

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практической работе

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКОВ РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ»

по дисциплине «Основы технологии машиностроения»

для студентов специальности

36 01 01 «Технология машиностроения» и

36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

БРЕСТ 2010

УДК 621.91.002

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

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

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является приобретение навыков 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 заготовки и удалять в процессе ее механической обработки, 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 и др.

Припуском называется теоретически равномерный слой материала (а также его толщина, измеряемая по нормали к поверхности детали), удаляемый при механической обработке, с целью устранения дефектов формы поверхности и структуры поверхностного слоя заготовки, 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 заготовки.

При многопроходной механической обработке отдельной поверхности 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 техпроцесса 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 сторон или поверхностей (припуск на сторону), либо совместно на обе стороны (припуск на диаметр или толщину).

Так как в пределах одной партии размеры отдельной поверхности заготовки и размеры соответствующих поверхностей после переходов механической обработки нестабильны, то приходится различать номинальное (теоретически требуемое), минимальное и максимальное значение общего и каждого промежуточного припуска для данной поверхности. Номинальный припуск на охватываемую поверхность равен разности номинальных размеров до и после обработки, а для охватывающей поверхности – разности между номинальным размером после обработки и номинальным размером до 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 против-

ном случае, таких малых припусков не хватит для устранения поверхностных дефектов. 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, 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 и номограммам без учета конкретной технологии мехобработки поверхностей заготовки обуславливает широкое применение опытно-статистического метода на производстве. Значения таких припусков обычно завышены, чтобы их хватило при самом большом составе технологических переходов мехобработки, выполняемых в неблагоприятных условиях.

Расчетно-аналитический метод основан на анализе и определении величин элементарных погрешностей и дефектов, 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 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 снизить массу заготовки и расходы на мехобработку. Далее основные положения расчетно-аналитического метода будут рассмотрены более подробно.

2.2 Определение минимального промежуточного припуска

2.2.1 Составляющие минимального промежуточного припуска

Минимальное значение промежуточного припуска $Z_{i \min}$, удаляемого на i -том технологическом переходе обработки отдельной поверхности детали, не должно быть меньше суммы величин дефектов, погрешностей формы и расположения обрабатываемой поверхности, появившихся до выполнения данного перехода, и которые можно устранить, срезая этот припуск. Обычно составляющими $Z_{i \min}$, как правило, являются: высота микронеровностей 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_{yi} , влияющая на отклонение технологической базы и, следовательно, на отклонение обрабатываемой поверхности, относительно установочных элементов приспособления или относительно настроенного режущего инструмента. Индекс $i-1$ означает, что составляющая припуска соответствует поверхности, полученной на переходе, предшествующем i -тому, а индекс i – что составляющая определяется для условий перехода

да, на котором удаляется припуск. Все указанные составляющие определяются в направлении, 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 одинаправленными по нормали к этой поверхности и складываются арифметически

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

При расчете промежуточного припуска на обработку поверхностей вращения два последних слагаемых считаются векторами, перпендикулярными друг другу, и величина суммарного вектора определяется как корень квадратный из суммы квадратов слагаемых. Тогда минимальный односторонний припуск рассчитывают по формуле:

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

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 не устраненной полностью при его выполнении из-за податливости технологической системы.

При расчете минимального припуска, удаляемого на станке с автоматическим циклом работы после смены инструмента или позиции заготовки, в его состав следует включить погрешность позиционирования ($\varepsilon_{пози}$) 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.

$$z_{i \min} = R_{z-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{vi} + \varepsilon_{пози} \quad (3)$$

$$z_{i \min} = R_{z-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{vi}^2 + \varepsilon_{пози}^2} \quad (4)$$

Погрешность позиционирования не включается в состав минимального припуска, если она влияет на положение поверхности, получаемой в результате перехода.

Для поверхностей вращения и симметричных поверхностей, обрабатываемых в одинаковых условиях за один установ, принято определять припуск на диаметр и припуск на толщину как удвоенные односторонние припуски – $2z_{i \min}$.

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, применяемого оборудования, приспособлений, инструментов на предшествующем и выполняемом переходе. Также 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_{z1-1} и h_{i-1}

Значения R_{z1-1} 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}

Определить ρ_{i-1} и ε_{pi} сложнее, так как требуется учесть много факторов.

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 относительно технологической базы или направления подачи режущего инструмента (технологические допуски перпендикулярности, параллельности, угла наклона), выраженные в мм или мкм в виде катета, противолежащего угловому допуску и перпендикулярному обрабатываемой поверхности.

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

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

Напротив, 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 элементарных погрешностей формы и расположения поверхности заготовки, совпадающих по направлению с припуском, их расчетом или назначением по таблицам нормативов, и последующим их сложением.

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

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:

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

где Δ_k – удельная кривизна заготовки, мкм/мм; l – длина обрабатываемой поверхности заготовки.

