - A_4$	12
р.ц. 13	$Z_7 = A_4 + A_7 - \underline{A}_2 - A_6$	13
р.ц. 14	$Z_5 = \underline{A}_1 + A_3 - A_4 - A_5$	14
р.ц. 14а	$Z_5 = \underline{A}_1' - A_4 - A_5$	14

на. Но для обеспечения исходного (замыкающего) звена в заданных чертежом или техническими требованиями пределах в каждой технологической цепи можно изменять (подбирать, регулировать) только один составляющий размер. Условимся называть его настроечным составляющим звеном цепи. Остальные составляющие звенья данной цепи определялись ранее из такого же условия, и при решении данной цепи их величину изменять уже нельзя. Например, в цепи р.ц. 3 настроечным звеном является размер A_{12} , изменяя его (подбирая, рассчитывая) можно обеспечить требуемую величину замыкающего звена - припуска Z_{13} . В других цепях (р.ц.4, р.ц.5, р.ц.6) этот размер уже является заданным, известным, изменять его нельзя. Настроечное звено является в то же время единственным размером, который необходимо определить при расчете

данной цепи. Такие искомые размеры обозначены подчеркиванием на контурах и в уравнениях замыкающего звена размерных цепей.

Введение понятия настроечного звена облегчает решение задачи по выявлению и построению технологических размерных цепей и условий расчета каждого операционного размера. Решив вопрос – на что влияет данный операционный размер (т.е. по отношению к какому чертежному размеру или припуску он является настроечным звеном) – уже нетрудно будет выявить и построить размерную цепь, выбрать вариант и способ расчета. Так, операционный размер A_7 (см. рис. I6 и I7a) влияет на припуск Z_g ; его будем определять, построив размерную цепь р.ц.9 (см. рис. I7б) относительно замыкающего звена – припуска Z_g .

Следующим этапом является расчет операционных размеров на основе решения технологических размерных цепей. Он является наиболее трудоемким и ответственным, выполнение его можно организовать по разному. Можно, например, брать размерные цепи в упорядоченной последовательности, решать от начала и до конца одну цепь (определять по таблицам допуск на искомый операционный размер, определять Z_{imin} , составлять уравнение предельных значений замыкающего звена и т.д.), а затем повторять это все для последующих размерных цепей. При этом неизбежны многократные обращения к справочникам, поиски таблиц и т.д. Ниже налагается более рациональная организация вычислительной работы.

3.2.3 Определение допусков на операционные размеры и припусков на обработку

Ход этой работы и ее результат целесообразно выполнять в форме таблицы по образцу табл. 3. Сначала в нее вписывают все операции технологического процесса, в которых обрабатываются торцы и плоскости данного координатного направления, включая и операции термообработки (колонка 2). Порядок записи операций – с конца к началу технологического процесса. Затем с операционных эскизов технологического процесса (см. рис. I6) вписываются операционные размеры, их обозначения (колонка 3) и номинальные (колонка 4) значения. Последнее необходимо для установления интервала размеров при определении допуска, поэтому значения размеров могут быть не очень точными. Затем в колонку 5 вписываются обозначения операционных допусков T_i , а в колонку 8 с размерной схемы вписываются обозначения операционных припусков. В соответствии с рекомендациями по выбору операционных допусков (см. п.2.1) и пользуясь табл. П2, назначаем для каждого операционного размера квалитет (или класс точности) для выбора величины операционного допуска.

Установленные квалитеты заносятся в колонку 6 табл. 3. Теперь по найденным ранее номиналам размеров и квалитетам определяем числен-

Т а б л и ц а 3

Операционные допуски и припуски на обработку деталей
по технологическому процессу (рис. 16)

№ операции	Наименование операции	Размер A_i		Допуск T_i			Припуск Z_{imin}	
		индекс	номинальное значение	индекс	квалитет	величина	индекс	величина
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	Шлифование торца 5, однократное	A_{13}	8	T_{13}	9	-0,035	Z_{13}	0,3
	торца 7, однократное	A_{14}	44	T_{14}	9	+0,062	Z_{14}	0,3
7	Шлифование торца 3, однократное	A_{12}	8	T_{12}	10	-0,058	Z_{12}	0,3
6	Термообработка	-		-		-	-	-
5	Чистовое обтачивание торца 3	A_{10}	9	T_{10}	II	-0,09	Z_{10}	0,55
	торца I	A_{11}	49	T_{11}	II	-0,16	Z_{11}	0,55
4	Чистовое обтачивание торца 5	A_8	9	T_8	II	-0,15	Z_8	0,55
	торца 7	A_9	45	T_9	II	+0,16	Z_9	0,55
3	Черновое обтачивание торца 5	A_6	10	T_6	13	-0,27	Z_6	1,0
	торца 7	A_7	44	T_7	12	+0,25	Z_7	1,0
2	Черновое обтачивание торца 3	A_4	10	T_4	14	-0,43	Z_4	1,2
	торца I	A_5	41	T_5	13	-0,39	Z_5	1,2
I	Штамповка	A_1	4I	Δ_{B1}		+0,5	-	-
				Δ_{H1}		-1,0		
		A_2	44	Δ_{B2}		+0,5	-	-
				Δ_{H2}		-1,0		
		A_3	12	Δ_{B3}		+2,5	-	-
		Δ_{H3}		-1,0				
	A'_1	53	Δ'_{B1}		+2,5	-	-	
			Δ'_{H1}		-1,0			

ные значения допусков и заносим их в колонку 7 табл. 3. При этом можно использовать табл. П.3 или таблицы допусков в справочниках. Для размеров заготовки A_1 , A_2 и A_3 необходимо определить предельные отклонения. Это можно выполнить по таблицам ОСТ 1.41188-78 или по извлечениям из них, приведенным в табл. П.4, П.5. Отметим, что если заготовкой детали является отливка, то отклонения на ее размеры следует выбирать по табл. П.6. В заключение по табл. П.9-П.21 или по другим справочным данным определяется величина Z_{imin} для каждой операции и перехода и записывается в колонку 9 табл. 3. Отметим, что наряду с нормативным, для определения Z_{imin} можно использовать позиционный метод расчета по уравнению $Z_{imin} = (R_z + T_g + \Delta\varphi)_{i-1}$.

В качестве замыкающего (исходного) звена технологической размерной цепи может быть: припуск на механическую обработку, чертежный размер, непосредственно не выдерживаемый при обработке, размер глубины термоупрочненного (цементированного, азотированного и т.п.) слоя. Расчет операционных размеров в каждом из указанных случаев имеет свои особенности, поэтому есть необходимость рассмотреть методику решения задачи для каждого расчетного случая отдельно.

3.2.4. Определение линейного размера из условия обеспечения чертежного размера, непосредственно не выполняемого при обработке

Методику и последовательность решения этого варианта проектной задачи рассмотрим на примере определения операционного размера A_{II} для технологического процесса на рис. 16. Размерная цепь р.ц.4 (см. рис. 17б), в которой этот размер является настроечным, в табл. 2 имеет порядковый номер решения 4, т.е. к этому времени размерные цепи р.ц. 1, р.ц. 2 и р.ц. 3 должны быть уже решены и размерно-точностные параметры размеров A_{I3} , A_{I4} и A_{I2} должны быть рассчитаны. Операционный размер A_{II} будем определять из условия обеспечения непосредственно не выдерживаемого при обработке чертежного размера KPI . Действительно, сопоставляя по размерной схеме чертежные и операционные размеры (см. рис. 17а), убеждаемся, что операционного размера, прямо соответствующего чертежному KPI , в технологическом процессе нет. Приведенное выше условие определения размера A_{II} можно уточнить так: предельные значения или номинал и предельные отклонения размера A_{II} должны быть такими, чтобы, выполнив их при обработке, обеспечить чертежный размер $KPI = 4I \pm 0,4$ в заданных пределах. Проектную задачу такого типа решают в определенной последовательности, нарушение которой приводит к грубым ошибкам. При условии, что допуски

на операционные размеры в соответствии с методом обработки уже назначены, первым шагом решения задачи будет проверка выполнения правила суммирования допусков - уравнения (2), которое применительно к решению данной задачи может быть представлено неравенством

$$\sum_{m+n} T_i \leq T_{\Delta}, \quad (57)$$

т.е. сумма допусков составляющих размеров цепи должна быть меньше или равна допуску замыкающего звена (чертежного размера). Уравнение замыкающего звена цепи р.д.4

$$A_{\Delta} = KpI = A_{I1} - A_{I2}.$$

Проверим выполнение условия (57) для нашей цепи. Ранее были назначены допуски (табл. 3): $T_{I1}=0,16$ мм, $T_{I2}=0,058$ мм, по чертежу $T_{\Delta} = 0,8$ мм, тогда $\sum_{m+n} T_i = 0,16 + 0,058 = 0,218 < T_{\Delta} = 0,8$ мм.

При выполнении неравенства задача решается до конца, если неравенство (57) не выполняется - необходимо уменьшить допуски на составляющие звенья цепи на I-2 качества, либо, если это невозможно, - перестроить технологический процесс с сокращением числа звеньев цепи, вплоть до выдерживания чертежного размера непосредственно. В нашем примере неравенство (57) выполняется. Для дальнейшего решения задачи примем способ предельных значений. Тогда следующим шагом решения будет составление уравнения предельных значений замыкающего звена. В соответствии с уравнениями (3) и (4) (см.гл.I):

$$A_{\Delta max} = A_{I1 max} - A_{I2 min}, \quad (a)$$

$$A_{\Delta min} = A_{I1 min} - A_{I2 max}. \quad (б)$$

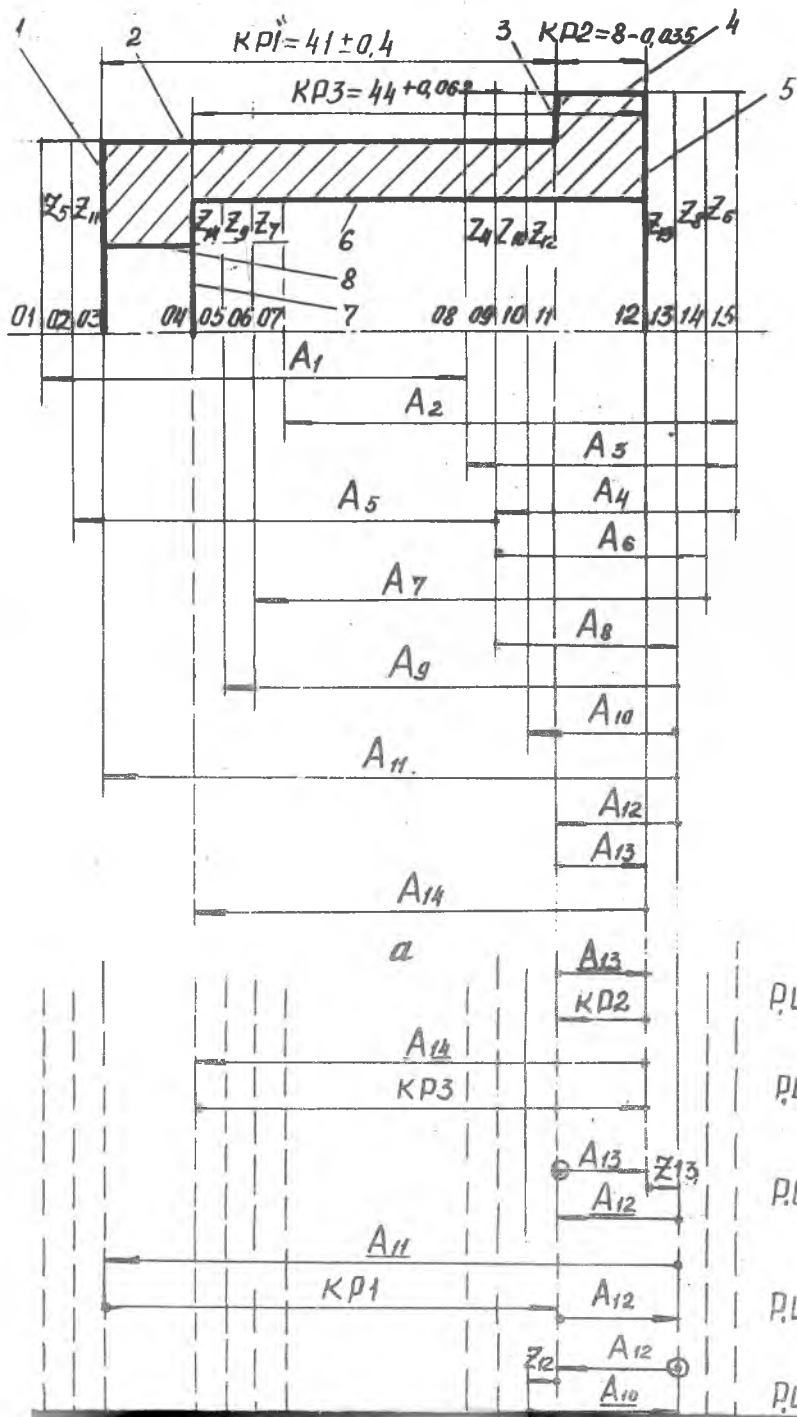
Разрешаем эти уравнения относительно искомого составляющего размера A_{I1} .

