

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практической работе

«РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ»

**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 дипломного проекта студентами специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и курсового проекта по дисциплине «Технология машиностроения».

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

Рецензенты: начальник конструкторско-технологического отдела
ОАО «Брестмаш» Г. В. Юдчиц

доцент кафедры машиноведения БрГТУ, к. т. н., доцент В. Ф. Григорьев

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью практической работы является приобретение навыков определения промежуточных и общих припусков, промежуточных размеров и исходных размеров заготовок при многопроходной механической обработке поверхностей деталей машин.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Виды припусков и методы их определения

Заготовки деталей машин, поступающие на механическую обработку, отличаются от готовых деталей по форме и размерам. Слои материала, которые приходится добавлять к поверхностям детали при проектировании ее заготовки и удалять в процессе механической обработки заготовки, принято делить на напуски и припуски.

Напуском называется слой материала, добавление которого изменяет форму заготовки по сравнению с формой детали и упрощает изготовление заготовки. Примерами напусков являются слои материала, удаляемые при сверлении отверстий, предварительном точении узких кольцевых канавок, фрезеровании шпоночных пазов, штамповочные и литейные уклоны поверхностей заготовок и др.

Припуском называется теоретически равномерный слой материала (а так же его толщина, измеряемая по нормали к поверхности детали), удаляемый при механической обработке поверхности заготовки или полуфабриката, с целью устранения погрешностей формы и шероховатости этой поверхности и дефектов структуры поверхностного слоя, а также некоторых погрешностей, возникающих при механической обработке. Добавление припуска изменяет размер или расположение поверхности заготовки по сравнению с размером или расположением поверхности детали, но не изменяет форму поверхности заготовки.

При многопроходной механической обработке отдельной поверхности заготовки различают промежуточные припуски и общий припуск. Промежуточный припуск удаляется при выполнении одного технологического перехода (или рабочего хода). Общий припуск – это слой материала, удаляемый с данной поверхности заготовки в течение всего технологического механической обработки. Общий припуск равен арифметической сумме всех промежуточных припусков, удаляемых с данной поверхности заготовки.

Для поверхностей вращения или симметричных поверхностей, обрабатываемых в одинаковых условиях за один установ, общий и промежуточные припуски могут задаваться либо для одной из двух симметричных сторон или поверхностей (припуск на сторону), либо совместно на обе стороны (припуск на диаметр или размер между симметричными поверхностями).

Так как в пределах одной партии заготовок (полуфабрикатов) размер каждой поверхности заготовки и размеры соответствующих поверхностей после переходов механической обработки нестабильны, то приходится различать номинальное (теоретически требуемое), минимальное и максимальное значение общего и промежуточных припусков для каждой поверхности. Номинальный припуск для охватываемой поверхности равен разности номинальных размеров до и после ее обработки, а для охватывающей поверхности – разности между номинальным размером после обработки и номинальным размером до ее обработки.

Важность определения рациональных значений припусков объясняется следующими факторами. Большие припуски приводят к увеличению расхода материала на заготовку, к повышению трудоемкости и себестоимости ее мехобработки. Назначение малых припусков предполагает применение более точных и дорогих методов получения заготовок

и методов мехобработки, обеспечивающих высокое качество поверхностей. В противном случае, таких малых припусков не хватит для устранения дефектов поверхностей заготовок и полуфабрикатов. Обоснованное определение припусков выполняется опытно-статистическим или расчетно-аналитическим методом.

Опытно-статистический метод основан на использовании обширного опыта предприятий по назначению припусков для деталей различных машин. Эти данные систематизированы по основным видам и характеристикам заготовок и полуфабрикатов после промежуточных методов обработки, статистически обработаны и приводятся в государственных и отраслевых стандартах или руководящих технических материалах наряду с методикой выбора значений припусков. Например, припуски заготовок, получаемых различными методами литья, регламентируются ГОСТ 26645-85 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку», а припуски на стальные поковки, получаемые горячей объемной штамповкой, – ГОСТ 7505-89 «Покówki стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски». Простота выбора припусков по таблицам или номограммам ГОСТ (нормативов) без учета конкретной технологии мехобработки поверхностей заготовки обуславливает широкое применение опытно-статистического метода на производстве. Значения таких припусков обычно завышены, чтобы их хватило для устранения дефектов при самом большом составе технологических переходов мехобработки, выполняемых в неблагоприятных условиях.

Расчетно-аналитический метод основан на анализе и определении величин элементарных погрешностей и дефектов поверхностей, которые надо удалить при каждом технологическом переходе. Он объединяет методику расчета промежуточных и общих припусков и их отдельных составляющих, методику определения взаимосвязи предельных припусков и предельных размеров поверхности детали, промежуточных поверхностей полуфабрикатов и поверхности заготовки, а также нормативные материалы для определения отдельных составляющих промежуточных припусков. Припуски, определенные расчетно-аналитическим методом, обычно меньше припусков, определенных опытно-статистическим методом за счет учета конкретных условий их удаления, что позволяет обоснованно уменьшить размеры и массу заготовки и расходы на ее мехобработку. Далее рассмотрены основные положения расчетно-аналитического метода определения припусков на мехобработку.

2.2 Определение минимального промежуточного припуска

2.2.1 Составляющие минимального промежуточного припуска

Минимальное значение промежуточного припуска $Z_{i \min}$, удаляемого на i -м технологическом переходе мехобработки отдельной поверхности детали, не должно быть меньше суммы величин дефектов, погрешностей формы и расположения обрабатываемой поверхности, появившихся до выполнения этого перехода, и которые нужно устранить, срезая этот припуск. Обычно составляющими $Z_{i \min}$, как правило, являются: высота микронеровностей (шероховатости) обрабатываемой поверхности $R_{z i-1}$; толщина дефектного поверхностного слоя h_{i-1} ; сумма погрешностей формы и погрешностей расположения обрабатываемой поверхности относительно технологической базы, используемой при удалении припуска для ориентации заготовки в направлении этого припуска ρ_{i-1} ; погрешность установки заготовки ϵ_i , влияющая на отклонение технологической базы и, следовательно, на отклонение обрабатываемой поверхности относительно установочных элементов приспособления или относительно настроенного положения режущего

инструмента. Индекс $i-1$ означает, что составляющая припуска соответствует поверхности, полученной на переходе, предшествующем i -му, а индекс $-i$, что составляющая припуска определяется для условий перехода, на котором удаляется припуск. Все указанные составляющие припуска определяются в направлении, перпендикулярном (нормальном) к получаемой поверхности детали.

В зависимости от вида обрабатываемой поверхности сложение составляющих минимального промежуточного припуска выполняется двумя способами. При расчете минимального одностороннего припуска на обработку плоской или фасонной поверхности его составляющие считаются однонаправленными по нормали к этой поверхности и складываются арифметически

$$z_{i \min} = R_{zi-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi}. \quad (1)$$

При расчете промежуточного припуска на обработку поверхностей вращения два последних слагаемых считаются векторами перпендикулярными друг другу и оси этой поверхности (так как случай, когда они направлены в одну сторону маловероятен), и величина суммарного вектора определяется как корень квадратный из суммы квадратов этих двух слагаемых. Тогда минимальный односторонний припуск для поверхности вращения следует рассчитывать по формуле

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

При расчете минимального припуска, удаляемого на станке с автоматическим циклом работы (станок с ЧПУ, токарный многорезцовый полуавтомат, агрегатный станок и т. п.), после смены инструмента или позиции заготовки, в его состав следует включить погрешность позиционирования ($\varepsilon_{нози}$) рабочего органа станка, несущего инструмент или заготовку, если она влияет на положение обрабатываемой поверхности относительно инструмента, занявшего исходное положение перед рабочим ходом. В таком случае вместо формул (1) и (2) следует использовать формулу (3) для плоских поверхностей и формулу (4) – для поверхностей вращения:

$$z_{i \min} = R_{zi-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi} + \varepsilon_{нози}; \quad (3)$$

$$z_{i \min} = R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2 + \varepsilon_{нози}^2}. \quad (4)$$

Погрешность позиционирования $\varepsilon_{нози}$ не включается в состав минимального припуска $z_{i \min}$, если она влияет только на положение поверхности, получаемой в результате i -го перехода, и не влияет на положение обрабатываемой поверхности.

Для поверхности вращения и симметричных поверхностей, обрабатываемых в одинаковых условиях за один установ, принято определять припуск на диаметр поверхности вращения и припуск на размер между симметричными поверхностями как удвоенный односторонний припуск ($2z_{i \min}$).

Конкретные значения составляющих минимального припуска следует определять, используя таблицы нормативных данных и формулы, приведенные в [1], с учетом метода получения поверхности, схемы базирования и закрепления заготовки, применяемого оборудования, приспособлений, инструментов на предшествующем и выполняемом переходе. Также для этого можно использовать приложения к данным методическим указаниям. Составляющие $z_{i \min}$ обычно определяют с точностью до 0,001 мм.

2.2.2 Определение значений R_{zi-1} и h_{i-1}

Значения R_{zi-1} и h_{i-1} для поверхностей заготовок разных видов и поверхностей, получаемых разными методами мехобработки, можно принимать по [1, 2] или по таблицам приложений А, Б, В, Г к данным методическим указаниям. Для перевода параметра шероховатости R_a в R_z можно использовать примерное соотношение $R_z \approx 4R_a$.

2.2.3 Определение значений ρ_{i-1}

2.2.3.1 Общие положения по определению ρ_{i-1}

Сумму погрешностей формы и погрешностей расположения обрабатываемой поверхности ρ_{i-1} определить сложнее, так как требуется учесть возможные элементарные погрешности формы и расположения обрабатываемой поверхности, свойственные методу ее получения, направления этих погрешностей относительно принятых для обработки технологических баз и другие факторы.

В состав ρ_{i-1} обычно включаются:

- погрешности формы обрабатываемой поверхности (технологические допуски прямолинейности или плоскостности, круглости или цилиндричности, допуски профиля);
- погрешности углового расположения обрабатываемой поверхности (технологические допуски перпендикулярности, параллельности, угла наклона) относительно технологической базы, или направления подачи режущего инструмента, выраженные в мм или мкм в виде катета, противолежащего угловому допуску и перпендикулярного обрабатываемой поверхности.

Под технологическим допуском понимается поле рассеяния определенного геометрического параметра поверхности, характерное для отдельного метода ее получения.

Технологический допуск линейного размера между технологической базой и обрабатываемой плоской или криволинейной поверхностью в состав ρ_{i-1} не включается, не смотря на то, что он влияет на расположение этой поверхности, так как он входит в состав максимального промежуточного припуска $Z_{i \max}$ вместе с $Z_{i \min}$ и не должен учитываться дважды.

При расчете $Z_{i \min}$ для поверхностей вращения (цилиндры, конусы, сферы) в состав ρ_{i-1} включается технологический допуск линейного размера между технологической базой и осью обрабатываемой поверхности. а технологический допуск ее диаметра войдет в состав $Z_{i \max}$.

Значение ρ_{i-1} определяется путем выявления и расчета (или назначения по таблицам нормативов) элементарных погрешностей формы и расположения поверхности заготовки (или полуфабриката), совпадающих по направлению с определяемым припуском $Z_{i \min}$, и путем последующего их сложения.

Рассмотрим наиболее характерные случаи определения ρ_{i-1} .

2.2.3.2 Определение значений ρ_{i-1} для плоских поверхностей заготовок

Для обрабатываемой плоскости отливки, поковки, листового проката величина ρ_{i-1} равна ее максимальному отклонению от плоскостности или прямолинейности, вызванному короблением при остывании заготовки, то есть погрешности коробления ρ_k (изогнутости или кривизны). Погрешность коробления определяется по формуле

$$\rho_k = \Delta_k \cdot l, \quad (5)$$

где Δ_k – удельная кривизна заготовки, мкм/мм;

l – длина обрабатываемой плоской поверхности заготовки.

Для плоских торцов отливок, поковок, примыкающих к поверхностям вращения,

$$\rho_{i-1} = \rho_k = \Delta_k d, \quad (6)$$

где d – диаметр обрабатываемого торца, мм.

Для крайних торцов заготовки в виде куска проката, полученного резкой,

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_n^2}, \quad (7)$$

где ρ_n – погрешность перекоса торца после резки относительно технологической базы, используемой при черновой обработке торца, мкм.

Значения ρ_k , Δ_k , ρ_n можно найти по таблицам [1] или по таблицам приложений А, Б, В к данным методическим указаниям.

2.2.3.3 Определение значений ρ_{i-1} для наружных поверхностей вращения заготовок

При расчете припуска на черновую обработку наружного цилиндра заготовки вала, установленной в центрах, значение ρ_{i-1} определяют по формуле

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{см}^2 + \rho_{ц}^2}, \quad (8)$$

где ρ_k – погрешность коробления (кривизны оси) заготовки в месте расположения обрабатываемого цилиндра, мкм;

$\rho_{см}$ – погрешность радиального смещения оси обрабатываемого цилиндра заготовки относительно оси цилиндра, используемого для базирования при сверлении центровых отверстий, мкм;

$\rho_{ц}$ – погрешность центровки (радиальное смещение оси центровых отверстий от оси обрабатываемого цилиндра), мкм.