Для плоских торцов отливок, поковок в виде тел вращения

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

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 перегиба 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.

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

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

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).

Наибольшее значение ρ_k имеет в поперечном сечении заготовки, находящемся на равном расстоянии от опор (центров) и определяется по формуле:

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

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 $\rho_{ц}$ определяется с учетом условий получения центровых отверстий по формуле:

$$\rho_{ц} = \sqrt{\rho_{\delta}^2 + \rho_{\phi, \delta}^2 + \rho_{\varepsilon_k}^2 + \rho_{\sigma_{\varepsilon}}^2}, \quad (11)$$

где ρ_{δ} – отклонение оси черновой базы от оси центровых сверл, возникающее из-за расхождения диаметра этой базы; $\rho_{\phi, \delta}$ – отклонение оси черновой базы от оси центровых сверл, возникающее из-за отклонений формы черновой базы, мкм; ρ_{ε_k} – погрешность эксцентриситета шейки заготовки, для которой рассчитывается припуск относительно шейки заготовки, по которой она базируется при центровке; $\rho_{\sigma_{\varepsilon}}$ – погрешность увода оси сверла от его номинального положения.

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

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

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 $\rho_{ц}$ можно пренебречь.

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

$$\rho_{\phi, \delta} = 0,25 \delta \quad (13)$$

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

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

Величиной $\rho_{\Sigma \phi}$ для короткого центрального сверла обычно пренебрегают из-за ее малости по сравнению с ρ_{Σ} и $\rho_{\Sigma \phi}$.

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

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

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

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.

Для заготовок типа дисков

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

где d – диаметр обрабатываемого цилиндра, мм.

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

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

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

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

Значения $\rho_{\Sigma k}$ определяются по [2, 3] или по таблицам приложений Б и В. Значения ρ_k и ρ_{Σ} определяются как и в предыдущем случае.

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 ρ_{Σ} 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 размерных цепей.

Рассмотрим некоторые типовые случаи определения ρ_{Σ} оси 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 до-

пусков 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 с серединой допуска 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 отверстию (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 максимум-минимум. Для упрощения определения $\rho_{см}$ в таком случае принимается условие – отклонение увеличивающего звена происходят «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.

Рассмотрим определение ρ_{i-1} для припусков, снимаемых на полустиховых и чистовых переходах.

При расчете припуска на последующую обработку отверстия, просверленного при не вращающейся заготовке, 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 просверленного отверстия от номинального положения, мкм; Δ_y – удельный увод оси просверленного отверстия, мкм/мм; l – длина отверстия, мм.

Значения c_0 и Δ_y определяются по [1] или по таблицам приложения Г.

При расчете припусков на получистовую и чистовую обработку значения ρ_{i-1} , остающиеся после предшествующих переходов мехобработки, можно определить по формулам, приведенным ранее, но составляющие определяются для обработанных поверхностей с помощью таблиц приложения Г.

В случае, если требуемые нормативные данные отсутствуют, значение остаточной погрешности формы и расположения можно определить упрощенным расчетом с использованием коэффициентов уточнения этих погрешностей K_{yi} , свойственных определенным переходам (методам) мехобработки, 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} – коэффициент уточнения для $i-1$ перехода.

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

Можно принимать следующие значения коэффициентов уточнения:

- $K_{yi-1} = 4, 1 \dots 6,55$ для черновых проходов (уточнение на 3 - 4 степени точности);
- $K_{yi-1} = 2,56 \dots 4,1$ для получистовых и чистовых проходов (уточнение на 2 - 3 степени точности).

Значениями $\rho_{i-1} < 1$ мкм можно пренебречь.

2.2.4 Определение значений ε_{yi}

Погрешность установки заготовки ε_{yi} возникает непосредственно перед выполнением i -го технологического перехода. Она представляет собой поле рассеяния положений определенного элемента заготовки или получаемого полуфабриката относительно принятой измерительной базы (в пределах партии, обрабатываемой при единой настройке оборудования и оснастки), вызываемое нестабильностью условий установки заготовок. Так как ε_{yi} влияет на расположение обрабатываемой поверхности относительно настроенного 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]:

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

где $\varepsilon_{\delta i}$ – 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 $\varepsilon_{\delta 1}$; погрешность базирования, вызванная неточностями формы и шероховатостью технологической базы $\varepsilon_{\delta 2}$; погрешность схемы базирования $\varepsilon_{\delta 3}$.

При расчете ε_{yi} , как составляющей $Z_{i \min}$, учитываются только те ее слагаемые, которые влияют на положение обрабатываемой поверхности относительно 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

$$\varepsilon_{iy} = \sqrt{\varepsilon_{\delta 1i}^2 + \varepsilon_{\delta 2i}^2 + \varepsilon_{zi}^2 + \varepsilon_{npi}^2} \quad (21)$$

Обычно погрешность базирования $\varepsilon_{\delta 1}$, 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:

$$\varepsilon_{\delta 1} = \frac{\delta_d}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (22)$$

где δ_d – допуск диаметра цилиндрической базы, мм.

