

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практической работе

**«Выявление технологических размерных цепей
и их расчет методом максимума-минимума
и теоретико-вероятностным методом»**

по дисциплине *«Основы технологии машиностроения»*
для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения»

УДК 621.91.002

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении практической работы, а также могут использоваться при выполнении дипломных проектов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и курсовых проектов по дисциплинам: «Технология машиностроения (отраслевая)»; «Технология автоматизированного производства»; «Технология станкостроения».

Составитель: О.А. Медведев, доцент, к.т.н.

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является приобретение навыков выявления и расчета подетальных технологических размерных цепей, возникающих при механической обработке деталей машин.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЯХ И ПРАВИЛАХ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ

2.1 Понятие размерной цепи. Виды размерных цепей.

Точность большинства изделий машиностроения и приборостроения является важнейшей характеристикой их качества. Точность изготовления машины характеризуется степенью приближения действительных значений параметров качества к требуемым значениям. Современные мощные и высокоскоростные машины не могут функционировать при недостаточной точности их изготовления в связи с возникновением дополнительных динамических нагрузок и вибраций, нарушающих нормальную работу машин и вызывающих их разрушение. Повышение точности изготовления деталей и сборки узлов увеличивают долговечность и надежность эксплуатации механизмов и машин. Долговечные изделия экономичнее в эксплуатации. Поэтому требования к точности изготовления деталей машин постоянно повышаются.

Точность детали характеризуется уровнем отклонений ее размеров, формы и взаимного расположения поверхностей от их идеальных значений, указанных на чертеже. Разность верхнего и нижнего предельно допустимого отклонения геометрического параметра детали называют его нормированным допуском. Фактическая точность одного экземпляра детали характеризуется действительными отклонениями ее геометрических параметров. Фактическая точность изготовления партии деталей характеризуется полями рассеяния ее геометрических параметров (технологическими допусками).

При проектировании деталей, сборочных единиц, технологических процессов необходимо задавать требуемое расположение их элементов с помощью взаимосвязанных линейных и угловых размеров. Размеры деталей, соединяемых при сборке, определяют значение важных функциональных геометрических параметров (например, тепловой зазор, натяг в сопряжении деталей, отклонение от параллельности осей сопряженных зубчатых колес и др.), от которых зависят эксплуатационные показатели машины (передаваемая нагрузка, КПД, долговечность). Размеры элементов технологической системы металлорежущего станка определяют взаимное расположение заготовки и инструмента, а, следовательно, определяют значение получаемого при обработке размера, погрешность которого является эксплуатационным показателем станка.

Оценка приемлемости разработанной технологии мехобработки для обеспечения высокой точности размеров детали выполняется путем выявления и решения технологических размерных цепей. Размерные цепи позволяют схематично представить взаимосвязи между функциональными геометрическими параметрами технологической системы (машины) и размерами их элементов (деталей).

Размерная цепь - это замкнутый контур размеров, в котором один размер является функцией других размеров. Размеры такой цепи принято называть звеньями. При выявлении и построении цепи размер-функция называется **исходным звеном**, так как цепь выявляют, начиная от его границ. Другие звенья цепи называются **составляющими** и включаются в цепь при условии их влияния на исходное звено (являются независимыми аргументами). При реализации размерной цепи во время мехобработки или сборки исходное звено формируется последним и поэтому называется замыкающим.

По виду влияния на замыкающее звено составляющие звенья разделяют на **увеличивающие и уменьшающие**. Увеличивающим называют звено, при увеличении которого замыкающее звено увеличивается, а при его уменьшении замыкающее звено уменьшается. Уменьшающим называют звено, при увеличении которого замыкающее звено уменьшается, а при его уменьшении замыкающее звено увеличивается.

Размерные цепи классифицируют по нескольким признакам.

По виду и направлению размеров, входящих в размерную цепь, различают **линейные, угловые, плоские, пространственные** размерные цепи. Линейная цепь в качестве звеньев включает расстояния, отсчитываемые только вдоль одного координатного направления.

Угловая размерная цепь в качестве звеньев содержит углы, отклонения от параллельности, отклонения от перпендикулярности, отсчитываемые как повороты вокруг одной координатной оси.

Плоские размерные цепи в качестве звеньев содержат линейные размеры (расстояния) направленные вдоль двух координатных осей или под углами к ним, и углы, отсчитываемые как повороты линейных звеньев вокруг третьей координатной оси. Таким образом, линейные и угловые звенья лежат в одной плоскости. Путем проецирования линейных звеньев на две координатные оси плоскую цепь можно преобразовать в две линейные цепи, математически равноценные плоской.

В пространственных цепях линейные звенья направлены вдоль трех координатных осей или под углами к ним, а угловые звенья, отсчитываются вокруг трех координатных осей.

По виду объекта, которому принадлежат размеры цепи, различают **сборочные и поддетальные цепи**. В сборочной цепи исходное звено является расстоянием или углом между элементами двух деталей, служащих границами функционального параметра технологической системы (машины), а составляющими звеньями - размеры других деталей. В поддетальной цепи все размеры принадлежат одной детали.

По назначению (области применения) различают **конструкторские и технологические** размерные цепи.

Конструкторские цепи используются при конструировании машин и деталей для установления требуемых позиционных связей между их элементами. Составляющие размеры конструкторских сборочных цепей - это размеры нескольких деталей, посредством которых границы замыкающего звена ориентируются относительно корпуса машины. Они указываются на чертежах деталей и сборочных единиц. Значения замыкающих звеньев сборочных конструкторских цепей указываются в технических условиях на сборку. Значения замыкающих звеньев поддетальных конструкторских цепей на чертежах деталей не указывают.

Технологические цепи используются при проектировании техпроцессов и операций мехобработки и сборки для установления позиционных связей между элементами технологических систем или элементами обрабатываемой детали.

Часто исходными звеньями сборочных технологических размерных цепей являются исходные звенья конструкторских сборочных цепей, зазоры под компенсаторы, расстояния между инструментами и заготовками в технологических системах. Составляющими звеньями таких цепей, кроме размеров деталей и сборочных единиц машины являются также размеры сборочной технологической оснастки (этапонов, измерительных средств, устройств, используемых для регулировки положения элементов, устройств для пригонки и др.).

В технологической поддетальной цепи исходным звеном может быть размер детали, величина и допуск которого заданы в конструкторской документации и должны быть обеспечены при мехобработке, или припуск, удаляемый при выполнении технологического перехода.

2.2 Выявление подетальных технологических размерных цепей

В качестве исходного звена технологической подетальной размерной цепи, используемой для оценки приемлемости техпроцесса мехобработки для достижения требуемой точности детали, обычно принимается чертежный размер детали, получаемый без совмещения измерительной и технологической баз.

Замкнутость размерной цепи обусловлена тем, что величина исходного звена является разностью координат двух его границ, заданных от начала одной и той же системы координат, принятой для установления позиционных связей элементов детали. Начало системы координат обычно принимается на пересечении технологических баз заготовки, так как они контактируют с опорами станочного приспособления и занимают неизменное положение у всех заготовок партии, обрабатываемой на настроенном станке. Если любая из двух границ исходного звена по ходу обработки получает ориентацию в принятой системе координат опосредствованно через несколько промежуточных элементов заготовки, то координата этой границы будет равна алгебраической сумме размеров между этими элементами. Таким образом, выявление размерной цепи, отражающей реальные размерные связи между формируемыми при мехобработке элементами детали, невозможно без тщательного уяснения базирования детали и ориентации режущего инструмента при размерной настройке станка.

При проектировании техпроцессов мехобработки в ряде случаев возникает потребность отступить от принципа совмещения технологической базы с измерительной базой чертежного размера детали. Обычно это делают, чтобы упростить конструкцию станочного приспособления, снизить трудоемкость установки заготовки в приспособлении, повысить уровень концентрации технологических переходов в операции, обеспечив доступ инструментов к измерительным базам выдерживаемых размеров. Рассмотрим размерные связи, возникающие в таком случае между элементами заготовки, являющимися границами чертежного размера.

Перед выполнением технологической операции мехобработки партии заготовок положение режущего инструмента задают размером от опорных элементов приспособления до требуемого положения обрабатываемой поверхности во время размерной настройки станка. Эти опорные элементы занимают стабильное положение независимо от размеров обрабатываемой заготовки. Положение чистовых баз заготовок, контактирующих с этими элементами, так же стабильно (если погрешности формы баз пренебрежимо малы) и принимается за начало координат для отсчета менее стабильных положений других поверхностей (в том числе и обработанных при данном базировании). Поэтому значение чертежного размера будет функцией (алгебраической суммой) двух размеров (координат), определяющих положение его границ от технологической базы, ориентирующей заготовку в направлении чертежного размера. Схематично эту функциональную зависимость можно представить в виде трехзвенной размерной цепи, в которой чертежный размер детали в ходе выполнения технологической операции получается последним и поэтому является замыкающим звеном. Размер между технологической базой и обрабатываемой поверхностью (на который настраивается инструмент) и размер между технологической и измерительной базами формируются раньше замыкающего, независимо друг от друга и поэтому являются составляющими звеньями.

Поле рассеяния (технологический допуск) размера между технологической базой и обрабатываемой поверхностью является **погрешностью технологической системы** станка, используемого для обработки. Эта погрешность равна сумме элементарных погрешностей, возникающих при обработке партии деталей на данном станке. К ним относятся: геометрическая погрешность изготовления станка, инструмента, приспособления; погрешность теоретической схемы обработки; погрешность, вызванная силовыми деформациями элементов технологической системы; погрешность, вызванная тепловыми деформациями элементов технологической системы; погрешность, вызванная износом инструмента;

погрешность размерной настройки инструмента; погрешность базирования, вызванная неточностью формы и шероховатостью технологической базы; погрешность закрепления заготовки. Поле рассеяния (технологический допуск) размера между технологической и измерительной базами является **погрешностью схемы базирования**. Она возникает, если технологическая база не совмещена с измерительной базой чертежного размера.

В тех случаях, когда технологическая база плотно не контактирует с опорным элементом приспособления, ее положение не стабильно. Поэтому в размерную цепь следует добавить составляющее звено, связывающее положение технологической базы относительно опорного элемента приспособления. Поле рассеивание этого размера является **погрешностью базирования, вызванной неточностью размера технологической базы**.

Если в выявленной трехзвенной цепи составляющий размер, заключенный между измерительной и технологической базой, формируется на одном из предшествующих переходов (операций) без совмещения баз, то он сам является функцией двух размеров, выявляемых аналогично, но для условий этого предшествующего перехода. Такой размер в первой трехзвенной цепи следует заменить двумя его слагаемыми (его аргументами), и первая цепь преобразуется в четырехзвенную цепь. Продвигаясь таким образом к началу техпроцесса, добавляем в предыдущую цепь новые составляющие звенья, пока не дойдем до операции (перехода), на которой последний выявленный составляющий размер формируется при совмещении его измерительной базы с технологической базой. Этот размер не зависит от других размеров, следовательно других составляющих звеньев в цепи не будет. Таким образом, можно выявить все составляющие размеры, от которых в данном техпроцессе зависит чертежный размер детали.

На схеме линейной размерной цепи ее звенья обычно изображают отрезком прямой линии с двумя стрелками по краям (как линейные размеры на чертежах деталей). Все размеры одной цепи обозначают одинаковой прописной буквой русского алфавита. В обозначении исходного (замыкающего) звена за буквой указывают индекс «Δ» или «φ». В обозначении составляющих звеньев используют цифровые индексы, указывающие их номера (см. рисунок 1). Над обозначением увеличивающего звена изображают стрелку, направленную вправо, над обозначением уменьшающего звена изображают стрелку, направленную влево.

Угловые звенья обычно изображают дугами окружностей с двухсторонними стрелками и обозначают строчными буквами греческого алфавита с аналогичными индексами. Для отклонений от параллельности, перпендикулярности, перекоса осей поверхностей на схемах угловых размерных цепей используют следующие специальные обозначения, так как обычные обозначения неудобны для углов с нулевым номиналом:



Для наглядности схему подетальной технологической размерной цепи рекомендуется изображать на схеме технологической системы или на операционном эскизе мехобработки, совмещая границы звеньев с изображением элементов детали, между которыми эти звенья заключены.