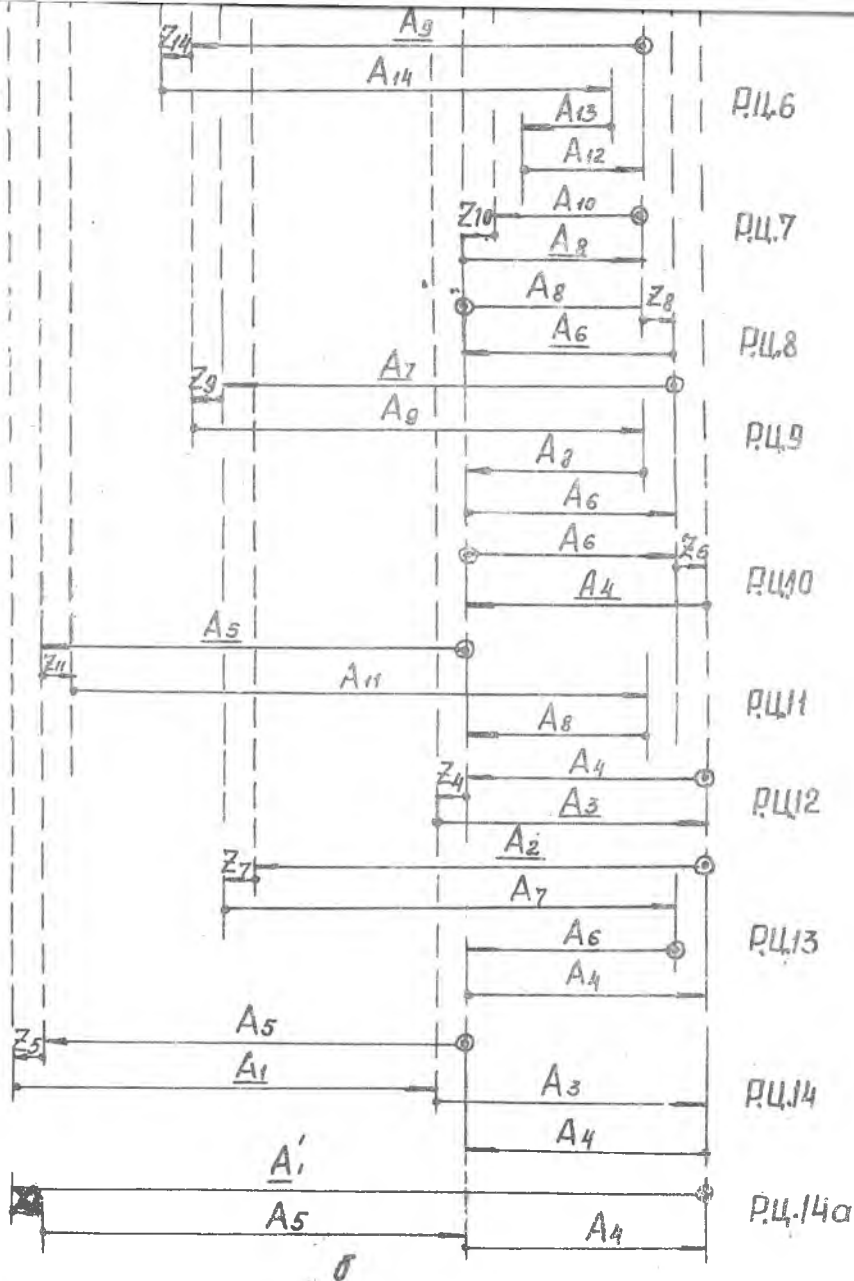
$$\text{Из уравнения (a)} \quad A_{I1 max} = A_{\Delta max} + A_{I2 min}, \quad (в)$$

$$\text{из уравнения (б)} \quad A_{I1 min} = A_{\Delta min} + A_{I2 max}. \quad (г)$$

Значения известных размеров

$$A_{\Delta} = KpI = 4I \pm 0,4, \quad A_{I2} = 8,4 - 0,058,$$





Р и с. 17. Размерная схема ПП обработки обоймы подшипника (а) и размерная цепь (б)

Тогда по уравнению (в) $A_{II\max} = 41,4 + 8,342 = 49,742$ мм,
 по уравнению (г) $A_{II\min} = 40,6 + 8,4 = 49,00$ мм.

Из анализа схемы выполнения размера A_{II} следует, что для него нужно принять систему вала (общее правило - поле допуска должно располагаться в металле - см. п. 2.1). Тогда, с учетом назначенного ранее допуска $T_{II} = 0,16$ и округляя номинальное значение, примем $A_{II} = 49,5 \pm 0,16$.

Из приведенной методики следует, что для получения уравнений предельных значений искомого размера $A_{II\max}$ и $A_{II\min}$ надо было сначала составить уравнения предельных значений замыкающего звена. Уравнения предельных значений искомого составляющего размера можно составить и непосредственно, если пользоваться следующими правилами:

Если искомый размер увеличивающий,

$$\bar{A}_{i\max} = A_{\Delta\max} + \sum_n \bar{A}_{i\min} - \sum_{m-1} \bar{A}_{i\max}, \quad (58)$$

$$\bar{A}_{i\min} = A_{\Delta\min} + \sum_n \bar{A}_{i\max} - \sum_{m-1} \bar{A}_{i\min}. \quad (59)$$

Если искомый размер уменьшающий,

$$\bar{A}_{i\max} = \sum_m \bar{A}_{i\min} - \sum_{n-1} \bar{A}_{i\max} - A_{\Delta\min}, \quad (60)$$

$$\bar{A}_{i\min} = \sum_m \bar{A}_{i\max} - \sum_{n-1} \bar{A}_{i\min} - A_{\Delta\max}. \quad (61)$$

Напомним, что \bar{A}_i и m - увеличивающие составляющие размеры и их количество в размерной цепи, а \bar{A}_i и n - уменьшающие размеры и их количество. Уравнения (58) - (61) выводятся из уравнений (3) и (4), они громоздки и трудны для запоминания. Некоторое сокращение работы, достигаемое при их использовании, не компенсирует увеличения риска допустить ошибку. В приведенном выше примере неравенство (57) выполнялось. Рассмотрим еще один случай, когда неравенство с первого раза не выполняется.

На рис. 18 приведен эскиз детали и размерная схема технологического процесса детали. Требуется определить операционные линейные размеры A_1 и A_2 . Сопоставляя чертежные и операционные размеры, устанавливаем, что $A_1 = 52 \pm 0,4 = 52,4_{-0,8}$ мм. Для обеспечения возможности обработки паза по настройке технолог вместо чертежного размера $10 \pm 0,4$ ввел операционный размер A_2 . Для определения этого размера построим и решим цепь (рис.18в). Как и в предыдущем примере, неизвест-

ный составляющий размер A_2 будем определять из условия обеспечения чертежного размера $A_\Delta = 10 \pm 0,4$ мм в заданных пределах. При решении задачи будем придерживаться указанной выше последовательности.

1. Составляем уравнение замыкающего размера

$$A_\Delta = A_1 - A_2$$

2. Определяем допуск, с которым должен быть выполнен искомый составляющий размер A_2 . Для этого используем уравнение

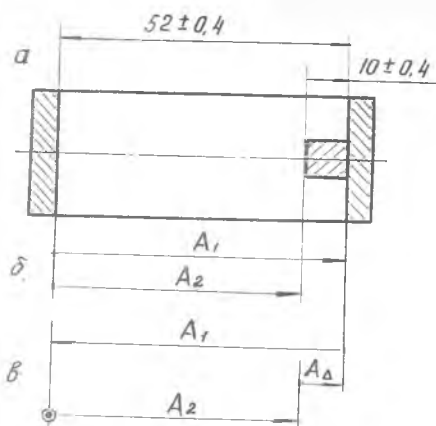
$$T_i = T_\Delta - \sum_{m=1}^{n-1} T_m \quad (62)$$

Уравнение (62) выводится из уравнения (2) $T_\Delta = \sum_{m=1}^n T_m$. Для нашего примера по уравнению (62)

$$T_2 = T_\Delta - T_1 = 0,8 - 0,8 = 0.$$

Таким образом, при допуске $T_1 = 0,8$ для размера A_2 допуска не остается. При решении предыдущего примера указывалось, что в таких случаях для изыскания допуска на определяемый размер необходимо уменьшить допуски на другие составляющие размеры цепи. Попробуем использовать эту рекомендацию. В рассматриваемой цепи "другим составляющим размером" является размер A_1 . Он получается путем отрезки детали на револьверном станке. Считая эту операцию черновой, экономическая точность которой соответствует 13 качеству, можно без удорожания стоимости обработки принять на размер A_1 допуск $T_1 = 0,46$, т.е. принять $A_1 = 52,4_{-0,46}$ мм. В этом случае по (62) допуск на искомый размер A_2 будет $T_2 = T_\Delta - T_1 = 0,8 - 0,46 = 0,34$ мм.

3. Проверяем соответствие найденного допуска экономической точности метода обработки, используемого при выполнении операции фрезерования паза. Считая ее черновой, экономическая точность которой 12 качество, можно размер A_2 выдерживать с допуском 0,25 мм. Таким образом, располагаемый допуск $0,34 > 0,25$ мм. Решая задачу дальше аналогично предыдущему примеру, получаем $A_2 = 42,3_{-0,25}$.



Р и с. 18. Эскиз детали (а), размерная схема ТП (б) и размерная цепь (в)

При корректировании допусков следует иметь в виду, что ужесточение допуска T_i до значения, соответствующего экономической точности используемого метода обработки $T_{ЭК}$, не приводит к увеличению стоимости операции. Но дальнейшее уменьшение допуска T_i до значений $T_i < T_{ЭК}$ уже влечет за собой увеличение времени на обработку и ее стоимости.

3.2.5. Определение операционных размеров из условия обеспечения минимально необходимого припуска на последующую обработку

Рассмотрим теперь методику решения и вывод расчетных уравнений для случая, когда замыкающим звеном является припуск. Кроме отдельных случаев, величина припуска регламентируется односторонне: требуется гарантировать только минимальное значение припуска $Z_{i \min}$ из расчета необходимости удаления при обработке дефектного слоя T_g и шероховатостей R_z , оставшихся от предшествующей ступени обработки. Другое, максимально возможное значение припуска, при необходимости может быть вычислено по методике проверочной задачи или по уравнению (28) $Z_{i \max} = Z_{i \min} + \sum_{m \neq i} T_i$.

Требуемую величину $Z_{i \min}$ можно определить по справочным данным /1,3,7 и др./ или по табл. П9-П21 или расчетом по уравнению (41). Значения R_z , T_g и ω_{φ} даны в табл. П7, П8.