При том же базировании, но в направлении, перпендикулярном оси симметрии призмы, $\varepsilon_{\delta 1} = 0$, а в направлении перпендикулярном рабочей плоскости призмы, $\varepsilon_{\delta 1} = \delta_d / 2$.

При базировании в двух равномерно сходящихся призмах рассеяние диаметра наружной цилиндрической базы не вызывает рассеяния положений ее оси относительно центра схождения призм, и поэтому $\varepsilon_{\delta 1} = 0$ во всех радиальных направлениях.

По той же причине $\varepsilon_{\delta 1} = 0$ во всех радиальных направлениях при базировании по наружной цилиндрической базе в центрирующих приспособлениях (трехкулачковый самоцентрирующий 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

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

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.

Погрешность базирования, вызванная неточностью формы и шероховатостью базы,

$\varepsilon_{\delta 2}$ принимается равной большей из величин – технологическому допуску формы базы или значению параметра шероховатости базы R_z .

Погрешность закрепления жесткой заготовки $\varepsilon_{\delta 1}$ 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 $\varepsilon_{\delta 1} = 0$. При других направлениях силы зажима $\varepsilon_{\delta 1} \neq 0$ 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.

Погрешность приспособления $\varepsilon_{пр1}$ 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 l -го перехода на всех заготовках партии, то величина $\varepsilon_{пр1}$ постоянна и ее можно компенсировать, внося коррекцию в настройку режущего инструмента. В этом случае принимают $\varepsilon_{пр1} = 0$. При использовании нескольких одинаковых приспособлений на многопозиционных станках или многоместного приспособления на одном станке $\varepsilon_{пр1}$ можно определить по рекомендации [1]

$$\varepsilon_{пр1} = \left(\sqrt[10]{\frac{1}{3}} \right) \delta, \quad (25)$$

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

При приближенных расчетах можно принимать табличные значения погрешности установки $\varepsilon_{ум1}$ из [1] или приложения Д. Эти значения определены экспериментально для часто применяемых станочных приспособлений, для которых $\varepsilon_{\delta 1} = 0$, а значения $\varepsilon_{\delta 2}$ и $\varepsilon_{\delta 3}$ трудно определить отдельно. Табличные значения $\varepsilon_{ум1}$ являются суммой $\varepsilon_{\delta 2}$ и $\varepsilon_{\delta 3}$. В случае, если используются приспособления, для которых $\varepsilon_{\delta 1} \neq 0$ или $\varepsilon_{пр1} \neq 0$, но они по условиям закрепления аналогичны приспособлениям, для которых даны табличные значения $\varepsilon_{ум1}$, то погрешность установки можно определить по формуле:

$$\varepsilon_{у1} = \sqrt{\varepsilon_{\delta 1}^2 + \varepsilon_{ум1}^2 + \varepsilon_{пр1}^2} \quad (26)$$

Остаточная погрешность установки определяется по формуле:

$$\varepsilon_{у1} = \frac{\varepsilon_{у1-1}}{K_{у1}} \quad (27)$$

Значения коэффициентов уточнения $K_{у1}$ принимаются по рекомендациям на странице 10.

2.2.5 Определение значений $\varepsilon_{поз1}$

Погрешности позиционирования рабочих органов станков приводятся в паспортах станков и справочниках [6]. Для некоторых моделей станков с ЧПУ значения $\varepsilon_{поз1}$ приведены в приложении Ж.

2.2.6 Некоторые 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 зенкерование. Поэтому в расчете припуска на такое развертывание или протягивание стенок отверстия принимается $\rho_{i-1} = 0$ и $\varepsilon_{\rho i} = 0$.

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 $\varepsilon_{\rho i} = 0$.

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:

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

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

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 -том 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 охватывающей 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 охватывающей поверхности после преобразований идентичны.

Если погрешность упругих деформаций доминирует на всех переходах формирования внутренней охватывающей 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 охватывающей 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 $2Z_{\min}$, $2Z_{\max}$, $2Z_{\Sigma \max}$ при подстановке в правую часть $2Z_{\min}$ 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 l -том переходе определяется как разность между номинальными размерами до и после этого перехода. Номинальный промежуточный припуск для охватывающей внутренней поверхности определяется как разность между номинальным размером, полученным после выполнения l -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:

$$Z_{\Sigma \text{ном}} = Z_{\Sigma \min} - EI_0 + EI_m, \quad (39)$$

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

$$Z_{\Sigma \text{ном}} = Z_{\Sigma \min} + ES_0 - ES_m, \quad (40)$$

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 $2Z_{\Sigma \text{ном}}$ при подстановке $2Z_{\Sigma \min}$.

