

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРАКТИКУМ

**по курсу «Основы энергосбережения»
для студентов специальности 1-36 01 03
«Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2007

УДК 621.311.017(075.8)
ББК 31.19я73
Э65

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 25 от 30.05.2005 г.)*

Авторы-составители: *Р. И. Вечер, М. Р. Шейбак*

Рецензент: канд. техн. наук, доц., зав. каф. «Технология машиностроения»
ГГТУ им. П. О. Сухого *М. П. Кульгейко*

Э65 **Энергосбережение** на примере станкоинструментальной промышленности : практикум по курсу «Основы энергосбережения» для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» днев. формы обучения / авт.-сост.: Р. И. Вечер, М. Р. Шейбак. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 45 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-543-4.

Практикум содержит: примеры решения задач по энергосбережению, основные направления рационального энергосбережения в промышленном производстве, методику суммирования составляющих операционного припуска.

Для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной формы обучения.

УДК 621.311.017(075.8)
ББК 31.19я73

ISBN 978-985-420-543-4

© Вечер Р. И., Шейбак М. Р., составление, 2007
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2007

I. Основные направления рационального энергосбережения в промышленном производстве

Наряду с вводом в действие новых энергетических установок важное значение приобретает рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и всемерное использование энергетических резервов производства. При этом необходимо учитывать вопросы трудосбережения, применение новых технологических процессов, внедрения ГАП и робототехники, возрастание стоимости ТЭР, усиление электрификации производства, необходимость проведения технологических маневров с целью повышения адаптации систем энергосбережения к различным возмущениям.

Рассмотрим основные направления экономии электроэнергии в машиностроении:

1) совершенствование и рационализация технологических процессов. Так, применение индукционного способа термообработки деталей и закалки их ТВЧ вместо термообработки в печах сопротивления позволяет в 2–3 раза сократить расход электроэнергии;

2) внедрение прогрессивных технологических режимов и методов работы оборудования. Это и повышение скорости резания, уменьшение припусков, введение оптимальных температурных режимов при электронагреве и термообработке металлов и т. д. Например: увеличение скорости резания на станках с 50 до 200 м/мин снижает расход электроэнергии на 17 %, а применение скоростных плавок на оптимальном режиме уменьшает на 20–30 % удельный расход электроэнергии;

3) улучшение качественных характеристик используемого оборудования. Например: резервы экономии электроэнергии на самых энергоемких электроустановках связана с потерей теплоты через поверхность и составляют до 48 %. Перевод конструкций станков с направляющих скольжения на гидростатические направляющие, что приводит к значительному уменьшению коэффициента трения, и таким образом к снижению мощности привода подач, что обеспечивает экономию электроэнергии до 7 %;

4) уменьшение объема металла, снимаемого при обработке. Только замена механической обработки операция ковки, штамповки, точным литьем сокращает расход электроэнергии на 15–20 %;

5) установка ограничений холостого хода на станок всегда оправдана экономией электроэнергии, если по технологической операции время составляет 10 с и более;

б) замена асинхронных двигателей синхронными, обладающими более высокими КПД и меньшей чувствительностью к перепадам напряжений, экономит электроэнергию на 1–3 %;

7) внедрение прямого технологического использования электроэнергии;

8) совершенствование конструкций промышленных зданий и сооружений;

9) реализация структуры, режимов и эксплуатации осветительных установок;

10) другие мероприятия.

Работу по энергосбережению проводят в два этапа:

1) разработка и реализация мероприятий, не требующих крупных дополнительных затрат;

2) обоснование и внедрение новых энергосберегающих техники и технологии, которые требуют значительных денежных средств.

Определение оптимальных припусков – актуальная задача энергосбережения.

II. Факторы, определяющие величину припуска, составляющие припуска

В целях достижения требуемого качества обработки необходимо на каждом выполненном технологическом переходе предусматривать припуск, компенсирующий погрешности, как предшествующей, так и выполняемой ступени обработки.

Каждой заготовке и детали на соответствующей ступени обработки присущи определенные качества поверхности и точность. Эти два фактора и определяют комплекс составляющих операционного припуска.

1. H_a – поверхностные микронеровности, полученные при выполнении предшествующей операции (или перехода). Каждому технологическому методу обработки свойственна определенная шероховатость поверхности [4, табл. 1]. Для определения численного значения H_a следует пользоваться величиной Rz [2, табл. 2].

2. T_a – глубина поверхностного дефектного слоя, полученного при выполнении предшествующей операции и отличающегося своими физическими или химическими свойствами от основного металла.

Для удаления поверхностных неровностей и дефектного слоя, полученных на предшествующем переходе, припуск на выполняемый

переход (операцию) при отсутствии каких-либо других погрешностей должен быть не менее:

а) для асимметричного припуска

$$z_B = (a - b) \geq H_a + T_a;$$

б) для симметричного припуска

$$2z_B = (d_B - d_a) \geq 2(H_a + T_a).$$

3. T_{d_a} – допуск на размер, полученный на предшествующем переходе. Минимальный слой металла (припуск), который надо предусмотреть для снятия на следующем переходе, должен быть не менее допуска на размер предшествующего перехода.

$$2z_B \geq (d_{amax} - d_{amin}) = T_{d_a}.$$

4. ρ_a – составляющая припуска, учитывающая пространственные геометрические отклонения, не связанные с допуском на размер, обрабатываемый элементарной поверхностью. Часто при обработке изделия мы имеем дело не с одним пространственным отклонением, а с двумя или несколькими.

Суммарное значение ρ_a определяется, как векторная сумма пространственных отклонений. Рекомендации для расчета значений ρ_a даны в [3, табл. 4, 5], [4, табл. 3].

5. ε_B – погрешность установки, связана только с выполняемым переходом (операцией).

Погрешности установки в общем виде складывается как векторная сумма из двух элементов – из погрешности базирования ε_6 и погрешности закрепления ε_3 .

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + 2\varepsilon_6 \cdot \varepsilon_3 \cdot \cos(\varepsilon_6 \varepsilon_3)}.$$

При совпадающем направлении векторов ε_6 и ε_3 имеем:

$$\varepsilon_B = \varepsilon_6 + \varepsilon_3.$$

В тех случаях, когда предвидеть направление векторов затруднительно, их суммируют по правилу квадратного корня

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}.$$

Погрешность закрепления ε_3 получается в результате того, что устанавливаемая для обработки заготовка может под воздействием силы зажима при закреплении отклоняться от заданного положения относительно установленного на размер режущего инструмента. Опытнo-статические данные определения ε_3 приведены в [4, табл. 6–14].

Погрешность базирования ε_6 определяется, исходя из геометрических связей в зависимости от принятой схемы установки.

При совмещении установочной и измерительной баз погрешность базирования не имеет места, т. е. $\varepsilon_6 = 0$.

Учитывая разнообразие принципиальных схем установок, типовые случаи установок даны в [4, табл. 12–13].

Составляющая припуска R_a , учитывающая подетальные размерные связи при выполнении предшествующих операций технологического процесса. Величина R_a определяется в каждом конкретном случае путем построения и решения соответствующих подетальных размерных цепей.

Составляющая припуска R_a также представляет собой пространственное отклонение, которое учитывает возможность смещения поверхности, подлежащей обработке на данной операции, относительно базирующих поверхностей детали. Величина R_a зависит прежде всего от принятой последовательности обработки и системы базирования и часто оказывает существенное влияние на величину припуска.

Рассмотрим несколько примеров определения величины R_a .

Пример 1. Деталь – кронштейн (рис. 1). Заготовка – отливка из серого чугуна. Требуется определить величину составляющей припуска на черновое растачивание отверстия – R_a . Рассмотрим два варианта обработки кронштейна при различной установке заготовки на первой операции и сравним величины R'_a и R''_a для каждого из вариантов.

Вариант А

Операция первая – фрезерование подошвы кронштейна и одной боковой стороны соответственно в размеры A_1 и B_2 (рис. 1, а).

Операция вторая – черновое растачивание отверстия. За базы приняты поверхности, обработанные на первой операции. Положение оси отверстия определяется при установке на второй операции размерами A_x и B_x (рис. 1, б).

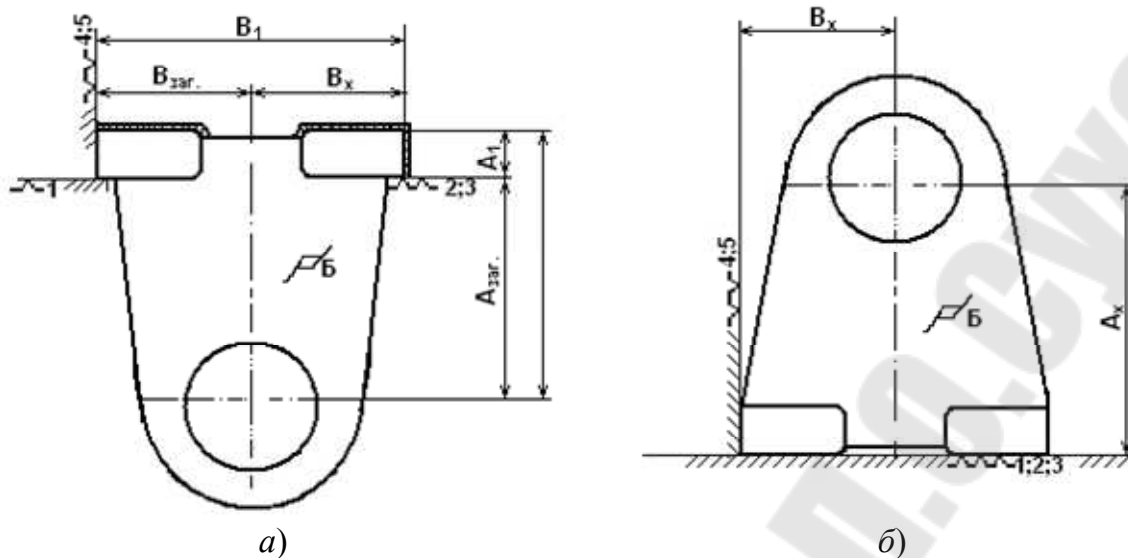


Рис. 1

Эти размеры могут изменяться, и т. к. при этом меняется положение оси отверстия, необходимо при расчете припуска на черновое растачивание отверстия учесть возможное смещение оси отверстия, введя составляющую R_a . Для определения численного значения R_a необходимо решить подетальные размерные цепи.

$$R_a = \sqrt{Td_{A_x}^2 + Td_{B_x}^2},$$

где $Td_{B_x} = Td_{B_1} + Td_{B_{зар}}$ – в горизонтальной плоскости,

$Td_{A_x} = Td_{A_1} + Td_{A_{зар}}$ – в вертикальной плоскости.