В формуле (8) сумма $\rho_{см}$ и $\rho_{ц}$ определяет технологический допуск расположения обрабатываемого цилиндра относительно технологической базы (оси центровых отверстий).

Погрешность коробления ρ_k будет иметь наибольшее значение в поперечном сечении цилиндра заготовки, находящемся на равном расстоянии от опор (центров) и определяется по формуле

$$\rho_k = \Delta_k L, \quad (9)$$

где L – длина заготовки, мм.

Если ни одно из поперечных сечений цилиндра, для которого рассчитывается припуск, не находится на середине длины заготовки, а обрабатываемый цилиндр находится на расстоянии l от края заготовки, то ρ_k определяется по формуле

$$\rho_k = 2 \Delta_k l, \quad (10)$$

где l – расстояние от крайнего торца заготовки, к которому смещен данный цилиндр, до самого дальнего от этого торца поперечного сечения цилиндра.

Величина $\rho_{см}$ определяется в зависимости от класса точности и других характеристик отливок или поковок по [2, 3] или по таблицам приложений Б и В. Для заготовок из проката $\rho_{см} = 0$.

Величина ρ_u определяется с учетом условий получения центровых отверстий по формуле

$$\rho_u = \sqrt{\rho_6^2 + \rho_{ф.б}^2 + \rho_{эк}^2 + \rho_{св}^2}, \quad (11)$$

где ρ_6 – отклонение оси черновой базы от оси центровых сверл, возникающее из-за расцеивания диаметра этой базы;

$\rho_{ф.б}$ – отклонение оси черновой базы от оси центровых сверл, возникающее из-за отклонений формы черновой базы, мкм;

$\rho_{эк}$ – погрешность эксцентриситета шейки заготовки, для которой рассчитывается припуск относительно шейки заготовки, по которой она базируется при центровке;

$\rho_{св}$ – погрешность увода оси сверла от его номинального положения.

Если сверление центровых отверстий выполняется одновременно на двух торцах при установке на равномерно сходящиеся призмы $\rho_6 = 0$. При одновременном сверлении двух центровых отверстий, но с установкой на неподвижную призму с односторонним прижимом

$$\rho_6 = \frac{0,5 \cdot \delta}{\sin \alpha / 2}, \quad (12)$$

где δ – допуск диаметра цилиндра, служащего технологической базой при центрировании, мкм;

α – угол между рабочими плоскостями призмы, град.

При этом погрешностью закрепления заготовки из-за ее малости по сравнению с другими составляющими ρ_u можно пренебречь.

Значение $\rho_{ф.б}$ можно принять равной допуску формы базы заготовки, или, с учетом [1], равной четверти допуска на диаметр базы для нормального уровня относительной геометрической точности А

$$\rho_{ф.б} = 0,25 \cdot \delta. \quad (13)$$

Значения δ принимаются по [2, 3, 4] или по таблицам приложений А, Б, В.

Значения $\rho_{эк}$ принимаются по [2, 3] или по таблицам приложений Б, В.

Величиной $\rho_{св}$ для короткого центрового сверла обычно пренебрегают из-за ее малости по сравнению с ρ_6 и $\rho_{ф.б}$.

При центровке заготовки за два установка на токарном станке ρ_u принимается равной удвоенной радиальной погрешности установки заготовки в трехкулачковом патроне (таблица Д.1 приложений).

При расчете припуска на черновую обработку наружного цилиндра заготовки, установленной консольно в трехкулачковом патроне

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{см}^2}. \quad (14)$$

При этом ρ_k для длинной заготовки определяют по формуле

$$\rho_k = L \cdot \sin[2 \cdot \arctg(2 \cdot \Delta_k)], \quad (15)$$

где L – расстояние от кулачков патрона до дальней точки обрабатываемого цилиндра, мм;

Δ_k – удельная кривизна заготовки, мм/мм (миллиметры кривизны на один миллиметр длины заготовки).

Для заготовок типа дисков

$$\rho_k = \Delta_k \cdot d, \quad (16)$$

где d – диаметр обрабатываемого цилиндра, мм.

Значение $\rho_{см}$ определяются по [2, 3] или по таблицам приложений Б и В. Для заготовок из проката $\rho_{см} = 0$.

2.2.3.4 Определение значений ρ_{i-1} для внутренних поверхностей вращения заготовок

При расчете припуска на черновую обработку отверстий в отливках или поковках типа втулок, при установке в трехкулачковом патроне по наружной цилиндрической поверхности и торцу

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{см}^2 + \rho_{эк}^2}, \quad (17)$$

где $\rho_{эк}$ – погрешность эксцентриситета (радиальное отклонение оси отверстия заготовки относительно оси технологической базы), мкм.

Значения ρ_k и $\rho_{см}$ определяются так же, как и для наружных поверхностей вращения, а значения $\rho_{эк}$ определяются по [2, 3] или по таблицам приложений Б и В.

При расчете припуска на черновую обработку литых или пробитых отверстий в заготовках типа корпусов или планок при базировании по плоским поверхностям ρ_{i-1} определяют по формуле (14). Значение ρ_k определяют по формуле (16) для коротких обрабатываемых отверстий или по формуле (5) для длинных отверстий. Значение $\rho_{см}$ принимается равным максимальному предельному отклонению размера между осью обрабатываемого отверстия и технологической базой, используемой для обработки отверстия. Отклонения указанного размера зависят от вида и условий подготовки этой базы. Для их определения в ряде случаев требуется выявление и решение технологических размерных цепей.

Рассмотрим некоторые типовые случаи определения $\rho_{см}$ оси обрабатываемого отверстия заготовки от технологической базы.

Если технологической базой является плоскость заготовки (черновая база), то предельные отклонения размера между ней и обрабатываемым отверстием определяется по стандартам, регламентирующим точность заготовок [2, 3] или по таблицам приложений А, Б, В, если такой размер задан на чертеже заготовки. Если такой размер отсутствует на чертеже заготовки, то он определяется как замыкающее звено конструкторской размерной цепи, в которую в качестве составляющих звеньев входят чертежные размеры заготовки, образующие с замыкающим звеном кратчайший замкнутый контур. Предельные отклонения этого замыкающего звена можно определить при расчете

выявленной размерной цепи методом максимума-минимума. При симметричных полях допусков составляющих звеньев (например, размеров отливок) $\rho_{см}$ принимается равной половине допуска замыкающего звена. Аналогично $\rho_{см}$ можно определить и при несимметричных отклонениях составляющих звеньев, при условии, что положение оси режущего инструмента настраивается на станке так, что оно номинально совпадает со средним значением замыкающего звена, а не с номиналом замыкающего звена.

Если технологической базой является плоскость, обработанная ранее при базировании по оси отверстия, для которого рассчитывается припуск, то $\rho_{см}$ следует определить как сумму технологического допуска, соответствующего методу обработки плоской базы (принимается по таблицам точности обработки в приложении Г) и допуска формы обрабатываемого отверстия заготовки (принимается по [2, 3] или по таблицам приложений Б, В). При этом предполагается худший случай, когда отклонения из-за неточности обработки плоской базы и отклонения формы отверстия заготовки происходят в противоположные стороны и приводят к максимальному отклонению оси отверстия от плоской базы.

Если технологической базой является плоскость, обработанная ранее при базировании по стенке отверстия (для которого рассчитывается припуск) на жесткий палец, то $\rho_{см}$ следует определить как сумму трех слагаемых: технологический допуск, соответствующий методу обработки плоской базы; максимальный радиальный зазор в посадке отверстия на палец; допуск формы этого отверстия.

Если технологической базой является плоскость, обработанная ранее с базированием по другой необработанной плоскости, то $\rho_{см}$ определяют как максимальное предельное отклонение размера от оси обрабатываемого отверстия до плоской обработанной базы. Этот размер является замыкающим звеном технологической размерной цепи. В качестве составляющих звеньев в нее входят два размера – размер заготовки от оси обрабатываемого отверстия до черновой технологической базы и размер между обработанной плоской базой и черновой плоской базой. Предельные отклонения замыкающего звена можно определить при расчете этой размерной цепи методом максимума-минимума. Для упрощения определения $\rho_{см}$ в таком случае принимается условие – отклонение увеличивающего звена происходит «в плюс» от номинала, а уменьшающего звена «в минус» от номинала. Это приводит к максимальному одностороннему отклонению замыкающего звена от номинала, численно равному допуску. Если инструмент для обработки отверстия настраивается на указанный номинал, то $\rho_{см}$ является суммой трех слагаемых:

- допуск размера заготовки от обрабатываемого отверстия до черновой плоской технологической базы;
- технологический допуск размера между черновой плоской базой и обработанной плоской базой, соответствующий методу обработки плоскости;
- допуск формы черновой плоской базы.

Если инструмент для черновой обработки отверстия настраивать на среднее значение замыкающего звена, $\rho_{см}$ можно принимать равной половине указанной суммы допусков.

2.2.3.5 Определение значений ρ_{L-1} для поверхностей обработанных резанием

При расчете припусков на полуцистовую и чистовую обработку разных поверхностей полуфабрикатов значения ρ_{L-1} , остающиеся после предшествующих переходов мехобработки, можно определить по формулам, приведенным ранее для аналогичных поверхностей заготовок, но составляющие ρ_k , $\rho_{см}$, $\rho_{ж}$ определяются для обработанных резанием поверхностей с помощью таблиц точности обработки [1] или приложения Г.

При расчете припуска на последующую обработку отверстия, впервые полученного сверлением, ρ_{i-1} определяется по формуле

$$\rho_{i-1} = \sqrt{c_o^2 + (\Delta_y \cdot l)^2}, \quad (18)$$

где c_o – смещение оси сверла от номинального положения в момент его врезания, мкм;

Δ_y – удельный увод оси сверла, приводящий к отклонению оси отверстия или к увеличению диаметра отверстия, мкм/мм;

l – длина отверстия, мм.

Значения c_o и Δ_y определяются по [1], или по таблицам приложения Г.

Также, значения ρ_{i-1} для обработанных резанием поверхностей можно определить упрощенно на основе принципа технологического наследования, в соответствии с которым погрешность поверхности после перехода мехобработки рассматривается как уменьшенная копия погрешности обрабатываемой поверхности. В таком случае значение ρ_{i-1} в составе припуска на i -й технологический переход мехобработки отдельной поверхности можно определить по формуле

$$\rho_{i-1} = \rho_{i-2} / K_{yi-1}, \quad (19)$$

где ρ_{i-2} – суммарная погрешность формы и расположения поверхности после $i-2$ перехода;

K_{yi-1} – возможный коэффициент уточнения для $i-1$ перехода.

Например, при расчете припуска на переход $i = 2$ в формулу (19) надо подставить значение ρ_0 (для поверхности заготовки) и K_1 для 1 (чернового) перехода.

В расчетах по формуле (19) можно принимать следующие значения K_{yi-1} :

– $K_{yi-1} = 4, 1 \dots 6,55$ для отдельного чернового прохода (исходя из возможного уточнения на 3–4 степени точности);

– $K_{yi-1} = 2,56 \dots 4,1$ для отдельного получистового и чистового прохода (исходя из возможного уточнения на 2–3 степени точности).

Если в результате расчета получено значение $\rho_{i-1} < 1$ мкм, им можно пренебречь, и при определении $Z_{i \min}$ принимать $\rho_{i-1} = 0$.

2.2.4 Определение значений ε_{yi}

2.2.4.1 Общие положения по определению ε_{yi}

Погрешность установки заготовки ε_{yi} возникает непосредственно перед выполнением i -го технологического перехода. Она представляет собой поле рассеяния положений технологической базы заготовки или полуфабриката относительно неизменного для партии заготовок положения установочного элемента станочного приспособления или положения настроенного инструмента, вызываемое нестабильностью условий установки заготовок в партии. Погрешность установки ε_{yi} также влияет на расположение обрабатываемой поверхности относительно настроенного положения режущего инструмента, ее следует включить в состав минимального припуска, чтобы гарантировать полное удаление ранее описанных его составляющих (R_{zi-1} , T_{i-1} , ρ_{i-1}).

В общем случае при анализе точности мехобработки погрешность установки определяется как сумма нескольких случайных величин по формуле [1]

$$\varepsilon_{yi} = \sqrt{\varepsilon_{6i}^2 + \varepsilon_{zi}^2 + \varepsilon_{npi}^2}, \quad (20)$$

где ε_{6i} – погрешность базирования заготовки перед выполнением i -го перехода;
 ε_{zi} – погрешность закрепления заготовки перед выполнением i -го перехода;
 ε_{npi} – погрешность изготовления, настройки и износа приспособления, используемого на i -м переходе.