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 (приблизительно 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 разреза 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 поволоков – 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_{zi} 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 пунк-

та 2.2.4 или таблицам Д.1, Д.2, Д.3, Д.4. Рассчитать ε_{ji} 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 рис. 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 $35_{-0,008}^{+0,008}$ 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 разъема. 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) полуступовое 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) предварит. круглое шлифование (уточнение с 10 до 8 качества, с $TA_4 = 0,039$ мм);
- 5) чистовое круглое шлифование (уточнение с 8 до 6 качества, 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 $45,4_{-0,8}^{+1,4}$ 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 полуступового точения $R_{z2} = 0,05$ мм, $h_2 = 0,04$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после чистового точения $R_{z3} = 0,01$ мм, $h_3 = 0,03$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после предварительного шлифования $R_{z4} = 0,005$ мм, $h_4 = 0,02$ мм (таблица Г.1);
- для поверхности после чистового шлифования $R_{z5} = 0,0025$ мм, $h_5 = 0,01$ мм (табл. 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.

Принимаем $\rho_{3к} = 0$, 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 разъема, но величина $\rho_{2м}$ учтена ранее. Тогда по формуле (11)

$$\rho_{11} = \sqrt{1556^2 + 550^2 + 0^2 + 0^2} = 1650 \text{ мкм}$$

По формуле (8):

$$\rho_{11} = \sqrt{318^2 + 700^2 + 1650^2} = 1820 \text{ мкм} = 1,82 \text{ мм}$$

Значения ρ_{1-1} 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_{y1} в центрах для черного 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- для черного точения $A_{1min} = 35,64 + 0,96 = 36,6$ мм;
 - для штамповки $A_{0min} = 36,6 + 4,36 = 40,96$ 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 черного 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 черного 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

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

Номер перехода	Наименование перехода	Допуск, TA_i , мм	Составляющие мини- мального припуска, мм				Предельные припуски, мм		Предельные размеры, мм	
			R_{zi}	h_i	ρ_i	ε_{vi}	$2Z_{i\min}$	$2Z_{i\max}$	$A_{i\min}$	$A_{i\max}$
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 →							$2Z_{\Sigma\min}$	$2Z_{\Sigma\max}$		
							5,968	8,152		

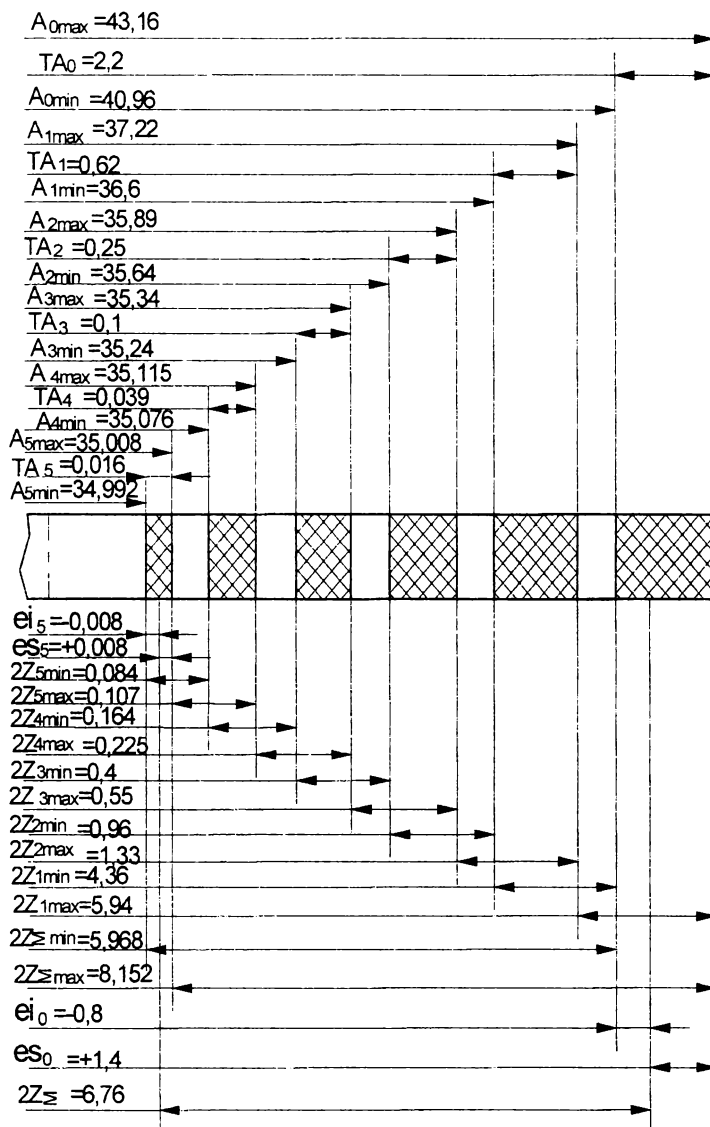


Рисунок 4.2 – Схема расположения припусков, допусков и предельных размеров для шейки вала диаметром $35h_6(\pm 0.008)$