На рис. 2 изображен эскиз заготовки. Из эскиза видно, что размер $A_{зар}$ в свою очередь является замыкающим в размерной цепи заготовки и

$$Td_{A_{зар}} = Td_{\Gamma_1} + Td_{\Gamma_2}.$$

Следовательно, колебание размера A_x зависит от колебаний трех размеров:

$$Td_{A_x} = Td_{A_1} + Td_{A_{зар}} = Td_{A_x} + Td_{A_1} + Td_{A_{зар}},$$

$$Td_{B_x} = Td_{B_1} + Td_{B_{зар}}.$$

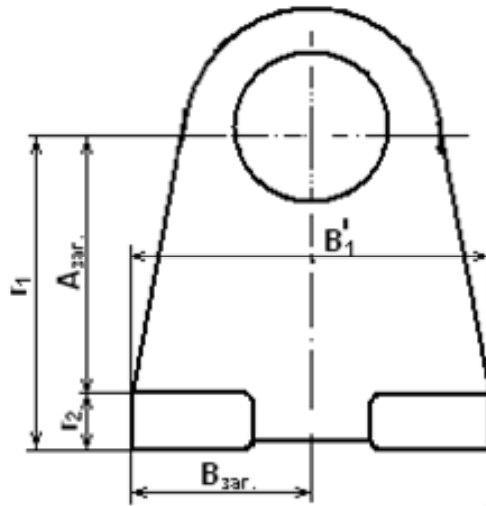


Рис. 2

Вариант Б

На первой операции, как и в варианте А, фрезеруется плоскость основания, но установка (базирование) производится по центральному отверстию (рис. 3)

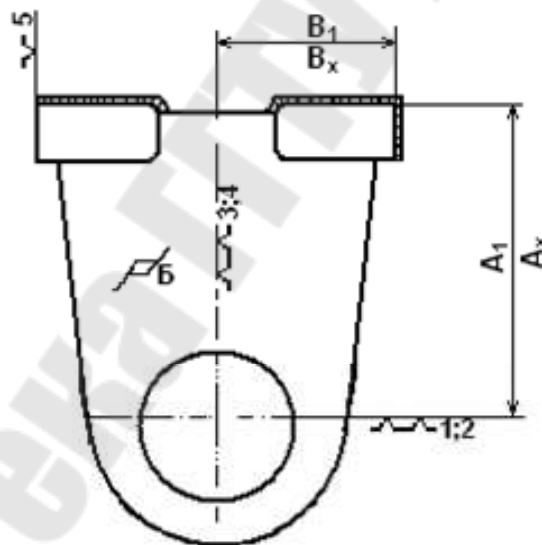


Рис. 3

Вторая операция ничем не отличается от второй операции варианта А (рис. 1, б), но в данном случае

$$Td_{A_x} = Td_{A_1}; \quad Td_{B_x} = Td_{B_1}.$$

Очевидно, что базирование по варианту Б значительно сократит составляющую R_a припуска на обработку отверстия.

Итак, если не учитывать других погрешностей, то припуск на «черновую» обработку отверстия должен быть не менее

$$2z_B \geq 2R_A = 2\sqrt{Td_{A_x}^2 + Td_{B_x}^2}.$$

Пример 2. На рис. 4 показана схема обработки корпусной детали, имеющей отлитое в заготовке отверстие. Требуется определить составляющую операционного припуска на обработку отверстия.

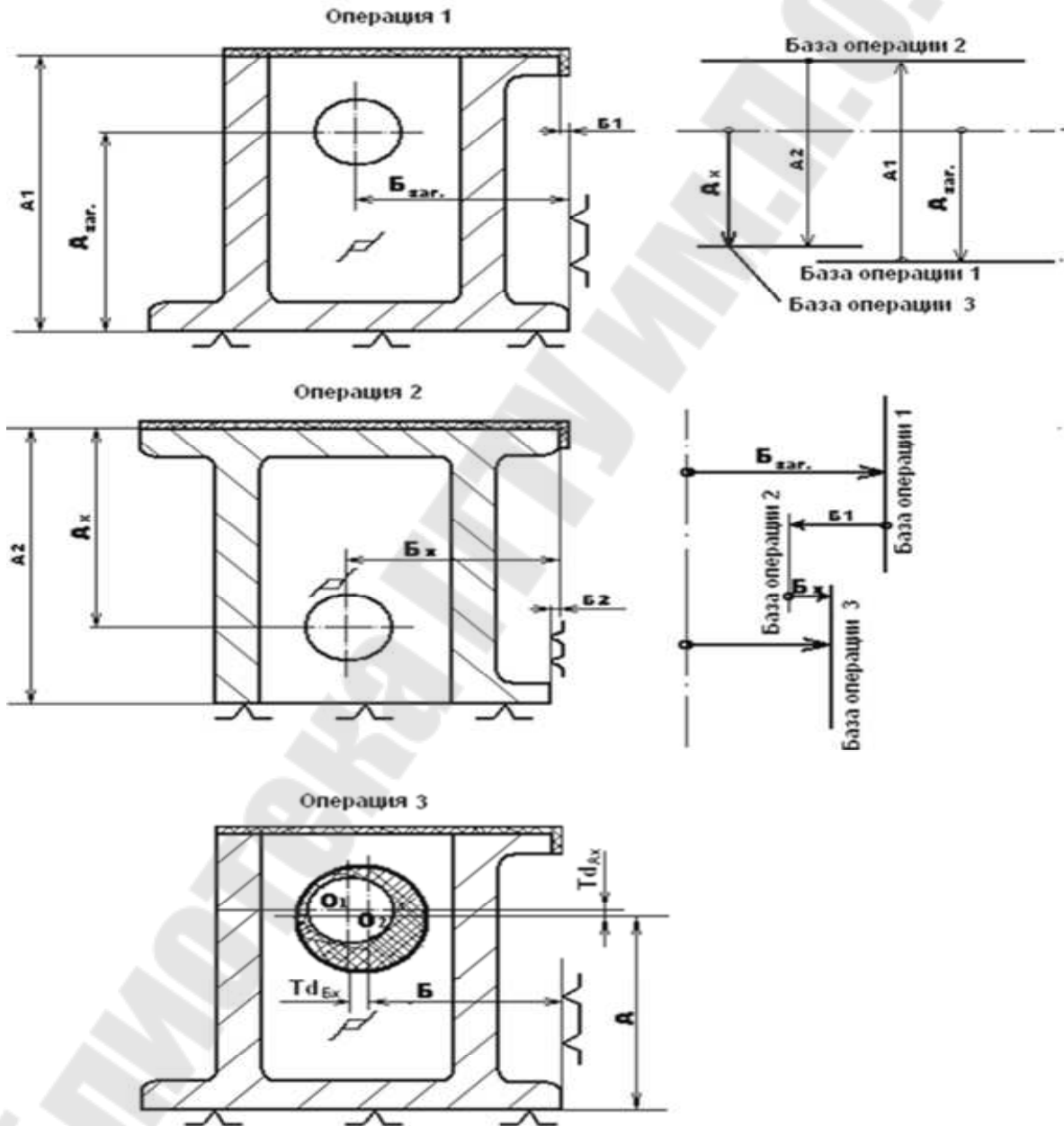


Рис. 4

Из приведенных на рис. 4 схем размерных цепей следует, что наибольшие смещения оси черного отверстия в горизонтальном и вертикальном направлениях при установке детали на третьей операции определяются соответственно уравнениями

$$Td_{A_x} = Td_{A_{заг}} + Td_{A_1} + Td_{A_2},$$

$$Td_{B_x} = Td_{B_{заг}} + Td_{B_1} + Td_{B_2},$$

где A_1 и B_1 – размеры, получаемые при выполнении первой операции;
 A_2 и B_2 – размеры, получаемые при выполнении второй операции;
 $A_{заг}$ и $B_{заг}$ – размеры, координирующие положение оси отверстия в заготовке;

A_x и B_x – размеры, координирующие положение оси черного отверстия относительно базирующих поверхностей при выполнении третьей операции.

Суммарное значение смещения оси черного отверстия при установке детали на третьей операции будет:

$$R_a = \sqrt{Td_{A_x}^2 + Td_{B_x}^2}.$$

Очевидно, что значительная величина составляющей припуска R_a обусловлена самой последовательностью обработки и перебазируванием заготовки. Припуск мог бы быть значительно меньшим, если бы в качестве черновой базы на первой операции было использовано пролитое отверстие. Но это практически не всегда возможно.

Пример 3. Рассмотрим зависимость величины R_a (составляющей припуска на подрезание торца T) от принятой последовательности обработки ступенчатого валика, если по чертежу следует выдерживать размер A (рис. 5).

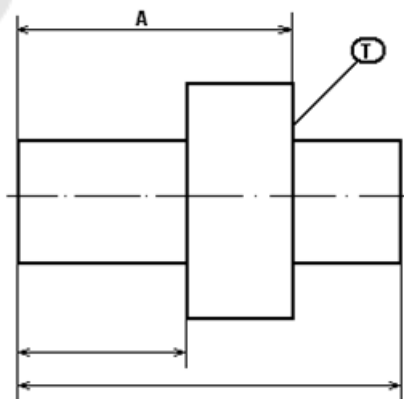


Рис. 5

На рис. 6 представлены схемы трех вариантов последовательности обработки торцов ступенчатого валика. Как видно из схем, установочные базы в каждом варианте изменяются. Составляющая припуска R_a на подрезание торца T (рис. 5) равна колебанию размера A , т. е.

$$R_a = Td_{A_x}.$$

Следовательно, чтобы определить значения R_a для каждого варианта, следует решить соответствующую размерную цепь.