При изображении схем угловых размерных цепей для их лучшего восприятия часто приходится применять повернутые изображения осей номинально соосных поверхностей и угловых размеров. В угловых цепях все составляющие звенья в виде отклонений от параллельности, перпендикулярности, соосности следует считать либо увеличивающими звеньями, либо все - уменьшающими звеньями. Такая цепь отражает худшее сочетание указанных звеньев по влиянию на замыкающее звено.

Поясним рассмотренные размерные связи на примере фрезерования левой вертикальной плоскости призматической заготовки, при котором надо выдержать горизонтальный чертежный размер L (рисунок 1). Упорной технологической базой, служащей для ориентации заготовки в направлении выдерживаемого размера, является правая косая плоскость. Пересечение верхней горизонтальной плоскости и правой косой плоскости заготовки является правой границей чертежного размера L , сформированной до фрезерования левой границы, и которую можно использовать для базирования перед фрезерованием. Опорная точка, контактирующая с упорной технологической базой, занимает стабильное положение для всех заготовок обрабатываемой партии и поэтому принимается за начало координат положений других элементов заготовки в горизонтальном направлении. Так как эта опорная точка находится ниже измерительной базы на расстоянии h , то фактически технологическая база не совмещена с измерительной базой размера L . Поэтому он является функцией двух размеров A_1 и A_2 , являющихся координатами его границ, задаваемых в принятой системе координат (от технологической базы). Выявленная функциональная зависимость схематически изображается размерной цепью, представленной на рисунке 1. В этой цепи чертежный размер является замыкающим звеном $L = A_1 + A_2$, а размеры A_1 и A_2 являются увеличивающими составляющими звеньями. Размер A_2 следует рассматривать как проекцию размера от опорной точки до измерительной базы на горизонтальное направление, так как фактически при такой обработке формируется плоская размерная цепь. Технологический допуск размера A_1 является погрешностью технологической системы фрезерного станка ε_m , а технологический допуск размера A_2 является погрешностью схемы базирования ε_{cb} . Технологические допуски размеров, выдерживаемых от чистовых технологических баз до элементов деталей, обработанных различными методами, можно принимать по таблицам точности мехобработки (приложение А).

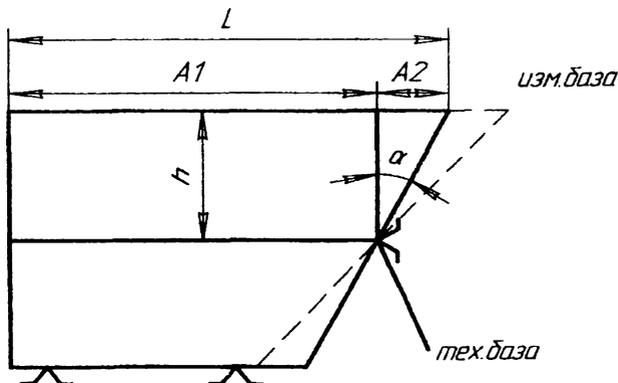


Рисунок 1 – Выявление размерной цепи при обработке вертикальной плоскости заготовки в размер L

В рассматриваемом примере погрешность схемы базирования как технологический допуск размера A_2 возникает за счет рассеяния высоты h и угла α в партии заготовок, сформированных до данной операции. Выразим A_2 через указанные параметры

$$A_2 = h \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.1)$$

Тогда погрешность схемы базирования можно представить как полный дифференциал A_2 по изменяющимся аргументам h и α

$$\varepsilon_{\text{св}} = \frac{\partial A_2}{\partial h} \partial h + \frac{\partial A_2}{\partial \alpha} \partial \alpha = \operatorname{tg} \alpha \cdot dh + h \cdot \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} \right) \cdot d\alpha \quad (2.2)$$

Дифференциалы dh и $d\alpha$ являются по сути технологическими допусками размера h и угла α , соответственно и их значения можно взять из таблиц точности мехобработки.

Технологические подетальные размерные цепи могут включать большее число составляющих звеньев, если техпроцесс выполняется с отступлением от принципа постоянства технологических баз. Этот принцип предполагает использование одного комплекта технологических баз при обработке большинства поверхностей детали. Всякая смена технологических баз увеличивает погрешность взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных баз, на величину погрешности положения этих баз друг от друга. Но во многих случаях приходится отступать от этого принципа с целью обеспечения доступа инструмента к обрабатываемым поверхностям детали и упрощения технологической оснастки.

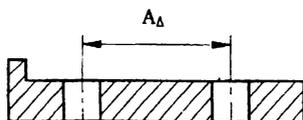
В качестве примера проанализируем три варианта технологии сверления двух отверстий в планке с буртом на одном краю (рисунок 2). Номиналы расстояний от оси каждого отверстия до ближайшего края планки одинаковы. Наиболее точным чертежным размером является расстояние между осями отверстий A_{Δ} которое принимаем в качестве исходного звена при построении размерных цепей для каждого варианта технологии.

В 1 варианте технологии предусмотрены две операции, выполняемые при разном базировании планки в разных приспособлениях. На первой операции (05) при базировании в координатный угол со стороны бурта сверлится первое отверстие (от бурта). На второй операции (10), при базировании по нижней и боковой плоскости и по оси первого отверстия (на разжимной палец), сверлится второе отверстие. Межосевое расстояние A_{Δ} формируется на второй операции при совмещении баз, поэтому не возникает погрешность схемы базирования. Точность A_{Δ} определяется только погрешностью технологической системы. Однако для осуществления такой технологии потребуется два приспособления разной конструкции (второе более сложное приспособление с разжимным пальцем), переналадка вертикально - сверлильного станка или второй такой станок.

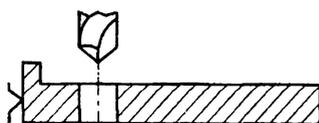
Во 2 варианте технологии, с целью снижения затрат путем исключения второго приспособления, оба отверстия сверлятся на двух операциях при одинаковом базировании, то есть с соблюдением принципа постоянства технологических баз. Но на второй операции A_{Δ} формируется без совмещения баз и является функцией (замыкающим звеном) двух размеров A_1 и A_2 , связывающих его границы с технологической базой, ориентирующей планку в направлении A_{Δ} . Схема трехзвенной размерной цепи для этой технологии получения A_{Δ} сформирована аналогично ранее рассмотренному примеру и приведена на рисунке 2.

В 3 варианте технологии, с целью еще большего снижения затрат на обработку, оба отверстия сверлятся на одной операции, в одном приспособлении за два установка, без смены положения сверла относительно упорной базы. На втором установке планка базируется по стороне без бурта. Это возможно, так как номиналы двух размеров, каждый из которых является расстоянием от края до оси ближайшей отверстия, одинаковы.

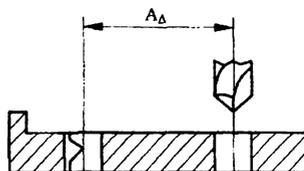
Деталь - планка



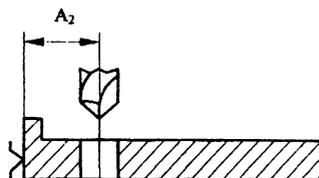
1 вариант технологии обработки отверстий
Операция 05



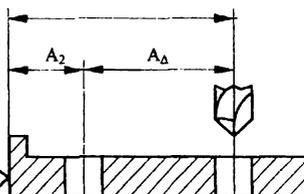
Операция 10



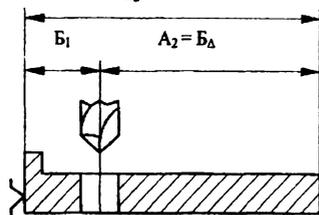
2 вариант технологии обработки отверстий
Операция 05



Операция 10
 A_1



3 вариант технологии обработки отверстий
Операция 05:
Установ А
 B_2



Установ Б
 B_2

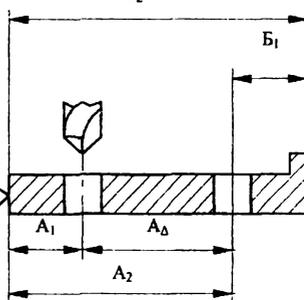


Рисунок 2 – Выявление размерных цепей для исходного размера A_{Δ} при трех вариантах технологии сверления отверстий планки

Размер A_{Δ} формируется на втором установе без совмещения баз и является функцией двух размеров A_1 и A_2 , связывающих его границы с технологической базой (сторона без бурта). Но, в отличие от предыдущего случая, A_2 формируется на первом установе без совмещения баз, и сам является функцией B_{Δ} двух размеров B_1 и B_2 , связывающих его границы с технологической базой на первом установе.

В размерной цепи для A_{Δ} размер $A_2 = B_{\Delta}$ может быть заменен на два его слагаемых B_1 и B_2 . Так как эти два размера формируются при совмещении баз, то других составляющих звеньев в цепи для A_{Δ} не будет. Схема полученной таким образом итоговой размерной цепи приведена на рисунке 2 (третий вариант технологии, установ Б).

Технологический допуск размера A_1 представляет собой погрешность технологической системы вертикально - сверлильного станка, технологический допуск размера B_1 представляет собой погрешность схемы базирования для случая соблюдения постоянства баз (равен технологическому допуску размера A_2 для второй операции второго варианта технологии), технологический допуск размера B_2 представляет собой погрешность непостоянства технологических баз.

Рассмотрим примеры выявления технологических цепей при достижении точности угловых чертежных размеров. Пусть требуется просверлить два перпендикулярных отверстия в бруске прямоугольного сечения и выдержать допуск перпендикулярности осей этих отверстий (см. рисунок 3). Рассмотрим два из возможных вариантов технологии сверления указанных отверстий и выявим для каждого из них угловые размерные цепи, в которых отклонение от перпендикулярности α_{Δ} является исходным звеном.

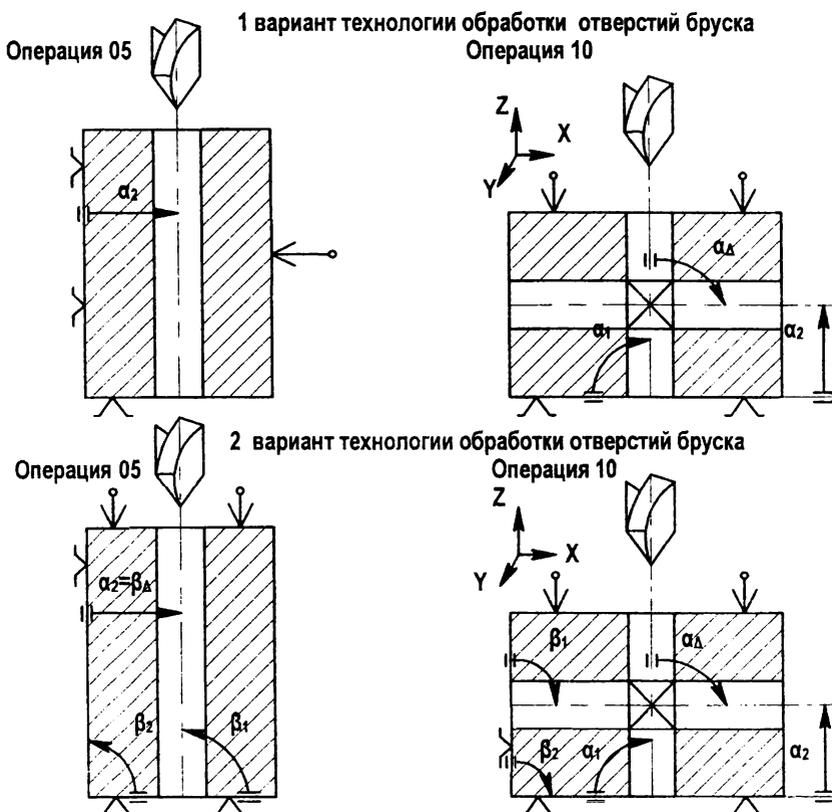


Рисунок 3 – Выявление размерных цепей для исходного размера α_{Δ} при двух вариантах технологии сверления отверстий планки

В 1 варианте технологии на первой вертикально-сверлильной операции базируем брусок в координатный угол с прижимом справа к установочной базе и сверлим длинное отверстие. На 2 вертикально-сверлильной операции базируем по тем же базам, но прижимаем брусок сверху к установочной базе и сверлим короткое отверстие. Перпендикулярность отверстий формируется на 2 операции без соблюдения совмещения баз, так как брусок не базируется по оси длинного отверстия (измерительная база). Технологической базой, ориентирующей брусок в направлении отсчета перпендикулярности (по повороту вокруг координатной оси y), является нижняя плоскость. Тогда перпендикулярность α_{Δ} является функцией двух угловых размеров, связывающих ее границы с технологической базой α_1 и α_2 . Технологический допуск угла α_2 является погрешностью схемы базирования на второй операции. На первой операции α_2 выдерживается при совмещении баз, поэтому других составляющих звеньев в цепи не будет. Численные значения допусков составляющих угловых размеров можно принять по таблицам точности.