Рассчитанный односторонний номинальный припуск $Z_{ном} = 3,38$ мм существенно превышает припуск, назначенный по ГОСТ 7505-89 с учетом характеристик поковки $Z_{cm} = 1,8 + 0,3 + 0,5 = 2,6$ мм. Основной причиной этого является большая погрешность центровки при использовании неподвижной призмы. Установка заготовки при центровке

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 рис. 4.3. Для компактного и наглядного представления хода расчетов их промежуточные и окончательные результаты по мере их появления заносим в табл. 4.2.

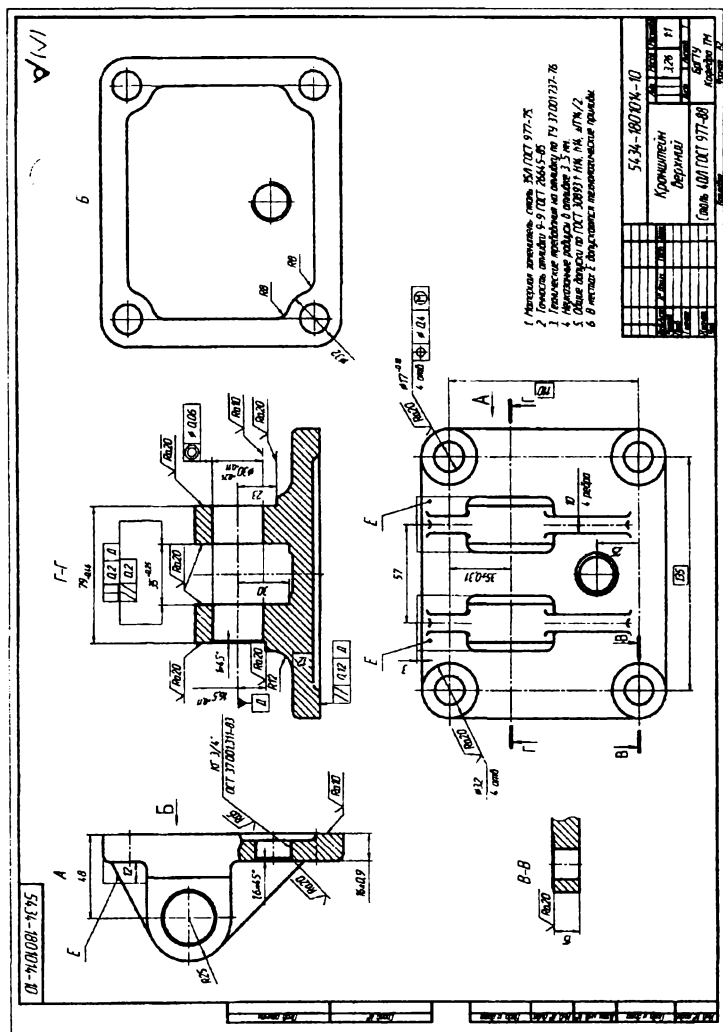


Рисунок 4.3 – Чертеж кронштейна

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 $\begin{smallmatrix} +0,9 \\ -0,9 \end{smallmatrix}$. Этот допуск входит в пределы допуска 2,1 мм, соответствующего 17 качеству и интервалу размеров 18...30 мм (таблица Е.1).

Назначим состав переходов мехобработки отверстий ушек:

1. Черновое растачивание твердосплавным резцом по литейной корке обеспечит 14 качество с допуском 0,52 мм;
2. Предварительное зенкерование обеспечит 12 качество с допуском 0,21 мм;
3. Чистовое зенкерование обеспечит 11 качество 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 установки 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 (табл. 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 (табл. 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 $\Delta_k = 1$ мкм/мм (таблица Б.7). Тогда

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

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

Значение $\rho_{смл}$ 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 ока-

зывается замыкающим звеном N_Δ 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 черногого фрезерования плоскости по 12 качеству 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

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

Значение $\rho_{см\lambda}$ 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

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

Суммарную погрешность смещения находим как геометрическую сумму смещений $\rho_{см\eta}$ и $\rho_{см\lambda}$

$$\rho_{сн} = \sqrt{\rho_{см\eta}^2 + \rho_{см\lambda}^2} = \sqrt{2,38^2 + 2,65^2} = 3,5 \text{ мм}$$

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: $\varepsilon_{\eta\eta}$ – по нормали к плоской базе; $\varepsilon_{\eta\lambda}$ – по нормали к осям базовых отверстий в основании. Их следует определить отдельно и сложить как векторы.