Для варианта I (рис. 6а):

$$R'_a = Td_{A_x} = Td_{A'_{зар}} + Td_{A_1} + Td_{A_2}.$$

Для варианта II (рис. 6б):

$$R''_a = Td_{A_x} = Td_{A''_{зар}} + Td_{A_1}.$$

Для варианта III (рис. 6в):

$$R'''_a = Td_{A_x} = Td_{A_1}.$$

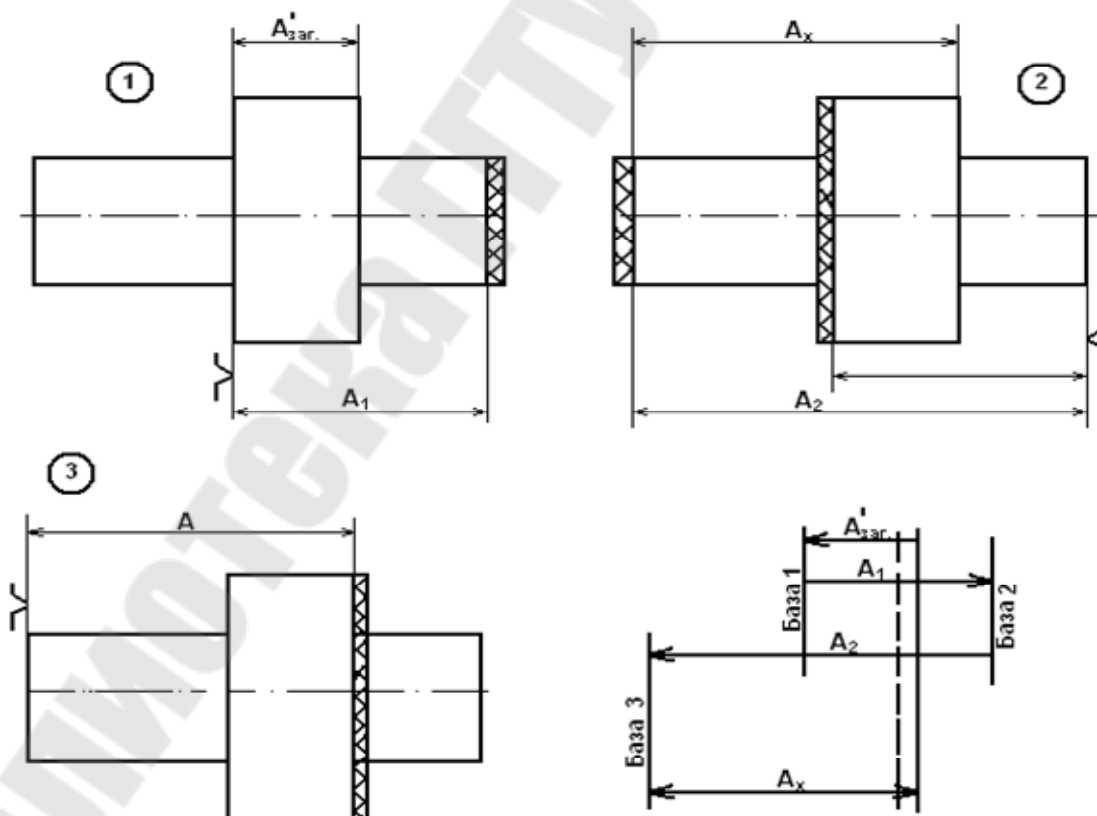


Рис. 6а. Схема последовательности обработки торцов ступенчатого валика (вариант I)

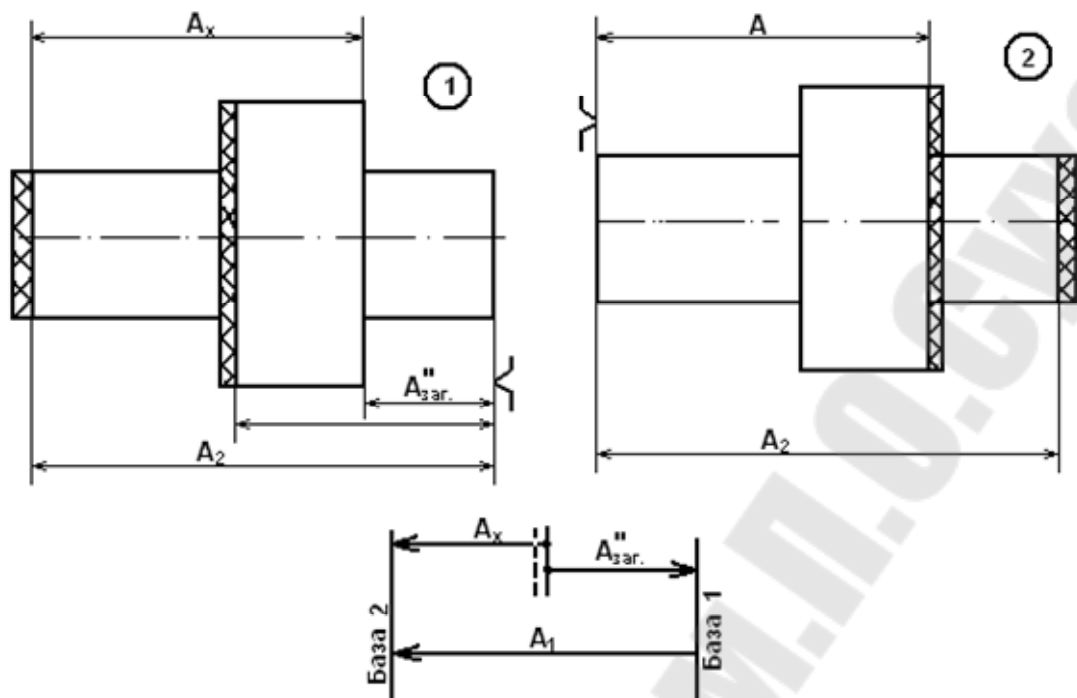


Рис. 6б. Схема последовательности обработки торцов ступенчатого валика (вариант II)

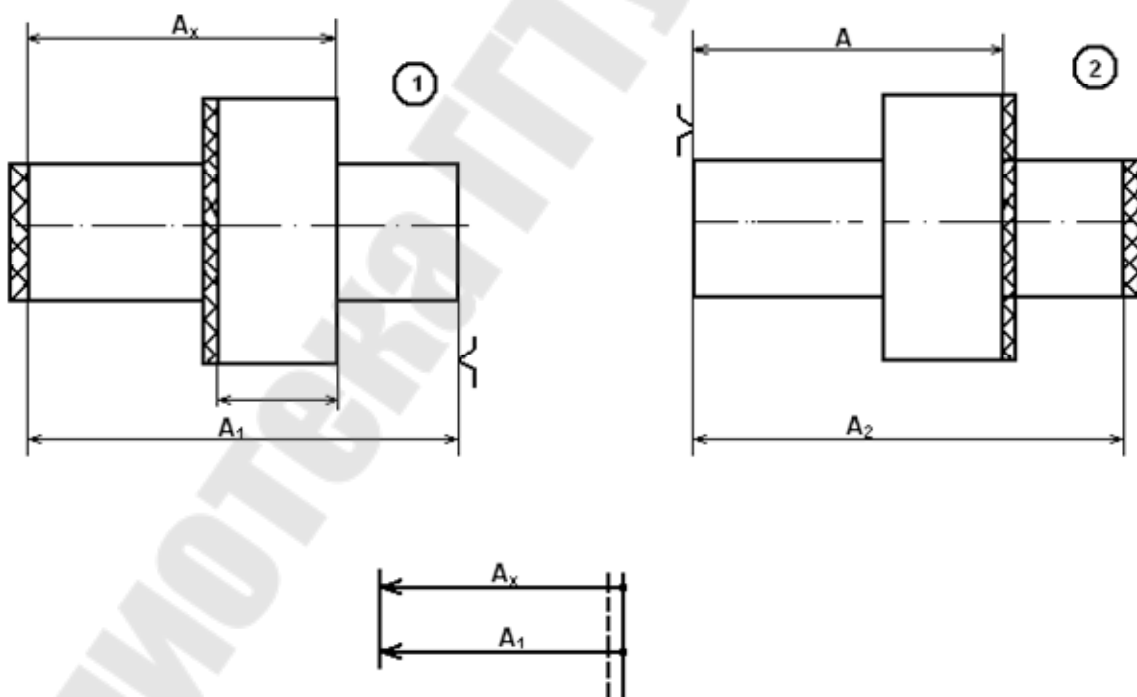


Рис. 6в. Схема последовательности обработки торцов ступенчатого валика (вариант III)

Очевидно, наименьшее значение R_a мы будем иметь в третьем варианте, что приведет (при прочих равных условиях) к уменьшению припуска на подрезание торца.

Следует иметь в виду, что в случаях, подобных рассмотренному в примере 3, составляющая припуска Td_{Ax} в общей формуле суммирования не учитывается, т. к. она уже входит в значение R_a .

III. Суммирование составляющих операционного припуска

Общий припуск Z_0 равен сумме всех припусков на отдельные операции или переходы. Следовательно, основным в расчете является определение операционного припуска Z_i .

Величины H_a ; T_a ; Td_A ; $\bar{\varepsilon}_B$; $\bar{\rho}_a$ и \bar{R}_a (раздел II) могут рассматриваться как случайные погрешности и поэтому должны суммироваться квадратически.

При расчете припусков рекомендуется пользоваться следующими формулами:

– для одностороннего (асимметричного) припуска

$$Z_i = K \sqrt{Td_a^2 + H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_a^2 + R_a^2};$$

– для симметричного припуска

$$Z_i = K \sqrt{Td_a^2 + 4(H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_a^2 + R_a^2)}.$$

Когда работа ведется по способу автоматического получения размеров (на настроенных станках) и при отсутствии заметного износа инструментов можно рассчитывать на то, что законы распределения большинства случайных погрешностей близки к закону Гаусса (т. е. $K = 1$). Однако некоторые из этих составляющих могут следовать и другим законам распределения, поэтому при расчете припуска по данной формуле следует принимать коэффициент $K = 1,2 \div 1,3$.