Поскольку исходным для расчета является предельное (минимальное) значение замыкающего звена, то наиболее удобным для решения этого варианта проектной задачи является способ предельных значений. Приняв в уравнении (4) $A_{\Delta \min} = Z_{i \min}$, получим исходное расчетное уравнение

$$Z_{i \min} = \sum_m \bar{A}_{i \min} - \sum_n \bar{A}_{i \max} \quad (64)$$

Решая это уравнение относительно искомого составляющего размера (после подстановки или в общем виде), определяем одно значение этого размера: $\bar{A}_{i \min}$, если он увеличивающий, или $\bar{A}_{i \max}$, если искомый размер уменьшающий. Определив одно предельное значение искомого размера, выражаем операционный допуск на этот размер в соответствии с экономической точностью используемого метода обработки. Выбрав систему простановки допуска, можно рассчитать номинал замыкающего размера, пользуясь соотношениями соответственно для вала и отверстия

$$A_i = A_{i \min} - \Delta_{H_i} \quad (65)$$

$$A_i = A_{i \max} - \Delta_{B_i} \quad (66)$$

Применение изложенной методики рассмотрим на примерах определения операционных размеров A_9, A_2 и A_7 (см. рис. 176).

Определение размера A_9 . Размер A_9 является наст. оечным звеном в размерной цепи р.ц.6, его следует определять из условия обеспечения минимально необходимого припуска Z_{14min} на шлифование торца 7. Ранее было установлено уравнение замыкающего звена р.ц.6 (см. табл. 2)

$$Z_{14} = A_{12} + A_{14} - A_9 - A_{13} \quad (a)$$

В соответствии с уравнением (64)

$$Z_{14min} = A_{12min} + A_{14min} - A_{9max} - A_{13max} \quad (б)$$

Решая это уравнение относительно искомого размера A_9 , получаем

$$A_{9max} = A_{12min} + A_{14min} - A_{13max} - Z_{14min} \quad (в)$$

Значение Z_{14min} (припуск на шлифование после чистового точения и термообработки) $Z_{14min} = 0,3$ и допуск на A_9 : $T_9 = 0,16$ были назначены ранее (см. табл. 3). Ко времени решения р.ц.6 уже известны $A_{12} = 8,4_{-0,058}$, $A_{14} = 44_{+0,062}$ и $A_{13} = 8,0_{-0,035}$. Подставляя в (в) значение членов уравнения, получаем:

$$A_{9max} = 8,342 + 44,0 - 8,0 - 0,3 = 44,042 \text{ мм.}$$

Для размера A_9 допуск должен проставляться по системе отверстий. Тогда

$$A_9 = A_{9min} = A_{9max} - T_9 = 44,042 - 0,16 = 43,882.$$

Округляя в сторону увеличения припуска, принимаем $A_9 = 43,8_{+0,16}$. Аналогично, решая размерные цепи р.ц.7..., р.ц.12, определяем $A_8 = 9,50_{-0,15}$, $A_6 = 10,3_{-0,27}$, $A_7 = 43,5_{+0,25}$, $A_4 = 11,7_{-0,43}$, $A_5 = 41,1_{-0,39}$, $A_3 = 13,9_{-1,0}$.

Определение размера A_2 . Размер A_2 является настроечным в цепи р.ц. I3, его следует определять из условия обеспечения минимально необходимого значения припуска Z_{7min} на черновую обработку торца 7.

Ранее были назначены $Z_{7min} = 1$ мм и предельные отклонения для размера A_2 : $\Delta_{B2} = +0,5$ и $\Delta_{H2} = -1,0$ (см. табл. 4). Уравнение замыкающего звена р.ц. I3

$$Z_7 = A_4 + A_7 - A_2 - A_6 \quad (a)$$

В соответствии с уравнением (64)

$$Z_{7min} = A_{4min} + A_{7min} - A_{2max} - A_{6max} \quad (б)$$

Разрешая его относительно A_2 , получаем

$$A_{2max} = A_{4min} + A_{7min} - A_{6max} - Z_{7min} \quad (в)$$

Подставляя в (в) известные значения членов уравнения, получаем

$$A_{2max} = 11,27 + 43,5 - 10,3 - 1,0 = 43,47 \text{ мм.}$$

По уравнению (66) (система отверстия) вычислим номинал размера

$$A_2 = A_{2max} - \Delta_{B2} = 43,47 - 0,5 = 42,97.$$

Принимаем $A_2 = 43^{+0,5}_{-1,0}$.

Рассмотрим в заключение определение размера A_1 , имеющее определенные особенности. Размер A_1 является настроечным звеном в размерной цепи р.ц. I4, его нужно определять из условия обеспечения минимально необходимого значения Z_5 на черновую обработку торца I. Уравнение замыкающего звена р.ц. I4

$$Z_5 = A_1 + A_3 - A_4 - A_5 \quad (a)$$

Анализ уравнения (а) показывает, что в его составе имеются два линейных размера заготовки - A_1 и A_3 . В работах [1,2] показано, что если в технологическую размерную цепь входит 2 и более линейных размеров штампованной заготовки, то можно и нужно заменить их одним расчетным размером. С учетом этого заменяем размер A_1 на A'_1 , который

по своему значению равен $A'_1 = A_1 + A_3$. Тогда размерная цепь р.ц. I4, где припуск Z_5 является замыкающим звеном, должна быть заменена размерной цепью р.ц. I4а (см. рис. I76). Уравнение замыкающего звена этой цепи

$$Z_5 = A'_1 - A_5 - A_4. \quad (a)$$

По уравнению (64) $Z_{5min} = A'_{1min} - A_{5max} - A_{2max}$.

Откуда искомый размер A'_1

$$A'_{1min} = Z_{5min} + A_{5max} + A_{4max}. \quad (б)$$

Ранее были определены $Z_{5min} = 1,2 \text{ мм}$, $A_5 = 41,1_{-0,39}$, $A_4 = 11,7_{-0,43}$. Тогда, подставляя в (б) известные члены уравнения, получаем

$$A'_{1min} = 1,2 + 41,1 + 11,7 = 54,0 \text{ мм}.$$

Ранее были назначены предельные отклонения A_1 : $\Delta_{B1} = +2,5$ и $\Delta_{H1} = -1,0$. Тогда, в соответствии с уравнением (65) (система вала),

$$A'_1 = A'_{1min} - \Delta_{H1} = 54,0 - (-1,0) = 55,0.$$

Принимаем $A'_1 = 55,0^{+2,5}_{-1,0}$.

Если замена размеров заготовки A_1 , A_2 и A_5 системой размеров A'_1 , A_2 и A_3 нежелательна для заготовительного цеха, то можно оставить систему размеров A_1 , A_2 , A_3 . При этом значение A_1 можно будет вычислить по номиналам: $A_1 = A'_1 - A_3 = 55 - 13,9 = 41,1 \text{ мм}$, а с учетом принятых предельных отклонений $A_1 = 41,1^{+2,5}_{-1,0}$.

3.2.6. Определение операционных размеров из условия обеспечения глубины термоупрочняемого слоя на плоских поверхностях

Вследствие возникающих при термообработке искажений формы и размеров окончательную механическую обработку рабочих поверхностей термоупрочняемых деталей производят, как правило, после химико-термической обработки. При этом заданная по чертежу глубина термоупрочняемого слоя будет обеспечиваться не непосредственно, а косвенно, через размеры механической обработки. В связи с этим задачу определения операционных размеров на обработку термоупрочняемых поверхнос-

тей нужно решать аналогично задаче расчета размеров из условия обеспечения непосредственно не выполняемых чертежных размеров (см. предыдущие примеры). Но в рассматриваемой задаче есть особенности, заключающиеся в том, что технологические размерные цепи, которые должны быть решены для определения линейных операционных размеров и глубины термоупрочнения, имеют тесную параллельную связь.

В связи с наличием параллельной связи цепей допуски на операционные размеры следует определять на основе решения системы параллельно связанных размерных цепей. Только путем совместного решения системы цепей можно одновременно выполнить два условия: обеспечить возможность удаления шероховатостей и дефектного слоя и заданную чертежом глубину термоупрочняемого слоя на поверхности готовой детали. Первое условие выполняется при выборе $Z_{min} = R_z + T_a + \omega \varphi$, второе - при выборе допусков на соответствующие звенья цепи по уравнению $\sum_{i=1}^n T_i \leq T_k$, где T_k - чертежный (конструкторский) допуск на глубину термоупрочняемого слоя.

Методику решения задач такого типа рассмотрим на следующем примере. На рис. 19а приведен эскиз детали. Как следует из размерной схемы обработки (рис. 19б), торцы 1 и 2 детали подвергаются чистовой подрезке, цементации и шлифованию. Требуется определить операционные размеры A_1 , A_4 и A_6 механической обработки, а также технологическую глубину цементации A_{T2} и A_{T3} торцов.

Сопоставляя на размерной схеме чертежные и операционные размеры, устанавливаем, что чертежный размер $32 \pm 0,17 = A_5$. Заданные же конструктором на чертеже глубины цементированного слоя $A_{K6} = A_{K7} = 0,5 \pm 0,08$ мм выполняются косвенно. Анализ размерной связи показывает, что размер A_4 является настроечным звеном по отношению к припуску Z_2 , размер A_1 - к припуску Z_1 , размер A_{T2} - к глубине цементированного слоя A_{K6} , размер A_{T3} - к глубине слоя A_{K7} . Исходя из этого, строят размерные цепи 1, 2, 3 и 4 (рис. 19в). Уравнения замыкающих звеньев

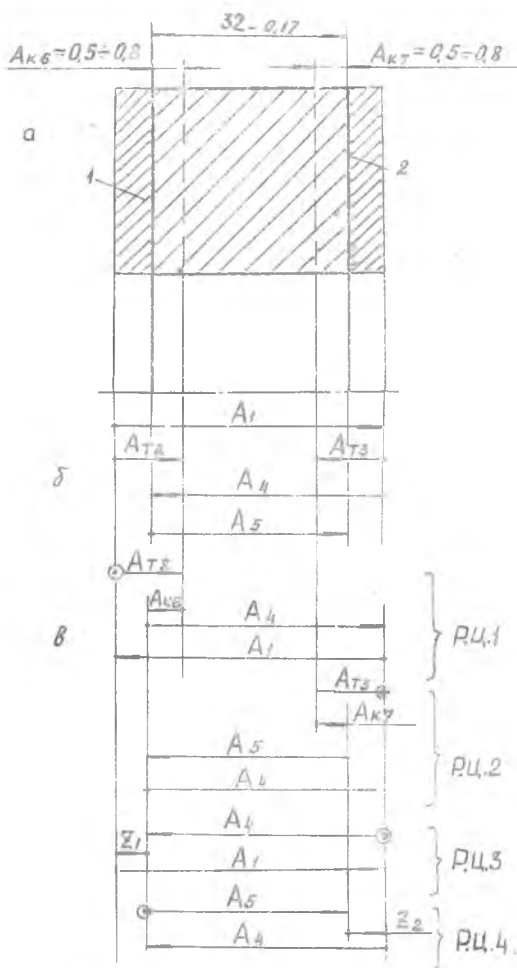
$$\text{для цепи 1} \quad A_{K6} = A_{T2} + A_4 - A_1,$$

$$\text{для цепи 2} \quad A_{K7} = A_{T3} + A_5 - A_4,$$

$$\text{для цепи 3} \quad Z_1 = A_1 - A_4,$$

$$\text{для цепи 4} \quad Z_2 = A_4 - A_5.$$

На рис. 19в все размерные цепи показаны отдельно, но анализ их состава, а также состава их уравнений, показывает, что они имеют многократную параллельную связь: размер A_4 является общим для це-



Р и с. 19. Эскиз детали (а), размерная схема технологического процесса (б) и размерные цепи (в): A_1 - шлифование до цементации; A_{T2} и A_{T3} - цементация; A_4 и A_5 - шлифование после цементации

пей 1, 2, 3 и 4, размер A_1 — для цепей 1 и 3, размер A_5 — для цепей 2 и 4. Поэтому допуски на составляющие размеры не могут быть определены на основании решения "своей" цепи, они должны быть рассчитаны с учетом параллельной связи размерных цепей.