В качестве составляющих $\varepsilon_{\eta\eta}$ принимаем:

- $\varepsilon_{\delta 1} = 0$ (базирование по плоскости, а эта погрешность возникает лишь при базировании по поверхностям вращения);

- $\varepsilon_{\delta 2}$ и $\varepsilon_{\delta 3}$ при такой установке отдельно определить затруднительно, поэтому их сумму $\varepsilon_{\eta\eta} = 60 \text{ мкм} = 0,06 \text{ мм}$ 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):

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

В качестве составляющих ε_{yi} 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 перекося 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);

- $\varepsilon_3 = 0$, так как сила зажима направлена перпендикулярно определяемой погрешности установки ε_{yi} ;

- $\varepsilon_{np} = 0$, 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):

$$\varepsilon_{y2} = \sqrt{0,11^2 + 0,08^2 + 0^2 + 0^2} = 0,136 \text{ мм}$$

Суммарную погрешность установки для первого перехода находим как геометрическую сумму

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{\varepsilon_{y\eta}^2 + \varepsilon_{y2}^2} = \sqrt{0,06^2 + 0,136^2} = 0,149 \text{ мм}$$

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 выходит в положение, необходимое для следующего перехода с погрешностями позиционирования по нормали к установочной базе $\varepsilon_{\text{позн}}$ и вдоль нее $\varepsilon_{\text{позл}}$. Они влияют на положение оси отверстий ушек перед обработкой относительно оси инструмента, поэтому включаются в состав $Z_{i \text{ min}}$. По таблице приложения Ж $\varepsilon_{\text{позн}} = \varepsilon_{\text{позл}} = 0,01 \text{ мм}$. Эти погрешности складываем геометрически и для каждого перехода получаем

$$\varepsilon_{\text{поз1}} = \varepsilon_{\text{поз2}} = \varepsilon_{\text{поз3}} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2} = 0,0141 \text{ мм}$$

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

$$2Z_{1 \text{ min}} = 2(0,05 + 0,2 + \sqrt{3,5^2 + 0,149^2 + 0,0141^2}) = 7,506 \approx 7,51 \text{ мм};$$

- для предварительного зенкерования

$$2Z_{2 \text{ min}} = 2(0,05 + 0,05 + \sqrt{0,53^2 + 0,036^2 + 0,0141^2}) = 1,26 \text{ мм};$$

- для чистового зенкерования

$$2Z_{\Sigma \min} = 2 \left(0,025 + 0,02 + \sqrt{0,129^2 + 0,014^2 + 0,0141^2} \right) = 0,35 \text{ мм}.$$

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

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

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

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

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

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

Минимальные размеры для каждого перехода $A_{i\min} = A_{i\max} - TA_i$:

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

Номер перехода, i	Наименование перехода	Допуск T_{A_i} , мм	Составляющие минимального припуска, мм					Предельные припуски, мм		Предельные размеры, мм	
			R_{zi}	h_i	ρ_i	ε_{pi}	$\varepsilon_{поз}$	$2Z_{imin}$	$2Z_{imax}$	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 →								$2Z_{\Sigma min}$	$2Z_{\Sigma max}$		
								9,12	10,79		