Предлагаемый расчетный метод дифференцированного определения припусков на обработку может быть применен и при обработке способом индивидуального получения размеров (в единичном производстве) с той лишь разницей, что погрешность установки в расчетной формуле заменяется погрешностью выверки при установке заготовки для обработки на станке.

При различных видах обработки и при обработке различных материалов отдельные составляющие припуска оказывают различное влияние на общую величину припуска. Когда величина какой-либо

составляющей незначительна или равна нулю, при расчете операционного припуска ее не вводят в расчетную формулу. Рассмотрим несколько примеров.

1. При обработке чугуновых деталей после черновой обработки принимают $T_a = 0$. Следовательно, для чистовой обработки этой детали расчетная формула примет вид:

$$z_{\text{чист}} = K \sqrt{Td_a^2 + H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_a^2 + R_a^2}.$$

2. При расчете припуска на обработку отверстия плавающей разверткой (отверстие предварительно рассверлено или расточено) можно принять $\varepsilon_B = 0$; $\rho_a = 0$; $R_a = 0$, и тогда формула примет вид:

$$2z_{\text{разв}} = K \sqrt{\delta_a^2 + 4(H_a^2 + T_a^2)}.$$

Таким образом, в каждом конкретном случае необходимо решать, какие факторы следует учитывать и какими факторами следует пренебречь.

Примечание. В ряде случаев целесообразно по соображениям, связанным с режимами обработки (особенно – на многопозиционных станках), перераспределить припуски между предварительной и чистовой обработкой. Тогда припуск на предварительную и чистовую обработку приблизительно распределяется по следующим двум вариантам:

а) 60 % суммарного припуска снимают при черновой и 40 % – при чистовой обработке;

б) 45 % суммарного припуска снимают при черновой, 30 % – при получистовой и 25 % – при чистовой обработке.

Предельные размеры по технологическим переходам при этом, конечно, изменятся, но размеры черной заготовки и общий припуск на обработку должны остаться неизменными.

IV. Примеры расчета припусков

Пример 1. Определить припуск на обработку наибольшего диаметра ($D = 60_{-0,2}$ мм) ступенчатого валика длиной $L = 250$ мм (рис. 7), установить межоперационные размеры и диаметр заготовки. Материал валика – сталь марки 20.

1. Определяем вид заготовки.

Для данного валика, имеющего незначительный перепад диаметров ступеней, в качестве заготовки целесообразно использовать сталь горячекатаную круглую, обычной точности прокатки.

2. Определяем метод обработки на финишной операции.
 Для поверхности диаметр $60_{-0,2}$ мм.
 Допуск 0,2 (200 мк) при номинальном размере 60 мм соответствует $h11$ -му качеству точности [4, табл. 3].

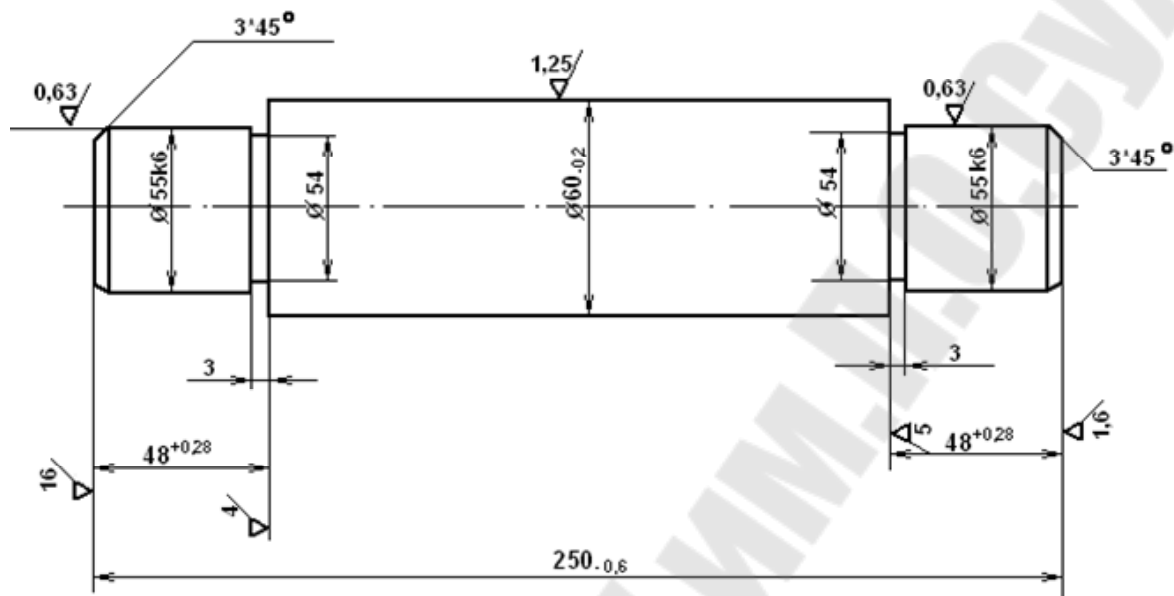


Рис. 7

Из [4, табл. 3] видно, что $h11$ обеспечивается чистовым точением. Требование по чистоте поверхности ($R_a 1,25$), согласно [4, табл. 1] также обеспечивается чистовым точением.

В случае несовпадения требований по чистоте и классу точности финишную операцию выбираем, исходя из более жесткого требования.

3. Устанавливаем последовательность обработки:

- 1) отрезка заготовки;
- 2) фрезерование торцов и зацентровка;
- 3) черновое точение ($R_a 16, h14$);
- 4) чистовое точение ($R_a 1,25, h11$).

Черновое и чистовое точение производятся в центрах.

4. Определяем припуск на черновое точение.

Общая формула для расчета:

$$2z_i = K \sqrt{Td_a^2 + 4(H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_B^2 + R_a^2)}.$$

$$K = 1,2; R_a = 0.$$

Следовательно, формула для данного случая примет вид:

$$2z_3 = 1,2\sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 4(H_{\text{заг}}^2 + T_{\text{заг}}^2 + \rho_{\text{заг}}^2 + \varepsilon_3^2)}$$

(индексы буквенных обозначений, входящих в формулу, определяют порядковый номер перехода или операции).

• Устанавливаем допуск на заготовку из проката обычной точности:

$$Td_{D_{\text{заг}}} = 1,6 \text{ мм} \left(\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -1,1 \end{smallmatrix} \right) [4, \text{ табл. 14}].$$

В расчет принимаем только минусовое отклонение,

$$Td_{\text{заг}} = 1,1 \text{ мм} = 1100 \text{ мк}.$$

• Определяем величины $H_{\text{заг}}$ и $T_{\text{заг}}$:

$$H_{\text{заг}} = 150 \text{ мк} (T_{\text{заг}} = 150 \text{ мкм} [4, \text{ табл. 14, примеч.}]);$$

$$T_{\text{заг}} = 150 \text{ мк}.$$

• Определяем $\rho_{\text{заг}}$, т. е. кривизну заготовки:

$$\rho_{\text{заг}} = \Delta K \frac{L}{2} [4, \text{ табл. 15, примеч.}],$$

где ΔK – удельная кривизна в микрометрах на 1 мм длины заготовки; для проката обычной точности допускаемая кривизна – 5 мк на 1 мм длины: $\Delta K = 5 \text{ мк/мм}$.

$$\text{Тогда } \rho_{\text{заг}} = 5 \frac{250}{2} = 625 \text{ мк}.$$

• Определяем погрешность установки $\varepsilon_B = \varepsilon_3$ в радиальном направлении:

$$\bar{\varepsilon}_B = \bar{\varepsilon}_B + \bar{\varepsilon}_{\text{загр}}.$$

При обработке в центрах погрешность базирования установки ε_δ создается погрешностью зацентровки, т. е. смещением осей центральных гнезд относительно оси заготовки:

$$\varepsilon_\delta = \varepsilon_{\text{ц}} = \sqrt{Td_{D_{\text{заг}}}^2 + 1},$$

где $Td_{D_{\text{заг}}}$ – допуск на диаметральный размер заготовки [4, табл. 12].

$$Td_{D_{\text{заг}}} = 1,6 \text{ мм}; \quad \varepsilon_\delta = \varepsilon_{\text{ц}} = 0,25\sqrt{1,6^2 + 1} = 0,472 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_\delta = \varepsilon_6 = 472 \text{ мк};$$

$\varepsilon_{\text{закр}} = 0$ (погрешностью закрепления по малости значения пренебрегаем); следовательно, $\varepsilon_{\delta} = \varepsilon_{\text{ц}} = 472$ мк.

Окончательно припуск на черновое точение будет:

$$2z_3 = 1,2\sqrt{1100^2 + 4(150^2 + 150^2 + 625^2 + 472^2)} = 2352 \text{ мк.}$$

5. Определяем припуск на чистовое точение:

- ε_3 – допуск после чернового точения (индекс показывает, что размер получен в результате проведения 3-й операции). Принимаем его по 12-у качеству [4, табл. 16], следовательно, $\varepsilon_3 = 0,74$ мм = 740 мк.

- Определяем величины H_3 и T_3 . По [5, табл. 17] устанавливаем, что в результате чернового точения будем иметь чистоту поверхности $R_a 16$, и принимаем $H_3 = 100$ мк и $T_3 = 100$ мк.

- ρ_3 – остаточная кривизна прутка после чернового точения;
 $\rho_3 = 0,06\rho_{\text{заг}}$ [5, табл. 17].

Следовательно, $\rho_3 = 0,06 \cdot 625 = 38$ мк.

- Погрешность установки $\varepsilon_{\text{в}} = \varepsilon_{\delta}$ сказывается только при черновом точении; для чистового точения принимаем $\varepsilon_{\text{в}} = 0$.

- Припуск на чистовое точение будет:

$$2z_4 = 1,2\sqrt{740^2 + 4(100^2 + 100^2 + 38^2)} = 795,8 \text{ мк.}$$

6. Рассчитываем операционные размеры и размер заготовки:

- Размер готовой детали $D_4 = 60_{-0,2}$ мм, $D_{4\text{max}} = 60$ мм.