Поскольку двусторонне регламентированными исходными звеньями являются размеры A_{K6} и A_{K7} , то допуски на все операционные размеры нужно определить по условию (57) $\sum_{min} T_i \leq T_{\Delta}$ для этих цепей:

$$\text{для цепи 1} \quad T_2 + T_4 + T_1 \leq T_6 = 0,3;$$

$$\text{для цепи 2} \quad T_3 + T_5 + T_4 \leq T_7 = 0,3.$$

Размеры A_{T2} и A_{T3} выполняются при химико-термической обработке, являющейся грубой по точности операцией. Поэтому допуски на эти размеры принимаем $T_2 = T_3 = 0,2$ мм, тогда

$$0,2 + T_4 + T_1 = 0,3 \text{ мм}, \quad T_4 + T_1 = 0,1 \text{ мм},$$

$$0,2 + T_5 + T_4 = 0,3 \text{ мм}, \quad T_4 + T_5 = 0,1 \text{ мм}.$$

Принимая для размеров A_1, A_4 и A_5 одинаковый уровень точности, получим $T_1 = T_4 = T_5 = 0,05$. Эти допуски соответствуют 3-му классу точности, они выполнимы при шлифовании.

Теперь можно приступить к расчету всех операционных размеров. Размер $A_5 = 32_{-0,05}$ мм. Размер A_4 определим при решении размерной цепи 4, исходя из условия обеспечения минимально необходимой величины припуска Z_2 . С учетом уравнения для цепи 4, уравнение минимального значения замыкающего размера $Z_{2min} = A_{4min} - A_{5max}$; откуда $A_{4min} = Z_{2min} + A_{5max}$. Принимая $Z_{2min} = R_2 + T_9 + \omega_0 = 0,2$ мм, получим $A_{4min} = 0,2 + 32 = 32,2$ мм. Размер A_4 необходимо задавать в системе вала. Тогда $A_4 = A_{4min} + T_4 = 32,2 + 0,05 = 32,25$ мм. Принимаем $A_4 = 32,25_{-0,05}$ мм.

Аналогично решая размерную цепь 3, определяем операционный размер A_1 из условия обеспечения минимально необходимого значения припуска Z_1 ; $A_1 = 32,5_{-0,05}$ мм.

Решая размерную цепь 2, определим операционный размер A_{T3} , исходя из условия обеспечения заданного по чертежу, но непосредственно не выдерживаемого размера $A_{K7} = 0,5 + 0,8$. Уравнение этой размерной цепи и уравнение замыкающего размера были составлены ранее. В соответствии с уравнениями (3) и (4) получим уравнения предельных значений замыкающего звена

$$A_{K7max} = A_{T3max} + A_{5max} - A_{4min},$$

$$A_{K7min} = A_{T3min} + A_{5min} - A_{4max}.$$

Решая их относительно искомого размера A_{T3} , получим

$$A_{T3max} = A_{K1max} + A_{4min} - A_{5max} = 0,8 + 32,2 - 32 = 1,0 \text{ мм},$$

$$A_{T3min} = A_{K1min} + A_{4max} - A_{5min} = 0,5 + 32,25 - 31,95 = 0,8 \text{ мм}.$$

Таким образом, $A_{T3} = 0,8 \div 1,0$ (или $0,8^{+0,2}$ мм).

Аналогично решая размерную цепь I, определим операционный размер A_{T2} , исходя из условия обеспечения заданной по чертежу глубины цементированного слоя на поверхности I: $A_{T2} = 0,8 \div 1,0$ мм.

В изложении выше примере задача расчета допусков, припусков и размеров решалась с чисто геометрических позиций. Может показаться поэтому, что абсолютная величина снимаемого при обработке резанием термоупрочняемого слоя не имеет никакого значения, и важно только обеспечить колебание слоя на поверхности готовой детали в пределах, оговоренных на чертеже. В рассмотренном примере заданная по чертежу глубина термоупрочняемого слоя $0,5 \div 0,8$ мм обеспечивается при $Z_{min} = 0,2$ мм и цементации на глубину $0,8-1,0$ мм. С геометрической точки зрения равнозначными будут и другие варианты решения задачи, например, при $Z_{min} = 1,0$ мм и цементации на глубину $1,6-1,8$ мм. Но с физической точки зрения эти варианты совершенно неравнозначны. С увеличением Z_{min} твердость термоупрочняемого слоя на поверхности готовой детали будет уменьшаться. Кроме того, увеличение глубины термоупрочнения A_T связано со значительным увеличением времени и стоимости этой операции. В связи с этим необходимо стремиться к возможно меньшим значениям Z_{min} .

4.1. Информационное обеспечение автоматизированного расчета размеров

Всякая система (подсистема) автоматизированного проектирования (расчета) может функционировать при наличии пакета прикладных программ и нормативно-справочной информации, которую принято называть условно-постоянной информацией.

4.1.1. Подготовка нормативно-справочной информации (НСИ)

Для решения задачи расчета припусков, линейных операционных размеров и допусков на них необходима следующая НСИ:

1. Наименование и коды методов обработки и их среднеэкономическая точность в качествах (классах точности).
2. Таблицы допусков ГОСТ, СТ СЭВ для выбора операционных допусков.
3. Таблицы допусков ОСТ (пределных отклонений) на размеры заготовок.
4. Таблицы минимальных припусков на основные виды механической обработки.
5. Таблицы кодов материалов.

Перечисленная и другая информация представляется в виде, удобном для машинного размерного анализа (в форме информационно-логических таблиц) и вводится в оперативную память ЭВМ к моменту построения и расчета размерных цепей.

4.1.2. Подготовка и кодирование исходной информации

Для непосредственного решения задачи, т.е. для машинного расчета операционных припусков, размеров и допусков на них, необходимо ввести в оперативную память ЭВМ переменную информацию. Исходная (переменная) информация содержит данные чертежа детали, последовательности обработки и схемы координирования поверхностей. Она представ-

ляется в форме карты исходной информации (КИИ), содержание которой после заполнения и контроля переносится на стандартные перфокарты. КИИ (рис. 20) состоит из семи зон.

Зона I содержит данные об исполнителях и проверяющих работу, код группы материала детали, количество линейных и диаметральных чертежных размеров, количество линейных операционных размеров и коды поверхностей на заготовке. Здесь необходимо пояснить заполнение кодов поверхностей на заготовке. Если линия разреза штампов параллельна линейным операционным размерам, то позиции 60...80 не заполняются. В случае, если линия разреза перпендикулярна оси заготовки, то в позициях 60...70 указываются коды поверхностей, расположенных в левой половине штампа, а в позициях 71...80 коды поверхностей, расположенных в правой половине. На код каждой поверхности отведено по две позиции. В КИИ на рис. 20 показаны коды торцовых поверхностей заготовки, приведенной на рис. 21. Код материала выбирается следующим образом. Материал чугуна имеет код 1, цветные сплавы - 2, титановые сплавы - 3, сталь конструкционная низколегированная - 4, сталь высоколегированная и жаропрочная - 5. Количество линейных и диаметральных размеров берется из чертежа детали, а количество операционных размеров - из плана операций.

В зоне II содержатся сведения о конструкторских линейных размерах. Для записи кода границ этих размеров отведено по 2 позиции. Если код границы содержит один знак, то он заполняется во второй позиции, а первая остается незаполненной. В зоне II КИИ (см. рис. 20) показаны коды границ размеров детали по рис. 15. Номинальное значение каждого размера (зона II) записывается в пяти позициях, причем, первые три позиции (5...7) отведены для целой части числа, а две последующие - для дробной. Если целая часть числа состоит из двухзначного числа, то не заполняется 5 позиция, если из однозначного - не заполняются 5 и 6 позиции. Отсутствующие цифры дробной части числа размера заполняются нулями.

Для записи верхнего и нижнего отклонений отведено по 5 позиций. Первые позиции (10 и 15) отводятся для записи знака отклонения, причем, записывается только знак минус " - ". Для целой части числа отведены позиции 11 и 16. Если целой части числа нет, то в соответствующей позиции ставится нуль. Отсутствующие элементы дробной части отклонений заполняются нулями. Если размер не содержит верхнего или нижнего отклонения, то последняя позиция, отведенная для соответствующего отклонения, заполняется ϕ .

Карта исходной информации для расчета размерных цепей на ЭВМ

Ф И О СТУДЕНТА		Ф И О ПРЕПОДАВАТЕЛЯ		Дата расчета	№ Вар	Код матер.	Качеств.	Качеств.	Качеств.	Коды элементов на заготовке																																																																															
										В левой полой выне шланга																																																																															
										В правой полой выне шланга																																																																															
Имя	И. П.	Имя	И. П.	12.01.16.85	1	4	3	4/1/4	1	3	2	4																																																																													
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80																																																		
Линейные конст.		Р-ры		Д и д метральные констр.		Р-ры		Носимые		Биен		Коды конст.		Коды и размеры		Связи по маршруту																																																																									
Код троник		Верхн. отклон.		Нижн. отклон.		Номин. знач.		Носимые		Биен		Коды конст.		Коды и размеры		Связи по маршруту																																																																									
Код звочек		Верхн. отклон.		Нижн. отклон.		Номин. знач.		Носимые		Биен		Коды конст.		Коды и размеры		Связи по маршруту																																																																									
Код звочек		Верхн. отклон.		Нижн. отклон.		Номин. знач.		Носимые		Биен		Коды конст.		Коды и размеры		Связи по маршруту																																																																									
1	3	4	100	400	0	0	12	18	500	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
2	4	4	400	0	0	12	18	500	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
3	4	8	0	0	0	12	18	500	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
4	1	1	0	0	0	12	18	500	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	

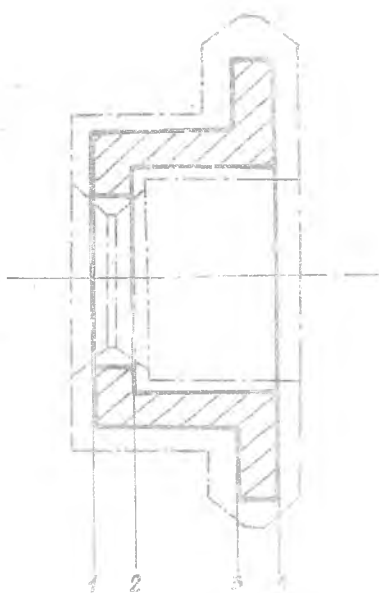
Р и с. 20. Карта исходной информации (образец заполнения)

Зона III предназначена для занесения информации о диаметральном конструкторском размере. Она необходима для расчета диаметральных операционных размеров, а также для определения габаритов торцов при поэлементном расчете минимальных припусков. В зависимости от размера диаметра торца выбирается составляющая припуска — неконтролируемая погрешность формы $\Delta\varphi$. На рис. 22 приведена схема, поясняющая принцип определения габаритов торцов.

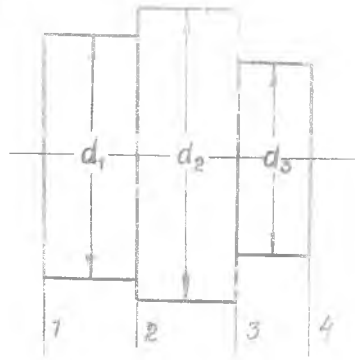
Диаметры d_1 , d_2 и d_3 являются габаритными для торцов I, 2 и 4, соответственно. Поэтому для расчета линейных операционных размеров заполняются позиции 46 и 47, в которых указываются номера (коды) торцов для соответствующих диаметральных размеров. Если для какого-то торца нет указаний (т.е. не заполнены позиции 46 и 47), то за габаритный принимается максимальный диаметр. В нашем примере для торца 3-габаритным будет диаметр d_3 .

Код самой диаметральной поверхности заполняется в позициях 20 и 21. Причем, если код поверхности однозначный, то заполняется только лишь позиция 21, а позиция 20 остается пустой.

Позиция 22 предназначена для размещения кода принадлежности размера к системам "вал" или "отверстие". Если размер относится к системе отверстия, то ему присваивается признак 1, если к системе вала — 2. Номинальные значения диаметральных размеров записываются с 25 по 29 позиции. Правила заполнения те же, что и для номинальных значений линейных размеров.