Во 2 варианте технологии, чтобы использовать одинаковые приспособления на обеих вертикально-сверлильных операциях с прижимом сверху к нижней установочной базе, изменим установочную базу на первой операции. Вторая операция останется неизменной, и на ней сформируется угловая размерная цепь, аналогичная ранее составленной. Однако параллельность α_2 на первой операции второго варианта технологии формируется без совмещения баз и является замыкающим звеном β_{Δ} , зависящим от перпендикулярностей β_1 и β_2 . Этими размерами заменим угол α_2 в первой размерной цепи. Если углы β_1 и β_2 сформированы при совмещении баз, то других составляющих звеньев не будет.

Рассмотренные примеры не охватывают все варианты возможных размерных связей элементов деталей, возникающих при их обработке. Поэтому для каждого конкретного случая необходимо творчески выявлять размерные связи между элементами детали на основе рассмотренных теоретических положений с учетом конкретных условий базирования, размерной настройки, порядка обработки элементов детали и других факторов. Другие примеры выявления технологических размерных цепей рассматриваются в [1, 2].

Для того чтобы использовать выявленные размерные цепи при анализе приемлемости технологии мехобработки для достижения точности чертежных размеров деталей, необходимо установить взаимосвязи между номиналом, технологическим допуском, предельными отклонениями замыкающего звена и аналогичными параметрами составляющих звеньев. Эти взаимосвязи устанавливаются путем решения размерной цепи методом максимума-минимума или теоретико-вероятностным методом.

3 МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

3.1 Проверочный расчет линейных размерных цепей методом максимума-минимума

Взаимосвязь номинальных значений размеров и линейной размерной цепи устанавливается на основе замкнутости контура цепи и того факта, что замыкающее звено является разностью координат его границ, отсчитываемых от начала принятой системы координат. С учетом того, что каждая из координат может быть алгебраической суммой нескольких составляющих размеров (увеличивающих и уменьшающих), в общем случае величина замыкающего звена A_{Δ} равна разности между суммой всех увеличивающих звеньев и суммой всех уменьшающих звеньев цепи.

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_j - \sum_{j=1}^m \bar{A}_j, \quad (3.1)$$

где j - текущий номер составляющего звена.

Это равенство называется условием замкнутости размерной цепи.

Для установления взаимосвязи между предельными размерами и допусками замыкающего звена и составляющих звеньев, при использовании метода максимума-минимума, учитываются предельно допустимые значения всех звеньев цепи и самые неблагоприятные их сочетания в отдельной реализации цепи (то есть для одного экземпляра детали). Если при обработке одного экземпляра детали в поддетальной размерной цепи все увеличивающие звенья приобретут максимальные предельные значения, а все уменьшающие звенья - минимальные предельные значения, то замыкающее звено приобретет максимальное возможное значение.

$$A_{\Delta \max} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_{j \max} - \sum_{j=1}^m \bar{A}_{j \min} \quad (3.2)$$

где \bar{A}_j - j -тое увеличивающее звено; \bar{A}_j - j -тое уменьшающее звено; n - число увеличивающих составляющих звеньев; m - число уменьшающих составляющих звеньев.

Замыкающее звено приобретет минимальное возможное значение, если в размерную цепь включить все увеличивающие звенья с минимальными значениями, а уменьшающие звенья - с максимальными значениями.

$$A_{\Delta \min} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_{j \min} - \sum_{j=1}^m \bar{A}_{j \max} \quad (3.3)$$

Вычитая почленно равенство (3.3) из равенства (3.2), получим соотношение допусков

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^{n+m} TA_j, \quad (3.4)$$

где TA_{Δ} - допуск замыкающего звена; TA_j - допуск j -того составляющего звена.

Вычитая почленно равенство (3.1) из равенства (3.2) и равенство (3.1) из равенства (3.3), получим два соотношения предельных отклонений звеньев цепи:

$$ES_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E\bar{S}_j - \sum_{j=1}^m E\bar{I}_j, \quad (3.5)$$

$$EI_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E\bar{I}_j - \sum_{j=1}^m E\bar{S}_j \quad (3.6)$$

где ES_{Δ} - верхнее отклонение замыкающего; ES_j - верхнее отклонение j -того составляющего звена; EI_{Δ} - нижнее отклонение замыкающего; EI_j - нижнее отклонение j -того составляющего звена.

Полученные равенства (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) используются при выполнении **проверочного расчета** размерной цепи методом максимума-минимума, когда по известным параметрам составляющих звеньев определяются параметры замыкающего звена, получаемые в результате обработки, и сравниваются с заданными на чертеже детали допустимыми значениями параметров замыкающего звена. Например, если технологический допуск TA_{Δ} , рассчитанный по уравнению (3.4), окажется меньше нормированного допуска $TA_{\Delta n}$ размера A_{Δ} , заданного на чертеже детали, то технология мехобработки, исходя из которой построена размерная цепь, приемлема для достижения точности этого размера. В противном случае требуется выполнить проектный расчет цепи с целью определения возможных параметров составляющих звеньев, при которых параметры замыкающего звена окажутся в допустимых пределах.

Существенным недостатком расчета методом максимума-минимума является необходимость достижения высокой точности составляющих размеров (их малых технологических допусков), для получения требуемой точности чертежных размеров деталей, особенно для

многозвенных размерных цепей. Это приводит к увеличению трудоемкости и себестоимости изготовления деталей. Поэтому расчет методом максимума-минимума рекомендуется использовать для малозвенных размерных цепей (до 4 составляющих звеньев). Примеры проверочного расчета цепей методом максимума-минимума приведены в [3].

3.2 Проектный расчет линейных размерных цепей методом максимума-минимума

Целью проектного расчета размерной цепи является определение допусков и предельных значений составляющих звеньев по заданным предельным значениям и допуску замыкающего звена. Сделать это, используя только уравнения (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), невозможно, так как каждое из них содержит много неизвестных параметров и поэтому не имеет однозначного математического решения. Чтобы не тратить много времени на бессистемный подбор параметров составляющих звеньев, удовлетворяющих указанным равенствам, их разнообразие целесообразно ограничить определенным условием. Наиболее часто в качестве такого условия принимается равенство допусков составляющих звеньев, или равноточность допусков составляющих звеньев. Принимая равные допуски для звеньев с большой разницей номиналов, можно получить для составляющих звеньев с большими номиналами очень высокий уровень точности (технически не достижимый или экономически неприемлемый). Это объясняется действием масштабного фактора, в силу которого величина погрешностей пропорциональна величине размера, получаемого от технологической базы до поверхности, обрабатываемой определенным методом.

Более рационально допуски составляющих звеньев определять с учетом их номинальных значений по одному качеству, принимая условие равноточности составляющих звеньев. Номер такого качества можно определить на основе принципов построения единой системы допусков и посадок (ЕСДП). В ней любой допуск можно определить по формуле

$$TA_j = \alpha_j^r i_j, \quad (3.7)$$

где α_j - число единиц допуска j -того размера, зависящее от номера качества, которому принадлежит определяемый допуск (таблица Е 5 приложения Е); i_j - единица этого допуска, зависящая от номинала j -того размера (таблица Е4 приложения Е).

Для равноточных допусков значение α_j одинаково, то есть $\alpha_j = \alpha$. Подставив (3.7) в (3.4), после преобразований получим выражение для расчета α

$$\alpha = TA_\Delta / \sum_{j=1}^{n+m} i_j, \quad (3.8)$$

Номер качества, соответствующий рассчитанному значению α , определяют по специальной таблице.

Если в размерной цепи есть составляющие звенья, допуски которых регламентированы соответствующими стандартами или заданы на чертеже детали, то в числитель формулы (3.8) надо подставлять разность допуска замыкающего звена и суммы допусков стандартных и нормированных чертежом звеньев.

Исходными данными для проектного расчета являются: схема размерной цепи; номиналы всех звеньев, соответствующие условию замкнутости размерной цепи; нормированный допуск TA_Δ и предельные значения замыкающего звена, заданные на чертеже детали.

Проектный расчет методом максимума-минимума выполняется в следующей последовательности.

1. Определяются единицы допусков всех составляющих звеньев i_j (кроме стандартных звеньев) по таблице Е4 приложения Е, в зависимости от их номиналов A_j .

2. По справочникам принимаются допуски и предельные отклонения стандартных составляющих звеньев, если они есть в цепи.

3. Определяется среднее число единиц допусков нестандартных составляющих звеньев

$$\alpha = \frac{TA_{\Delta n} - \sum_{j=1}^p TA_{j\sigma}}{\sum_{j=1}^{n+m-p} i_j}, \quad (3.9)$$

где $TA_{j\sigma}$ - допуск j -того стандартного составляющего звена; p - число стандартных составляющих звеньев.

4. По таблице Е 5 приложения Е определяется номер качества, которому соответствует расчетное значение α . Если α точно не соответствует определенному качеству, то для назначения допусков составляющих звеньев принимаются два качества, ближайшие по числу единиц допусков к α . Это позволит полнее распределить допуск замыкающего звена на составляющие звенья.

5. По таблице Е 1 (таблица допусков ЕСДП) назначают допуски на все нестандартные составляющие звенья по принятому качеству (или двум качествам), с учетом номиналов A_j .

6. Проверяются принятые допуски стандартных и нестандартных составляющих звеньев на соответствие условию

$$TA_{\Delta n} \geq \sum_{j=1}^{n+m} TA_j \quad (3.10)$$

Отличие правой и левой частей неравенства (3.10) не должно превышать 20% допуска замыкающего звена. В противном случае – скорректировать допуски нестандартных звеньев.

7. Определяются средние отклонения всех составляющих звеньев (кроме одного нестандартного корректируемого звена, по возможности не являющегося чертежным размером) по формулам:

- на стандартные звенья и чертежные размеры

$$EM_j = EI_{cj} + TA_{cj}/2, \quad (3.11)$$

- на нестандартные уменьшающие звенья (как на основные валы)

$$EM_j = -TA_j/2, \quad (3.12)$$

- на нестандартные увеличивающие звенья (как на основные отверстия)

$$EM_j = +TA_j/2, \quad (3.13)$$

где EI_{cj} - нижнее предельное отклонение j -того стандартного или чертежного звена.

Возможны и другие целесообразные способы определения средних отклонений составляющих звеньев.

8. Определяется среднее отклонение корректируемого нестандартного звена с учетом средних отклонений остальных стандартных и нестандартных звеньев:

- если это звено увеличивающее

$$EM_{\Delta} = \sum_{j=1}^m EM_j - \sum_{j=1}^{n-1} EM_j + EM_{\Delta}, \quad (3.14)$$

-если это звено уменьшающее

$$EM_{\Delta} = \sum_{j=1}^n EM_j - \sum_{j=1}^{m-1} EM_j - EM_{\Delta}, \quad (3.15)$$

где EM_j и EM_j - средние отклонения j -того увеличивающего и j -того уменьшающего звена, соответственно; EM_{Δ} - среднее отклонение замыкающего звена.

9. Определяются верхнее ES_j и нижнее El_j предельные отклонения всех нестандартных составляющих звеньев

$$ES_j = EM_j + TA_j / 2 \quad (3.16)$$

$$El_j = EM_j - TA_j / 2 \quad (3.17)$$

10. Определяются предельные значения всех нестандартных составляющих звеньев

$$A_{j \max} = A_j + ES_j \quad (3.18)$$

$$A_{j \min} = A_j + El_j, \quad (3.19)$$

где A_j - номинал j -того составляющего звена.