В свою очередь погрешность базирования является суммой нескольких слагаемых: погрешность базирования, вызванная неточностью размера технологической базы ε_{61} ; погрешность базирования, вызванная неточностями формы и шероховатостью технологической базы ε_{62} ; погрешность схемы базирования ε_{63} .

При расчете ε_{yi} как составляющей $Z_{i \min}$ учитываются только те ее слагаемые, которые влияют на положение обрабатываемой поверхности относительно положения настроенного режущего инструмента. Поэтому в данном расчете погрешность схемы базирования не включается в состав ε_{yi} , так как она влияет на положение измерительной базы получаемого размера (не совмещенной с технологической базой), а не на положение обрабатываемой поверхности. Тогда

$$\varepsilon_{yi} = \sqrt{\varepsilon_{61i}^2 + \varepsilon_{62i}^2 + \varepsilon_{zi}^2 + \varepsilon_{npi}^2}. \quad (21)$$

2.2.4.2 Определение значений ε_{61}

Обычно погрешность базирования ε_{61} , вызванная неточностью размера базы, возникает при базировании по поверхностям вращения. Ее можно определить при помощи геометрических расчетных схем и выявления и решения технологических размерных цепей. Для типовых, часто используемых схем базирования, формулы для расчета этой погрешности приведены в [1].

Рассмотрим наиболее характерные случаи определения погрешности базирования из-за неточности размера базы в виде поверхности вращения.

При базировании заготовки наружной цилиндрической поверхностью на неподвижную призму с углом α между ее рабочими плоскостями, погрешность положения оси цилиндрической базы в направлении оси симметрии призмы вызывается рассеянием диаметра базы в партии заготовок и определяется относительно вершины угла призмы по формуле

$$\varepsilon_{61} = \frac{\delta_d}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (22)$$

где δ_d – допуск диаметра цилиндрической базы, мм.

При том же базировании, но в направлении, перпендикулярном оси симметрии призмы, $\varepsilon_{61} = 0$, а в направлении перпендикулярном рабочей плоскости призмы $\varepsilon_{61} = \delta_d / 2$.

При базировании в двух равномерно сходящихся призмах рассеяние диаметра наружной цилиндрической базы не вызывает рассеяния положений ее оси относительно центра схождения призм и поэтому $\varepsilon_{61} = 0$ во всех радиальных направлениях.

По той же причине $\varepsilon_{61} = 0$ во всех радиальных направлениях при базировании по наружной цилиндрической базе в центрирующих приспособлениях (трехлачковые самоцентрирующие патрон, цанговый патрон, мембранный патрон и др.).

При базировании заготовок в центрах в радиальном направлении $\varepsilon_{\delta 1} = 0$, так как несмотря на рассеяние диаметров центровых отверстий, положение их общей оси, являющейся технологической базой, стабильно совпадает с осью центров при плотном контакте их конусов.

При использовании жесткого переднего центра положение центрового отверстия заготовки, обращенного к этому центру, будет нестабильно в направлении оси заготовки за счет рассеяния диаметра центрового отверстия. В этом случае для осевого направления

$$\varepsilon_{\delta 1} = \delta_d / 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (23)$$

где δ_d – допуск диаметра конуса центрового отверстия.

При использовании переднего плавающего центра $\varepsilon_{\delta 1} = 0$ в осевом направлении.

При базировании заготовки по цилиндрическому отверстию на разжимную оправку $\varepsilon_{\delta 1} = 0$ во всех радиальных направлениях.

При базировании заготовки по цилиндрическому отверстию на жесткую оправку или палец для радиального направления

$$\varepsilon_{\delta 1} = s_{\max} / 2 = (D_{\max} - d_{\min}) / 2, \quad (24)$$

где $s_{\max}$ – максимальный зазор в сопряжении базового отверстия с оправкой, мм;

$D_{\max}$ – максимальный диаметр базового отверстия, мм;

$d_{\min}$ – минимальный диаметр оправки (пальца), мм.

При базировании заготовок плоскими поверхностями на штыри или планки $\varepsilon_{\delta 1} = 0$ в направлении, перпендикулярном плоской базе.

2.2.4.2 Определение значений $\varepsilon_{\delta 2}$

Погрешность базирования, вызванная неточностью формы и шероховатостью технологической базы $\varepsilon_{\delta 2}$, принимается равной большей из величин – либо погрешности (допуска) формы базы, либо значению параметра шероховатости базы R_z . Погрешности формы и параметр R_z черновой технологической базы определяются по таблицам типовых погрешностей заготовок [1, 2, 3] или по таблицам приложений А, Б, В, к данным методическим указаниям. Погрешности формы и параметр R_z промежуточной или чистовой технологической базы определяются по таблицам точности механической обработки [1] или по таблицам приложения Г к данным методическим указаниям, с учетом метода обработки, используемого для подготовки технологической базы.

2.2.4.3 Определение значений $\varepsilon_{\delta 3}$

Погрешность закрепления жесткой заготовки $\varepsilon_{\delta 3}$ представляет собой поле рассеяния технологической базы заготовки из-за ее нестабильных деформаций на стыке с установочным элементом приспособления. Это рассеяние обусловлено нестабильностью силы зажима, различиями твердости и шероховатости заготовок в пределах партии. При этом деформациями тела заготовки обычно пренебрегают из-за их малости. Если сила зажима действует вдоль обрабатываемой поверхности, то принимают $\varepsilon_{\delta 3} = 0$. При других направлениях силы зажима $\varepsilon_{\delta 3} \neq 0$ и учитывается в составе припуска. Ее величину можно рассчитать по эмпирическим формулам, приведенным в [1]. Однако такой расчет довольно трудоемкий, так как требует предварительного определения большого числа исходных данных.

2.2.4.4 Определение значений ε_{npi}

Погрешность приспособления ε_{npi} возникает из-за отклонений размеров его элементов при их изготовлении, сборке, настройке, а также из-за их износа при эксплуатации. Если используется один экземпляр приспособления для выполнения i -го перехода на всех заготовках партии, то величина ε_{npi} постоянна и ее можно компенсировать, внося коррекцию в настройку положения режущего инструмента. В этом случае принимают $\varepsilon_{npi} = 0$. При использовании нескольких одинаковых приспособлений на многопозиционных станках, или многоместного приспособления на одном станке, ε_{npi} можно определить по рекомендации [1]

$$\varepsilon_{npi} = \left(\frac{1}{10} \dots \frac{1}{3} \right) \cdot \delta, \quad (25)$$

где δ – допуск выдерживаемого на переходе размера, перпендикулярного обрабатываемой поверхности, мм.

2.2.4.5 Упрощенное определение ε_{yi}

Для случаев установки заготовок в типовые, часто применяемые станочные приспособления, для которых $\varepsilon_{\delta i} = 0$, а значения $\varepsilon_{\delta i}$ и $\varepsilon_{\delta i}$ трудно определить отдельно, погрешности установки можно принимать по таблицам [1] или приложения Д. Табличные значения ε_{ymi} являются суммой $\varepsilon_{\delta i}$ и $\varepsilon_{\delta i}$. Они определены путем статистической обработки результатов экспериментов по определению погрешностей установки заготовок.

В случае установки, для которой $\varepsilon_{\delta i} \neq 0$ или $\varepsilon_{npi} \neq 0$, но приспособление по условиям закрепления заготовки аналогично приспособлению, для которого даны табличные значения ε_{ymi} , погрешность установки можно определить по формуле

$$\varepsilon_{yi} = \sqrt{\varepsilon_{\delta li}^2 + \varepsilon_{ymi}^2 + \varepsilon_{npi}^2}. \quad (26)$$

Если при неизменной установке заготовки выполняется несколько переходов, формирующих поверхность детали, то в состав минимальных припусков на переходы, выполняемые после первого, следует включать остаточные погрешности установки. Каждая из них является результатом уточнения погрешности установки, возникшей на предшествующем переходе и может определяться делением погрешности установки для предшествующего перехода на коэффициент уточнения на предшествующем переходе

$$\varepsilon_{yi} = \varepsilon_{yi-1} / K_{yi-1}. \quad (27)$$

Значения коэффициентов уточнения K_{yi-1} принимаются так же, как и для формулы (19).

2.2.5 Определение значений ε_{npi}

Погрешности позиционирования рабочих органов станков приводятся в паспортах станков и справочнике [6]. Для некоторых моделей станков с ЧПУ значения ε_{npi} приведены в приложении Ж.

2.2.6 Частные случаи определения составляющих $z_{i \min}$

В обоснованных случаях для отдельных слагаемых минимального промежуточного припуска принимаются нулевые значения (если они не могут быть устранены при удалении

припуска на выполняемом переходе или если они малы и ими можно пренебречь). Рассмотрим некоторые такие случаи.

После химико-термической обработки поверхностный слой не имеет искажений структуры или химического состава и его желательно сохранить полностью. Поэтому в расчете припуска на шлифование после химико-термической обработки следует принять $T_{i-1} = 0$.

При обработке отверстия плавающей разверткой или протяжкой, когда инструмент ориентируется по самой обрабатываемой поверхности, не учитывается погрешность установки заготовки в радиальном направлении. При этом не может устраняться увод оси отверстия, полученный при предыдущем сверлении или зенкеровании. Поэтому в расчете припуска на такое развертывание или протягивание стенок отверстия принимается $\rho_{i-1} = 0$ и $\varepsilon_{ji} = 0$.

При полировании, когда нежестким инструментом можно уменьшить только шероховатость поверхности, в состав минимального припуска включают только R_{zi-1} .

В расчете припуска на точение или шлифование цилиндрической поверхности в центрах из-за отсутствия зазора между конусами центров и центровых отверстий и малости погрешности формы центровых отверстий можно принимать $\varepsilon_{ji} = 0$.

2.3 Соотношение между предельными размерами, припусками и допусками, формируемыми при многопроходной обработке поверхности детали

При выполнении i -го технологического перехода промежуточный припуск на сторону Z_i можно рассматривать как замыкающее звено трехзвенной технологической размерной цепи, в которой составляющими звеньями являются два размера – увеличивающий размер A_{i-1} от технологической базы до обрабатываемой поверхности и уменьшающий размер A_i от технологической базы до полученной поверхности. Так как в процессе получения заготовок и в процессе их мехобработки действует множество факторов, вызывающих рассеяние размеров изделий, то размеры указанной размерной цепи для разных экземпляров изделия будут различными. При условии, что составляющие звенья цепи приобретают любые значения в пределах своих технологических допусков независимо друг от друга, можно записать соотношения между предельными значениями звеньев, соответствующие методу максимума-минимума

$$Z_{i \max} = A_{i-1 \max} - A_{i \min}; \quad (28)$$

$$Z_{i \min} = A_{i-1 \min} - A_{i \max}. \quad (29)$$

Однако в большинстве случаев черновой и получистовой лезвийной обработки партии деталей на настроенных станках, когда доминирует погрешность упругих деформаций, размер после обработки получается функционально зависимым от размера до обработки. Обычно для любой наружной охватываемой поверхности при максимальном размере на заготовке получается максимальный размер на детали, а при минимальном размере заготовки – минимальный размер на детали. Поэтому формулы (28) и (29) целесообразно заменить следующими формулами:

$$Z_{i \max} = A_{i-1 \max} - A_{i \max}; \quad (30)$$

$$Z_{i \min} = A_{i-1 \min} - A_{i \min}. \quad (31)$$

Чтобы найти соотношение между $Z_{i\max}$ и $Z_{i\min}$ в формуле (30), $A_{i-1\max}$ заменим суммой $A_{i-1\min} + TA_{i-1}$, и $A_{i\max}$ заменим суммой $A_{i\min} + TA_i$. После преобразований получим

$$Z_{i\max} = (A_{i-1\min} + TA_{i-1}) - (A_{i\min} + TA_i) = Z_{i\min} + TA_{i-1} - TA_i, \quad (32)$$

где TA_i – допуск размера, получаемого на i -м переходе, мм;

TA_{i-1} – допуск размера, получаемого на $i-1$ переходе.

Если погрешность упругих деформаций доминирует на всех переходах формирования охватываемой поверхности детали, то максимальный размер поверхности заготовки предопределяет удаление максимальных промежуточных припусков на всех переходах и получение максимальных промежуточных размеров и максимального размера готовой поверхности. Минимальный размер охватываемой наружной поверхности заготовки предопределяет удаление минимальных промежуточных припусков на всех переходах и получение минимальных промежуточных размеров и минимального размера готовой поверхности. Для наглядности указанные соотношения целесообразно представлять схематично. Примером может служить схема на рисунке 4.2.