- Установим размер, получаемый после чернового точения:

$$D_{3\text{max}} = D_{4\text{max}} + 2z_4 = 60 + 0,796 = 60,796 \text{ мм.}$$

Учитывая допуск на черновое точение, окончательно имеем:

$$D_3 = 60,8_{-0,74} \text{ мм.}$$

- Устанавливаем расчетный размер заготовки:

$$D_{\text{заг. расч}} = D_{3\text{max}} + 2z_3 = 60,8 + 2,5 = 63,15; D_{\text{заг. расч}} = 63,2 \text{ мм.}$$

- Выбор заготовки: по сортаменту стали горячекатаной круглой (обычной точности прокатки) подбираем диаметр прутка – ближайший больший к расчетному [4, табл. 14]:

$$D_{\text{заг}} = 65_{-1,1}^{+0,5} \text{ мм.}$$

Общий расчетный припуск $65 - 60 = 5$ мм.

Выбрав материал для заготовки по сортаменту, мы фактически взяли припуск больший против расчетного, вследствие чего необходимо сделать перерасчет операционных припусков (см. раздел III, примечание). Окончательно принимаем: диаметр заготовки $65^{+0,5}_{-1,1}$ мм; диаметр после чернового точения $61,8_{-0,74}$ мм; диаметр после чистового точения $60_{-0,2}$ мм.

Пример 2. Деталь – двухвенцовое зубчатое колесо: $m_1 = 5/3,75$ и $z_1 = 21$; $m_2 = 5/3,75$ и $z_2 = 27$ (рис. 8). Определить припуск на подрезание торцов (размер $70^{+0,2}_{-0,6}$) и на обработку наружной поверхности малой шестерни (диаметром $112,5_{-0,23}$).

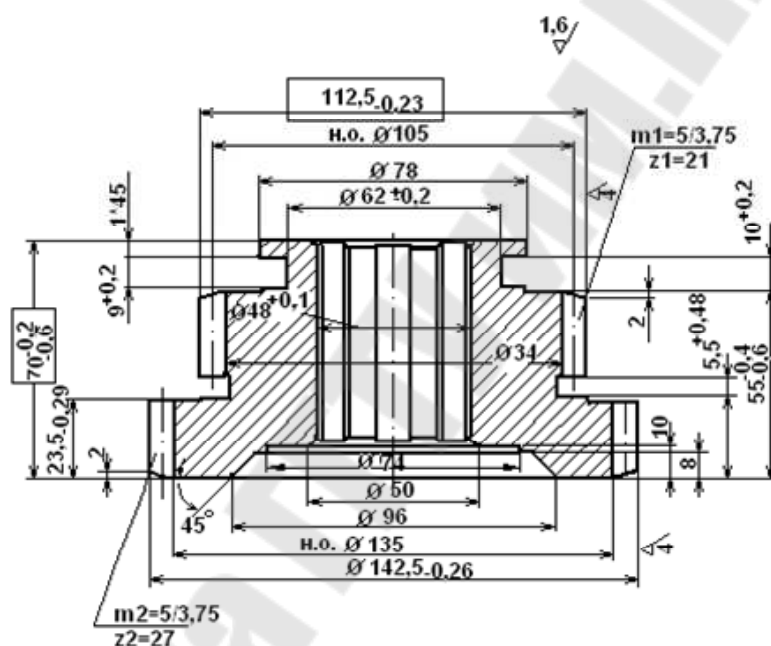


Рис. 8. Двухвенцовое зубчатое колесо

Заготовка получена горячей штамповкой на горизонтально-ковочной машине (штамповка первой группы точности). Материал заготовки – сталь 18ХГТ. Вес заготовки – 7,6 кг.

Механическая обработка производится на автоматической линии.

Технологический процесс обработки двухвенцового зубчатого колеса (неполный) приведен на рис. 10.

Черновая токарная обработка на двух первых операциях производится на вертикальных токарных многолезцовых станках, имеющих кроме двух боковых суппортов расточной шпиндель для обработки отверстий зенкерами или расточными резцами, оснащенными твердым сплавом. Базами на первых двух операциях являются наружная цилиндрическая поверхность заготовки и торцы.

Чистовая обработка наружной поверхности заготовки производится на вертикальном токарном многорезцовом станке. Базы – торец и центральное отверстие.

1. Определяем метод обработки на финишной операции:

Таблица 1

Размеры, на которые определяется пуск, мм	Требование чертежа		Обработка на финишной операции	
	по точности	по чистоте	по точности	по чистоте
$70_{-0,6}^{-0,2}$	в12	R_a16	Черновое точение	Черновое точение
Диаметром $112,5_{-0,23}$	h11	R_a16	Чистовое точение	Чистовое точение

2. Устанавливаем класс детали.

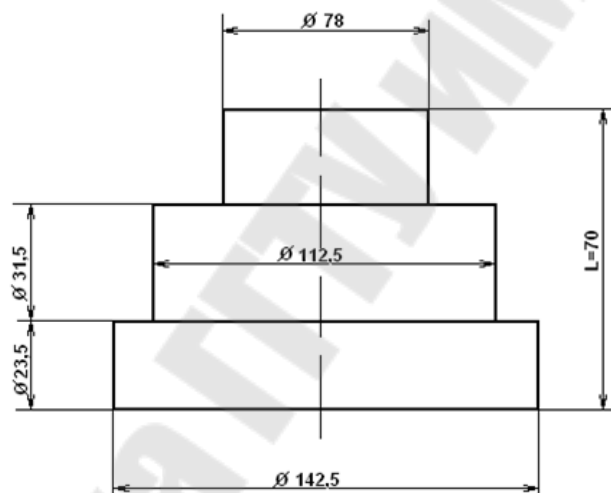


Рис. 9. Схема конструкции детали

В соответствии со схемой конструкции детали (рис. 9) имеем:

$$\frac{L}{D} = \frac{70}{142,5} = 0,49; \quad L = 0,49D.$$

Так как $0,25D \leq L \leq 1,5D$, деталь можно отнести к классу «Бараны и стаканы» [1].

3. Расчет припуска на подрезание торцов.

Черновое подрезание верхнего торца:

$$z_i = K \sqrt{Td_a^2 + H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_a^2 + R_a^2}; \quad K = 1,2.$$

Заготовка – штамповка, полученная на горизонтально-ковочной машине. Базирование можно рассмотреть на эскизах технологического процесса (рис. 10).

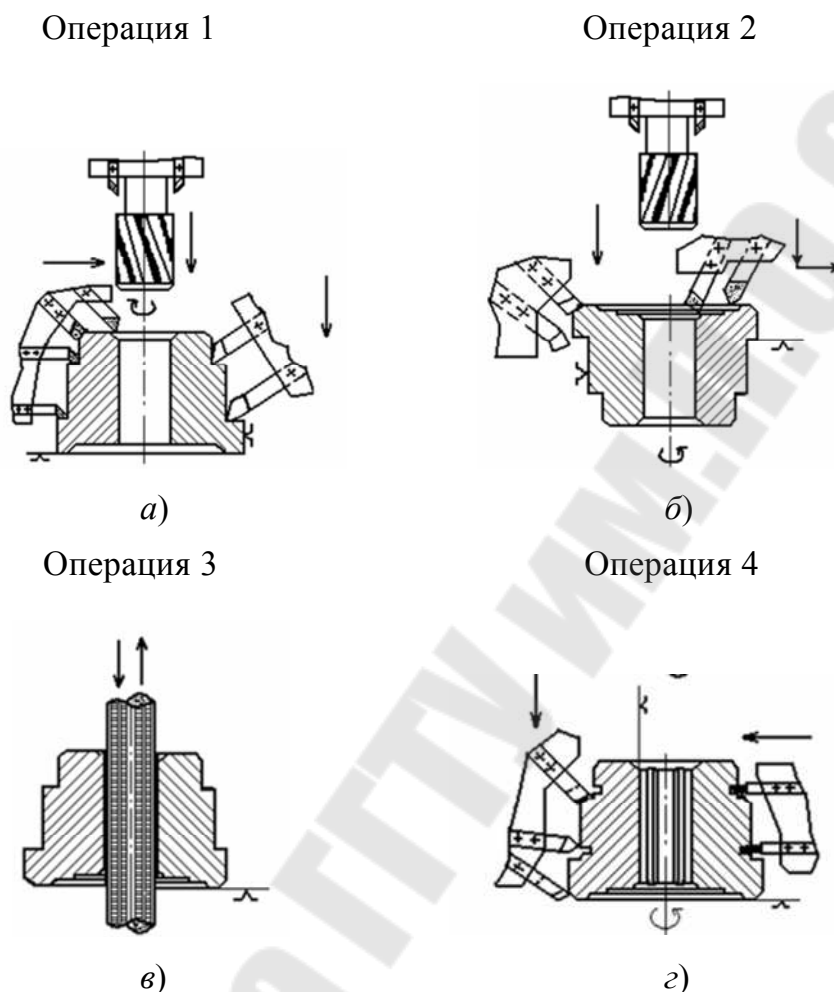


Рис. 10. Эскизы базирования технологического процесса:
 а – обработка наружной поверхности и отверстия с одной стороны; б – обработка наружной поверхности и отверстия с другой стороны; в – протягивание шлицов; г – чистовая обработка наружной поверхности

Обработка ведется в трехкулачковом патроне:

- Определим допуск на межторцовый размер 70 мм. Для заготовки первой группы точности весом 7,6 кг по [3, табл. 18] имеем суммарный округленный допуск $\sum Td = {}^{+1,0}_{-0,7}$ мм. Для расчета припуска используем лишь минусовое отклонение, т. е. $Td_a = 700$ мкм.
- $H_a = 150$ мк [5, табл. 19],

$$T_a = 250 \text{ мк.}$$

• Пространственное отклонение ρ_a для размера диаметром 142,5 мм:

$$\rho_a = \rho_{\text{кор}} = 320 \text{ мк [3, табл. 18].}$$

• Определим погрешность установки.