11. Проверяется выполнение равенств (3.2) и (3.3) с учетом предельных значений всех стандартных, чертежных и нестандартных составляющих звеньев.

12. По таблицам точности обработки (приложение Г) выбрать методы обработки, гарантирующие получение качеств и допусков составляющих звеньев, назначенных в пунктах 4, 5. При этом нужно учесть, что качества и технологические допуски (поля рассеяния), указанные в таблицах точности, соответствуют обработке при базировании по чистовым базам, погрешностями формы которых, можно пренебречь. При обработке с базированием по черновым базам, технологический допуск размера от базы до обрабатываемой поверхности нужно увеличивать по сравнению с табличным допуском на величину погрешности формы черновой базы заготовки. Погрешности формы поверхностей заготовок приведены в [5, 6, 7, 8] и приложениях А, Б, В.

3.3 Проверочный расчет линейных размерных цепей теоретико-вероятностным методом

Этот метод позволяет уменьшить требования к точности размеров деталей, входящих в размерную цепь, при условии, что незначительная доля деталей обрабатываемой партии будет иметь замыкающие звенья, выходящие за пределы заданного на чертеже допуска. Таким образом, сознательно допускается брак, так как на составляющие звенья назначаются расширенные допуски, не удовлетворяющие условию (3.4). Если доля таких бракованных деталей невелика, то сумма затрат на изготовление партии деталей с расширенными допусками и дополнительных затрат на исправление брака обычно значительно меньше расходов на изготовление той же партии с более точными размерами деталей, допуски которых рассчитаны методом максимума-минимума. Взаимосвязь между допустимой долей брака и параметрами рассеяния замыкающего и составляющих звеньев устанавливается с использованием законов теории вероятностей, поэтому такой метод расчета размерной цепи называется теоретико-вероятностным.

Составляющие звенья являются размерами деталей, которые при механической обработке на настроенных станках формируются как случайные величины. Тогда замыкающее звено, как алгебраическая сумма составляющих звеньев, также является случайной величиной. Большинство законов распределения, которым подчиняются размеры обработанных деталей, характеризуются тем, что значения случайной величины, близкие к границам поля рассеяния, возникают значительно реже, чем значения, близкие к середине поля рассеяния. У суммарной случайной величины такой характер распределения выражен еще сильнее, так как сочетание крайних значений слагаемых еще менее вероятно. Благодаря этому часто удается получать незначительные доли брака при существенном расширении допусков составляющих звеньев.

Из теории вероятностей известно, что дисперсия суммарной случайной величины равна сумме дисперсий слагаемых случайных величин. При нормальном распределении дисперсия равна квадрату среднего квадратического отклонения. Для этих условий применительно к звеньям размерной цепи можно записать

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sum_{j=1}^{n+m} \sigma_j^2, \quad (3.20)$$

где σ_{Δ} и σ_j - средние квадратические отклонения замыкающего звена и j - того составляющего звена соответственно.

Если распределение случайной величины отличается от нормального, то для сравнения поля ее рассеяния ω с полем рассеяния при нормальном распределении ω_n (при равных σ) применяют коэффициент относительного рассеяния K

$$K = \omega_n / \omega \quad (3.21)$$

Поле рассеяния величины, распределенной по нормальному закону, принято выражать через среднее квадратическое отклонение и коэффициент риска t по формуле

$$\omega_n = 2 \cdot t \cdot \sigma \quad (3.22)$$

Коэффициент риска показывает, сколько средних квадратических отклонений укладывается между серединой (центром группирования) и одной из симметричных границ поля рассеяния. Известно, что в диапазон рассеяния $\omega_n = 6\sigma$ (при $t = 3$) попадает 99,73 % реализаций случайной величины при нормальном законе ее распределения (практически 100%). Поэтому $\omega_n = 6\sigma$ принимается при практических расчетах за полное поле рассеяния. Выразим ω_n из (3.21) и, подставив в (3.22), после преобразований получим

$$\sigma = \frac{K \cdot \omega}{2 \cdot t} \quad (3.23)$$

Подставив (3.23) с соответствующими индексами в (3.20) после сокращения постоянных множителей получим

$$\frac{K_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} \cdot \omega_{\Delta}^2 = \sum_{j=1}^{n+m} \frac{K_j^2}{t_j^2} \cdot \omega_j^2 \quad (3.24)$$

Из теории вероятностей известно, что суммарная случайная величина подчиняется нормальному закону распределения независимо от законов распределения слагаемых случайных величин, если число слагаемых больше или равно 4. Поэтому в теоретико-вероятностных расчетах принимают $K_{\Delta} = 1$. Для всех составляющих звеньев в расчетах принимают полные поля рассеяния $\omega_{ij} = 6\sigma$ при $t_j = 3$. Тогда выражение (3.24) преобразуется в (3.25)

$$\omega_{\Delta}^2 = t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{n+m} \lambda_j^2 \cdot \omega_j^2 \quad (3.25)$$

или в (3.26)

$$\omega_{\Delta} = t_{\Delta} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^{n+m} \omega_j^2 \cdot \lambda_j^2} \quad (3.26)$$

где $\lambda_j = K_j / 3$ приведенный коэффициент относительного рассеяния

Для основных законов распределения λ^2 имеет следующие значения:

- нормальный закон $\lambda^2 = 1/9$
- закон Релея (эксцентриситета) $\lambda^2 = 0,1337$
- закон Симпсона $\lambda^2 = 1/6$;
- закон равной вероятности $\lambda^2 = 1/3$

Коэффициент риска замыкающего звена t_{Δ} в формуле (3.26) учитывает допустимую долю бракованных изделий. Его можно определить по таблице значений функции Лапласа $\Phi(t)$, которая показывает вероятность попадания нормально распределенной случайной величины в интервал $l = \sigma \cdot t$, расположенный слева или справа от центра группирования. Если значение l принять равным половине нормированного допуска замыкающего звена $TA_{\Delta n}$, значение функции Лапласа $\Phi(t)$ будет соответствовать половине вероятности получения годных деталей P_2

$$TA_{\Delta} / 2 = \sigma_{\Delta} \cdot t_{\Delta} \quad \text{или} \quad t_{\Delta} = TA_{\Delta} / 2 \cdot \sigma_{\Delta}, \quad (3.27)$$

$$\Phi(t_{\Delta}) = P_2 / 2 = (1 - P_6) / 2, \quad (3.28)$$

где P_6 - допустимая доля (вероятность) бракованных изделий.

Преимущества теоретико-вероятностного расчета над расчетом методом максимума-минимума поясним следующим примером. Пусть размерная цепь имеет 4 составляющих звена, близких по номинальным значениям, значения которых распределены по нормальному закону ($\lambda_j^2 = 1/9$). Тогда для них можно принять равные поля рассеяния ω_j . Примем $t_{\Delta} = 3$, допуская тем самым незначительную долю брака $P_6 = 0,0027$ (0,27 %), то есть приблизительно 3 изделия из 1000. В этом случае из формулы (3.26) получим равенство

$$\omega_{\Delta} = \sqrt{4\omega_j^2} = 2 \cdot \omega_j, \quad \text{то есть} \quad \omega_j = \omega_{\Delta} / 2$$

При тех же условиях расчетом методом максимума-минимума по формуле (3.4) получим

$$TA_{\Delta} = 4TA_j \quad \text{или} \quad TA_j = TA_{\Delta} / 4$$

Сравнение ω_j с TA_j показывает, что при указанных условиях использование теоретико-вероятностного расчета позволяет расширить допуски составляющих звеньев в 2 раза, без существенного уменьшения доли годных изделий.

При выполнении **проверочного расчета** размерной цепи теоретико-вероятностным методом необходимо проверить выполнение равенства (3.26) и равенства (3.29), устанавливающее соотношение средних значений замыкающего звена и составляющих звеньев

$$A_{\Delta cp} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_{jcp} - \sum_{j=1}^m \bar{A}_{jcp} \quad (3.29)$$

Если поле рассеяния ω_{Δ} , рассчитанное по уравнению (3.26), окажется меньше нормированного допуска $TA_{\Delta n}$ размера A_{Δ} , заданного на чертеже детали, то технология мехобработки, исходя из которой построена размерная цепь, приемлема для достижения точности этого размера.

Если равенства (3.26) и (3.29) не выполняются, необходим проектный расчет размерной цепи теоретико-вероятностным методом.

3.4 Проектный расчет линейных размерных цепей теоретико-вероятностным методом

При проектном расчете размерных цепей теоретико-вероятностным методом целесообразно принимать условие равнозначности допусков составляющих звеньев. Исходя из этого условия, определяется среднее число единиц допусков составляющих звеньев a и по нему выбирается номер качества, из которого следует принимать допуски составляющих звеньев.

Формулу для расчета a получим из (3.26). Разобьем подкоренную сумму в правой части этой формулы на две суммы (для стандартных и нестандартных звеньев). В сумме для нестандартных звеньев заменим ω_j на произведение $a \cdot i_j$, как при проектном расчете ме-

тодом максимума-минимума), вынесем a^2 за знак суммы и, перенеся a в левую часть равенства, получим

$$a = \sqrt{\frac{\omega_{\Delta}^2 - t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^p \lambda_{jc}^2 \cdot \omega_{jc}^2}{t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{n+m-p} \lambda_j^2 \cdot i_j^2}} \quad (3.30)$$

Рассчитанное по формуле (3.30) значение a можно использовать для назначения качества, из которого выбираются допуски составляющих звеньев с учетом их номиналов.

Исходными данными для теоретико-вероятностного проектного расчета являются: схема размерной цепи; номиналы всех звеньев, соответствующие условию замкнутости размерной цепи; нормированный допуск $TA_{\Delta n}$ и предельные значения замыкающего звена, заданные на чертеже детали, законы распределения составляющих звеньев, допустимая доля бракованных изделий.

Проектный расчет теоретико-вероятностным методом выполняется в следующей последовательности:

1. Выполнить пункт 1 для расчета методом максимума-минимума.
2. Выполнить пункт 2 для расчета методом максимума-минимума.
3. Определить значение функции Лапласа, равное половине вероятности годных деталей, по формуле (3.28) с учетом заданной доли брака по размеру A_{Δ} .
4. По таблице функции Лапласа (таблица Е6 приложения Е) определить значение коэффициента риска t_{Δ} , соответствующего значению этой функции, найденному в пункте 3.
5. Для заданного закона распределения составляющих звеньев принять значение λ^2 (одинаковое для всех составляющих звеньев).
6. Определить среднее число единиц допусков составляющих звеньев по формуле (3.30), приняв $\omega_{\Delta} = TA_{\Delta n}$.
7. Выполнить пункт 4 для расчета методом максимума-минимума.
8. Выполнить пункт 5 для расчета методом максимума-минимума.
9. Проверить допуски стандартных и нестандартных составляющих звеньев на соответствие условию

$$TA_{\Delta n} \geq t_{\Delta} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^{n+m} \omega_j^2 \cdot \lambda_j^2} \quad (3.31)$$

Отличие правой и левой частей неравенства (3.31) не должно превышать 20% допуска замыкающего звена. В противном случае – скорректировать допуски нестандартных звеньев.

10. Выполнить пункты 7 - 10 для расчета методом максимума-минимума.

11. Определить средние значения замыкающего звена по формуле (3.32) и составляющих звеньев по формуле (3.33)

$$A_{\Delta cp} = A_{\Delta} + EM_{\Delta} \quad (3.32)$$

$$A_{j cp} = A_j + EM_j \quad (3.33)$$

12. Выполнить проверку правильности расчетов средних размеров по условию (3.29).

13. По таблицам точности обработки (приложение Г) выбрать методы обработки, гарантирующие получение качеств и допусков составляющих звеньев, назначенных в пунктах 7, 8. При этом нужно учесть, что качества и технологические допуски (поля рассеяния), указанные в таблицах точности, соответствуют обработке при базировании по чистовым базам, погрешностями формы которых можно пренебречь. При обработке с базированием по черновым базам, технологический допуск размера от базы до обрабатываемой поверхности нужно увеличивать по сравнению с табличным допуском на величину погрешности формы черновой базы заготовки. Погрешности формы поверхностей заготовки приведены в [5, 6, 7, 8] и приложениях А, Б, В.