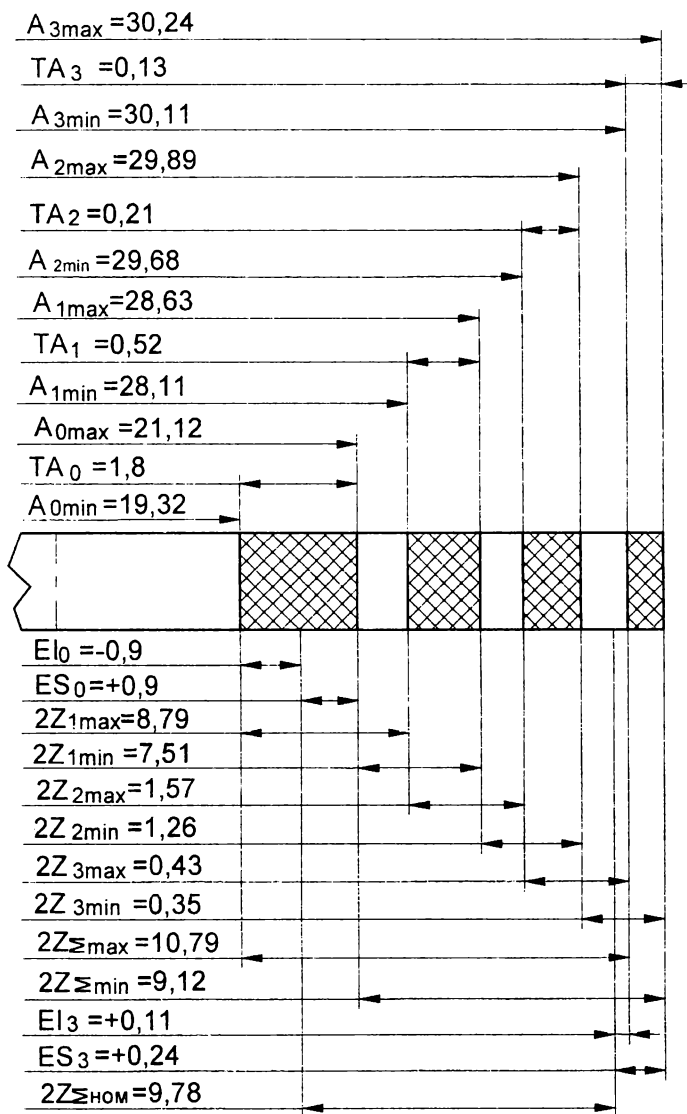


Рисунок 4.4 – Схема расположения припусков, допусков и предельных размеров для отверстий диаметром $30^{+0,24}_{+0,11}$

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

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

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

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

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т.1. – 914 с.
2. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку: ГОСТ 26645-85. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 55 с.
3. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 52 с.
4. Прокат стальной горячекатаный круглый: ГОСТ 2590-88. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 8 с.
5. Полоса стальная горячекатаная: ГОСТ 103-76(87). – М.: Издательство стандартов, 1987. – 6 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т.2. – 949 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Нормативные данные для определения припусков расчетно-аналитическим методом

Приложение А

Точность и качество заготовок из проката

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

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

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

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

Таблица А. 3 – Качество поверхности сортового проката

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

Таблица А 4 – Точность и качество поверхности после резки проката

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

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

Характеристика проката	При длине проката, мм				
	До 120	120-180	180-315	315-400	400-500
Горячекатаный сортовой, без правки и термообработки:					
Обычной точности	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 заковки:					
В печах	При диаметре проката, мм				
На установках ТВЧ	До 30	30-50	50-80	80-120	120-180
	2	1,3	0,9	0,6	0,5
	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	-	-	-

Приложение Б
Точность и качество отливок

Таблица Б.1 – Характеристики точности отливок

Метод литья	Наибольший габарит отливки, мм	Тип литейного сплава					
		Нетермообрабатываемые черные и термобрабатываемые цветные легкоплавкие сплавы		Термообрабатываемые чугуны и титановые 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	3-7г	3-7	4-7	4-8	5г-8	5-9
	100-250	4-7	4-8	5г-8	5-9	5-9г	6-10
	250-630	5г-8	5-9	5-9г	6-10	6-9	7-11
Литье по выплавляемым моделям, литье в керамические формы	До 100	5г-9г	5г-9г	5-9	5-9	6-10	6-11
	100-250	5-9	5-9	6-10	6-10	7г-11г	7-12
	250-630	6-10	6-10	7г-11г	7-11г	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	7г-11г	7-12
	100-250	6-10	6-11	7г-11г	7-12	7-11	8-13
	250-630	7г-11г	7-12	7-11	8-13	8-12	9-14
Литье в песчано-глинистые формы	До 100	6-11г	8-15	7г-11	9-16	7-12	10-17
	100-250	7г-11	9-16	7-12	10-17	8-13г	11-18
	250-630	7-12	10-17	8-13г	11-18	9г-13	12-19
Литье под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями	До 100	6-11г	5-10	7г-11	7-11	7-12	7-12
	100-250	7г-11	6-11	7-12	7-12	8-13	8-13
	250-630	7-12	7-12	8-13г	8-13	9г-13	9-14
Литье в оболочковые формы из терморепактивных смесей	До 100	7-12	7-13	8-13г	8-14	9г-13	9-15
	100-250	8-13г	8-14	9г-13	9-15	9-13	10-16
	250-630	9г-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	3г	3	4	5г	5	6	7г	7	8
До 4	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64
4-6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7
6-10	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8
10-16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9
16-25	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1
25-40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1
40-63	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2
63-100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4
100-160	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1	1,2	1,6
160-250	-	-	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8
250-400	-	-	0,32	0,4	0,50	0,64	0,8	1	1,2	1,6	2
400-630	-	-	-	-	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2
630-1000	-	-	-	-	-	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4
1000-1600	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,8	2,2	2,8
1600-2500	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,4	3,2
2500-4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	3,6

окончание табл. Б.2

Интервал номинальн. 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 отливки			
	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

окончание табл. Б.4

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

Таблица Б.5 – Глубина дефектного поверхностного слоя отливок

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

Таблица Б.6 – Допуски формы и расположения поверхностей отливок

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

Таблица Б.7 – Удельная кривизна отливок

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

Приложение В
Точность и качество поковки

Таблица В.1 – Определение исходного индекса поковки

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

Примечания к табл. В.1

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

Ориентировочно масса поковки определяется по формуле:

$$M_n = M_d \cdot K,$$

где M_d – масса детали; K – расчетный коэффициент.