Погрешность базирования $\varepsilon_6 = 0$ [4, табл. 12]. Погрешность закрепления $\varepsilon_3 = 130$ мкм ([4, табл. 11А] установка в трехлапчатом самоцентрирующем патроне по необработанной поверхности).

Следовательно

$$\varepsilon_B = \varepsilon_3 = 130 \text{ мк.}$$

• Принимаем: $R_a = 0$.

Подставим полученные значения в общую расчетную формулу:

$$z_1 = 1,2\sqrt{700^2 + 150^2 + 250^2 + 320^2 + 130^2} = 1000 \text{ мк;}$$

$$z_1 = 1,0 \text{ мм.}$$

Подрезание нижнего торца.

Установочные базы – предварительно обработанные торцы и цилиндрическая поверхность.

• После обработки верхнего торца от черной базовой поверхности допуск на размер по толщине (высоте) заготовки принимаем по [4, табл. 16]:

$$Td_a = 740 \text{ мк (14-й квалитет точности для размера 70 мм).}$$

• $H_a = 150$ мк [5, табл. 19];

$$T_a = 250 \text{ мк.}$$

• $\rho_a = 1,2(0,06\rho_{\text{кор}} + \rho_{\text{неп}})$ [4, табл. 20, примеч.];

$\rho_{\text{неп}} = 0,15(R - r)$ – отклонение от перпендикулярности торцевой поверхности к оси детали;

R – радиус внешней поверхности детали;

r – радиус внутренней поверхности.

В нашем случае $R - r < 50$ мм (рис. 16), поэтому $\rho_{\text{неп}} = 0$.

Тогда $\rho_a = 1,2(0,06\rho_{\text{кор}})$;

$\rho_{\text{кор}} = 320$ мк для наибольшего размера детали диаметром 142,5 мм ([3, табл. 18], рис. 8).

Окончательно имеем:

$$\rho = 1,2 \cdot 0,06 \cdot 320 = 23 \text{ мк.}$$

- Погрешность установки: $\bar{\varepsilon}_B = \bar{\varepsilon}_6 = \bar{\varepsilon}_3$;
 $\bar{\varepsilon}_6 = 0$ [4, табл. 12];
 $\bar{\varepsilon}_3 = 110$ мк [4, табл. 11А] – закрепление в патроне по предварительно обработанной поверхности). Тогда $\bar{\varepsilon}_B = \varepsilon_3 = 110$ мк.

- Принимаем $R_a = 0$.

Припуск на подрезание нижнего торца:

$$z_2 = 1,2\sqrt{740^2 + 150^2 + 250^2 + 23^2 + 110^2} = 964 \text{ мк}; \quad z_2 = 0,964 \text{ мм}.$$

Расчет операционных размеров и размера заготовки.

Допуск при однократном подрезании торца от обработанной базы для заданного размера заготовки (70 мм, 12-й квалитет точности) может быть равен 400 мк [4, табл. 16].

Этот допуск соответствует допуску, заданному чертежом готовой детали. Следовательно, исходя из заданного чертежом размера $70_{-0,6}^{-0,2}$, после подрезания нижнего торца получим технологический размер $69,8_{-0,4}$.

Найдем расчетный размер, получаемый после подрезания верхнего торца:

$$69,8 + 0,964 = 70,764 \text{ мм}.$$

Округлим этот размер до 70,8 мм.

Следовательно, после подрезания верхнего торца на первой операции будем иметь операционный размер $70,8_{-0,74}$. Номинальный размер черной заготовки должен быть:

$$70,8 + 1,0 = 71,8 \text{ мм}.$$

С учетом допуска окончательно имеем $71,8_{-0,7}^{+1,2}$ мм (рис. 11):

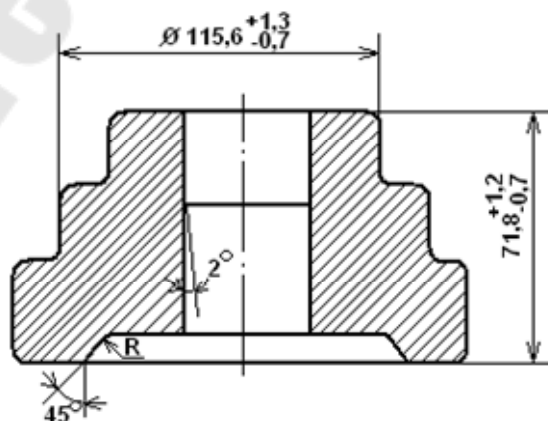


Рис. 11

4. Расчет припуска на обработку наружной поверхности шестерни диаметром 112,5 мм.

Порядок обработки:

- Черновое точение (базирование – по черным поверхностям внешнего диаметра 142,5 мм и нижнего торца; деталь обрабатывается на первой операции в трехкулачковом патроне).

- Чистовое точение (обрабатываемая деталь напрессовывается на шлицевую оправку; базирование – по нижнему торцу диаметром 142,5 мм и шлицевому отверстию).

Расчет припуска на черновое точение:

$$2z_{\text{черн}} = K \sqrt{Td_a^2 + 4(H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_B^2 + R_a^2)};$$

$$K = 1,2.$$

- Определим допуск для диаметральных размеров заготовки [3, табл. 18]. Допуск определяется для наибольшего диаметрального размера поковки 142,5 мм (см. рис. 8). Этот допуск будет действителен для остальных ступеней и отверстия.

Суммарный допуск устанавливаем по графам 1–3, и 9–10 [3, табл. 18]. Для поковки весом 7,6 кг и венца диаметром 142,5 мм получаем, сумма допуск $\sum Td = {}_{-0,73}^{+1,28}$ мм; округляем до 0,1 мм $\sum Td = {}_{-0,7}^{+1,0}$ мм. При расчете припуска учитываем только минусовое отклонение, т. е. $Td_a = 700$ мк.

- Поверхностные микронеровности $H_a = 150$ мк; глубина обезуглероженного слоя $T_a = 250$ мк [5, табл. 19].

- При определении пространственных отклонений ρ_a воспользуемся данными ГОСТ 7505–55 для штамповок первой группы точности графы 9 и 13 [3, табл. 18]: $\rho_a = \rho_{\text{кор}} = 320$ мк для размера диаметром 142,5 мм.

- $\bar{\varepsilon}_B = \bar{\varepsilon}_6 + \bar{\varepsilon}_3 : \bar{\varepsilon}_6 = 0$ [4, табл. 12];

- $\bar{\varepsilon}_3 = 600$ мк [4, табл. 11А] – установка по необработанной поверхности).

Следовательно, $\varepsilon_B = \varepsilon_3 = 600$ мк.

- Принимаем: $R_a = 0$.

Подставим полученные значения в общую формулу:

$$2z_{\text{черн}} = 1,2 \sqrt{700^2 + 4(150^2 + 250^2 + 320^2 + 600^2)} = 1965 \text{ мк}.$$

Расчет припуска на чистовое точение (диаметром 112,5_{-0,23}):

- Определим допуск на диаметральный размер после чернового обтачивания.

$$Td_a = 870 \text{ мк (14-й квалитет точности) [4, табл. 20].}$$

- $H_a = 100 \text{ мк}; T_a = 100 \text{ мк.}$
- $\rho_a = 0,06\rho_{\text{заг}}$ [4, табл. 20, примеч.]

$$\rho_a = 0,06 \cdot 320 = 20 \text{ мк.}$$

- $\varepsilon_B = \varepsilon_{\bar{\sigma}} + \varepsilon_3; \bar{\varepsilon}_{\bar{\sigma}} = 0$ [4, табл. 6].

Погрешностью закрепления из-за ее незначительной величины пренебрегаем, т. е. $\varepsilon_3 = 0$; тогда $\varepsilon_B = 0$.

- $R_a = 0$.

Припуск на чистовое точение будет:

$$2z_{\text{чист}} = 1,2\sqrt{870^2 + 4(100^2 + 100^2 + 20^2)} = 1099 \text{ мк,}$$

принимаем: $2z_{\text{чист}} = 1,1 \text{ мм.}$

Расчет операционных размеров и размера заготовки:

- Найдем операционный размер, получаемый после чернового точения:

$$D_{\text{чист}}^{\text{мах}} + 2z_{\text{черн}} = 112,5 + 1,1 = 113,6 \text{ мм.}$$

Следовательно, размер диаметра венца после чернового обтачивания будет 113,6_{-0,46} мм.

- Расчетный размер заготовки:

$$D_{\text{чист}}^{\text{мах}} + 2z_{\text{черн}} = 113,6 + 1,965 = 115,565 \text{ мм.}$$

Так как заготовка получена штамповкой по первой группе точности, округляем этот размер с учетом увеличения припуска до +0,1 мм; получаем размер диаметра 115,6 мм. Тогда окончательно размер заготовки будет 115,6_{-0,7}^{+1,3} мм (см. рис. 11).

Пример 3. Материал детали (рис. 12) – серый чугун, заготовка – отливка 2-го класса точности. Определить припуски на обработку основания и отверстия в соответствии с принятой технологией обработки.