Р и с. 21. Кодирование поверхностей (1-4) заготовки



Р и с. 22. Схема к определению габаритных размеров торцов детали

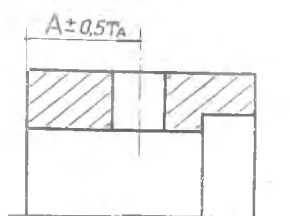
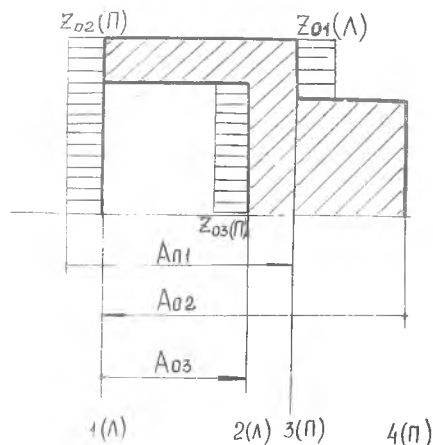
Зона \bar{V} содержит границы линейных операционных размеров. Первая строка зоны \bar{V} не заполняется. Позиции 55 и 56 предназначены для кода границы соответствующей обрабатываемой поверхности (ОП), а позиции 57 и 58 – исходной базы (ИБ). Если код границы состоит из одного знака, то допускается первую позицию соответствующего кода не заполнять.

Заполнение зоны \bar{IV} производится после \bar{V} зоны и только в тех строках, где расположены коды операционных размеров в зоне \bar{V} .

В графе "Принадлежность стороне" (поз.53) размещается буквенный код П либо Л. Если поверхности на чертеже детали находятся справа, то пишется код П, если слева, то Л (см.рис.23 ниже осевой линии).

Код, расположенный в графе "Направление снятия припуска Z " (поз.54), отражает направление снятия припуска при выдерживании размера, код границ которого размещен в той же строке зоны \bar{V} . Если припуск снимается справа налево (припуск Z_{01} на рис. 23), то заносится код Л, если слева направо, то заносится код П (припуски Z_{02} и Z_{03} на рис. 23).

Если обрабатывается отверстие с осью, перпендикулярной направлению линейных операционных размеров (рис.24), то позиция 54 не заполняется. Здесь необходимо заметить, что и сторона (П или Л) торца или плоскости и направление снятия припуска (влево Л или вправо П) определяются по размерной схеме (см.рис. 17).



Р и с. 24. Схема координирования оси отверстия

Р и с. 23. Схема к определению стороны торцов и направления съема припусков

Графа "Установочная база" (поз. 52) в первой строке зоны \bar{IV} содержит координату направления, по которому производится расчет операционных размеров (X либо Y , либо Z). В строках, лежащих ниже первой, буквой \bar{V} указывается признак установочной базы для той

поверхности, коды границ которой указаны в этой же строке зоны \bar{V} и которая, кроме исходной, выполняет и роль установочной базы.

Зона \bar{VI} необходима только для расчета диаметральных операционных размеров. Поэтому в данном случае не заполняется.

В зоне \bar{VII} размещаются коды этапов (методов) обработки, например: 2 - штамповка, 2I - черновое точение, I30 - термобработка, 22 - чистовое точение, 60 - чернское (однократное шлифование) и номера операционных размеров, расположенных в графе соответствующих кодов методов обработки, в которых выполняются операционные размеры, на строке, где расположены коды границ данных размеров зоны \bar{V} .

Например, при чистовом точении (код 22, см. рис. 20) выполняются операционные размеры A_8 , A_9 , A_{10} и A_{11} , границы которых 4-3, 2-4, 3-4 и 1-4, соответственно.

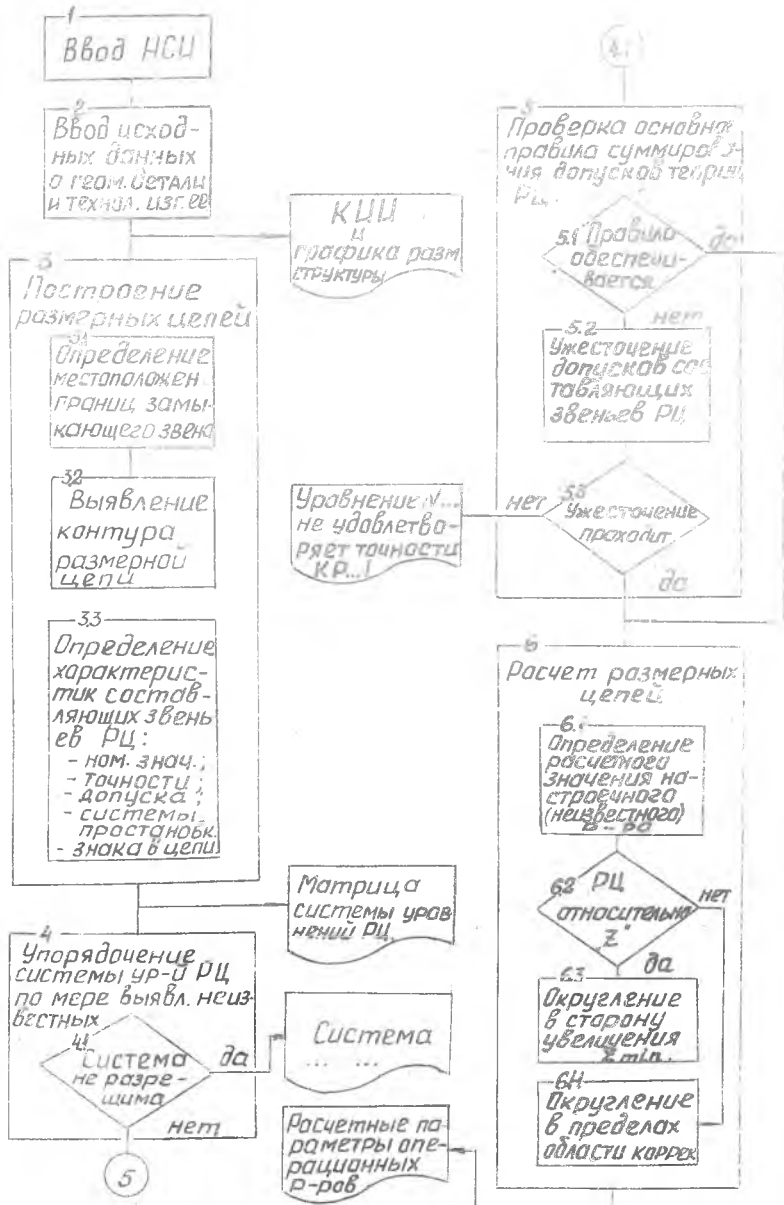
Коды этапов обработки располагаются в порядке следования технологического процесса и в первой строке зоны. На каждый код этапа отводится по три позиции. Заполнение кода начинается с последней позиции. Код номера операционного размера двузначный и располагается в описанном выше месте в первых двух позициях соответствующего кода этапа обработки. Для проверки правильности заполнения КИИ производится распечатка ее содержания.

4.2. Методика и алгоритмы машинного построения и расчета линейных размерных цепей

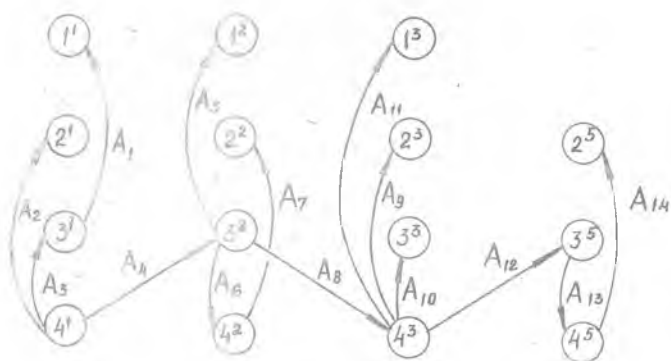
4.2.1. Построение размерных цепей

В основу программы построения и расчета размерных цепей на ЭВМ положен алгоритм, блок-схема которого приведена на рис. 25. Он состоит из ряда последовательно решаемых задач. Блоки 1 и 2 предусматривают ввод нормативно-справочной информации (НСИ), исходных данных о геометрии детали и технологическом процессе ее изготовления. Подготовка этой информации была рассмотрена в п.4.1. Работа следующих блоков требует пояснения.

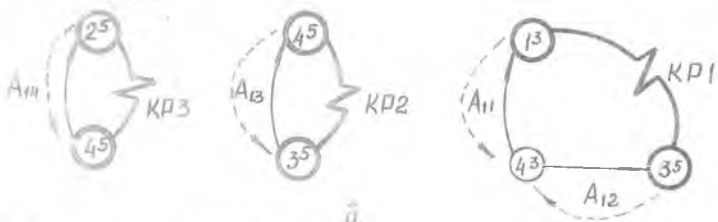
Формализация процесса построения размерных цепей основана на использовании теории графов. Размерную структуру технологического процесса можно представить в виде ориентированного графа $G_T(I_T, U_T)$, вершины I_T которого соответствуют поверхностям заготовки, а также поверхностям, получаемым на промежуточных и окончательных этапах обработки, а дуги U_T - линейным размерам заготовки и линейным операционным размерам. Граф $G_T(I_T, U_T)$ будем называть далее графом технологических линейных размеров. На рис. 26 приведен такой граф для технологичес-



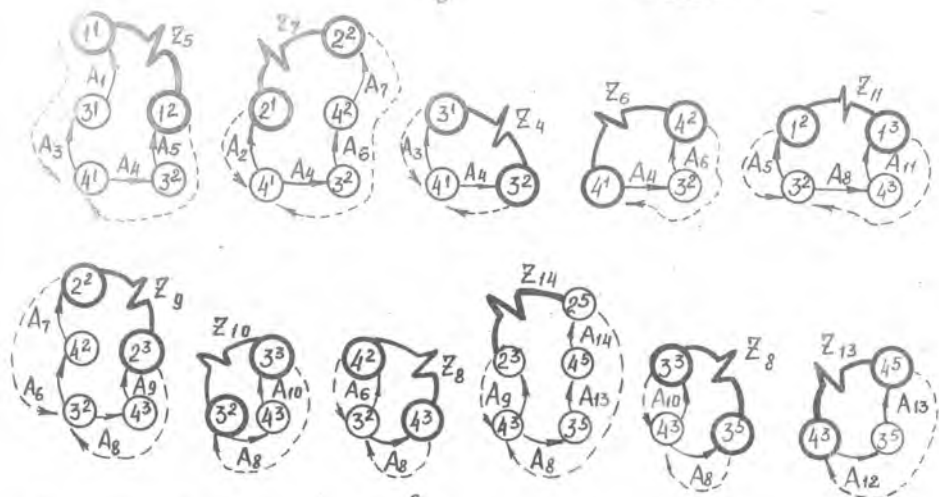
Р и с. 25. Укрупненная блок-схема алгоритма расчета линейных операционных размеров



а



б



в

Р и с. 26. Граф размерной структуры технологического процесса (а), представленного на рис. 16; (б) и (в) - размерные цепи

кого процесса детали "обойма подшипника" (см. рис. 16 и 17). При его построении приняты следующие обозначения:

поверхности на заготовке (1 этап): $1^1, 2^1, 3^1$ и 4^1 ;
после черновой обработки (2 этап): $1^2, 2^2, 3^2$ и 4^2 ;
после чистовой обработки (3 этап): $1^3, 2^3, 3^3$ и 4^3 ;
торнообработка (4 этап) - - - - -
поверхности после шлифования (5 этап): $2^5, 3^5$ и 4^5 .

Построение графа выполнялось с соблюдением следующих правил.

Размерная связь между этапами является направленной, т.е. должна отражаться на графе дугами, направленными от заготовки к готовой детали (размеры A_4, A_8, A_{12}).

Направленность дуг должна отражать принятую последовательность обработки поверхностей и принятых для их координации исходных баз, т.е. каждая дуга должна быть направлена от исходной базы к обрабатываемой поверхности.

В любую вершину должна входить одна (только одна!) дуга, включая и вершины - поверхности, получаемые на заготовительном этапе.

На заготовительном этапе существует одна вершина - черная база, в которую не входит ни одна дуга (поверхность 4^1 на рис. 26а).

Из вершины может исходить несколько дуг, если она принята за технологическую базу (поверхности $4^1, 3^2, 4^3$ на рис. 26а).

Размерная связь между I (заготовительным) этапом обработки и последующим должна осуществляться одним размером (размер A_4 на рис. 16, 17 и 26а), что соответствует основному правилу выбора черновых баз.

Процедура автоматизированного построения размерных цепей на графе G_T осуществляется в следующей последовательности.