3.5 Особенности расчета технологической размерной цепи с замыкающим звеном в виде припуска

Выявление такой цепи выполняется по методике, изложенной в подразделе 2.2, аналогично выявлению цепей для чертежных размеров детали. Цель ее расчета - определение номинального и предельных значений припуска и размера заготовки (или промежуточного размера полуфабриката). Особенности расчета такой цепи вызваны отсутствием данных о номинале и допуске припуска и о номинале размера заготовки (или промежуточного размера полуфабриката), входящего в цепь. Поэтому нет возможности выполнить проверочный расчет цепи. Вместо указанных данных, приходится находить значение минимального припуска расчетно-аналитическим методом или принимать припуск, допуск и предельные отклонения размера заготовки по соответствующему стандарту [4, 5, 6]. Это вызывает необходимость изменения порядка проектного расчета цепи, по сравнению с порядком, изложенным в подразделах 3.2 и 3.4.

Такая цепь рассчитывается в следующем порядке:

1. Рассчитать минимальное допустимое значение припуска по одной из формул, используемых в расчетно-аналитическом методе определения припусков. При расчете минимального одностороннего припуска на обработку плоской или фасонной поверхности используется формула

$$z_{i,\min} = R_{z,i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi} \quad (3.34)$$

При расчете минимального одностороннего припуска на обработку поверхностей вращения используется формула

$$z_{i,\min} = R_{z,i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \quad (3.35)$$

где $R_{z,i-1}$ - высота микронеровностей обрабатываемой поверхности; h_{i-1} - толщина деформационного поверхностного слоя; ρ_{i-1} - сумма погрешностей формы и погрешностей расположения обрабатываемой поверхности относительно технологической базы, используемой при удалении припуска для ориентации заготовки в направлении этого припуска; ε_{yi} - погрешность установки заготовки ε_{yi} .

Индекс $i-1$ означает, что составляющая припуска соответствует поверхности, полученной на переходе, предшествующем i -тому, а индекс i - что составляющая определяется для условий перехода, на котором удаляется припуск. Все указанные составляющие определяются в направлении, нормальном к получаемой поверхности детали. Их значения определяются по методикам, изложенным в [4] с учетом нормативов, приведенных в приложениях А, Б, В, Г, Д.

В случае, когда весь припуск с поверхности отливки или поковки удаляется за один переход, его номинал z принимается по [5, 6] соответственно.

2. По чертежу детали, операционным картам и картам операционных эскизов принять номиналы составляющих звеньев цепи, кроме номинала размера заготовки (или промежуточного размера полуфабриката).

3. По чертежу детали принять допуски для тех составляющих звеньев цепи, которые на нем указаны. По картам операционных эскизов или таблицам точности (приложение Г) принять технологические допуски составляющих звеньев, формируемых на промежуточных переходах мехобработки. По [5, 6, 7, 8] (или таблицам приложений А, Б, В) принять предельные отклонения и допуск размера заготовки (проката, отливки, поковки);

4. По уравнению (3.4) или (3.26), в зависимости от метода расчета цепи, определить допуск припуска Tz ;

5. Выполнить пункт 7 проектного расчета методом максимума-минимума.

6. Определить среднее отклонение припуска по формуле

$$EM_z = \sum_{j=1}^n \bar{EM}_j - \sum_{j=1}^m \bar{EM}_j \quad (3.36)$$

7. Выполнить пункт 9 проектного расчета методом максимума-минимума.

8. Определить предельные отклонения припуска

$$ES_z = EM_z + Tz / 2 \quad (3.37)$$

$$EI_z = EM_z - Tz / 2 \quad (3.38)$$

9. Определить номинальный припуск (если он не был назначен в пункте 2 по стандарту) по формуле

$$z = z_{\min} - EI_z \quad (3.39)$$

10. Определить номинальный размер заготовки (или промежуточный размер полуфабриката):

если он является увеличивающим звеном - по формуле (3.40)

$$\bar{A}_{j\beta} = Z + \sum_{j=1}^m \bar{A}_j - \sum_{j=1}^{n-1} \bar{A}_j, \quad (3.40)$$

если он является уменьшающим звеном - по формуле (3.41)

$$\bar{A}_{j\beta} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_j - \sum_{j=1}^{m-1} \bar{A}_j - Z \quad (3.41)$$

11. Определить предельные значения составляющих звеньев

$$A_{j \max} = A_j + ES_j \quad (3.42)$$

$$A_{j \min} = A_j + EI_j \quad (3.43)$$

12. Определить максимальное значение припуска

$$Z_{\max} = Z_{\min} + Tz \quad (3.44)$$

13. Проверить правильность расчетов по условию

$$z = z_{\min} - \sum_{j=1}^n \bar{EI}_j + \sum_{j=1}^m \bar{ES}_j \quad (3.45)$$

4 Порядок выполнения практической работы

1. Получить у преподавателя задание, включающее следующие сведения:

- чертеж детали средней сложности;
- технологический процесс изготовления этой детали, оформленный на маршрутных картах, операционных картах и картах операционных эскизов;
- чертежный размер детали, или припуск, для которого следует построить технологическую поддетальную размерную цепь;
- допустимую долю бракованных деталей по заданному чертежному размеру.

2. По операционным картам и картам операционных эскизов найти технологическую операцию, при выполнении которой окончательно формируется указанный чертежный размер (или припуск).

3. Выявить размерную цепь, в которой чертежный размер (или припуск) является исходным звеном, по методике, приведенной в подразделе 2.2. Обосновать выявление размерной цепи.

4. Выписать из чертежа, технологических карт, карт операционных эскизов номиналы, допуски и предельные отклонения замыкающего звена и составляющих звеньев размерной цепи.

5. Если замыкающим звеном является чертежный размер, следует выполнить проверочный расчет размерной цепи методом максимума-минимума (подраздел 3.1) и теоретико-вероятностным методом (подраздел 3.3) и последующие пункты (6...9) данного порядка выполнения практической работы.

Если замыкающим звеном является припуск, следует выполнить расчет цепи в соответствии с порядком, указанным в подразделе 3.5, не выполняя последующие пункты (6...9).

6. Дать заключение о приемлемости техпроцесса для достижения точности заданного чертежного размера.

7. Если в результате проверочных расчетов методом максимума-минимума и теоретико-вероятностным методом установлено, что точность чертежного размера не обеспечивается, выполнить проектные расчеты размерной цепи методом максимума-минимума и теоретико-вероятностным методом по методикам, изложенным в подразделах 3.2 и 3.4.

8. Сравнить номера квалитетов, полученные для составляющих звеньев в расчетах методом максимума-минимума и теоретико-вероятностным методом и сделать вывод о предпочтительности одного из методов расчета размерной цепи.

9. По допускам составляющих звеньев, найденным в проектном расчете предпочтительным методом (установленном в пункте.9), назначить методы механической обработки поверхностей, являющихся границами составляющих звеньев. Для этого воспользоваться таблицами точности мехобработки из приложения Г.

5. Контрольные вопросы

1. Понятие размерной цепи.
2. Цели, достигаемые выявлением и решением размерных цепей.
3. Разновидности звеньев размерных цепей.
4. Позиционные связи, задаваемые размерной цепью.
5. Обоснование замкнутости размерной цепи.
6. Классификация размерных цепей по виду и направлению звеньев.
7. Классификация размерных цепей по виду анализируемого объекта.
8. Классификация размерных цепей по назначению.
9. Виды исходных звеньев при выявлении подетальных технологических размерных цепей.
10. Выявление подетальных технологических размерных цепей, устанавливающих позиционные связи для отдельной операции мехобработки.
11. Выявление подетальных технологических размерных цепей, устанавливающих позиционные связи для техпроцесса мехобработки.
12. Условие замкнутости размерной цепи.
13. Классификация методов расчета размерных цепей по уровню надежности достижения точности замыкающего звена.
14. Классификация способов расчета размерных цепей по цели расчета и виду исходных данных.
15. Положения, лежащие в основе расчета размерной цепи методом максимума-минимума.
16. Соотношения предельных значений звеньев размерной цепи при ее расчете методом максимума-минимума.
17. Соотношения допусков звеньев размерной цепи при ее расчете методом максимума-минимума.
18. Способы распределения допуска замыкающего звена на составляющие звенья при проектном расчете размерных цепей.

19. Формула для определения допусков в ЕСДП.
20. Расчет среднего числа единиц допусков составляющих звеньев при проектном расчете размерной цепи методом максимума-минимума.
21. Определение качества для назначения допусков составляющих звеньев при проектном расчете размерной цепи методом максимума-минимума.
22. Соотношение средних отклонений всех звеньев размерной цепи.
23. Рациональный способ назначения неизвестных средних отклонений нестандартных составляющих звеньев цепи.
24. Понятие корректируемого звена цепи и его параметры, подлежащие корректировке при проектном расчете.
25. Расчет среднего отклонения увеличивающего корректируемого звена.
26. Расчет среднего отклонения уменьшающего корректируемого звена.
27. Расчет предельных отклонений и предельных значений составляющих звеньев цепи.
28. Основы теоретико-вероятностного метода расчета размерных цепей.
29. Преимущества теоретико-вероятностного метода расчета размерных цепей.
30. Понятие коэффициента риска для поля рассеяния случайной величины.
31. Определение коэффициента риска для замыкающего звена размерной цепи по допустимой доле брака.
32. Характеристики законов распределения составляющих звеньев размерной цепи, влияющие на поле рассеяния замыкающего звена.
33. Соотношение между полем рассеяния замыкающего звена и полями рассеяния составляющих звеньев при теоретико-вероятностном методе расчета размерных цепей.
34. Определение среднего числа единиц допусков составляющих звеньев при теоретико-вероятностном методе расчета размерных цепей.
35. Оценка приемлемости техпроцесса мехобработки для достижения точности чертежного размера детали на основе решения полетальной технологической размерной цепи.
36. Причины особенностей решения размерных цепей с замыкающим звеном в виде припуска.
37. Дополнительные сведения, привлекаемые для расчета размерной цепи с замыкающим звеном в виде припуска.
38. Определение минимального допустимого припуска и предельных отклонений размера заготовки.
39. Определение номинального и максимального значений припуска, как замыкающего звена размерной цепи.
40. Определение среднего отклонения размера заготовки и номинального значения размера заготовки.