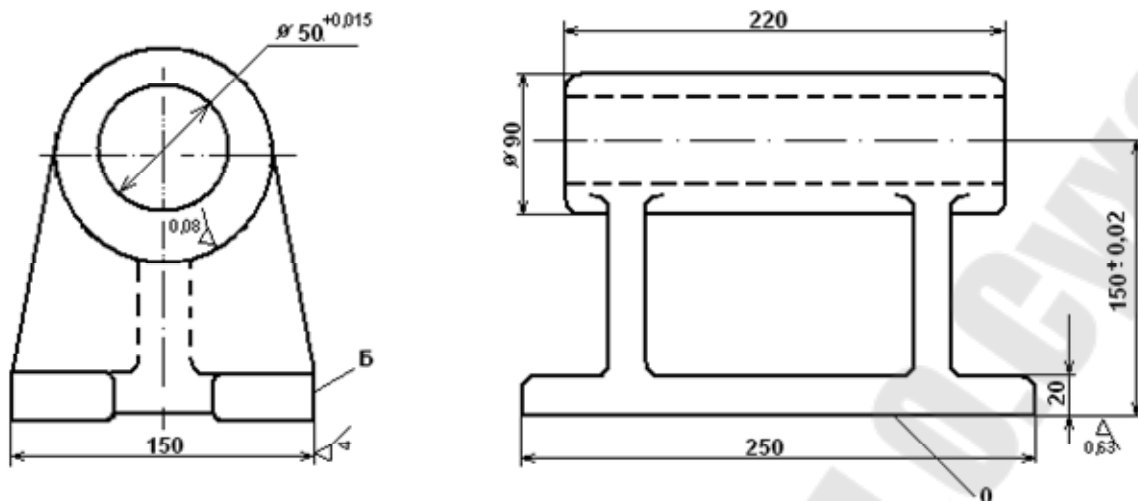


Рис. 12

1. Определяем метод обработки на финишной операции

Таблица 2

Размеры, на которые определяется припуск, мм	Требования чертежа		Обработка на финишной операции	
	по точности	по чистоте	по точности	по чистоте
150 ± 0,02	допуск 0,04 6-й квалитет	R _a 0,63	плоское шлифование	– чистовое фрезерование – строгание – плоское шлифование
Диаметр 50 ^{+0,015}	допуск +0,015 5-й квалитет	R _a 0,16	хонингование	– протягивание – шлифование – хонингование

Размер 150±0,02 мм, как видно из таблицы 2, по чистоте поверхности (0,63) можно получить чистовым торцовым фрезерованием, чистовым строганием и шлифованием. Но этот размер должен быть выполнен по 7-му квалитету точности, т. е. может быть обеспечен лишь плоским шлифованием. Следовательно, в качестве финишной операции при обработке основания может быть использовано чистовое шлифование.

Для размера диаметром 50^{+0,015}, R_a0,08 в качестве финишной операции можно применить хонингование.

2. Устанавливаем последовательность обработки:

Таблица 3

Номер операции	Наименование операции или перехода	Примечания	
Обработка отверстия	1	Фрезерование основания 0 и боковой стороны Б	12-й квалитет $R_a 8$
	2	Черновое растачивание отверстия	12-й квалитет $R_a 16$
	3	Чистовое растачивание отверстия	11-й квалитет $R_a 4$
	4	Черновое развертывание отверстия	9-й квалитет $R_a 1,25$
	5	Чистовое развертывание отверстия (плавающая развертка)	7-й квалитет $R_a 0,63$
	6	Хонингование отверстия (плавающий хон)	5-й квалитет $R_a 0,08$
	7	Шлифование основания в размер $150 \pm 0,02$	8-й квалитет $R_a 0,63$

Примечание. После обработки отверстия на операциях 2–6 должен быть обеспечен размер A' с допуском $\pm 0,05$; т. е. $Td_{A'} = 0,1$ мм (рис. 17).

3. Расчет припуска на фрезерование основания детали (см. схемы установки операции 1 – рис. 13, 14).

Припуск – односторонний, рассчитывается по формуле:

$$z_{\text{фр}} = K \sqrt{Td_a^2 + H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_B^2 + R_a^2}; \quad K = 1,2.$$

- Для отливки 2-го класса точности принимаем:

$$H_a + T_a = 700 \text{ мк}; \quad T_a = 250 \text{ мк} \quad [4, \text{табл. 14–16, примеч.}].$$

Тогда имеем

$$H_a = 700 - 250 = 450 \text{ мк}; \quad H_a = 450 \text{ мк}.$$

- Допускаемые отклонения на размеры отливок из чугуна 2-го класса точности возьмем из [3, табл. 4]. Для наибольшего габаритного размера отливки (250 мм) и измеряемого размера имеем допуск ± 1000 мк. В расчете учитываем только минусовое отклонение:

$$Td_a = 1000 \text{ мк}.$$

- ρ_a – коробление черной отливки: $\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\kappa} L$,

где Δ_{κ} – удельное значение коробления в мк/мм.

Принимаем: $\Delta_{\kappa} = 0,8$ мк/мм [3, табл. 4, 5, примеч.; 4, табл. 3, примеч.].

Наибольший размер заготовки $L = 250$ мм. Тогда $\rho_{\text{кор}} = 0,8 \cdot 250 = 200$ мм.

- Определение погрешности установки (рис. 13–15).

$$\bar{\varepsilon}_B = \bar{\varepsilon}_6 + \bar{\varepsilon}_3.$$

Погрешность базирования ε_6 в данном случае складывается из двух элементов: ε_{61} и ε_{62} .

Как видно из рис. 13 и 14, деталь на операции 1 цилиндрической поверхностью ($D = 90$ мм) располагается на двух узких призмах, расстояние между которыми равно 200 мм. Эти призмы дают в совокупности четыре базовых точки. Упор (базовая точка 5) не позволяет детали поворачиваться вокруг оси цилиндрической поверхности.

Вследствие того, что диаметр не может быть выдержан точно по всей длине цилиндрической поверхности, возможен перекося детали в осевой плоскости симметрии (рис. 13). Это приведет к погрешности базирования ε_{61} .

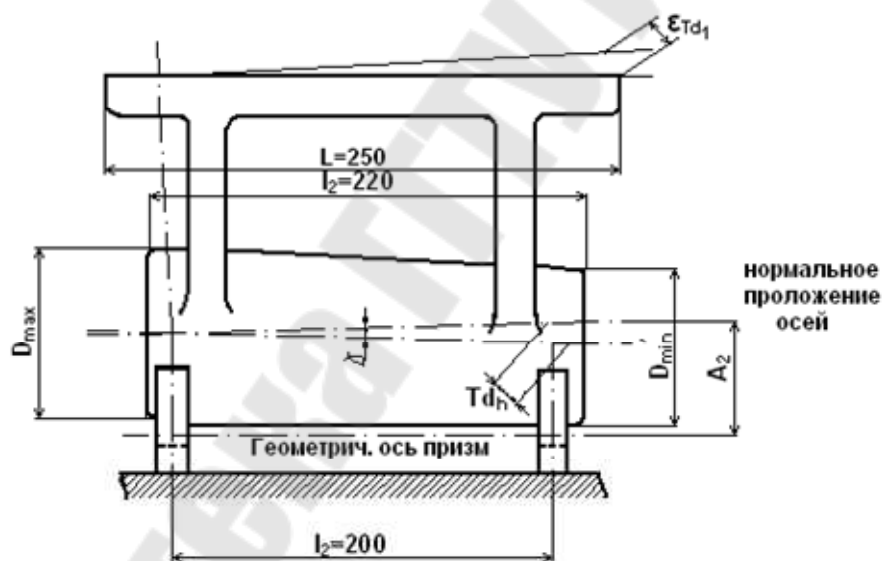


Рис. 13

Для простоты расчета примем: D_{max} – против левой призмы, D_{min} – против правой призмы. Согласно расчетной схеме (рис. 13), колебание положения оси детали против правой призмы может быть выражено следующей формулой [4, табл. 6]:

$$Td_h = \frac{Td_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

При этом ось детали и ее основание повернутся на один и тот же угол $\gamma = \frac{Td_h}{l}$ рад; тогда погрешность базирования ε_{61} будет:

$$\varepsilon_{61} = \gamma L.$$

Допускаемое отклонение диаметром 90 (δ_D) для отливки 2-го класса точности определим по [3, табл. 4]: $Td_D = 1600$ мк.

Итак,
$$Td_h = \frac{1600}{2 \cdot 0,707} = 1131,5 \text{ мк};$$

$$Td_h = 1132 \text{ мк} = 1,132 \text{ мм};$$

$$\gamma = \frac{Td_h}{l} = \frac{1,132}{200} \text{ рад}.$$

Тогда
$$\varepsilon_{61} = \frac{1,132 \cdot 250}{200} = 1,415 \text{ мм}.$$

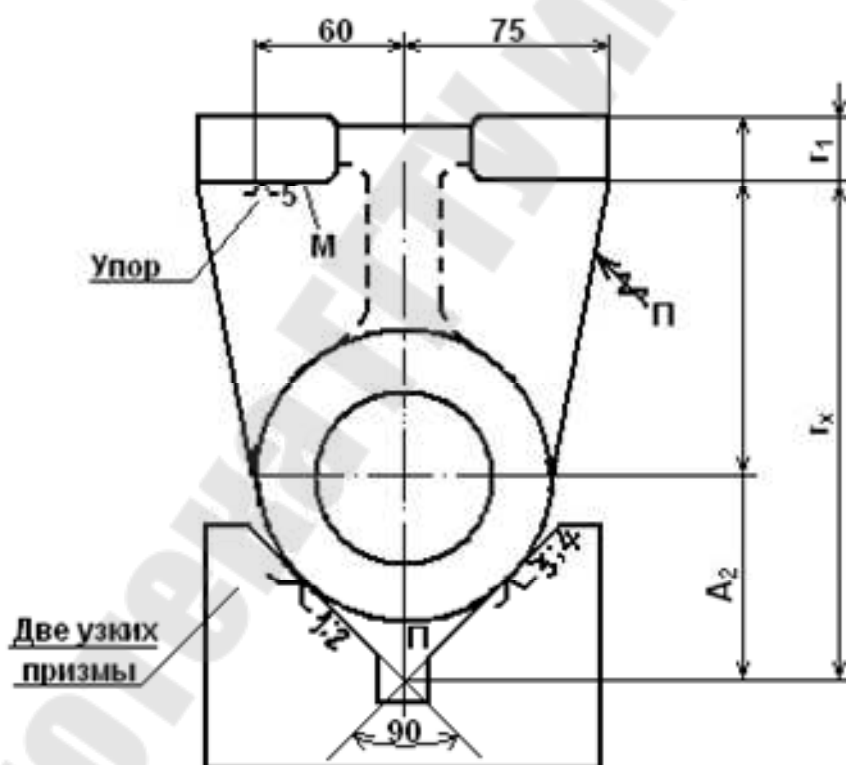


Рис. 14

Кроме того, положение детали в приспособлении зависит в данном случае и от размера Γ_x (рис. 14, 15). Если упор 5 расположен на расстоянии номинального размера Γ_x от геометрического центра призмы, то деталь примет идеальное положение в приспособлении

лишь в случае, если размеры ее таковы, что расстояние от опорной поверхности платика М до геометрического центра призмы также равно Γ_x . Но это – маловероятный случай.