1. Определение местоположения границ замыкающего звена (блок 3.1 на рис. 25). Если замыкающее звено - конструкторский размер, то границами его будут окончательные состояния поверхностей, которые связаны этим размером. Например, для конструкторского размера $KPI=4I+0,4$ (рис. 17 и 26а) такими поверхностями будут 1^3 и 3^5 и т.д. Если замыкающее звено - припуск, то границами его будут являться текущее и предшествующее состояние анализируемой обрабатываемой поверхности. Например, границами припуска Z_5 , удаляемого при черновой обработке поверхности I, будут поверхности (вершины) I^1 и I^2 (рис. 17 и 26в).

2. Выявление контура размерной цепи (блок 3.2). За начальную вершину при формировании контура размерной цепи следует принимать ту границу замыкающего звена (вершину), которая обрабатывается позже. Например, при формировании контура цепи относительно KPI (рис. 26б) за начальную следует принять вершину 3^5 , для размерной цепи относительно припуска Z_5 (см. рис. 26) - вершину I^2 и т.д.

3. Построение контура размерной цепи должно осуществляться против направления дуг от начальной к конечной вершине. Например, при построении контура размерной цепи относительно Z_7 (см. рис. 26в), выйдя из вершины 2^I , будем двигаться к вершине 4^2 (против направления дуги A_7), затем к вершине 3^2 (против направления дуги A_6), далее к вершине 4^I (против направления дуги A_4). Поскольку вершина 4^I не имеет входящей дуги, формирование контура цепи от вершины 2^2 на этом приостанавливается. Дальнейшее формирование должно производиться от другой вершины замыкающего звена, в нашем примере от вершины 2^I . Двигаясь от нее в направлении против входящей дуги A_2 , приходим к вершине 4^I , т.е. заканчиваем формирование контура цепи.

Принятым правилом формирования контура цепи – двигаться против направления входящих дуг (которых может быть только по одной у каждой вершины) – мы предупреждаем возможность образования тупиков и паразитных ветвей. На рис. 26б и в пунктирными линиями со стрелками показаны направления обхода контуров размерных цепей.

Полученный при построении контур размерной цепи может быть представлен в формализованном виде

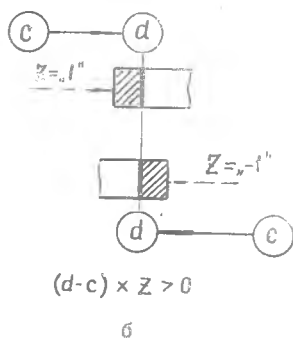
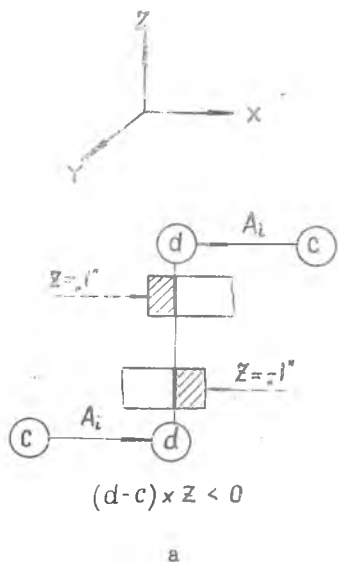
$$2^2 \xrightarrow{A_7} 4^2 \xleftarrow{A_6} 3^2 \xleftarrow{A_4} 4^I \xrightarrow{A_2} 2^I \xleftrightarrow{Z_7} 2^2$$

и в векторной форме

$$\vec{A}_7 + \vec{A}_6 + \vec{A}_4 + \vec{A}_2 + \vec{Z}_7 = 0.$$

После построения размерных цепей для каждого составляющего звена (операционного размера) определяются (блок 3.3 на рис. 25): приближенное номинальное значение размера; точность в квалитетах с учетом принятого метода обработки и на основе состояния исходной базы и обрабатываемой поверхности; операционный допуск; система простановки операционного допуска (рис. 27); качество составляющего звена (знак звена в уравнении замыкающего звена); для размерных цепей, построенных относительно припусков, по последнему звену (дуга его входит в $i-1$ состояние анализируемой поверхности) определяется величина минимально необходимого припуска Z_{imin} .

Результатом работы блока 3 алгоритма на рис. 25 будет сформированная матрица уравнений размерных цепей, размерность которой определяется количеством замыкающих звеньев (конструкторских размеров и припусков). Строками матрицы являются уравнения размерных цепей, записанные относительно замыкающих звеньев. Каждый столбец матрицы показывает, в какие уравнения цепей и в каком качестве



Р и с. 27. Схема для определения системы простановки допусков на операционные размеры (d - номер обрабатываемой поверхности, c - номер исходной базы, z - направление удаления припуска):
 а - охватываемые (типа "вал");
 б - охватывающие (типа "отверстие")

(I для увеличивающих и $-I$ для уменьшающих) входит определяемый операционный размер. Матричная форма позволяет просто устанавливать наличие параллельной связи в технологических размерных цепях. Матрица системы уравнений размерных цепей выводится на печать.

4.2.2. Упорядочение размерных цепей

Необходимость и методика упорядочения размерных цепей (блок 4) были подробно рассмотрены в начале предыдущей главы. Размерные цепи выстраиваются в такой последовательности, чтобы каждая последующая отличалась от предыдущей всего одним неизвестным составляющим (операционным) размером.

4.2.3. Проверка выполняемости правила допусков размерных цепей

Для каждой размерной цепи (блок 5, рис. 25), построенной относительно конструкторского размера, производится проверка выполнения пра-

вила суммирования допусков размерных цепей

$$\sum_{m+n} T_i \leq T_{\Delta} \quad (57)$$

или

$$\frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 T_i^2} \leq T_{\Delta} \quad (57a)$$

Размерные цепи, для которых условие (57) или (57a) не удовлетворяется, подвергаются анализу. Одним из вариантов достижения выполнимости условий (57) или (57a) является ужесточение (уменьшение) допусков на операционные размеры (блок 5.2), принятых ранее в блоке 3.3 в соответствии с экономической точностью методов обработки. Ужесточение производится на I качество.

Если после этого достигается выполнение условий (57) или (57a) (блок 5.3), то задача решается дальше. В противном случае на листинг выдается сообщение "Размерная цепь №... не удовлетворяет основному правилу суммирования допусков", после чего необходим анализ причин возникновения данной ситуации и принятие необходимых решений.

4.2.4. Решение размерных цепей

Для размерных цепей с односторонней регламентацией замыкающего звена (припуск - блок 6 "да" рис.25) используется метод расчета цепей на максимум-минимум. Если замыкающим звеном цепи является двухсторонне-регламентируемый размер (конструкторский размер (блок 6 "нет" рис.25)), то может быть использован как метод полной взаимозаменяемости, так и вероятностный метод решения. Алгоритм выбора метода решения цепей был приведен на рис.3 в гл.1. При решении цепи по методу полной взаимозаменяемости расчет производится по способу предельных значений, а при вероятностном методе - по способу средних значений. В качестве расчетных используются те же уравнения и правила, которые были приведены в гл. 3 для ручного расчета цепей.

Полученное в результате решения цепи расчетное значение искомого операционного размера может содержать до трех цифр после запятой. Его нужно округлить до нормального технологического окончания согласно ОСТ 1.41512-74 (табл. П22).

В алгоритм решения задачи округления размеров (блоки 6.3 и 6.4) заложены следующие правила.

1. Если операционный размер определен из условия обеспечения минимально необходимого припуска на последующую обработку, то округление расчетного значения размера производится в сторону увеличения $Z_{i \min}$.

2. Если операционный размер определен из условия обеспечения в заданных пределах конструкторского размера, то округление производится в пределах запаса точности (области корректуровки)

$$OK = T_{\Delta} - \sum_{m+n} T_i, \quad (67)$$

или

$$OK = T_{\Delta} - \frac{1}{\alpha_{\Delta}} \sqrt{\sum_{m+n} \alpha_i^2 T_i^2} \quad (68)$$

Иллюстрирующая система автоматизированного расчета размерных характеристик технологического процесса является по своему характеру автономной, поскольку не связана с решением других задач проектирования Ц.

В автоматизированных системах проектирования ТП (САПР ТП), расчет размерных характеристик будет являться содержанием одной из подсистем (задач), алгоритмически связанной с другими подсистемами САПР.

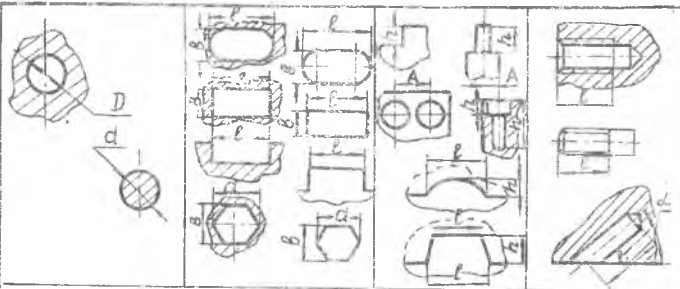
Л и т е р а т у р а

1. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. - М.: Машиностроение, 1975, 222с.
2. Иващенко И.А. Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
3. Матвеев В.В., Тверской М.М. и др. Размерный анализ технологических процессов. - М.: Машиностроение, 1982, 264с.
4. Тимофеев В.Н. Расчет линейных операционных размеров и их рациональная постановка. - Горький, изд-во ГГУ, 1978, 80с.
5. Фираго В.П. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей. - М.: Машиностроение, 1973, 468с.
6. ОСТ 1.41512-74. Детали механообрабатываемые. Размеры технологические нормальные. Прил. I. Припуски и допуски межоперационные на механическую обработку.
7. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. - М.: Машиностроение, 1976, 288с.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

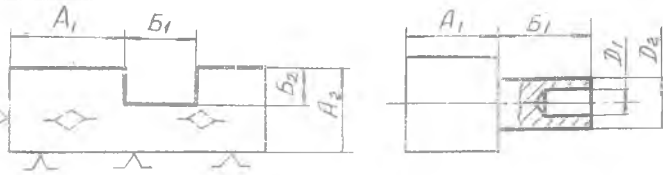
Т а б л и ц а П I

Допуски размеров, не указанные на чертеже (по ГОСТ 100022-80)

Интервалы размеров				
	Предельные отклонения размеров			
	Диаметров по 13 квал	Длин толщин по 14 квал	Уступов, впадин, глубин, межосевых расстояний и др. ±	Длина нарез- ной части резьбы, глуби- на сверления
	отв(+) вал(-)	отв(+) вал(-)		
Св.3 до 6	0,18	0,30		+0,50 -0,25
Св.6 до 10	0,22	0,36	0,20	±1,00 -0,50
Св.10 до 18	0,27	0,43		
Св.18 до 30	0,33	0,52		
Св.30 до 50	0,39	0,62	0,30	
Св.50 до 80	0,46	0,74		
Св.80 до 120	0,54	0,87		
Св.120 до 180	0,63	1,00	0,50	
Св.180 до 250	0,72	1,15		
Св.250 до 315	0,81	1,30		
Св.315 до 400	0,89	1,40	0,80	
Св.400 до 500	0,97	1,55		
Св.500 до 630	1,10	1,75		
Св.630 до 800	1,25	2,00		
Св.800 до 1000	1,40	2,30		

Т а б л и ц а П 2

Квалитеты (классы точности) для выбора допусков на операционные размеры при механической обработке



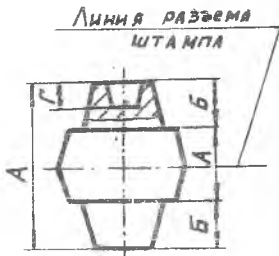
Методы обработки		Межоперационные линейные размеры типа А		Внутриоперационные размеры
виды операций	код	от необработанной черновой базы или обработанной грубее	от базы, обработанной с такой же точностью	размеры линейные типа Б, диаметральные размеры D
Точение, растачивание:				
грубое	20	I4 (7)	I4 (7)	I3 (7-5)
черновое	2I	I4 (7)	I3 (5)	I2 (5-4)
чистовое	22	I2 (5)	II (4)	IO (3)
тонкое	23	II (4)	IO (3)	9 (3)
Фрезерование:				
черновое	50	I4 (7)	I3 (5)	I2 (5-4)
чистовое	5I	I2 (5-4)	II (4)	IO (3a)
тонкое цилиндрическое	52	II (4)	IO (3a)	9 (3)
тонкое торцевое	55	IO (3a)	9 (3)	8 (2a)
Шлифование:				
предварительное и однократное	60	IO (3a)	9 (3)	9 (3)
чистовое	6I	9 (3)	8 (2a)	8 (2a)
Сверление	3I			I3-I2 (5)
Зенкерование	40			II (4)
Развертывание предварительное	70			9 (3)
и однократное чистовое	7I			8 (2a)
Протягивание	80			9 (3a)