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Махаринский, Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: учебник / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов. – Мн. Выш. шк. 1997.
2. Проектирование технологии: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов/ И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко [и др.]; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
3. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник. – 3-е изд. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 512 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского.- М.: Машиностроение-1, 2001. – Т.1 – 914 с.
5. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку: ГОСТ 26645-85. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 55 с.
6. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89.- М.: Издательство стандартов, 1990. – 52 с.
7. Прокат стальной горячекатаный круглый: ГОСТ 2590-88.- М.: Издательство стандартов, 1988. – 8 с.
8. ГОСТ 103-76(87) Полоса стальная горячекатаная.- М.: Издательство стандартов, 1987. – 6 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**Погрешности размеров, формы и расположения
поверхностей заготовок
и поверхностей деталей после механической обработки**

Приложение А
Точность и качество заготовок из проката

Таблица А. 1 - Точность горячекатаного круглого проката (ГОСТ 2590)

Диаметры проката, мм	Предельные отклонения диаметра в мм, при точности проката					
	высокой		повышенной		обычной	
	верх. (+)	ниж. (-)	верх. (+)	ниж. (-)	верх. (+)	ниж. (-)
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7; 8; 9	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5
10-19 (через 1)	0,1	0,3	0,1	0,5	0,3	0,5
20-25 (через 1)	0,1	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5
26-42 (через 2); 45; 48	0,1	0,5	0,2	0,7	0,4	0,7
50-54; 55; 56; 58	0,1	0,7	0,2	1	0,4	1
60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78	0,1	0,9	0,3	1,1	0,5	1,1
80; 82; 85-95 (через 5)	0,3	1,1	0,3	1,3	0,5	1,3
100-115 (через 5)	-	-	0,4	1,7	0,6	1,7
120-155 (через 5)	-	-	0,6	2	0,8	2
160-200 (через 5)	-	-	-	-	0,9	2,5
210-270 (через 10)	-	-	-	-	1,2	3

Таблица А. 2 - Точность листового горячекатаного проката (ГОСТ 103)

Ширина полосы, мм	Предельные отклонения ширины в мм, при точности проката			
	повышенной		нормальной	
	верх. (+)	ниж. (-)	верх. (+)	ниж. (-)
11-60	0,3	0,9	0,5	1
63-65	0,3	1,1	0,5	1,3
70-75	0,3	1,3	0,5	1,4
80-85	0,5	1,4	0,7	1,6
90-95	0,6	1,8	0,9	1,8
100-105	0,7	2	1	2
110	0,8	2,2	1	2,2
120-125	0,9	2,4	1,1	2,4
130-150	1	2,5	1,2	2,8
150-180	1,2	2,8	1,4	3,2
180-200	1,4	-	1,7	4
Толщина полосы, мм	Предельные отклонения толщины в мм, при точности проката			
	повышенной		нормальной	
	верх. (+)	ниж. (-)	верх. (+)	ниж. (-)
4-6	0,2	0,3	0,2	0,5
6-16	0,2	0,4	0,2	0,5
16-25	0,2	0,6	0,2	0,8
25-32	0,2	0,7	0,2	1,2
36; 40	0,2	1	0,2	1,6
45; 50	0,2	1,5	0,3	2
56; 60	0,2	1,8	0,3	2,4

Таблица А. 3 - Качество поверхности сортового проката

Диаметр или толщина проката, мм	Высота шероховатости R_z и глубина дефектного слоя h в мкм при точности проката					
	высокая		повышенная		обычная	
	R_z	h	R_z	h	R_z	h
До 30	63	50	80	100	125	150
30-80	100	75	125	150	160	250
80-120	125	100	160	200	200	300
180-250	200	200	250	300	320	400

Таблица А 4 – Точность и качество поверхности после резки проката

Способ резки	Квалитет точности размера от базы до реза	Сумма высоты шероховатости и глубины дефектного слоя $R_z + h$, мкм	Отклонение от перпендикулярности поверхности реза от направляющей базы проката, мм
Приводными ножовками, дисковыми фрезами	14	200	0,001D, где D – диаметр или толщина проката
Пресс – ножницами, гильотинными ножницами, дисковыми ножницами	17	300	0,01D
отрезными токарными резцами	13	200	0,045D

Таблица А. 5 - Удельная кривизна проката в мкм/мм

Характеристика проката	При длине проката, мм				
	До 120	120-180	180-315	315-400	400-500
Горячекатаный сортовой, без правки и термообработки: обычной точности повышенной точности высокой точности	0,5	1	1,5	2	2,5
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Поперечно-винтовой: обычной точности повышенной точности	4				
	2				
Горячекатаный сортовой, без правки после закалки: в печах на установках ТВЧ	При диаметре проката, мм				
	До 30	30-50	50-80	80-120	120-180
	2	1,3	0,9	0,6	0,5
на установках ТВЧ	1	0,6	0,45	0,3	0,15
После правки на прессах	0,13	0,12	0,11	0,1	0,08
Калиброванный : по 10-11 квалитету по 9 квалитету	2	1	1	-	-
	0,5	0,5	-	-	-

Приложение Б
Точность и качество отливок

Таблица Б 1 - Характеристики точности отливок

Метод литья	Наибольший габарит отливки, мм	Тип литейного сплава					
		Нетермообрабатываемые черные и термообрабатываемые цветные сплавы		Термообрабатываемые чугуны и тугоплавкие цветные сплавы		Термообрабатываемые стали	
		Класс размерной точности	Степень точности поверхностей	Класс размерной точности	Степень точности поверхностей	Класс размерной точности	Степень точности поверхностей
Литье под давлением	До 100 100-250 250-630	3-7г	3-7	4-7	4-8	5г-8	5-9
		4-7 5г-8	4-8 5-9	5г-8 5-9г	5-9 6-10	5-9г 6-9	6-10 7-11
Литье по выплавляемым моделям, литье в керамические формы	До 100 100-250 250-630	5г-9г	5-9	5-9	5-9	6-10	6-11
		5-9 6-10	5-9 6-10	6-10 7-11г	6-10 7-11г	7г-11г 7-11	7-12 8-13
Литье под низким давлением, литье в кокиль без песчаных стержней, центробежное литье в металлургические формы	До 100 100-250 250-630	5-9	5-10	6-10	7-11	7г-11г	7-12
		6-10 7-11г	6-11 7-12	7г-11г 7-11	7-12 8-13	7-11 8-12	8-13 9-14
Литье в песчано-глинистые формы	До 100 100-250 250-630	6-11г	8-15	7г-11	9-16	7-12	10-17
		7-11 7-12	9-16 10-17	7-12 8-13г	10-17 11-18	8-13г 9г-13	11-18 12-19
Литье под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями	До 100 100-250 250-630	6-11г	5-10	7г-11	7-11	7-12	7-12
		7-11 7-12	6-11 7-12	7г-11 8-13г	7-12 8-13	8-13 9г-13	8-13 9-14
Литье в оболочковые формы из терморезистивных смесей	До 100 100-250 250-630	7-12	7-13	8-13г	8-14	9г-13	9-15
		8-13г 9г-13	8-14 9-15	9г-13 9-13	9-15 10-16	9г-13 10-14	10-16 11-17

Таблица Б 2 - Допуски размеров отливок

Интервал номинальных размеров отливки, мм	Допуски размеров отливок в мм, для классов точности										
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8
До 4	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64
4-6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7
6-10	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8
10-16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9
16-25	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1
25-40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1
40-63	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2
63-100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4
100-160	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6
160-250	-	-	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8
250-400	-	-	0,32	0,4	0,50	0,64	0,8	1	1,2	1,6	2
400-630	-	-	-	-	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2
630-1000	-	-	-	-	-	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4
1000-1600	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,8	2,2	2,8
1600-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,4	3,2
2500-4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	3,6

окончание табл. Б 2

Интервал номинальных размеров отливки, мм	Допуски размеров отливок в мм, для классов точности										
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 4	0,8	1	1,2	1,6	2	-	-	-	-	-	-
4-6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	-	-	-	-	-
6-10	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	-	-	-
10-16	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	-	-
16-25	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12
25-40	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14
40-63	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16
63-100	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14	18
100-160	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20
160-250	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14	18	22
250-400	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24
400-630	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14	18	22	28
630-1000	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32
1000-1600	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14	18	22	28	36
1600-2500	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32	40
2500-4000	4,4	5,6	7	9	11	14	18	22	28	36	44
4000-6300	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32	40	50
6300-10000	-	8	10	12	16	20	24	32	40	50	64

Таблица Б 3 - Степени коробления отливок

Отношение наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине)	Степень коробления для видов литейных форм и термообработки отливок			
	Многоразовые формы		Разовые формы	
	Отливки без термообработки	Термообработанные отливки	Отливки без термообработки	Термообработанные отливки
Св.0,2	1-4	2-5	3-6	4-7
0,1-0,2	2-5	3-6	4-7	5-8
0,05-0,1	3-6	4-7	5-8	6-9
0,025-0,05	4-7	5-8	6-9	7-10
До 0,025	5-8	6-9	7-10	8-11

Примечание: Меньшие степени из указанных диапазонов относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов, а большие – к сложным отливкам из черных сплавов.

Таблица Б 4 - Шероховатость поверхностей отливок

Степень точности поверхности отливки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высота микронеровностей R_z , в мкм, не более	8	10	12,5	16	20	25	32	40	50	64	80

Продолжение таблицы Б. 4

Степень точности поверхности отливки	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Высота микронеровностей R_z , в мкм, не более	100	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000

Таблица Б 5 - Глубина дефектного поверхностного слоя отливок

Способ литья	Глубина дефектного поверхностного слоя h в мкм, при материале отливки		
	чугун	сталь	цветной сплав
в песчано-глинистые формы:			
- с машинной формовкой по металлическим моделям	300	300	300
- с машинной формовкой по деревянным моделям	350	350	350
- с ручной формовкой по деревянным моделям	400	400	400
в кокиль и центробежное	300	200	100
в оболочковые формы	260	160	100
по выплавляемым моделям	160	100	60
под давлением	100	100	100

Таблица Б 6 - Допуски формы и расположения поверхностей отливок

Номинальное значение наибольшего размера нормируемой поверхности, мм	Допуски формы и расположения в мм, для степеней коробления отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
До 125	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2
125-160	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6
160-200	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6	2
200-250	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4
250-315	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2
315-400	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4
400-500	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5
500-630	0,54	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4
630-800	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8
800-1000	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10
1000-1200	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12
1200-1600	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16
1600-2000	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20
2000-2500	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24
2500-3150	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32
3150-4000	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32	40
4000-5000	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32	40	50
5000-6300	6,4	8	10	12	16	20	24	32	40	50	64
6300-8000	8	10	12	16	20	24	32	40	50	64	80
8000-10000	10	12	16	20	24	32	40	50	64	80	-
Св. 10000	12	16	20	24	32	40	50	64	80	-	-

Таблица Б 7 - Удельная кривизна отливок

Конфигурация отливок	Удельная кривизна отливок, в мкм/мм
В форме плит	2-3
Коробчатой формы	0,3-1,5

Приложение В
Точность и качество поковки

Таблица В. 1 - Определение исходного индекса поковки

Масса поковки кг	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Исходный индекс	
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 вкл.														1
Св. 0,5 до 1,0														2
Св. 1,0 до 1,8														3
Св. 1,8 до 3,2														4
Св. 3,2 до 5,6														5
Св. 5,6 до 10														6
Св. 10 до 20														7
Св. 20 до 50														8
Св. 50 до 125														9
Св. 125 до 250														10
														11
														12
														13
														14
														15
														16
														17
														18
														19
														20
														21
														22
														23

Примечания к табл. В. 1

Для определения исходного индекса от строки, соответствующей массе поковки перемещаются по горизонтальным линиям вправо, а также по наклонным линиям вправо вниз до пересечения с вертикалями, соответствующими характеристикам поковки, вплоть до горизонтали, определяющей исходный индекс в правом столбце таблицы.

Ориентировочно масса поковки определяется по формуле

$$M_n = M_d \cdot K,$$

где M_d - масса детали; K - расчетный коэффициент.

Значения K принимаются в зависимости от конфигурации детали: для валов, осей, шатунов $K = 1,3 \dots 1,6$; для шестерен, ступиц, фланцев $K = 1,5 \dots 1,8$; для полых валов, блоков шестерен $K = 1,8 \dots 2,2$; для крестовин, вилок $K = 1,4 \dots 1,6$; для рычагов, сошек, крюков $K = 1,1 \dots 1,4$.

Группа стали определяется в зависимости от содержания в ней углерода и легирующих элементов:

M1 - стали с массовой долей углерода до 0,35% включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2% включительно;

M2 - стали с массовой долей свыше 0,35% и до 0,65% включительно, или с суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2% и до 5% включительно;

M3 - стали с массовой долей легирующих элементов свыше 0,65% или с суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5%.

Степень сложности поковки определяется по величине отношения объема (массы) поковки V_n к объему (массе) описанной вокруг нее простой фигуры (цилиндр, прямоугольная призма, шар) V_ϕ , минимально возможного объема.

$$X = V_n / V_\phi$$

Размеры описанной вокруг поковки фигуры можно приблизительно определить умножением соответствующих габаритных размеров детали на 1,05.

При $x > 0,63$ степень сложности поковки - С1, при $0,32 < x \leq 0,63$ степень сложности поковки - С2, при $0,16 < x \leq 0,32$ степень сложности поковки - С3, при $x < 0,16$ степень сложности поковки - С4.

Класс точности поковки принимается в зависимости от типа деформирующего оборудования и способа штамповки:

- для штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах в открытых штампах, на горизонтально-ковочных машинах, на винтовых и гидравлических прессах, на штамповочных молотах - классы точности Т4, Т5;

- для штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах в закрытых штампах, на горячештамповочных автоматах - классы точности Т2, Т3;

- для горячей и холодной объемной калибровки - классы точности Т1, Т2.