Для i -го перехода обработки любой внутренней охватываемой поверхности на настроенном станке, при доминировании погрешности упругих деформаций, соотношение между предельными размерами и припусками выражается формулами:

$$Z_{i\max} = A_{i\min} - A_{i-1\min}; \quad (33)$$

$$Z_{i\min} = A_{i\max} - A_{i-1\max}. \quad (34)$$

Чтобы получить соотношение между $Z_{i\max}$ и $Z_{i\min}$, в формуле (33) $A_{i\min}$ заменим разностью $A_{i\max} - TA_i$ и $A_{i-1\min}$ заменим разностью $A_{i-1\max} - TA_{i-1}$. После преобразований получим

$$Z_{i\max} = (A_{i\max} - TA_i) - (A_{i-1\max} - TA_{i-1}) = Z_{i\min} + TA_{i-1} - TA_i. \quad (35)$$

Таким образом, формула (32) для охватываемой поверхности и формула (35) для охватываемой поверхности после преобразований идентичны.

Если погрешность упругих деформаций доминирует на всех переходах формирования внутренней охватываемой поверхности детали, то максимальный размер поверхности заготовки предопределяет удаление минимальных промежуточных припусков на всех переходах и получение максимальных промежуточных размеров и максимального размера готовой поверхности. Минимальный размер охватываемой внутренней поверхности заготовки предопределяет удаление максимальных промежуточных припусков на всех переходах и получение минимальных промежуточных размеров и минимального размера готовой поверхности. Для наглядности указанные соотношения целесообразно представлять схематично. Примером может служить схема на рисунке 4.4.

Следует отметить, что гарантией удаления припуска на i -том переходе с любой заготовки в партии являются условия: $Z_{i\min} > TA_i$ и $Z_{i\max} > TA_{i-1}$ для односторонней поверхности; $2Z_{i\min} > TA_i$ и $2Z_{i\max} > TA_{i-1}$ для двухсторонней поверхности. В противном случае надо обеспечить уменьшение TA_i и TA_{i-1} .

На рисунках 4.2 и 4.4 видно, что для охватываемых и охватывающих поверхностей общие предельные припуски равны сумме соответствующих промежуточных предельных припусков

$$Z_{\Sigma \min} = \sum_{i=1}^m Z_{i \min} , \quad (36)$$

$$Z_{\Sigma \max} = \sum_{i=1}^m Z_{i \max} , \quad (37)$$

где m – число переходов, необходимое для преобразования поверхности заготовки в поверхность готовой детали.

Установим соотношение между общими предельными припусками $Z_{\Sigma \max}$ и $Z_{\Sigma \min}$. Для этого в формулу (37) вместо $Z_{i \max}$ подставим его выражение из формулы (32) или (35) и после преобразований получим

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma \max} &= \sum_{i=1}^m (Z_{i \min} + TA_{i-1} - TA_i) = \sum_{i=1}^m Z_{i \min} + \sum_{i=1}^m TA_{i-1} - \sum_{i=1}^m TA_i = \\ &= Z_{\Sigma \min} + (TA_0 + TA_1 + TA_2 + \dots + TA_{m-1}) - \\ &(TA_1 + TA_2 + \dots + TA_{m-1} + TA_m) = Z_{\Sigma \min} + TA_0 - TA_m \end{aligned} , \quad (38)$$

где TA_0 – допуск размера заготовки;

TA_m – допуск размера готовой детали.

Для поверхности вращения или для двух симметричных односторонних поверхностей, обрабатываемых параллельно, по формулам (30), (31), (32), (33), (34), (35), (38) определяются двухсторонние припуски $2Z_{i \min}$, $2Z_{i \max}$, $2Z_{\Sigma \max}$ при подстановке в правую часть $2Z_{i \min}$, или $2Z_{\Sigma \min}$.

Для компактного и наглядного представления хода расчетов припусков и размеров для всех переходов их промежуточные и окончательные результаты рекомендуется заносить в таблицу (пример – таблица 4.1).

2.4 Определение номинальных припусков

Номинальный промежуточный припуск, снимаемый с охватываемой наружной поверхности на i -м переходе, определяется как разность между номинальными размерами до и после этого перехода. Номинальный промежуточный припуск для охватываемой внутренней поверхности определяется как разность между номинальным размером, полученным после выполнения i -го перехода и номинальным размером, полученным на предыдущем переходе.

Для определения номинального размера заготовки необходимо определить общий номинальный припуск для конкретной поверхности детали и прибавить его к номинальному размеру наружной охватываемой поверхности детали или отнять его из номинального размера внутренней охватываемой поверхности детали.

Когда номинальный размер заготовки неизвестен, номинальный припуск приходится определять исходя из ранее рассчитанных предельных общих припусков и назначенных предельных отклонений размеров детали и заготовки.

Для наружной охватываемой поверхности номинальный общий припуск определяется по формуле

$$Z_{\Sigma_{ном}} = Z_{\Sigma_{мин}} - EI_0 + EI_m, \quad (39)$$

где EI_0 – нижнее предельное отклонение размера поверхности заготовки со своим знаком (+ или -);

EI_m – нижнее предельное отклонение размера детали после выполнения последнего m -го перехода со своим знаком (+ или -).

Для внутренней охватываемой поверхности номинальный общий припуск определяется по формуле

$$Z_{\Sigma_{ном}} = Z_{\Sigma_{мин}} + ES_0 - ES_m, \quad (40)$$

где ES_0 – верхнее предельное отклонение размера поверхности заготовки со своим знаком (+ или -);

ES_m – верхнее предельное отклонение размера детали после выполнения последнего m -го перехода со своим знаком (+ или -).

Для поверхности вращения или для двух симметричных односторонних поверхностей, обрабатываемых параллельно по формулам (39), (40), определяются двухсторонние припуски $2Z_{\Sigma_{ном}}$ при подстановке $2Z_{\Sigma_{мин}}$.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Получить у преподавателя индивидуальное задание в виде чертежа детали с указанием поверхности, для которой следует определить припуски, вида заготовки и метода получения заготовки.

3.2 По таблицам приложений А, Б, В определить характеристики заготовки:

- для проката определить класс точности, размеры по сортаменту (приблизленно, по таблицам А.1, А.2 для установления табличных интервалов при назначении допусков);
- для отливки определить класс размерной точности, степень точности поверхностей (таблица Б.1), степень коробления (таблица Б.3);
- для поковки определить класс точности, степень сложности, группу стали по примечанию к таблице В.1 и исходный индекс по таблице В.1.

3.3 Определить положение поверхности разъема штампа или литейной формы относительно внешних поверхностей заготовки.

3.4 Назначить стандартные допуски и предельные отклонения на размеры заготовки по таблицам приложений: для проката – А.1, А.2, А.4; для отливок – Б.2; для поковок – В.2.

3.5 Назначить необходимый состав технологических переходов мехобработки для формирования качества заданной поверхности детали. При этом следует учесть, что в результате любого предварительного перехода точность размеров, формы, расположения поверхности повышается обычно при обработке сталей на 2–3 квалитета или степени точности, а при обработке чугунов и цветных сплавов – на 3–4 квалитета или степени точности. В результате каждого последующего перехода точность обычно повышается при обработке сталей на 1–2 квалитета или степени точности, а при обработке чугунов и цветных сплавов – на 2–3 квалитета или степени точности. Номера и наименования переходов заносятся в таблицу (пример – таблица 4.1). Номер 0 присваивается методу получения заготовки.

3.6 Выбрать технологические базы и станочные приспособления, необходимые для выполнения каждого перехода мехобработки заданной поверхности.

3.7 Выбрать методы подготовки технологических баз и параметры качества подготовленных баз по таблицам Г.1 – Г.3.

3.8 Выбрать технологические базы и станочные приспособления, необходимые для подготовки технологических баз, используемых на переходах обработки заданной поверхности.

3.9 Выбрать допуски размеров по квалитетам, получаемым в результате выполнения каждого перехода мехобработки по таблице Е.1 и вместе с допуском размера заготовки занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.10 По таблицам А.3, Б.4, Б.5, В.3 определить значения R_x и h_i для поверхности заготовки и промежуточных поверхностей.

3.11 С учетом конкретных особенностей заготовки и ее базирования перед первым переходом установить составляющие суммарной погрешности формы и расположения поверхности заготовки ρ_0 , выбрать соответствующие формулы из пункта 2.2.3 и рассчитать их значения. Рассчитать ρ_0 по формуле из пункта 2.2.3, соответствующей составляющим этой погрешности, и результат занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.12 Определить значения ρ_{i-1} для каждого перехода по формуле (19) или по таблицам Е.2, Е.3 с учетом степеней точности формы, соответствующих переходам, и результаты занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.13 С учетом конкретных условий установки заготовки выявить составляющие погрешности установки и определить их значения по соответствующим формулам из пункта 2.2.4 или таблицам Д.1, Д.2, Д.3, Д.4. Рассчитать ε_i для каждого перехода по формуле (21) или (26) и результаты занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.14 Определить погрешности позиционирования рабочих органов станков по таблице приложения Ж, если при выполнении переходов они влияют на положение обрабатываемой поверхности относительно инструмента и результаты занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.15 Определить минимальный припуск для каждого перехода мехобработки по одной из формул (1), (2), (3), (4), в зависимости от формы обрабатываемой поверхности и числа составляющих припуска. Для поверхностей вращения рассчитать припуски на диаметры удвоением припусков на сторону. Значения припусков округлить до количества значащих цифр в допусках для соответствующих переходов и результаты занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.16 Определить по номиналу и предельному отклонению минимальный размер заданной наружной поверхности готовой детали, или максимальный размер заданной внутренней поверхности готовой детали, и занести его в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.17 Определить предельные размеры для промежуточных переходов обработки заданной поверхности и при получении заготовки с учетом пунктов 3.17.1 или 3.17.2. Результаты занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.17.1 При многопроходной обработке наружной поверхности:

- начиная с предпоследнего перехода, определить минимальные размеры, последовательно используя формулу $A_{i-1min} = A_{imin} + Z_{imin}$ (для односторонней поверхности) или формулу $A_{i-1min} = A_{imin} + 2Z_{imin}$ (для поверхности вращения или для двух симметричных односторонних поверхностей, обрабатываемых параллельно);

- по формуле $A_{imax} = A_{imin} + TA_i$ последовательно определить максимальные размеры.

3.17.2 При многопроходной обработке внутренней поверхности:

– начиная с предпоследнего перехода, определить максимальные размеры, последовательно используя формулу $A_{i-1max} = A_{imax} - Z_{imin}$ (для односторонней поверхности) или формулу $A_{i-1max} = A_{imax} - 2Z_{imin}$ (для поверхности вращения или для двух симметричных односторонних поверхностей, обрабатываемых параллельно);

– по формуле $A_{imin} = A_{imax} - TA_i$ последовательно определить минимальные размеры.

3.18 Определить максимальный припуск для каждого перехода мехобработки по формуле (30) для наружной поверхности или по формуле (33) для внутренней поверхности. Для поверхности вращения или для двух симметричных односторонних поверхностей, обрабатываемых параллельно, по этим формулам определяются двухсторонние максимальные припуски $2Z_{imax}$. Результаты занести в таблицу (пример – таблица 4.1).

3.19 Определить общий минимальный припуск по формуле (36).

3.20 Определить общий максимальный припуск по формуле (37).

3.21 Выполнить проверку правильности арифметических расчетов по формуле (38).

3.22 Определить номинальный общий припуск по формуле (39) для наружной поверхности или по формуле (40) для внутренней поверхности и сравнить его со стандартным по ГОСТ 7505-89 (для поковки) или ГОСТ 26645-85 (для отливки). Предложить меры по уменьшению расчетных припусков.

3.23 Составить схему взаимного расположения припусков, допусков и предельных размеров для переходов обработки заданной поверхности детали (пример на рисунке 4.1).

3.24 Оформить отчет о практической работе на листах формата А4 по ГОСТ 2.105-95, в котором изложить исходные данные, обоснования, расчеты, таблицы, схемы, в соответствии с пунктами 3.1...3.23, и представить его преподавателю для проверки и защиты. На защите необходимо проявить знания теоретических сведений, изложенных в разделе 2, и уметь объяснить выполненные в пунктах 3.1...3.23 расчеты и схемы.

4 ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ И ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ

4.1 Пример определения припусков и предельных размеров при многопроходной обработке наружной цилиндрической поверхности

Расчеты выполним для шейки диаметром $35j_6$ (± 0.008) вала, изображенного на рисунке 4.1. Для компактного и наглядного представления хода расчетов их промежуточные и окончательные результаты по мере их появления заносим в таблицу 4.1.

Заготовка вала – поковка, получаемая горячей объемной штамповкой в открытом штампе на кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП), массой 3,2 кг, из стали 45. Характеристики поковки по ГОСТ 7505-89: класс точности Т4; группа стали М2; степень сложности С1, исходный индекс 12 (таблица В.1 с примечанием). При смыкании половин штампа ось поковки формируется в плоскости его разреза. Допуск диаметра шейки заготовки, соответствующей заданной шейке детали $TA_0 = 2,2$ мм, с предельными отклонениями $^{+1,4}_{-0,8}$ (таблица В.2). Этот допуск входит в пределы допуска 2,5 мм, соответствующего 17 качеству и интервалу размеров 30...50 мм (таблица Е.1).