Значения допусков по классам точности ЮСТ и квалитетах СТ СЭВ 145-75

Т а б л и ц а ПЗ

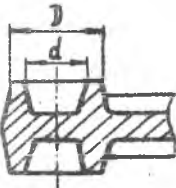
Классы точности / квалитеты / интервалы размеров	B1		A1 B		A B2a		A2c		A3		A4		A5		A7	
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
до 3	4	6	10	15	20	30	40	50	60	80	100	150	200	300	400	500
3-6	5	8	12	18	25	35	45	60	80	110	150	200	300	400	500	600
6-10	6	10	15	22	30	40	55	70	90	120	160	220	300	400	500	600
10-18	8	12	18	27	35	45	60	80	110	150	200	270	360	450	550	650
18-30	10	15	21	33	45	55	70	90	120	160	210	280	360	450	550	650
30-50	12	18	25	39	50	65	80	100	130	170	230	300	380	480	580	680
50-80	14	20	30	46	60	75	90	110	140	180	240	310	400	500	600	700
80-120	17	25	35	54	70	85	100	120	150	200	260	340	430	530	630	730
120-180	20	28	40	63	80	100	120	150	180	230	300	380	480	580	680	780
180-250	20	27	35	52	67	85	105	130	160	200	260	340	430	530	630	730
250-315	23	30	40	60	77	95	115	140	170	210	270	350	440	540	640	740
315-400	25	32	42	63	81	100	120	150	180	220	280	360	450	550	650	750
400-500	27	35	45	67	85	105	125	150	180	220	280	360	450	550	650	750
500-630	30	40	50	70	88	110	130	150	180	220	280	360	450	550	650	750
630-800	35	45	55	80	100	120	140	170	200	240	300	380	480	580	680	780
800-1000	40	50	60	85	105	130	150	180	210	250	310	400	500	600	700	800
1000-1250	45	55	65	90	110	135	155	190	220	260	320	410	510	610	710	810

Т а б л и ц а П 4



Допуски на вертикальные размеры штампованных заготовок (6 класс точности по ГОСТ 1.41187-78)

Площадь проекции штамповки на плоскость разреза штампов, см ²	Алюминиевые, магниевые и медные сплавы				Сталь и титановые сплавы			
	Предельные отклонения для размеров типа							
	А		БГ		А		БГ	
	ВО	НО	ВО	НО	ВО	НО	ВО	НО
	+	-	+	-	+	-	+	-
до 16	0,5	0,3	0,15	0,15	0,6	0,3	0,15	0,20
Св.16 до 25	0,6	0,3	0,15	0,20	0,7	0,4	0,20	0,25
Св.25 до 40	0,7	0,4	0,20	0,25	0,9	0,4	0,20	0,30
Св.40 до 80	0,9	0,5	0,25	0,30	1,1	0,6	0,30	0,40
Св.80 до 160	1,1	0,6	0,30	0,40	1,4	0,7	0,35	0,50
Св.160 до 320	1,4	0,7	0,35	0,50	1,8	0,9	0,45	0,60
Св.328 до 480	1,8	0,9	0,45	0,65	2,1	1,1	0,55	0,70

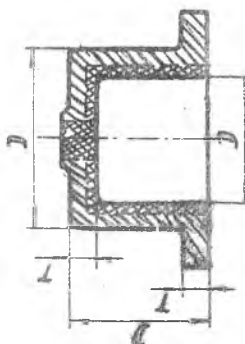


Т а б л и ц а П 5

Допуски на горизонтальные размеры (параллельные плоскости разреза) штампов (6 класс точности по ГОСТ 1.41187-78)

Размеры штампованной заготовки, мм	Алюминиевые, магниевые и медные сплавы				Сталь и титановые сплавы			
	Предельные отклонения для размеров							
	зависящих от износа		не зависящих от износа		зависящих от износа		не зависящих от износа	
	ВО	НО	ВО	НО	ВО	НО	ВО	НО
	+	-	+	-	+	-	+	-
до 16	0,4	0,2	0,15	0,15	0,5	0,3	0,2	0,2
Св.16 до 25	0,6	0,3	0,15	0,15	0,6	0,4	0,2	0,2
Св.25 до 40	0,7	0,4	0,15	0,15	0,7	0,5	0,2	0,2
Св.40 до 60	0,8	0,5	0,20	0,20	0,9	0,6	0,3	0,3
Св.60 до 100	0,9	0,6	0,30	0,30	1,1	0,7	0,35	0,35
Св.100 до 160	1,1	0,7	0,50	0,50	1,3	0,9	0,5	0,5
Св.160 до 250	1,4	0,9	0,70	0,70	1,6	1,1	0,7	0,7
Св.250 до 360	1,8	1,1	0,90	0,90	1,8	1,3	0,9	0,9
Св.360 до 500	2,1	1,4	1,10	1,10	2,1	1,6	1,2	1,2

Допуски на размеры отливок из сплавов на основе алюминия, магния, меди, свинца, цинка, титана, железа и никеля (по ГОСТ 1.4.1154-82)



Наибольший габаритный размер заготовки, мм	Классы точности														
	Отклонения ± на размеры							Отклонения ± на размеры							
	ЛТ1	ЛТ2	ЛТ3	ЛТ4	ЛТ5	ЛТ6	ЛТ7	ЛТ1	ЛТ2	ЛТ3	ЛТ4	ЛТ5	ЛТ6	ЛТ7	
до 60	0,08	0,06	0,12	0,10	0,20	0,20	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60	0,60	0,8	1,0	1,2
Св. 60 до 100	0,10	0,08	0,15	0,12	0,30	0,30	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,70	0,9	1,0	1,2
Св. 100 до 160	0,12	0,10	0,20	0,15	0,40	0,40	0,60	0,60	0,60	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	1,5
Св. 160 до 250	0,15	0,12	0,30	0,20	0,50	0,40	0,80	0,80	0,80	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,5
Св. 250 до 400	0,20	0,15	0,40	0,30	0,60	0,40	1,00	0,80	1,0	1,2	1,0	1,0	1,4	1,7	1,5
Св. 400 до 630					0,80	0,50	1,20	0,90	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	2,0	1,7
Св. 630 до 1000							1,50	1,00	2,0	2,0	2,0	2,0	2,4	2,7	2,0
Св. 1000 до 1250															
Св. 1250 до 1600															
Св. 1600 до 2000															

Т а б л и ц а П 7

Значения высоты микронеровностей и глубины дефектного слоя после основных видов горячей и холодной обработки заготовок, мм

Метод обработки	Код метода обработки	Наибольший габаритный размер штамповок, отливок, проката, L, D	Шероховатость (R_z)	Глубина дефектного слоя (Гд) заготовки из		
				стали	чугуна	алюминиевых и магниевых сплавов
Горячий прокат обычной точности	18	До 50	0,15	0,20	-	0,10
Штамповка обычной точности (5,6 кл.т.)	2,3	Св.50 до I20 Св. 260 до 500	0,35	0,35	-	0,17
Горячий прокат повышенной точности	17	До 50 Св.50 до I20 Св. I20 до 260	0,10	0,15	-	0,07
			0,15	0,20	-	0,10
			0,20	0,25	-	0,12
Калибровочный прокат	16		0,06	0,06	-	0,05
Горячая штамповка повышенной точности (4 кл.т.)	1		0,10	0,10	-	0,06
Литье в песч. формы: отливка I, 2 кл.т. отливка ЛТ4+ЛТ7	4+5 10+14	До I250 Св. I250 до 3150	0,25	0,25	0,36	0,15
			0,35	0,35	0,45	0,20
Литье в кокиль: отливка I кл.т. отливка ЛТ3+ЛТ5	4 9+11		0,2	0,2	0,3	0,1
Литье в обл. формы: отливка I кл.т. отливка ЛТ3+ЛТ5 По выпл. моделям: отливка I кл.т. отливка ЛТ1+ЛТ3	4 9+11		0,05	0,17	0,20	0,10
Литье под давлением отливка ЛТ1+ЛТ2	7+8		0,05	-	-	0,05
Обдирка	20		0,12	0,12	0,06	0,06
Черновая обработка	21, 50		0,06	0,06	0	0
Чистовая обработка	22, 51		0,03	0,03	0	0
Предварительное шлифование, тонкое точение, тонкое фрезерование (цилиндр., торцевое)	60 23 52, 55		0,01	0,02	0	0

Т а б л и ц а 18

Неконтролируемые погрешности формы *сф* плоскостей, торцов, учитываемые при расчете припусков

После операции	Код метода обработки	Погрешность формы торца при различных диаметрах, мм				Погрешность формы плоскости при наибольшем габаритном размере, мм			
		до 30	св. 30 до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500 до 800
		Горячей штамповки: 4 кл.т.+6 кл.т.	г.з	0,2	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5
Литья: отл.1кл.т.+3кл.т. отл.ЛТИ+ЛТ?	4+6 7+13	0,10	0,20	0,30	0,60	0,20	0,40	0,60	1,0
Отрезки дисковой пилой, приводной ножовкой, анодно-механическим способом	-	0,20	0,40	0,5	-	-	-	-	-
Чернового: точения, фрезерования (ц/т), строгания, отрезки резцом	2I 50,53 20	0,09	0,12	0,20	0,30	0,12	0,20	0,30	0,50
Черновой обработки и термообработки	2I 130	0,10	0,15	0,30	0,50	0,20	0,30	0,50	0,74
Чистового: точения, фрезерования(ц/т), строгания	22 51,53	0,04	0,08	0,12	0,20	0,08	0,15	0,20	0,30
Чистой обработки и термообработки	22 130	0,05	0,12	0,25	0,35	0,12	0,25	0,35	0,50
Предварительного шлифования: круглого, плоского, бесцентрового	60 63	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,06

МИНИМАЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРИПУСКИ

В табл.П9-П21 даны минимальные операционные припуски на основные виды механической обработки деталей. Припуски на черновое обтачивание и растачивание, черновое фрезерование и строгание заготовок, полученных горячей штамповкой и литьем, следует назначать в зависимости от наибольшего габаритного размера заготовки. Припуски на черновое обтачивание заготовок из проката, а также на чистовое обтачивание, растачивание и шлифование назначают в зависимости от диаметра обрабатываемой поверхности и расчетной длины. Расчетную длину при назначении припуска следует определять по табл.П9.

Т а б л и ц а П 9

Расчетная длина при назначении припуска на черновое обтачивание проката, чистовое обтачивание и шлифование валов

Характер установки заготовок при обработке	Расчетная длина	
	для средних участков	для крайних участков вала
В центрах или в патроне с поддержкой задним центром	Полная длина вала	Длина, равная удвоенному расстоянию от торца вала до наиболее удаленного конца обрабатываемого участка
В патроне без поддержки задним центром	Длина, равная удвоенному расстоянию от наиболее удаленного торца обрабатываемого участка до кулачков патрона	

Т а б л и ц а П I O

Минимальные припуски на черновое обтачивание и растачивание заготовок, полученных горячей штамповкой, и заготовок из проката, мм

Диаметр заготовки	Черновое обтачивание и растачивание горячештампованных заготовок из сталей и титановых сплавов					Черновое обтачивание заготовок из черного проката обычной точности				
	Припуск Z_{min} на диаметр при длине									
	до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1250	до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1250
До 50	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2	1,3	1,5	2,0	2,5	3,1
Св. 50 до 120	2,0	2,2	2,6	2,9	3,3	1,5	1,8	2,2	2,6	3,2
" 120 до 260	2,2	2,4	2,7	3,0	3,4	1,8	2,2	2,4	2,8	3,3
" 260 до 500	2,5	2,7	2,8	3,1	3,5	-	-	-	-	-

Примечания.