Таблица В. 2 - Точность линейных размеров поковок, получаемых горячей объемной штамповкой

Исходный индекс	Наибольшая толщина поковки, мм								
	До 40	40-60	60-100	100-160	160-250	Св. 250			
	Длина, ширина, глубина, высота или диаметр нормируемого элемента, мм								
	До 40	40-100	100-160	160-250	250-400	400-630	630-1000	1000-1600	1600-2500
Предельные отклонения размеров охватываемых элементов поковок, мм									
1	+0,2 -0,3	+0,3 -0,1	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	-	-	-	-
2	+0,3 -0,1	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	-	-	-
3	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	-	-
4	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	-	-
5	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	-
6	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9
7	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0
8	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1
9	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2
10	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3
11	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5
12	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7
13	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9
14	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1
15	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4
16	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7
17	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0
18	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3
19	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6
20	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0
21	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4
22	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4	+9,2 -4,8
23	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+7,4 -3,6	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4	+9,2 -4,8	+10,0 -6,0

Примечание: Для размеров охватывающих элементов поковок предельные отклонения принимаются с противоположными знаками

Таблица В. 3 - Качество поверхности поковок, после горячей объемной штамповки

Масса поковки, кг	Параметр шероховатости R _z , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя h, мкм
До 0,25	80	150
0,25-4	160	200
4-25	200	250
25-40	250	300
40-100	320	350

Таблица В. 4 - Отклонения от concentричности пробитого отверстия поковки относительно наружного контура

Наибольший размер поковки, мм	Допускаемое отклонение от concentричности в мм, для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 вкл.	0,4	0,5	0,6	0,8	1
100-160	0,5	0,6	0,8	1	1,5
160-250	0,6	0,8	1	1,5	2
250-400	0,8	1	1,5	2	2,5
400-630	1	1,5	2	2,5	3
630-1000	1,5	2	2,5	3	4

Таблица В. 5 - Погрешности смещения частей поковки по поверхности разреза штампа

Масса поковки, кг	Допустимая величина смещения в мм						
	Плоская поверхность разреза штампа						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Симметрично изогнутая поверхность разреза штампа						
	T1	T2	T3	T4	T5		
Несимметрично изогнутая поверхность разреза штампа							
	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,5-1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1-1,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1,8-3,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
3,2-5,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2
5,6-10	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,4
10-20	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,8
20-50	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,8	2,5
50-125	0,8	1	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2
125-250	1	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4

Таблица В. 6 - Изогнутость поковок (отклонения от плоскостности и прямолинейности)

Наибольший размер поковки, мм	Допускаемое отклонение изогнутости в мм, для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 вкл.	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
100-160	0,4	0,5	0,6	0,8	1
160-250	0,5	0,6	0,8	1	1,2
250-400	0,6	0,8	1	1,2	1,6
400-630	0,8	1	1,2	1,6	2
630-1000	1	1,2	1,6	2	2,5
1000-1600	1,2	1,6	2	2,5	3,2
1600-2500	1,6	2	2,5	3,2	4

Таблица В. 7 - Удельная кривизна поковок для валов

Диаметр поковки, мм	Удельная кривизна, в мкм/мм после			
	штамповки	правки на прессах	термообработки	
			в печах	на установках ТВЧ
До 25	4	0,2	2,5	1,25
25-50	3	0,15	1,5	0,75
50-80	2	0,12	1,5	0,75
80-120	1,8	0,1	1	0,5

Таблица В. 8 - Удельная кривизна стержня поковки после высадки фланца на ГКМ

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

Таблица В. 9 - Погрешности межосевого расстояния отверстий поковок

Наибольший размер поковки, мм	Допускаемое отклонение межосевого расстояния в мм, для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 60 вкл.	±0,1	±0,15	±0,2	±0,25	±0,3
60-100	±0,15	±0,2	±0,25	±0,3	±0,5
100-160	±0,2	±0,25	±0,3	±0,5	±0,8
160-250	±0,25	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2
250-400	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±1,6
400-630	±0,5	±0,8	±1,2	±1,6	±2
630-1000	±0,8	±1,2	±1,6	±2	±3
1000-1600	±1,2	±1,6	±2	±3	±4,5
1600-2500	±1,6	±2	±3	±4,5	±7

Приложение Г
Точность и качество поверхностей деталей после механической обработки

Таблица Г. 1 - Точность и качество наружных поверхностей вращения после мехобработки.

Метод обработки	Квалитет точности диаметра	Степень точности формы	Высота микронеровностей (шероховатости) R_z , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя h , мкм
Точение:				
- черновое	12-14	10-13	25-200	60-120
- получистовое	11-13	9-12	6,3-100	20-50
- чистовое	8-10	6-9	1,6-25	20-30
- тонкое	6-9	4-8	0,8-6,3	5-10
Шлифование:				
- предварительное	8-9	5-8	1,6-25	20
- чистовое	6-7	3-6	0,8-12,5	5-15
- тонкое	5-6	2-5	0,4-6,3	5
Притирка, суперфиниш	4-5	1-4	0,4-3,2	3-5

Таблица Г. 2 - Точность и качество плоских поверхностей после мехобработки

Метод обработки	Квалитет точности размера от чистовой технологической базы	Степень точности формы	Высота микронеровностей (шероховатости) R_z , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя h , мкм
Фрезерование:				
- черновое	10-12	9-11	25-50	50-100
- чистовое	8-10	8-10	6,4-12,5	20-50
тонкое	7-9	6-8	1,6-3,2	10-30
Строгание:				
- черновое	8-10	8-10	25-50	30-50
- чистовое	7-9	7-9	6,4-12,5	20-30
Протягивание				
- черновое	9-10	7-8	3,2-25	10-25
- чистовое	7-8	6-7	0,8-12,5	5-10
Шлифование:				
- черновое	8-10	6-7	3,2-6,4	15-20
- чистовое	7-8	5-7	1,6-3,2	5-15
тонкое	6-7	3-5	0,4-1,6	5
Притирка, тонкое шабрение	6	2-4	0,4-1,6	5

Таблица Г. 3 - Точность и качество внутренних поверхностей вращения после мехобработки

Метод обработки	Квалитет точности диаметра	Степень точности формы	Высота микронеровностей (шероховатости) R_z , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя h , мкм
Сверление и рас-сверливание	9-13	6-12	3,2-100	15-70
Зенкерование:				
- черновое	12-13	9-12	25-100	20-50
- чистовое	10-11	5-9	3,2-25	
Развертывание:				
- получистовое	9-10	7-10	3,2-25	15-25
- чистовое	7-9	5-8	1,6-12,5	5-15
тонкое	5-7	2-5	0,4-1,6	5-10

Продолжение таблицы Г.3

Растачивание:				
- черновое	12-14	8-11	6,3-100	20-50
-получистовое	11-13	7-10	3,2-25	20-50
- чистовое	8-10	5-9	1,6-12,5	10-25
- тонкое	5-7	2-6	0,63-3,2	5-10
Протягивание:				
- черновое	10-11	8-10	3,2-50	10-25
- чистовое	6-9	3-7	0,8-12,5	5-10
Шлифование:				
- черновое	8-9	5-8	1,6-12,5	10-25
- чистовое	6-7	3-6	0,8-6,3	5-20
-тонкое	5	2-4	0,4-3,2	5-10
Хонингование, притирка	4-5	1-4	0,4-3,2	3-5

Таблица Г. 4 - Удельный увод и смещение оси отверстий при сверлении

Диаметр отверстия, мм	Сверление спиральными сверлами		Глубокое сверление	
	Удельный увод Δ в мкм/мм	Смещение S_0 в мкм	Удельный увод Δ в мкм/мм	Смещение S_0 в мкм
3-6	2,1	10	1,6	10
6-10	1,7	15	1,3	15
10-18	1,3	20	1	20
18-30	0,9	25	0,7	25
30-50	0,7	30	0,7	30

Таблица Г. 5 - Точность расположения осей отверстий после сверления

Диаметр отверстия, мм	Материал детали			
	чугун и алюминий		сталь	
	Сверла общего назначения	Сверла точного исполнения	Сверла общего назначения	Сверла точного исполнения
	Отклонения оси отверстия от оси кондукторной втулки, мм (в радиальном выражении)			
До 6	0,13	0,12	0,18	0,17
6-10	0,13	0,12	0,18	0,17
10-18	0,15	0,13	0,2	0,18
18-30	0,2	0,18	0,28	0,26
30-50	0,27	0,25	0,38	0,36
	Технологический допуск размера от оси отверстия до технологической базы, мм			
До 6	0,17	0,15	0,23	0,21
6-10	0,17	0,15	0,23	0,21
10-18	0,18	0,17	0,25	0,23
18-30	0,25	0,23	0,34	0,32
30-50	0,32	0,3	0,46	0,44
	Отклонения межосевого расстояния отверстий, обработанных одновременно, мм			
До 6	$\pm 0,23$	$\pm 0,2$	$\pm 0,31$	$\pm 0,29$
6-10	$\pm 0,23$	$\pm 0,2$	$\pm 0,31$	$\pm 0,28$
10-18	$\pm 0,25$	$\pm 0,23$	$\pm 0,34$	$\pm 0,31$
18-30	$\pm 0,35$	$\pm 0,32$	$\pm 0,48$	$\pm 0,45$
30-50	$\pm 0,45$	$\pm 0,42$	$\pm 0,65$	$\pm 0,61$

Таблица Г. 6 - Точность расположения осей отверстий после растачивания

Типы станков	Способ позиционирования инструмента	Отклонения межосевого расстояния, мм
Горизонтально-расточные	По лимбу	$\pm 0,2 \dots \pm 0,4$
	По индикаторному упору	$\pm 0,04 \dots \pm 0,08$
	По кондуктору	$\pm 0,05 \dots \pm 0,1$
	Приводом с ЧПУ	$\pm 0,025 \dots \pm 0,06$
Координатно-расточные	По оптическим приборам	$\pm 0,004 \dots \pm 0,02$
Алмазно-расточные	-	$\pm 0,01 \pm 0,05$
Агрегатные	По кондукторным втулкам	$\pm 0,025 \dots \pm 0,07$
	Без кондуктора (при вылете до 4d)	$\pm 0,05 \dots \pm 0,1$

Таблица Г. 7 - Точность расположения осей отверстий после зенкерования

Диаметр отверстия, мм	Материал детали					
	чугун		алюминий		сталь	
	Крепление зенкера					
	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее
	Отклонения оси отверстия от оси кондукторной втулки, мм (в радиальном выражении)					
До 12	0,1	0,08	0,11	0,09	0,1	0,12
12-18	0,1	0,08	0,11	0,1	0,12	0,12
18-30	0,12	0,1	0,15	0,12	0,17	0,13
30-50	0,14	0,13	0,18	0,14	0,2	0,16
	Технологический допуск размера от оси отверстия до технологической базы, мм					
До 12	0,12	0,1	0,14	0,12	0,15	0,13
12-18	0,12	0,11	0,14	0,13	0,15	0,13
18-30	0,16	0,14	0,19	0,15	0,21	0,17
30-50	0,18	0,16	0,22	0,18	0,25	0,19
	Отклонения межосевого расстояния отверстий, обработанных одновременно, мм					
До 12	$\pm 0,08$	$\pm 0,07$	$\pm 0,095$	$\pm 0,08$	$\pm 0,11$	$\pm 0,085$
12-18	$\pm 0,08$	$\pm 0,075$	$\pm 0,095$	$\pm 0,085$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$
18-30	$\pm 0,11$	$\pm 0,095$	$\pm 0,13$	$\pm 0,11$	$\pm 0,145$	$\pm 0,115$
30-50	$\pm 0,12$	$\pm 0,11$	$\pm 0,15$	$\pm 0,125$	$\pm 0,17$	$\pm 0,13$

Таблица Г. 8 - Точность расположения осей отверстий после развертывания

Диаметр отверстия, мм	Точность кондукторной втулки	
	повышенная	высокая
	Отклонения оси отверстия от оси кондукторной втулки, мм (в радиальном выражении)	
До 18	0,042	0,038
18-30	0,047	0,045
30-50	0,052	0,049
	Технологический допуск размера от оси отверстия до технологической базы, мм	
До 18	0,07	0,066
18-30	0,074	0,072
30-50	0,079	0,076
	Отклонения межосевого расстояния отверстий, обработанных одновременно, мм	
До 18	$\pm 0,035$	$\pm 0,034$
18-30	$\pm 0,036$	$\pm 0,035$
30-50	$\pm 0,046$	$\pm 0,044$