Назначим состав переходов мехобработки заданной шейки:

1) черновое точение обеспечивает уточнение диаметра с 17 до 14 качества, с допуском $TA_1 = 0,62$ мм (таблица Е.1);

2) получистовое точение (уточнение с 14 до 12 качества, с $TA_2 = 0,25$ мм);

3) чистовое точение (уточнение с 12 до 10 качества, с $TA_3 = 0,1$ мм);

4) предварительное круглое шлифование (уточнение с 10 до 8 квалитета, с $TA_4 = 0,039$ мм);

5) чистовое круглое шлифование (уточнение с 8 до 6 квалитета, с $TA_5 = 0,016$ мм).

Переходы 1, 2, 3 выполняются без переустановки заготовки на токарном станке с ЧПУ мод. 16Б16Т1. В качестве технологических баз на всех пяти переходах используются центровые отверстия, которыми заготовка базируется на передний плавающий центр и задний жесткий центр. Подготовка центровых отверстий выполняется на фрезерно-центровальном станке с установкой заготовки по двум шейкам равного диаметра $45,4^{+1,4}_{-0,8}$ на неподвижные призмы с углом между рабочими плоскостями $\alpha = 90^\circ$.

Определяем составляющие минимальных припусков R_{zi-1} и h_{i-1} для поверхностей, получаемых после каждого перехода:

- для поверхности после штамповки $R_{z0} = 0,16$ мм, $h_0 = 0,2$ мм (таблица В.3);
- для поверхности после чернового точения $R_{z1} = 0,1$ мм, $h_1 = 0,1$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после получистового точения $R_{z2} = 0,05$ мм, $h_2 = 0,04$ мм (таблица Г.1)
- для поверхности после чистового точения $R_{z3} = 0,01$ мм, $h_1 = 0,03$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после предварительного шлифования $R_{z4} = 0,005$ мм, $h_1 = 0,02$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после чистового шлифования $R_{z1} = 0,0025$ мм, $h_1 = 0,01$ мм (таблица Г.1).

Для поверхности поковки значение ρ_0 определим по формуле (8), для чего определим ее составляющие.

Удельную кривизну поковки находим по таблице В.7 $\Delta_k = 3$ мкм/мм, для среднего диаметра поковки в пределах 25...50 мм.

Погрешность коробления для шейки поковки, находящейся на расстоянии 53 мм от края определяем по формуле (10)

$$\rho_k = 2 \cdot 3 \cdot 53 = 318 \text{ мкм}$$

Величину $\rho_{см} = 0,7$ мм = 700 мкм принимаем по таблице В.5.

Определяем составляющие ρ_u . Для указанных ранее условий центровки значение ρ_6 определяем по формуле (12)

$$\rho_6 = \frac{0,5 \cdot 2200}{\sin 45^\circ} = 1556 \text{ мкм}$$

По формуле (13) $\rho_{ф,6} = 0,25 \cdot 2200 = 550 \text{ мкм}$.

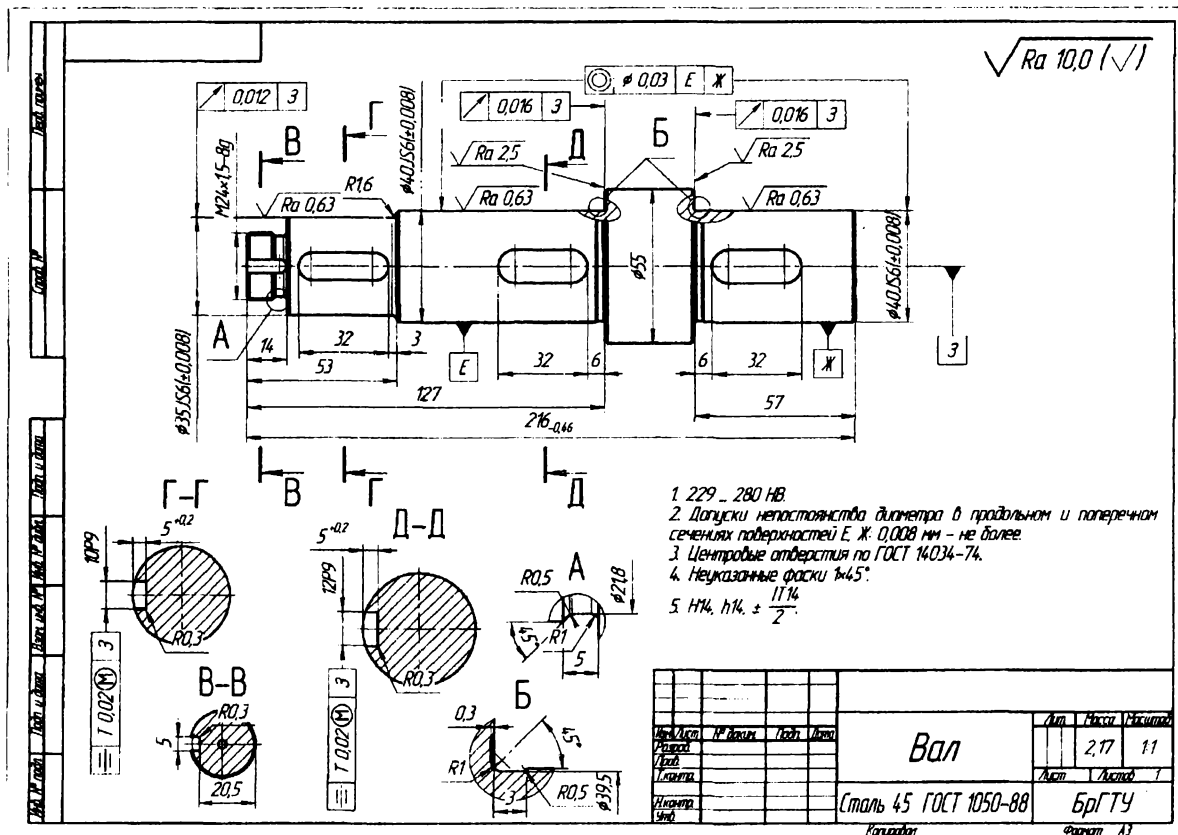
Принимаем $\rho_{эк} = 0$, так как эксцентриситет между шейкой заготовки, для которой рассчитываем припуск и шейками заготовки, по которым базируем, при центровке может возникнуть лишь за счет смещения половин штампа по плоскости разреза, но величина $\rho_{см}$ учтена ранее. Тогда по формуле (11)

$$\rho_u = \sqrt{1556^2 + 550^2 + 0^2 + 0^2} = 1650 \text{ мкм}.$$

По формуле (8)

$$\rho_0 = \sqrt{318^2 + 700^2 + 1650^2} = 1820 \text{ мкм} = 1,82 \text{ мм}.$$

Рисунок 4.1 — Чертеж детали



Значения ρ_{i-1} для поверхностей, получаемых после переходов мехобработки, определим упрощенно по формуле (19):

$$\rho_1 = \rho_0 / K_1 = 1,82 / 6,55 = 0,278 \text{ мм}$$

$$\rho_2 = \rho_1 / K_2 = 0,278 / 2,56 = 0,109 \text{ мм}$$

$$\rho_3 = \rho_2 / K_3 = 0,109 / 2,56 = 0,042 \text{ мм}$$

$$\rho_4 = \rho_3 / K_4 = 0,042 / 2,56 = 0,017 \text{ мм}$$

$$\rho_5 = \rho_4 / K_5 = 0,017 / 2,56 = 0,007 \text{ мм}$$

Погрешность установки ε_{yi} в центрах для чернового точения рассчитаем по формуле (21). Для этого определим ее составляющие. Принимаем $\varepsilon_{\delta 1} = 0$, так как конусы центровых отверстий без зазора контактируют с конусами центров при любом значении диаметра центрового отверстия в пределах его допуска. Из-за малого значения погрешности формы центровых отверстий по сравнению с другими составляющими припуска можно принять $\varepsilon_{\delta 2} = 0$. Так как сила прижима со стороны заднего центра действует перпендикулярно направлению отсчета припуска, погрешность закрепления возникает лишь в осевом направлении. Для радиального направления следует принять $\varepsilon_3 = 0$. Погрешностью изготовления и настройки центров и их износом за время обработки партии деталей пренебрегаем из-за их малости и принимаем $\varepsilon_{np} = 0$. Таким образом $\varepsilon_{y1} = 0$, так как равны нулю все ее слагаемые. Так как условия установки для выполнения всех переходов одинаковы, то $\varepsilon_{y1} = \varepsilon_{y2} = \varepsilon_{y3} = \varepsilon_{y4} = \varepsilon_{y5} = 0$.

Погрешность позиционирования суппорта с резцом на токарном станке с ЧПУ в состав минимальных припусков не включаем, так как она не влияет на расположение оси обрабатываемой поверхности. Она входит в технологический допуск на получаемый диаметр и учитывается в максимальном припуске.

Минимальные двухсторонние припуски для отдельных переходов мехобработки определяем по формуле (2), удвоив в ней правую и левую части, и округляем до количества значащих цифр в соответствующем допуске:

$$\text{— для чернового точения } 2Z_{1\min} = 2(0,16 + 0,2 + \sqrt{1,82^2 + 0^2}) = 4,36 \text{ мм};$$

$$\text{— для получистового точения } 2Z_{2\min} = 2(0,1 + 0,1 + \sqrt{0,287^2 + 0^2}) = 0,96 \text{ мм};$$

$$\text{— для чистового точения } 2Z_{3\min} = 2(0,05 + 0,04 + \sqrt{0,109^2 + 0^2}) = 0,4 \text{ мм};$$

$$\text{— для предварительного шлифования } 2Z_{4\min} = 2(0,01 + 0,03 + \sqrt{0,042^2 + 0^2}) = 0,164 \text{ мм};$$

$$\text{— для чистового шлифования } 2Z_{5\min} = 2(0,005 + 0,02 + \sqrt{0,017^2 + 0^2}) = 0,084 \text{ мм}.$$

Минимальные размеры, получаемые на отдельных переходах, определяем, начиная с последнего перехода, формирующего размер поверхности готовой детали.

$$\text{Для чистового шлифования } A_{5\min} = A_n - ei = 35 - 0,008 = 34,992 \text{ мм}.$$

$$\text{Для предыдущих переходов } A_{i-1\min} = A_{i\min} + 2 \cdot Z_{i\min}:$$

$$\text{— для предварительного шлифования } A_{4\min} = 34,992 + 0,084 = 35,076 \text{ мм};$$

$$\text{— для чистового точения } A_{3\min} = 35,076 + 0,164 = 35,24 \text{ мм};$$

$$\text{— для получистового точения } A_{2\min} = 35,24 + 0,4 = 35,64 \text{ мм};$$

$$\text{— для чернового точения } A_{1\min} = 35,64 + 0,96 = 36,6 \text{ мм};$$

$$\text{— для штамповки } A_{0\min} = 36,6 + 4,36 = 40,96 \text{ мм}.$$

Максимальные размеры для каждого перехода $A_{imax} = A_{imin} + TA_i$:

- для чистового шлифования $A_{5max} = 34,992 + 0,016 = 35,008$ мм;
- для предварительного шлифования $A_{4max} = 35,076 + 0,039 = 35,115$ мм;
- для чистового точения $A_{3max} = 35,24 + 0,1 = 35,34$ мм;
- для получистового точения $A_{2max} = 35,64 + 0,25 = 35,89$ мм;
- для чернового точения $A_{1max} = 36,6 + 0,62 = 37,22$ мм;
- для штамповки $A_{0max} = 40,96 + 2,2 = 43,16$ мм.

Максимальный двухсторонний припуск для каждого перехода мехобработки определяем по формуле (30):

- для чистового шлифования $2Z_{5max} = 35,115 - 35,008 = 0,107$ мм;
- для предварительного шлифования $2Z_{4max} = 35,34 - 35,115 = 0,225$ мм;
- для чистового точения $2Z_{3max} = 35,89 - 35,34 = 0,55$ мм;
- для получистового точения $2Z_{2max} = 37,22 - 35,89 = 1,33$ мм;
- для чернового точения $2Z_{1max} = 43,16 - 37,22 = 5,94$ мм.

Общий двухсторонний минимальный припуск определяем по формуле (36), удвоив правую и левую ее части,

$$2 \cdot Z_{\Sigma min} = 4,36 + 0,96 + 0,4 + 0,164 + 0,84 = 5,968 \text{ мм.}$$

Общий двухсторонний максимальный припуск определяем по формуле (37), удвоив правую и левую ее части:

$$2 \cdot Z_{\Sigma max} = 5,94 + 1,33 + 0,55 + 0,225 + 0,107 = 8,152 \text{ мм.}$$

Выполним проверку правильности арифметических расчетов припусков по уравнению (38):

$$2 \cdot Z_{\Sigma max} = 8,152 = 5,968 + 2,2 - 0,016 = 8,152.$$

Результат расчета правой части этого уравнения совпадает со значением $2 \cdot Z_{\Sigma max}$, что свидетельствует о правильности расчетов.