1. Для штамповок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов припуски умножать на 0,8.

2. Припуски на все поверхности штамповки принимаются в зависимости от ее наибольшего габаритного размера (диаметра или длины).

3. Для черного проката повышенной точности припуски умножать на 0,8.

4. Определение длины для заготовок из черного проката. (см. табл. П8, П9).

Т а б л и ц а П I I

Минимальные припуски на черновое обтачивание и растачивание цилиндрических поверхностей в отливках, мм

Наибольший габаритный размер отливки	При литье заготовок в песчаные формы	При литье в кокиль и оболочковые формы	Примечание
	Припуск Z_{min} на диаметр		
До 50	2,2	1,4	Припуски на все поверхности отливки принимаются в зависимости от ее наибольшего габаритного размера (диаметра или длины)
Св. 50 до 120	2,6	1,6	
" 120 до 260	3,3	1,8	
" 260 до 500	4,1	2,0	
" 500 до 800	5,0	2,3	

Т а б л и ц а П 12

Минимальные припуски на чистовое обтачивание после
чернового или калиброванного проката, мм

Диаметры	Чистовое обтачивание после чернового					Чистовое обтачивание после чернового и термообработки чистовое обтачивание калиброванного проката				
	Припуск Δ_{min} на диаметр при расчетной длине									
	до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1250	до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1250
До 50	0,5	0,6	0,8	1,0	-	0,8	1,0	1,2	1,4	-
Св. 50 до 120	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	0,85	1,1	1,2	1,5	1,8
" 120 до 500	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9

Примечание. Определение расчетной длины при назначении припуска см. табл. П8

Т а б л и ц а П 13

Минимальные припуски на наружное шлифование деталей
(в центрах и бесцентровое), мм

Диаметр	Для термически необработанных деталей					Для термически обработанных деталей				
	Припуск Δ_{min} на диаметр по длине детали									
	до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1250	до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1250
До 18	0,15	0,18	0,25	-	-	0,18	0,22	0,30	-	-
Св. 18 до 50	0,18	0,22	0,28	0,35	-	0,20	0,28	0,35	0,5	-
" 50 " 120	0,20	0,25	0,30	0,4	0,5	0,25	0,35	0,40	0,55	0,7
" 120 " 500	0,25	0,30	0,35	0,45	0,6	0,3	0,4	0,50	0,65	0,8

Примечания.

1. К категории термически обработанных при назначении припуска относят детали, которые проходят термическую обработку после чистового обтачивания перед шлифованием.

2. Если шлифование выполняют на двух операциях, но в одном этапе технологического процесса, то на предварительное шлифование отводится 2/3 припуска, а на окончательное 1/3.

3. Если операции шлифования выполняют на разных этапах (предварительное шлифование до термической обработки, окончательное - после нее), то припуски на каждую операцию назначают отдельно, независимо.

4. Определение размера длины при назначении припуска см. табл. П8.

Т а б л и ц а П I 4

Минимальные припуски на чистовое растачивание, зенкерование и развертывание отверстий, мм

Диаметр отверстий	Чистовое растачивание, зенкерование	Развертывание	Примечание
	Припуск Z_{min} на диаметр		
До 10	-	0,12	Если развертывание выполняется на двух операциях или переходах, то на предварительное развертывание отводят 2/3 припуска, на окончательное - 1/3
Св. 10 до 30	0,5	0,16	
" 30 " 50	0,6	0,20	
" 50 " 120	0,9	-	
" 120 " 500	1,2	-	

Т а б л и ц а П I 5

Минимальные припуски на шлифование отверстий после чистового растачивания, мм

Диаметр	Для термически необработанных деталей всех конфигураций и термически обработанных жестких (толстостенных) деталей	Для термически обработанных нежестких (тонкостенных) деталей
	Припуск Z_{min} на диаметр	
До 50	0,2	0,25
Св. 50 до 120	0,25	0,35
" 120 " 260	0,35	0,50
" 260 " 500	0,4	0,70

Примечания:

1. К категории термически обработанных при определении припуска относят детали, которые проходят термическую обработку после чистового растачивания перед шлифованием.

2. Если шлифование выполняют на двух операциях, но в одном этапе технологического процесса, то на предварительное шлифование отводят 2/3 припуска, а на окончательное 1/3.

3. Если операции выполняют на разных этапах (предварительное шлифование до термической обработки, окончательное - после нее), то припуск на каждую из этих операций назначают отдельно, независимо.

4. Данными таблицы можно пользоваться для определения припусков на шлифование отверстий в деталях типов валов, цилиндров, втулок и т.п. Для шлифования отверстий в корпусных и эксцентриковых деталях припуск нужно рассчитывать с использованием размерных цепей.

5. Не рекомендуется пользоваться данными таблицы для определения припуска на шлифование отверстий после термоупрочняющих операций (цементации с закалкой, цианирования, азотирования), когда нужно обеспечить заданную глубину термоупрочненного слоя. Для этих случаев расчет припуска следует выполнять по методике, изложенной в гл. 3.

Т а б л и ц а П I 6

Минимальные припуски на протягивание отверстий, мм

Диаметр	Для отверстий, подготовленных по 3-4 классу точности (после чистового растачивания зенкерованием)	Для отверстий, подготовленных по 5 классу точности (после сверления, черного растачивания)	Примечание
	Припуск Z_{min} на диаметр		
До 30	0,35	0,45	В таблице приведены припуски на протягивание отверстий при $\frac{L}{d} < 1,5$
Св. 30 до 50	0,40	0,55	
" 50 " 80	0,50	0,7	

Т а б л и ц а П I 7

Минимальные припуски на тонкое (алмазное) растачивание отверстий, мм

Диаметр отверстия	Предварительное тонкое растачивание, однократное растачивание по 3 классу точности				Окончательное растачивание, все материалы
	легкие сплавы	баббит	бронза и чугун	сталь	
	Припуск Z_{min} на диаметр				
До 50	0,2	0,25	0,15	0,12	0,05
Св. 50 до 500	0,3	0,35	0,25	0,15	0,08

Примечание. Припуски на окончательное растачивание приведены для случая выполнения его при одной установке с предварительным.

Т а б л и ц а П18

Минимальные припуски на черновое подрезание торцов,
фрезерование и строгание плоскостей, мм

Наибольший габаритный размер заготовки	Черновое подрезание торцов, фрезерование и строгание плоскостей заготовок			
	из стали, полученных горячей штамповкой	полученных литьем в песчаные формы	из цветных и титановых сплавов, полученных горячей штамповкой	полученных литьем в кокиль и оболочковые формы
Припуск Z_{min} на сторону				
До 30	0,9		0,7	
Св. 30 до 120	1,0		0,8	
" 120 " 260	1,2		0,9	
" 260 " 500	1,5		1,1	

Примечание. Величину припуска Z_{min} устанавливают в зависимости от наибольшего габаритного размера заготовки.

Т а б л и ц а П19

Минимальные припуски на чистовое подрезание торцов, на чистовое фрезерование плоскостей, мм

Габаритный размер, диаметр торца или длина плоскости	Припуск Z_{min} на сторону	П р и м е ч а н и е
До 30	0,3	Величину припуска Z_{min} устанавливают независимо от величины выдерживаемого размера (длины вала или толщины высоты корпусной детали)
Св. 30 до 120	0,40	
" 120 " 260	0,55	
" 260 " 500	0,7	

Т а б л и ц а П 20

Минимальные припуски на шлифование и тонкое фрезерование торцов и плоскостей после чистового подрезания и фрезерования, мм

Габаритный размер: диаметр торца или длина плоскости	В а р и а н т ы							
	1		2		3		4	
	Однократное шлифование и тонкое фрезерование термически необработанных деталей	Однократное шлифование термически обработанных деталей	Предварительное шлифование до термической обработки	Склонное шлифование после термической обработки	Шлифование после термической обработки			
					Предварительное	окончательное		
	Припуск Z_{min} на сторону							
До 30	0,10	0,15	0,10	0,07	0,07	0,05		
Св.30 до 120	0,15	0,20	0,15	0,15	0,15	0,07		
" 120 " 260	0,20	0,30	0,20	0,25	0,20	0,1		
" 260 " 500	0,30	0,45	0,30	0,35	0,30	0,15		

Примечание. Припуски Z_{min} устанавливают независимо от величины выдерживаемого размера (длины вала или толщины-высоты корпусной детали).

Т а б л и ц а П 21

Минимальные припуски на обработку прямозубых колес, мм

Модуль	Чистовое фрезерование, доведение, строгание	Шлифование	Шевингование	Примечание
	Припуск Z_{min} на толщину зуба			
До 2	0,25	0,2	0,05	При выборе значений припусков следует учитывать возможные деформации и их характер (усадка, разбухание, коробление) при термической обработке в зависимости от марки стали, конфигурации шестерни и числа зубьев
Св.2 до 3	0,4	0,25	0,07	
" 3 " 5	0,5	0,3	0,10	
" 5 " 7	0,6	0,35	0,12	
" 7 " 10	0,7	0,4	0,15	

Предпочтительные окончания технологических межоперационных размеров по ОСТ 1.41512-74

ОСТ 1.41512-74 ограничивает окончания технологических размеров, назначаемых при механической обработке деталей.

ОСТ 1.41512-74 предусматривает рациональное сокращение номенклатуры необходимого мерительного и режущего инструментов при проектировании технологии. Технологические размеры, назначаемые на операциях доводочных, тонкого точения и растачивания, подготовки поверхностей к покрытиям, зуборезных и связанных со снятием цементированного слоя, не охватываются настоящей нормалью. Требования нормали не обязательны также для линейных операционных размеров, полученных на основе решения размерных цепей, исходя из условия обеспечения чертежных размеров, непосредственно не выдерживаемых при обработке.

Т а б л и ц а П22

Окончания технологических размеров, мм

Номинальный размер	Окончания размеров										
	Валов										
От 1 до 50	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	(0,7)	0,8	0,9	
Св. 50 " 120	0,0	0,1	0,2	(0,3)	0,4	0,5	(0,6)	-	0,8	0,9	
Св. 120 " 500	0,0	0,1	0,2	-	0,4	0,5	-	-	0,8	-	
	Отверстий										
От 1 до 30	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Св. 30 " 80	0,0	0,1	0,2	(0,3)	0,4	0,5	(0,6)	-	0,8	0,9	
Св. 80 " 360	0,0	0,1	0,2	-	0,4	0,5	-	-	0,8	-	
	Длины, ширины, глубины										
От 1 до 30	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	(0,7)	0,8	0,9	
Св. 30 " 120	0,0	-	-	0,3	-	0,5	-	-	0,8	-	
Св. 120 " 500	0,0	-	-	0,3	-	-	-	-	0,8	-	
Св. 500 " 2500	0,0	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	

Примечание. Размеры, указанные в скобках, можно применять только на последних операциях.

О Г Л А В Л Е Н И Е

П р е д и с л о в и е	3
Г л а в а 1. Технологические размерные цепи.....	5
1.1. Состав и основные закономерности размерной цепи..	5
1.2. Выявление и построение технологических размерных цепей.....	8
1.3. Расчетные уравнения для решения проверочной зада- чи по методу расчета на максимум-минимум.....	11
1.4. Расчетные уравнения для решения проверочной зада- чи по вероятностному методу.....	13
1.5. Выбор метода решения технологических размерных цепей.....	16
Г л а в а 2. Припуски и допуски на обработку.....	19
2.1. Операционные допуски и правила их выбора.....	19
2.2. Категории и значения припусков.....	25
2.3. Структура расчетного минимального операционного припуска.....	31
2.4. Методы определения припусков на обработку.....	37
Г л а в а 3. Расчет операционных размеров и допусков на них.	48
3.1. Расчет операционных размеров цилиндрических поверх- ностей.....	48
3.2. Определение линейных операционных размеров.....	51
Г л а в а 4. Автоматизированный расчет линейных операцион- ных размеров с использованием ЭВМ.....	68
4.1. Информационное обеспечение автоматизированного расчета размеров.....	68
4.2. Методика и алгоритм машинного построения и расче- та линейных размерных цепей.....	73
Л и т е р а т у р а	80
П р и л о ж е н и е	81