Приложение Д
Точность установки заготовок в приспособлениях

Таблица Д. 1 - Точность установки заготовок в трехкулачковых патронах

Вид заготовки или технологической базы	Диаметр технологической базы, мм								
	До10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-500
	Погрешность установки в радиальном направлении, мкм								
Прокат горячекатаный: нормальной точности	200	200	220	280	400	500	800	-	-
повышенной точности	100	120	150	200	300	450	650	-	-
Отливки в песчаные формы	220	270	320	370	420	500	600	700	800
Отливки в оболочковые формы, по выплавляемым моделям	100	100	100	100	150	150	200	200	250
Отливки в многоразовые формы, поковки штампованные	200	200	200	200	300	300	400	400	500
Предварительно обточенная	100	100	100	100	150	150	200	200	250
Чисто обточенная	50	50	50	50	80	80	100	100	120
Шлифованная	20	20	20	20	30	30	40	40	50
	Погрешность установки в осевом направлении, мкм								
Прокат горячекатаный: нормальной точности	130	130	150	190	250	350	520	-	-
повышенной точности	70	80	100	130	200	300	420	-	-
Отливки в песчаные формы	55	60	70	80	90	100	110	120	130
Отливки в оболочковые формы, по выплавляемым моделям	50	50	50	50	80	80	100	100	120
Отливки в многоразовые формы, поковки штампованные	80	80	80	80	100	100	120	120	150
Предварительно обточенная	50	50	50	50	80	80	100	100	120
Чисто обточенная	30	30	30	30	50	50	80	80	100
Шлифованная	10	10	10	10	15	15	25	25	30
Примечание. Погрешности установки в патронах с пневматическим или гидравлическим приводом зажима меньше на 30% по сравнению с указанными в таблице.									

Таблица Д. 2 - Точность установки заготовок в цанговых патронах

Вид заготовки или технологической базы	Диаметр технологической базы, мм								
	До10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-500
	Погрешность установки в радиальном направлении, мкм								
Прокат калиброванный, чисто обточенная база	50	60	70	90	100	120	-	-	-
шлифованная	20	25	30	35	40	-	-	-	-
	Погрешность установки в осевом направлении, мкм								
Прокат калиброванный, чисто обточенная база	40	50	60	70	80	-	-	-	-
шлифованная	20	25	30	35	40	-	-	-	-
Примечания: 1) Погрешности установки в патронах с пневматическим или гидравлическим приводом зажима меньше на 30% по сравнению с указанными в таблице; 2) При неподвижной цанге погрешность в осевом направлении во всех случаях 5...20 мкм.									

Таблица Д. 3 - Погрешности установки заготовок в центрирующих патронах и на центрирующие оправки

Вид патрона (оправки) и размеры базы (l – длина, d – диаметр)	Квалитет диаметра технологической базы	Погрешность установки, мкм	
		в радиальном направлении	в осевом направлении
Патроны и оправки с упругими втулками и гидропластмассой: при $l \leq 0,5d$ при $l \geq 0,5d$	7-9	3-10 10-20	- -
Патроны и оправки с пластинчатыми (тарельчатыми) пружинами	7-11	10-20	-
Мембранные патроны	7-9	3-5	
Патроны и оправки с упругими элементами гофрированного типа	5-7	2-5	
Цанговые оправки: при $d \leq 50$ мм при $50 \leq d \leq 200$	7-9	10-35 20-60	20 50
Цилиндрические оправки с буртом	8-11	Половина максимального зазора	10
Конусные оправки при $l \geq 1,5d$	7	30	
Примечание. Погрешности установки в патронах и на оправках с пневматическим или гидравлическим приводом зажима меньше на 30% по сравнению с указанными в таблице.			

Таблица Д. 4 - Точность установки заготовок на постоянные опоры

Вид заготовки или технологической базы	Установка на опорные штыри						Установка на опорные пластины					
	Наибольший размер заготовки по нормали к обрабатываемой поверхности, мм											
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-100	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-100
	Погрешность установки при ручном зажиме, мкм											
Шлифованная	60	70	80	90	100	110	20	30	40	50	60	70
Чисто обработанная, литая под давлением	70	80	90	100	110	120	30	40	50	60	70	80
Предварительно обработанная, литая по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	80	90	100	110	120	130	40	50	60	70	80	90
Отливка в кокиль	90	100	110	120	130	140	55	60	70	80	90	100
Отливка в песчаную форму при машинной формовке по металлическим моделям Штампованная, горячекатаная	90	100	125	150	175	200	90	100	110	120	135	150
	Погрешность установки при механизированном зажиме, мкм											
Шлифованная	35	40	50	55	60	70	15	20	25	30	40	50
Чисто обработанная, литая под давлением	55	60	65	70	80	100	25	30	35	40	50	60
Предварительно обработанная, литая по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	65	70	75	80	90	110	35	40	50	55	60	70
Отливка в кокиль	70	80	90	100	110	120	50	55	60	65	70	80
Отливка в песчаную форму при машинной формовке по металлическим моделям Штампованная, горячекатаная	70	90	100	120	140	160	70	80	90	100	110	120

Приложение Е
Стандартные допуски размеров, формы и расположения поверхностей деталей

Таблица Е. 1 - Допуски линейных размеров до 500 мм по ГОСТ 25346-82

Интервалы размеров, мм	Квалитеты													
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Допуски, мкм													
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	-
Св3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	-
Св6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	-
Св10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
Св18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
Св30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
Св50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
Св80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
Св120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Св180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
Св250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
Св315 до 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
Св400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700

Таблица Е. 2 - Допуски формы (ГОСТ 24648-80) и расположения (ГОСТ 24643-81) плоских поверхностей

Степень точности для отклонений		Интервалы размеров, мм							
параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения	плоскостности, прямолинейности	До 10,	10-	16-	25-	40-	63-	100-	160-
		вкл.	16	25	40	63	100	160	250
		Допуски, мкм							
-	1	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2
1	2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2
2	3	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3
3	4	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5
4	5	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
5	6	2,5	3	4	5	6	8	10	12
6	7	4	5	6	8	10	12	16	20
7	8	6	8	10	12	16	20	25	30
8	9	10	12	16	20	25	30	40	50
9	10	16	20	25	30	40	50	60	80
10	11	25	30	40	50	60	80	100	120
11	12	40	50	60	80	100	120	160	200
12	13	60	80	100	120	160	200	250	300

Таблица Е. 3 - Допуски формы и расположения поверхностей вращения (ГОСТ 24643-81)

Степень точности для отклонений		Интервалы размеров, мм								
цилиндричности, круглости, продольного профиля	соосности, симметричности, пересечения осей (в радиусном выражении)	До 3	3-10	10-18	18-30	30-50	50-120	120-250	250-400	400-630
		До 3	3-10	10-18	18-30	30-50	50-120	120-250	250-400	400-630
		Допуски, мкм								
1		0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2
2		0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3
3		0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5
4		1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
5		2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
6		3	4	5	6	8	10	12	16	20
7		5	6	8	10	12	16	20	25	30
8		8	10	12	16	20	25	30	40	50
9		12	16	20	25	30	40	50	60	80
10		20	25	30	40	50	60	80	100	120
11		30	40	50	60	80	100	120	160	200
12		50	60	80	100	120	160	200	250	300
13		80	100	120	160	200	250	300	400	500

Таблица Е.4 - Единицы допусков i для интервалов линейных размеров A_i

Интервал	До 3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250
i , мкм	0,55	0,73	0,9	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,9

Таблица Е.5 - Значения числа единиц допусков σ для квалитетов

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

Таблица Е.6 - Значения функции Лапласа $\Phi(t)$ в зависимости от коэффициента риска t

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641
0,01	0,0040	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4678
0,02	0,0080	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,90	0,4713
0,03	0,0120	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,04	0,0160	0,35	0,1368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,05	0,0199	0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,10	0,4821
0,06	0,0239	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,20	0,4861
0,07	0,0279	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,30	0,4893
0,08	0,0319	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,40	0,4918
0,09	0,0359	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,50	0,4938
0,10	0,0398	0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,60	0,4953
0,11	0,0438	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,70	0,4965
0,12	0,0478	0,43	0,1665	0,96	0,3315	2,80	0,4974
0,13	0,0517	0,44	0,1700	0,98	0,3365	2,90	0,4981
0,14	0,0557	0,45	0,1736	1,00	0,3413	3,00	0,49865
0,15	0,0596	0,46	0,1772	1,05	0,3531	3,20	0,49931
0,16	0,0636	0,47	0,1808	1,10	0,3643	3,40	0,49966
0,17	0,0675	0,48	0,1844	1,15	0,3749	3,60	0,499841
0,18	0,0714	0,49	0,1879	1,20	0,3849	3,80	0,499928
0,19	0,0753	0,50	0,1915	1,25	0,3944	4,00	0,499968
0,20	0,0793	0,52	0,1985	1,30	0,4032	4,50	0,499997
0,21	0,0832	0,54	0,2054	1,35	0,4115	5,00	0,49999997
0,22	0,0871	0,56	0,2123	1,40	0,4192		
0,23	0,0910	0,58	0,2190	1,45	0,4265		
0,24	0,0948	0,60	0,2257	1,50	0,4332		
0,25	0,0987	0,62	0,2324	1,55	0,4394		
0,26	0,1026	0,64	0,2389	1,60	0,4452		
0,27	0,1064	0,66	0,2454	1,65	0,4505		
0,28	0,1103	0,68	0,2517	1,70	0,4554		
0,29	0,1141	0,70	0,2580	1,75	0,4599		
0,30	0,1179						

Приложение Ж

Погрешности позиционирования рабочих органов станков

Тип или модель станка	Погрешность позиционирования рабочих органов, мкм		
	По оси X	По оси Y	По оси Z
Токарные станки с ЧПУ мод. 16Б16Т1, 16К20Т1, 16К20Ф3, 1П717Ф3	5	-	10
Токарно-револьверные станки с ЧПУ мод. 1В340Ф30, 1Е365ПФ30	5	-	10
Токарные многоцелевые станки с ЧПУ мод. ИТР180ПМФ4, 1П420ПФ40	0,5	-	1
Токарные многоцелевые станки с ЧПУ мод. СТМ220К, СТМ320К	1	-	1
Вертикальный консольно-фрезерный станок с ЧПУ мод. 6Р11Ф3	10		
Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ с крестовым столом мод. 6550 Ф3	10		
Горизонтальный консольно-фрезерный станок с ЧПУ мод. 6Р81 ГМФ3-1	1	1	10
Многоцелевой станок с ЧПУ мод. 6305 Ф4	10		
Многоцелевой вертикальный (сверлильно-фрезерно-расточной) станок мод. 2254ВМФ4	12		
Многоцелевой вертикальный (сверлильно-фрезерно-расточной) станок мод. 400V	5		
Многоцелевой горизонтальный (сверлильно-фрезерно-расточной) станок мод. ИР200ПМФ4	7		
Многоцелевой горизонтальный (сверлильно-фрезерно-расточной) станок мод. ИР320ПМФ4	20		
Многоцелевой горизонтальный (сверлильно-фрезерно-расточной) станок мод. 2204ВМФ4	12		
Многоцелевой горизонтальный (сверлильно-фрезерно-расточной) станок мод. МС12-250М1	10		

Учебное издание

Составитель:
Олег Анатольевич Медведев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практической работе

**«Выявление технологических размерных цепей
и их расчет методом максимума-минимума
и теоретико-вероятностным методом»**

по дисциплине *«Основы технологии машиностроения»*
для студентов специальности 1- 36 01 01 «Технология машиностроения»

Ответственный за выпуск: О.А. Медведев
Редактор: Т.В. Строкач
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.
Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 9.02.2012 г. Формат 60×84 1/16. Бумага «Снегурочка». Усл. печ. л. 2,55.
Уч. изд. л. 2,75. Заказ № 138. Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.