На основе заполненной таблицы 4.1 составляем схему расположения припусков, допусков и предельных размеров, представленную на рисунке 4.2.

Общий номинальный двухсторонний припуск определим по формуле (39) удвоив припуски в правой и левой ее части и учитывая отклонения диаметров заготовки и детали $2 \cdot Z_{\Sigma ном} = 5,968 - (-0,8) + (-0,008) = 6,76$ мм.

Рассчитанный односторонний номинальный припуск $Z_{\Sigma ном} = 3,38$ мм существенно превышает припуск, назначенный по ГОСТ7505-89 с учетом характеристик поковки

$Z_{ст} = 1,8 + 0,3 + 0,5 = 2,6$ мм. Основной причиной этого является большая погрешность центровки при использовании неподвижной призмы. Установка заготовки при центровке в равномерно сходящихся призмах позволит значительно уменьшить расчетный номинальный припуск.

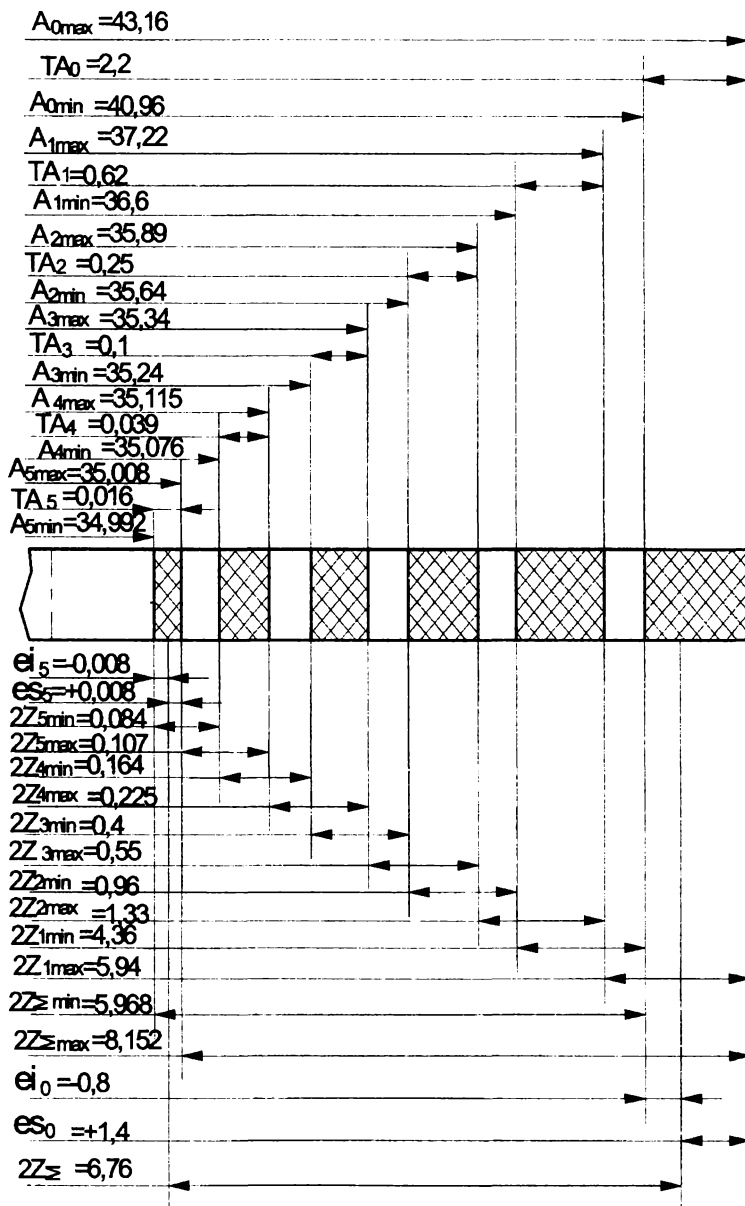


Рисунок 4.2 – Схема расположения припусков, допусков и предельных размеров для шейки вала диаметром 35 $\pm$ 0,008

Таблица 4.1 – Составляющие припусков, предельные припуски и размеры для переходов обработки цилиндра Ø 35j₆

Номер перехода, <i>i</i>	Наименование перехода	Допуск, T_{A_i} , мм	Составляющие минимального припуска, мм				Предельные припуски, мм		Предельные размеры, мм	
			R_{zi}	h_{li}	ρ_i	ϵ_{yi}	ZZ_{imin}	ZZ_{imax}	A_{imin}	A_{imax}
0	Горячая штамповка	2,2	0,16	0,2	1,82	-	-	-	40,96	43,16
1	Черновое точение	0,62	0,1	0,1	0,278	0	4,36	5,94	36,6	37,22
2	Получистовое точение	0,25	0,05	0,04	0,109	0	0,96	1,33	35,64	35,89
3	Чистовое точение	0,1	0,01	0,03	0,042	0	0,4	0,55	35,24	35,34
4	Предварительное шлифование	0,039	0,005	0,02	0,017	0	0,164	0,227	35,076	35,115
5	Чистовое шлифование	0,017	0,0025	0,01	0,007	0	0,084	0,107	34,992	35,008
Предельные общие припуски →							ZZ_{imin}	ZZ_{imax}		
							5,968	8,152		

4.2 Пример определения припусков и предельных размеров при многопроходной обработке внутренней цилиндрической поверхности

Расчеты выполним для отверстий диаметром $30^{+0,24}_{-0,11}$ в ушках кронштейна, чертеж которого представлен на рисунке 4.3. Для компактного и наглядного представления хода расчетов их промежуточные и окончательные результаты по мере их появления заносим в таблицу 4.2.

Заготовка кронштейна массой 4,1 кг получается литьем в кокиль. Отверстия в ушках формируются песчаными стержнями.

По таблицам Б.1 и Б.3 определяем характеристики отливки: 9 класс размерной точности; 9 степень точности поверхностей, 5 степень коробления.

Кокиль должен иметь две плоскости разъема. Одна плоскость разъема будет совпадать с положением плоскости основания отливки, а вторая будет проходить через ось отверстий перпендикулярно первой.

По таблице Б.2 назначаем допуск 1,8 мм на диаметр отверстий в ушках с симметричными предельными отклонениями $^{+0,9}_{-0,9}$. Этот допуск входит в пределы допуска 2,1 мм, соответствующего 17 квалитету и интервалу размеров 18...30 мм (таблица Е.1).

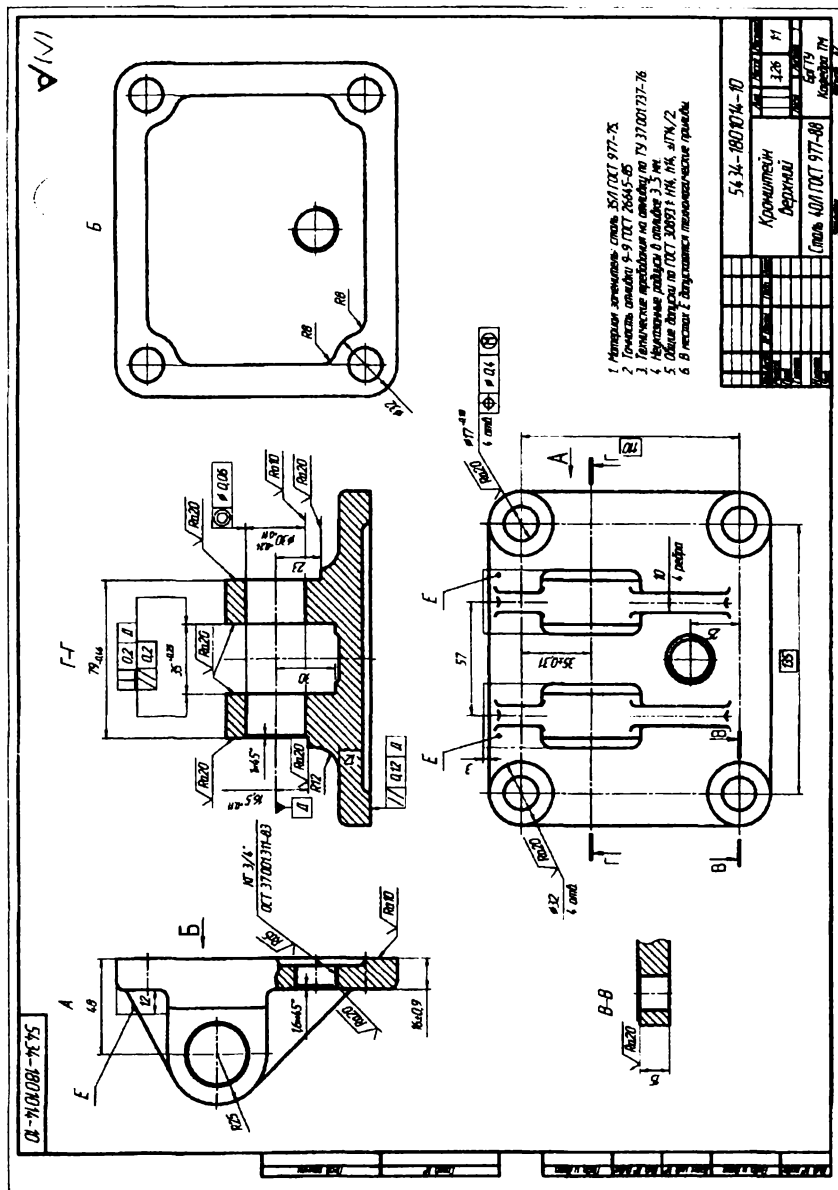


Рисунок 4.3 – Чертеж кронштейна

Назначим состав переходов мехобработки отверстий ушек:

- 1) черновое растачивание твердосплавным резцом по литейной корке обеспечит 14 квалитет с допуском 0,52 мм;
- 2) предварительное зенкерование обеспечит 12 квалитет с допуском 0,21 мм;
- 3) чистовое зенкерование обеспечит 11 квалитет с допуском 0,13 мм, требуемым по чертежу детали.

Все эти переходы целесообразно выполнить при едином базировании заготовки на плоскость основания и два отверстия, предварительно подготовленные в соответствии с требованиями чертежа. Базы будут контактировать с установочными планками и пальцами (цилиндрическим и срезанным) специального приспособления. Два пневмоцилиндра через прихваты будут прижимать заготовку плоским основанием к планкам. Для сокращения времени на переустановки заготовки и уменьшения числа требуемого оборудования принятые переходы будем выполнять последовательно в течение одного установа на многоцелевом станке с ЧПУ модели MC12-250M1, имеющем горизонтальный шпиндель, стол с вертикальной осью поворота, магазин инструментов и манипулятор для их автоматической установке в шпиндель.

Определяем составляющие минимальных припусков R_{zi-1} и h_{i-1} для поверхностей, получаемых после каждого перехода:

- для литого отверстия $R_{z0} = 0,05$ мм (таблица Б.4), $h_0 = 0,2$ мм (таблица Б.5);
- для поверхности после чернового растачивания $R_{z1} = 0,05$ мм, $h_1 = 0,2$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после предварительного зенкерования $R_{z2} = 0,05$ мм, $h_1 = 0,02$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после чистового зенкерования $R_{z2} = 0,025$ мм, $h_1 = 0,02$ мм (таблица Г.1).

Для отверстия отливки значение ρ_0 определим по формуле (14), для чего прежде определим ее составляющие. Погрешность коробления определяем по формуле (5) как для длинного отверстия, при условии расточки двух отверстий в ушках с одной стороны. Для этого предварительно находим $\Delta_x = 1$ мкм/мм (таблица Б.7). Тогда

$$\rho_x = 1 \cdot 79 = 79 \text{ мкм} = 0,079 \text{ мм}$$

Погрешность смещения оси литого отверстия может возникать в двух координатных направлениях – по нормали к плоской базе $\rho_{смн}$ и вдоль нее $\rho_{смл}$ (по нормали к осям базовых отверстий в основании). Их следует определить отдельно и сложить как векторы.