Значения K принимаются в зависимости от конфигурации детали:

для валов, осей, шатунов $K = 1,3 \dots 1,6$; для шестерен, ступиц, фланцев $K = 1,5 \dots 1,8$; для полых валов, блоков шестерен $K = 1,8 \dots 2,2$; для крестовин, вилок $K = 1,4 \dots 1,6$; для рычагов, сошек, крюков $K = 1,1 \dots 1,4$.

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

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

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

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

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

$$X = V_n / V_\phi$$

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

При $x > 0,63$ степень сложности поковки – 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 деформирующего оборудования и способа штамповки:

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

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

- для горячей и холодной объемной калибровки – 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

Продолжение табл. В.2

9	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2
10	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3
11	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5
12	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7
13	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9
14	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1
15	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4
16	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7
17	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0
18	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3
19	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6
20	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0
21	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4
22	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4	+9,2 -4,8
23	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+7,4 -3,6	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4	+9,2 -4,8	+10,0 -6,0

Примечание: для размеров охватывающих элементов поковки предельные отклонения принимаются с противоположными знаками

Таблица В.3 – Качество поверхности поковок после горячей объемной штамповки

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

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

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

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

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

Продолжение табл. В.5

1,8-3,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
3,2-5,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2
5,6-10	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,4
10-20	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,8
20-50	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,8	2,5
50-125	0,8	1	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2
125-250	1	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4

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

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

Таблица В.7 – Удельная кривизна поковок для валов

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

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

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

Таблица В.9 – Погрешности межосевого расстояния отверстий поковок

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

Приложение Г

Точность и качество поверхностей деталей после механической обработки

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

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

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

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

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

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

Продолжение табл. Г.3

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

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

Диаметр отверстия, мм	Сверление спиральными сверлами		Глубокое сверление	
	Удельный увод Δ в мкм/мм	Смещение C_0 в мкм	Удельный увод Δ в мкм/мм	Смещение C_0 в мкм
3-6	2,1	10	1,6	10
6-10	1,7	15	1,3	15
10-18	1,3	20	1	20
18-30	0,9	25	0,7	25
30-50	0,7	30	0,7	30

Таблица Г.5 – Точность расположения осей отверстий после сверления

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

Таблица Г.6 – Точность расположения осей отверстий после растачивания

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

Таблица Г.7 – Точность расположения осей отверстий после зенкерования

Диаметр отверстия, мм	Материал детали					
	чугун		алюминий		сталь	
	Крепление зенкера					
	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее
Отклонения оси отверстия от оси кондукторной втулки, мм (в радиальном выражении)						
До 12	0,1	0,08	0,11	0,09	0,1	0,12
12-18	0,1	0,08	0,11	0,1	0,12	0,12
18-30	0,12	0,1	0,15	0,12	0,17	0,13
30-50	0,14	0,13	0,18	0,14	0,2	0,16
Технологический допуск размера от оси отверстия до технологической базы, мм						
До 12	0,12	0,1	0,14	0,12	0,15	0,13
12-18	0,12	0,11	0,14	0,13	0,15	0,13
18-30	0,16	0,14	0,19	0,15	0,21	0,17
30-50	0,18	0,16	0,22	0,18	0,25	0,19
Отклонения межосевого расстояния стверстий, 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	$\pm 0,035$	$\pm 0,034$
18-30	$\pm 0,036$	$\pm 0,035$
30-50	$\pm 0,046$	$\pm 0,044$

Приложение Д

Точность установки заготовок в приспособлениях

Таблица Д.1 – Точность установки заготовок в трехкулачковых патронах

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

Таблица Д.2 – Точность установки заготовок в цанговых патронах

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

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

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

Таблица Д.4 – Точность установки заготовок на постоянные опоры

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

Приложение Е

Стандартные допуски размеров, формы и расположения поверхностей деталей

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

Интервалы размеров, мм	Квалитеты														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	Допуски, мкм														
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	-	
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 (ГОСТ 24648-80) и расположения (ГОСТ 24643-81) плоских поверхностей

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

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

Степень точности для отклонений		Интервалы размеров, мм								
цилиндричности, круглости, продольного профиля	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	

Приложение Ж

Погрешности позиционирования рабочих органов станков

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

Учебное издание

Составитель: **Медведев Олег Анатольевич**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практической работе
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКОВ РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ»
по дисциплине «Основы технологии машиностроения»
для студентов специальности
36 01 01 «Технология машиностроения» и
36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

Ответственный за выпуск **Медведев О.А.**

Редактор **Строкач Т.В.**

Компьютерная вёрстка **Кармаш Е.Л.**

Корректор **Никитчик Е.В.**

Подписано к печати 31.12.2010 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага «Снегурочка». Гарнитура «Arial Narrow». Усл. п. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,0. Заказ № 1238. Тираж 60 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.