Значение $\rho_{смн}$ равно допуску размера между осью литого отверстия и подготовленной плоской базой. При условии, что плоская база фрезеровалась с базированием по противоположной литой плоскости основания отливки, обращенной к ушкам (черновая база), указанный размер сформируется без совмещения его измерительной базы (ось литого отверстия) с технологической черновой базой. В таких условиях указанный размер оказывается замыкающим звеном N_d технологической трехзвенной линейной размерной цепи. Ее составляющими звеньями будут два размера: $N_1 = 32$ мм (от черновой базы до оси литого отверстия), $N_2 = 16$ мм (от черновой базы до обработанной плоскости основания). Допуск размера N_1 найдем по таблице Б.2 $TN_1 = 1,8$ мм. Допуск размера N_2 найдем как сумму допуска этого размера после чернового фрезерования плоскости по 12 квалитету от чистовой базы (таблица Г.2) и допуска формы используемой при этом фрезеровании черновой базы (таблица Б.6) $TN_2 = 0,18 + 0,4 = 0,58$ мм. Тогда

$$\rho_{\text{смг}} = TN_{\Delta} = TN_1 + TN_2 = 1,8 + 0,58 = 2,38 \text{ мм.}$$

Значение $\rho_{\text{смл}}$ определим аналогичным способом. Она равна допуску размера $L_{\Delta} = 35$ мм, который сформируется при сверлении базового отверстия под палец между его осью и осью литого отверстия ушка, при базировании по боковой литой плоскости основания заготовки. При таком базировании измерительная база размера L_{Δ} (ось литого отверстия) не совпадает с технологической черновой базой (боковая плоскость основания). Поэтому размер L_{Δ} является функцией двух составляющих звеньев линейной размерной цепи: размер $L_1 = 51$ мм (от черновой базы до оси литого отверстия ушка); размер $L_2 = 16$ мм (от черновой базы до отверстия под палец). По таблице Б.2 $TL_1 = 2$ мм. Допуск размера L_2 найдем как сумму допуска этого размера после сверления отверстия при базировании по чистовой базе (0,25 мм по таблице Г.5) и допуска формы черновой базы (0,4 мм по таблице Б.6) $TL_2 = 0,25 + 0,4 = 0,65$ мм. Тогда

$$\rho_{\text{смл}} = TL_{\Delta} = TL_1 + TL_2 = 2 + 0,65 = 2,65 \text{ мм.}$$

Суммарную погрешность смещения находим как геометрическую сумму смещений $\rho_{\text{смг}}$ и $\rho_{\text{смл}}$

$$\rho_{\text{см}} = \sqrt{\rho_{\text{смг}}^2 + \rho_{\text{смл}}^2} = \sqrt{2,38^2 + 2,65^2} = 3,5 \text{ мм.}$$

Значение ρ_0 определим по формуле (14)

$$\rho_0 = \sqrt{0,079^2 + 3,5^2} \approx 3,5 \text{ мм.}$$

Значения ρ_{i-1} для припусков на другие переходы определяем упрощенно по формуле (19)

$$\rho_1 = \rho_0 / K_1 = 3,5 / 6,55 = 0,53 \text{ мм;}$$

$$\rho_2 = \rho_1 / K_2 = 0,53 / 4,1 = 0,129 \text{ мм;}$$

$$\rho_3 = \rho_2 / K_3 = 0,129 / 2,56 = 0,05 \text{ мм.}$$

Определим погрешность установки заготовки при черновом растачивании отверстий ушек. При базировании на плоскость и два пальца с прижимом установочной базы к жестким планкам приспособления погрешности установки возникают в двух координатных направлениях: ε_{y1} — по нормали к плоской базе; ε_{y1} — по нормали к осям базовых отверстий в основании. Их следует определить отдельно и сложить как векторы.

В качестве составляющих ε_{y1} принимаем:

— $\varepsilon_{61} = 0$ (базирование по плоскости, а эта погрешность возникает лишь при базировании по поверхностям вращения);

— ε_{62} и ε_3 при такой установке разделить затруднительно, поэтому их сумму $\varepsilon_{y1} = 60 \text{ мкм} = 0,06 \text{ мм}$ находим по таблице Д.4 (для установки на опорные пластины по предварительно обработанной поверхности, при размере от основания до верхней точки ушек 73 мм);

— $\varepsilon_{np} = 0$, так как для обработки всей партии кронштейнов будет использоваться один экземпляр приспособления и погрешность его изготовления можно компенсировать при настройке станка. Тогда по формуле (26)

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{0^2 + 0,06^2 + 0^2} = 0,06 \text{ мм.}$$

В качестве составляющих $\varepsilon_{y\lambda}$ принимаем:

– $\varepsilon_{\delta 1}$ возникает из-за зазора в сопряжении базовых отверстий с пальцами. Эти зазоры могут выбираться в одну сторону, или в разные стороны. Во втором случае возникает перекос оси отверстий ушек относительно оси инструмента. Так как расстояние между крайними точками по длине отверстий ушек (79 мм) более чем в два раза меньше расстояния между базовыми отверстиями (174 мм), то смещение при перекосе меньше смещения при односторонней выборке зазора и $\varepsilon_{\delta 1}$ принимаем равной максимальному радиальному зазору. Принимаем диаметр пальца 17h9 (-0,043). Значение $\varepsilon_{\delta 1}$ определяем по формуле (24)

$$\varepsilon_{\delta 1} = (17,18 - 16,957) / 2 = 0,11 \text{ мм};$$

– $\varepsilon_{\delta 2} = 80 \text{ мкм} = 0,08 \text{ мм}$ (по рекомендации на странице 12 принимаем равной значению R_z отверстия под палец, так как оно больше отклонения формы этого отверстия);

– $\varepsilon_z = 0$, так как сила зажима направлена перпендикулярно определяемой погрешности установки $\varepsilon_{y\lambda}$;

– $\varepsilon_{np} = 0$, так как для обработки всей партии деталей используется один экземпляр указанного приспособления и погрешность его изготовления можно компенсировать при настройке станка.

Тогда по формуле (21)

$$\varepsilon_{y\lambda} = \sqrt{0,11^2 + 0,08^2 + 0^2 + 0^2} = 0,136 \text{ мм}.$$

Суммарную погрешность установки для первого перехода находим как геометрическую сумму

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{\varepsilon_{y\eta}^2 + \varepsilon_{y\lambda}^2} = \sqrt{0,06^2 + 0,136^2} = 0,149 \text{ мм}.$$

Так как последующие переходы выполняются при неизменном базировании и закреплении вместе с первым переходом, то для них находим остаточные погрешности установки по формуле (27)

$$\varepsilon_{y2} = \varepsilon_{y1} / K_{y1} = 0,149 / 4,1 = 0,036 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{y3} = \varepsilon_{y2} / K_{y2} = 0,036 / 2,56 = 0,014 \text{ мм}.$$

На выбранном станке с ЧПУ переходы мехобработки отверстий ушек выполняются последовательно после автоматической установки инструментов в шпиндель станка. После смены инструмент со шпинделем и заготовка выходят в положение, необходимое для следующего перехода с погрешностями позиционирования по нормали к установочной базе $\varepsilon_{noz\eta}$, и вдоль нее $\varepsilon_{noz\lambda}$. Они влияют на положение оси отверстий ушек перед обработкой относительно оси инструмента, поэтому включаются в состав $Z_i \text{ min}$. По таблице приложения Ж $\varepsilon_{noz\eta} = \varepsilon_{noz\lambda} = 0,01 \text{ мм}$. Эти погрешности складываем геометрически и для каждого перехода получаем

$$\varepsilon_{noz1} = \varepsilon_{noz2} = \varepsilon_{noz3} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2} = 0,0141 \text{ мм}.$$

Рассчитаем минимальные двухсторонние припуски для всех переходов по формуле (4), удвоив в ней правую и левую части, с округлением до числа значащих цифр в соответствующем допуске:

– для черного растачивания

$$2Z_{1\text{min}} = 2 \left(0,05 + 0,2 + \sqrt{3,5^2 + 0,149^2 + 0,014^2} \right) = 7,506 \approx 7,51 \text{ мм};$$

– для предварительного зенкерования

$$2Z_{2min} = 2 \left(0,05 + 0,05 + \sqrt{0,53^2 + 0,036^2 + 0,014^2} \right) = 1,26 \text{ мм};$$

– для чистового зенкерования

$$2Z_{3min} = 2 \left(0,025 + 0,02 + \sqrt{0,129^2 + 0,014^2 + 0,014^2} \right) = 0,35 \text{ мм}.$$

Максимальные размеры для каждого перехода определяем, начиная с последнего перехода, формирующего размер готового отверстия детали.

Для чистового зенкерования $A_{3max} = A_n + ES = 30 + 0,24 = 30,24 \text{ мм}$.

Для предыдущих переходов $A_{i-1max} = A_{imax} - 2 \cdot Z_{imin}$:

– для предварительного зенкерования $A_{2max} = 30,24 - 0,35 = 29,89 \text{ мм}$;

– для чернового растачивания $A_{1max} = 29,89 - 1,26 = 28,63 \text{ мм}$;

– для литья $A_{0max} = 28,63 - 7,51 = 21,12 \text{ мм}$.

Минимальные размеры для каждого перехода $A_{imin} = A_{imax} - TA_i$:

– для чистового зенкерования $A_{3min} = 30,24 - 0,13 = 30,11 \text{ мм}$;

– для предварительного зенкерования $A_{2min} = 29,89 - 0,21 = 29,68 \text{ мм}$;

– для чернового растачивания $A_{1min} = 28,63 - 0,52 = 28,11 \text{ мм}$;

– для литья $A_{0min} = 21,12 - 1,8 = 19,32 \text{ мм}$.

Максимальный двухсторонний припуск для каждого перехода мехобработки определяем по формуле (33):

– для чистового зенкерования $2Z_{3max} = 30,11 - 29,68 = 0,43 \text{ мм}$;

– для предварительного зенкерования $2Z_{2max} = 29,68 - 28,11 = 1,57 \text{ мм}$;

– для чернового растачивания $2Z_{1max} = 28,11 - 19,32 = 8,79 \text{ мм}$.

Общий двухсторонний минимальный припуск определяем по формуле (36) удвоив правую и левую ее части

$$2 \cdot Z_{\Sigma min} = 7,51 + 1,26 + 0,35 = 9,12 \text{ мм}.$$

Общий двухсторонний максимальный припуск определяем по формуле (37) удвоив правую и левую ее части

$$2 \cdot Z_{\Sigma max} = 8,79 + 1,57 + 0,43 = 10,79 \text{ мм}.$$

Выполним проверку правильности арифметических расчетов припусков по уравнению (38)

$$2 \cdot Z_{\Sigma max} = 10,79 = 9,12 + 1,8 - 0,13 = 10,79.$$

Результат расчета правой части этого уравнения совпадает со значением $2 \cdot Z_{\Sigma max}$, что свидетельствует о правильности расчетов.

На основе заполненной таблицы 4.2 составляем схему расположения припусков, допусков и предельных размеров, представленную на рисунке 4.4.

Общий номинальный двухсторонний припуск определим по формуле (40), удвоив припуски в правой и левой ее части и учитывая отклонения диаметров заготовки и детали

$$2 \cdot Z_{\Sigma ном} = 9,12 + 0,9 - 0,24 = 9,78 \text{ мм}.$$

Рассчитанный односторонний номинальный припуск $Z_{\Sigma ном} = 4,89 \text{ мм}$ существенно превышает припуск, назначенный по ГОСТ 26645-85 с учетом характеристик отливки

$Z_{от} = 2,7 \text{ мм}$. Основной причиной этого является большое значение $\rho_{от}$, из-за отступления от принципа совмещения баз при подготовке плоскости основания и отверстий под пальцы. При соблюдении принципа постоянства баз $Z_{\Sigma ном}$ окажется меньше стандартного припуска.

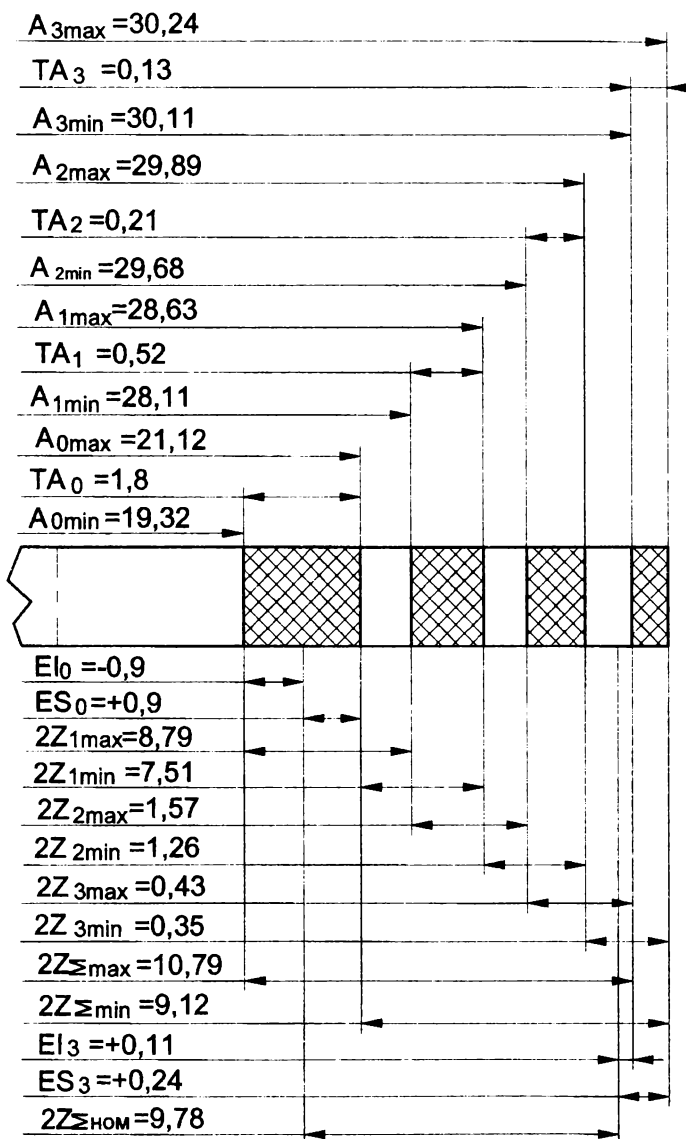


Рисунок 4.4 – Схема расположения припусков, допусков и предельных размеров для отверстий диаметром $30^{+0,24}_{+0,11}$

Таблица 4.2 – Составляющие припусков, предельные припуски и размеры для переходов обработки отверстий ушек $\varnothing 30^{+0,24}_{-0,11}$

Номер перехода, <i>i</i>	Наименование перехода	Допуск, T_{A_i} , мм	Составляющие минимального припуска, мм					Предельные припуски, мм		Предельные размеры, мм	
			R_{zi}	h_{li}	ρ_i	ε_{yi}	$\varepsilon_{\rho ozi}$	$2Z_{imin}$	$2Z_{imax}$	A_{imin}	A_{imax}
0	Литье в кокиль	1,8	0,05	0,2	3,5	—	—	—	—	19,32	21,12
1	Черновое растачивание	0,52	0,05	0,05	0,53	0,149	0,01	7,51	8,79	28,11	28,63
2	Предварительное зенкерование	0,21	0,025	0,02	0,129	0,036	0,01	1,26	1,57	29,68	29,89
3	Чистовое зенкерование	0,13	0,02	0,02	0,042	0,014	0,01	0,35	0,43	30,11	30,24
Предельные общие припуски →								$2Z_{imin}$	$2Z_{imax}$		
								9,12	10,79		

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. — М. : Издательство стандартов, 1985. — 55 с.
2. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски : ГОСТ 7505-89. — М. : Издательство стандартов, 1990. — 52 с.
3. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент : ГОСТ 2590-2006. — М. : Издательство стандартов, 1988. — 8 с.
4. Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой. Сортамент : ГОСТ 103-2006. — М. : Издательство стандартов, 1987. — 6 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. С. Васильева, А. А. Кутина. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Инновационное машиностроение, 2018. — Т.1. — 756 с. : ил.
6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. С. Васильева, А. А. Кутина. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Инновационное машиностроение, 2018. — Т.2. — 818 с. : ил.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Нормативные данные для определения припусков расчетно-аналитическим методом

Приложение А

Точность и качество заготовок из проката

Таблица А. 1 – Точность горячекатаного круглого проката (по ГОСТ 2590-2006)

Номинальные диаметры проката, мм	Предельные отклонения диаметра в мм, при точности проката					
	А1 (высокой)		Б1 (повышенной)		В1 (обычной)	
	верх. (+)	ниж. (–)	верх. (–)	ниж. (–)	верх. (+)	ниж. (–)
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7; 8; 9	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3	0,5
10–19 (через 1)	0,1	0,3	0,1	0,5	0,3	0,5
20–28 (через 1)	0,1	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5
29–48 (через 1)	0,1	0,5	0,2	0,7	0,4	0,7
50, 52–56 (через 1); 58	0,1	0,7	0,2	1	0,4	1
60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 73; 75; 78	0,1	0,9	0,3	1,1	0,5	1,1
80; 82; 85; 87; 90; 92; 95; 97	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 (по ГОСТ 103-2006)

Ширина полосы, мм	Предельные отклонения ширины в мм, при точности проката			
	БШ1 (повышенной)		ВШ1 (обычной)	
	верх. (+)	ниж. (–)	верх. (+)	ниж. (–)
10–60	0,3	0,9	0,5	1
60–65	0,3	1,1	0,5	1,3
65–75	0,3	1,3	0,5	1,4
75–85	0,5	1,4	0,7	1,6
85–95	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			
	БТ1 (повышенной)		ВТ1 (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
16–20	0,2	0,6	0,2	0,8
20–32	0,2	0,7	0,2	1,2
32–40	0,2	1	0,2	1,6
40–50	0,2	1,5	0,3	2
50–60	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	0,5	1	1,5	2	2,5
	Повышенной точности	0,2	0,4	0,6	0,8	1
	Высокой точности	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Поперечно-винтовой:						
	Обычной точности	4				
	Повышенной точности	2				
Горячекатаный сортовой без правки после закалки:	При диаметре проката, мм					
	До 30	30–50	50–80	80–120	120–180	
	В печах	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	2	1	1	–	–
	По 9 квалитету	0,5	0,5	–	–	–

Точность и качество отливок

Таблица Б. 1 – Характеристики точности отливок (по ГОСТ 26645-85)

Метод литья	Наибольший габарит отливки, мм	Тип литейного сплава					
		Нетермообрабатываемые черные и термо- обрабатываемые цветные легкоплавкие 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	3–7 т	3–7	4–7	4–8	5т–8	5–9
	100–250	4–7	4–8	5 т–8	5–9	5–9т	6–10
	250–630	5 т–8	5–9	5–9т	6–10	6–9	7–11
Литье по выплавляемым моделям, литье в керамические формы	До 100	5т–9 т	5 т–9 т	5–9	5–9	6–10	6–11
	100–250	5–9	5–9	6–10	6–10	7 т–11 т	7–12
	250–630	6–10	6–10	7 т–11 т	7–11т	7–11	8–13
Литье под низким давлением, литье в кокиль без песчаных стержней, центробежное литье в металлические формы	До 100	5–9	5–10	6–10	7–11	7 т–11 т	7–12
	100–250	6–10	6–11	7 т–11 т	7–12	7–11	8–13
	250–630	7 т–11 т	7–12	7–11	8–13	8–12	9–14
Литье в песчано-глинистые формы	До 100	6–11 т	8–15	7 т–11	9–16	7–12	10–17
	100–250	7 т–11	9–16	7–12	10–17	8–13 т	11–18
	250–630	7–12	10–17	8–13 т	11–18	9т–13	12–19
Литье под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями	До 100	6–11 т	5–10	7 т–11	7–11	7–12	7–12
	100–250	7 т–11	6–11	7–12	7–12	8–13	8–13
	250–630	7–12	7–12	8–13т	8–13	9т–13	9–14
Литье в оболочковые формы из терморезистивных смесей	До 100	7–12	7–13	8–13 т	8–14	9 т–13	9–15
	100–250	8–13 т	8–14	9 т–13	9–15	9–13	10–16
	250–630	9т–13	9–15	9–13	10–16	10–14	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 таблицы 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

Точность и качество поковки

Таблица В. 1 – Определение исходного индекса поковки (по ГОСТ 7505-89)

Масса поковки кг	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Исходный индекс
	М1	М2	М3	С1	С2	С3	С4	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	
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 таблице В. 1

Для определения исходного индекса необходимо от строки, соответствующей массе поковки, перемещать взгляд по горизонтальным линиям вправо, а также по наклонным линиям вправо и вниз до их пересечения с вертикалями, соответствующими другим

характеристикам поковки (группе стали, степени сложности, классу точности), 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 – C1, при $0,32 < X \leq 0,63$ степень сложности поковки – C2, при $0,16 < X \leq 0,32$ степень сложности поковки – C3, при $X < 0,16$ степень сложности поковки – C4.

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

– для штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах в открытых штампах, на горизонтально-ковочных машинах, на винтовых и гидравлических прессах, на штамповочных молотах принимаются классы точности T4, T5;

– для штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах в закрытых штампах, на горячештамповочных автоматах принимаются классы точности T2, T3;

– для горячей и холодной объемной калибровки принимаются классы точности T1, T2.

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

окончание таблицы В. 2

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								
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 концентричности пробитого отверстия поковки относительно наружного контура

Наибольший размер поковки, мм	Допускаемое отклонение от концентричности 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 разъема штампа

Масса поковки, кг	Допустимая величина смещения в мм						
	Плоская поверхность разъема штампа						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Симметрично изогнутая поверхность разъема штампа						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Несимметрично изогнутая поверхность разъема 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

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 – чистовое	12–13 10–11	9–12 5–9	25–100 3,2–25	20–50
Развертывание: – получистовое – чистовое – тонкое	9–10 7–9 5–7	7–10 5–8 2–5	3,2–25 1,6–12,5 0,4–1,6	15–25 5–15 5–10
Растачивание: – черновое – получистовое – чистовое – тонкое	12–14 11–13 8–10 5–7	8–11 7–10 5–9 2–6	6,3–100 3,2–25 1,6–12,5 0,63–3,2	20–50 20–50 10–25 5–10
Протягивание: – черновое – чистовое	10–11 6–9	8–10 3–7	3,2–50 0,8–12,5	10–25 5–10
Шлифование: – черновое – чистовое – тонкое	8–9 6–7 5	5–8 3–6 2–4	1,6–12,5 0,8–6,3 0,4–3,2	10–25 5–20 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	±0,23	±0,2	±0,31	±0,29
6–10	±0,23	±0,2	±0,31	±0,28
10–18	±0,25	±0,23	±0,34	±0,31
18–30	±0,35	±0,32	±0,48	±0,45
30–50	±0,45	±0,42	±0,65	±0,61

Таблица Г. 6 – Точность расположения осей отверстий после растачивания

Типы станков	Способ позиционирования инструмента	Отклонения межосевого расстояния, мм
Горизонтально-расточные	По лимбу	±0,2...±0,4
	По индикаторному упору	±0,04...±0,08
	По кондуктору	±0,05...±0,1
	Приводом с ЧПУ	±0,025...±0,06
Координатно-расточные	По оптическим приборам	±0,004...±0,02
Алмазно-расточные	–	±0,01±0,05
Агрегатные	По кондукторным втулкам	±0,025...±0,07
	Без кондуктора (при вылете до 4d)	±0,05...±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	±0,08	±0,07	±0,095	±0,08	±0,11	±0,085
12–18	±0,08	±0,075	±0,095	±0,085	±0,11	±0,09
18–30	±0,11	±0,095	±0,13	±0,11	±0,145	±0,115
30–50	±0,12	±0,11	±0,15	±0,125	±0,17	±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	±0,035	±0,034
18–30	±0,036	±0,035
30–50	±0,046	±0,044

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 повышенной точности	200	200	220	280	400	500	800	–	–
	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								
	До10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–500
	Погрешность установки в осевом направлении, мкм								
Прокат горячекатаный: обычной точности повышенной точности	130	130	150	190	250	350	520	–	–
	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								
	До 10	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 база	20	25	30	35	40	–	–	–	–
Вид заготовки или технологической базы	Погрешность установки в осевом направлении, мкм								
	До 10	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	40	50	60	70	80	–	–	–	–
Шлифованная база	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 зажимом 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

Стандартные допуски размеров, формы и расположения поверхностей деталей

Таблица Е. 1 – Допуски линейных размеров до 500 мм (по ГОСТ 25346-2013)

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

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

Степень точности для отклонений		Интервалы размеров, мм								
параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения	плоскостности, прямолинейности	До 10, вкл.	10–16	16–25	25–40	40–63	63–100	100–160	160–250	
		Допуски, мкм								
		1	2	3	4	5	6	8	10	12
—	1	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6
1	2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5
2	3	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4
3	4	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6
4	5	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10
5	6	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
6	7	4	5	6	8	10	12	16	20	25
7	8	6	8	10	12	16	20	25	30	40
8	9	10	12	16	20	25	30	40	50	60
9	10	16	20	25	30	40	50	60	80	100
10	11	25	30	40	50	60	80	100	120	160
11	12	40	50	60	80	100	120	160	200	250
12	13	60	80	100	120	160	200	250	300	400

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

Степень точности для отклонений	Интервалы размеров, мм								
цилиндричности, круглости, продольного профиля	До 3	3–10	10–18	18–30	30–50	50–120	120–250	250–400	400–630
соосности, симметричности, пересечения осей (в радиусном выражении)	До 3	3–10	10–18	18–30	30–50	50–120	120–250	250–400	
	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

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:
Медведев Олег Анатольевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практической работе

«РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ»

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

Ответственный за выпуск: Медведев О. А.
Редактор: Митлошук М. А.
Компьютерная вёрстка: Соколюк А. П.
Корректор: Дударук С. А.

Подписано в печать 28.03.2023 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial Narrow». Усл. печ. л. 3,26. Уч. изд. л. 3,5. Заказ № 1537. Тираж 18 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.