Решим размерную цепь, определяющую колебания размера Γ_x детали (рис. 14).

$$Td_{\Gamma_x} = Td_{\Gamma_2} + Td_{\Gamma_1} + Td_{A_2},$$

где $Td_{\Gamma_2} = \pm 0,5$ мм и $Td_{\Gamma_2} = \pm 1000$ мк;

Td_{A_2} – колебание центра радиусной поверхности отливки относительно центра призмы:

$$Td_A = \frac{Td_D}{2 \sin 45^\circ},$$

где $Td_D = 1600$ мк,

$$Td_A = \frac{1600}{2 \cdot 0,707} = 1132 \text{ мк} = \pm 566 \text{ мк}$$

(принимая колебания центра радиусной поверхности отливки симметричными относительно его нормального положения).

Тогда $Td_{\Gamma_x} = \pm 500 \pm 1000 \pm 566 = \pm 2066 \text{ мк} \approx \pm 2070 \text{ мк}$.

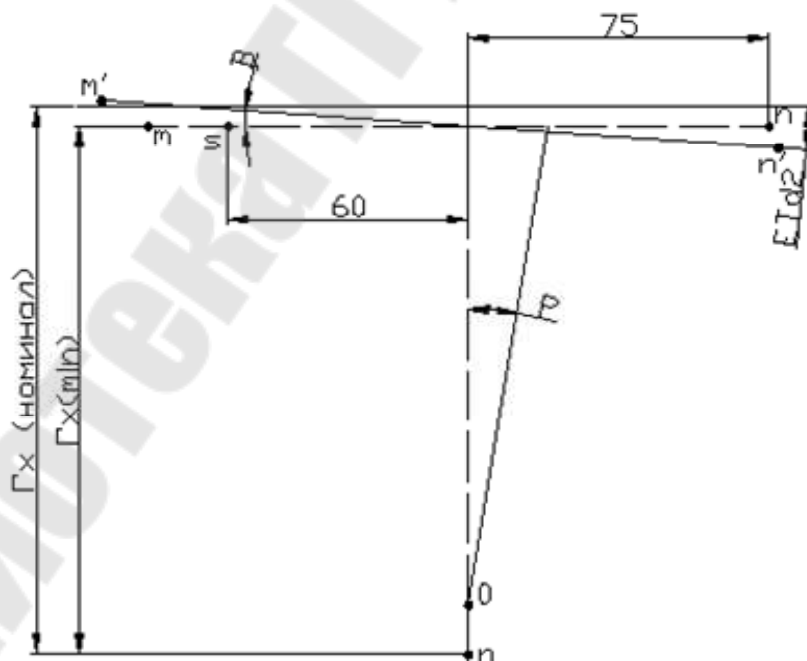


Рис. 15

Рассмотрим расчетную схему на рис. 15. Взята деталь, для которой размер Γ_x имеет минимальное значение ($\Gamma_x - 2,07$). Деталь должна была бы занимать положение топ, но при отрицательном отклонении размера Γ_x от номинала и контакте опорного платика с упором 5 деталь повернется вокруг оси O и займет положение $m' on'$. Это и приведет к появлению еще одной погрешности базирования — ε_{δ_2} . Определим ее величину:

$$\angle\beta \frac{\cup S}{60} \cong \frac{\Gamma_{\text{хном}} - \Gamma_{x \text{ min}}}{60} = \frac{1/2 \cdot Td_{\Gamma_x}}{60} = \frac{2,07}{60} \text{ рад},$$

очевидно, что $\varepsilon_{\delta_2} = \angle\beta(60 + 75) = \frac{2,07 \cdot 135}{60} = 4,66 \text{ мм},$

$$\varepsilon_{\delta_2} = 4660 \text{ мк}.$$

Как видно по результатам, базирование детали проведено неудачно. Погрешность базирования (ε_{δ_2}) могла бы быть гораздо меньшей, если бы упор 5 был помещен сбоку (рис. 16).

Расчет погрешности базирования ε_{δ_2} , приведенный выше, является упрощенным. Ниже будет дан более точный расчет погрешности базирования ε_{δ_2} для двух случаев расположения упора 5 — снизу и сбоку опорного платика (рис. 14, 16).

Погрешность закрепления ε_3 примем равной нулю.

Следовательно $\varepsilon_{\text{в}} = \sqrt{\varepsilon_{\delta_1}^2 + \varepsilon_{\delta_2}^2};$

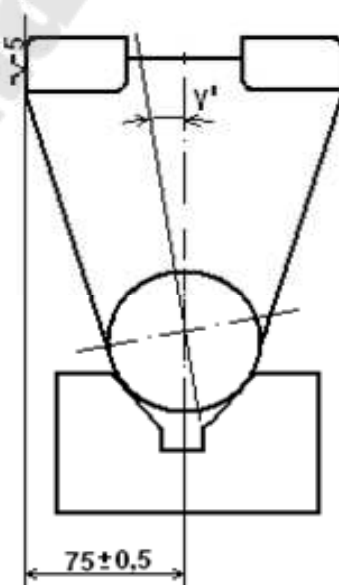


Рис. 16

- R_a для первой операции не имеет места, т. е. $R_a = 0$.
- Подставив в общую формулу найденные значения, получим:

$$z_{\text{фр}} = 1,2\sqrt{1000^2 + 450^2 + 250^2 + 200^2 + 1415^2 + 4660^2} \cong 6000 \text{ мк};$$

$$z_{\text{фр}} = 6,0 \text{ мм}.$$

4. Расчет припуска на обработку отверстия диаметром $50^{+0,015}$.
 Схема установки для операций 2–6 дана на рис. 17.

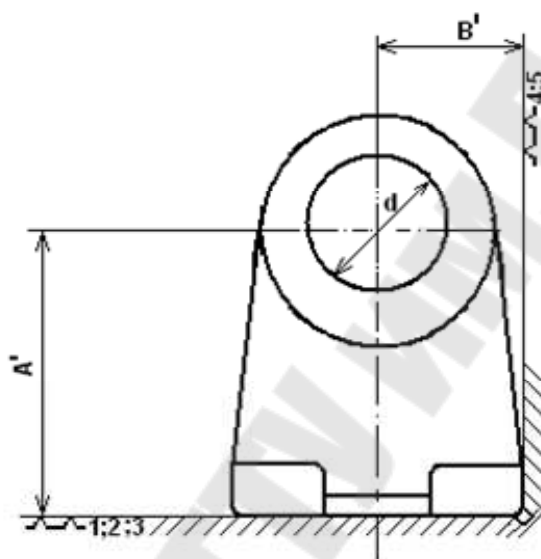


Рис. 17

Базирование детали – по обработанному основанию (точки 1; 2; 3) и по обработанной боковой стороне (4; 5).

Расчет припуска на диаметральный размер ведем по формуле:

$$z_{\text{фр}} = K\sqrt{Td_a^2 + 4(H_a^2 + T_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_b^2 + R_a^2)}.$$

Расчет операционного припуска на черновое растачивание отверстия:

- $T_a = 250$ мк; $H_a = 450$ мк [4, табл. 3–5, примеч.].
- Для отливки 2-го класса точности принимаем отклонение на размер пролитого отверстия $\pm 0,5$ мм. При расчете припуска принимаем во внимание только плюсовое отклонение:

$$Td_a = 0,5 \text{ мм} = 500 \text{ мк}.$$

- ρ_a – пространственные отклонения.

Смещение оси литого отверстия учтем при определении размерных связей, т. е. как часть R_a .

Необходимо отдельно учесть искривление оси цилиндрического отверстия в результате коробления:

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_k L,$$

где $\Delta_k = 0,8$ мк/мм [4, табл. 3–5, примеч.];

$L = 250$ мм (см. рис. 12).

Тогда

$$\rho_{\text{кор}} = 0,8 \cdot 220 = 176 \text{ мк}.$$

- Определим погрешность установки (см. рис. 12):

$$\bar{\varepsilon}_B = \bar{\varepsilon}_\delta + \bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_и,$$

где ε_3 – погрешность закрепления; $\varepsilon_и$ – погрешность индексации; $\varepsilon_3 = 80$ мк (закрепление при установке по предварительно обработанным поверхностям с использованием пневматики [4, табл. 11]; $\varepsilon_и = 50$ мм [4, табл. 8–11, примеч.]; ε_δ – ошибки базирования по размерам A' , B' (рис. 17) могут являться следствием несогласованности отдельных приспособлений по этим размерам.

Примем для рассматриваемого случая: $\varepsilon_\delta = \pm 0,02$ мм = 40 мк (для операций 2–4).

$$\text{Тогда } \varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_и^2} = \sqrt{40^2 + 80^2 + 50^2} = 102,5 \text{ мк} \approx 103 \text{ мк}.$$

- Определение составляющей припуска R_a .

Рассмотрим расчетную схему на рис. 18. На этом рисунке деталь изображена в положении обработки на операции 1. Для определения величины R_a следует найти величины колебаний размеров A_x и B_y .

Размер A_x – замыкающий в размерной цепи 1, составленной из размеров A_1 , A_2 и A_3 (рис. 18).

Размер B_x – замыкающий в размерной цепи 2, составленной из размеров B_1 и B_2 .

A_x и B_x – размеры, связывающие поверхности, обработанные на операции 1, с осью литого отверстия (замыкающие размеры соответствующих размерных цепей).

A_1 – расстояние от основания детали до геометрического центра призмы.

B_1 – расстояние от боковой стороны детали до плоскости симметрии призмы.

A_1 и B_1 – размеры, получаемые на первой операции (в результате фрезерования).

A_3 и B_2 – смещение центра черного (литого) отверстия относительно внешней радиусной поверхности детали, соответственно в вертикальном и горизонтальном направлениях; A_2 – размер между геометрическим центром призмы и центром внешней радиусной поверхности детали.

$$Td_{A_x} = Td_{A_1} + Td_{A_2} + Td_{A_3}; \quad Td_{B_x} = Td_{B_1} + Td_{B_2}.$$

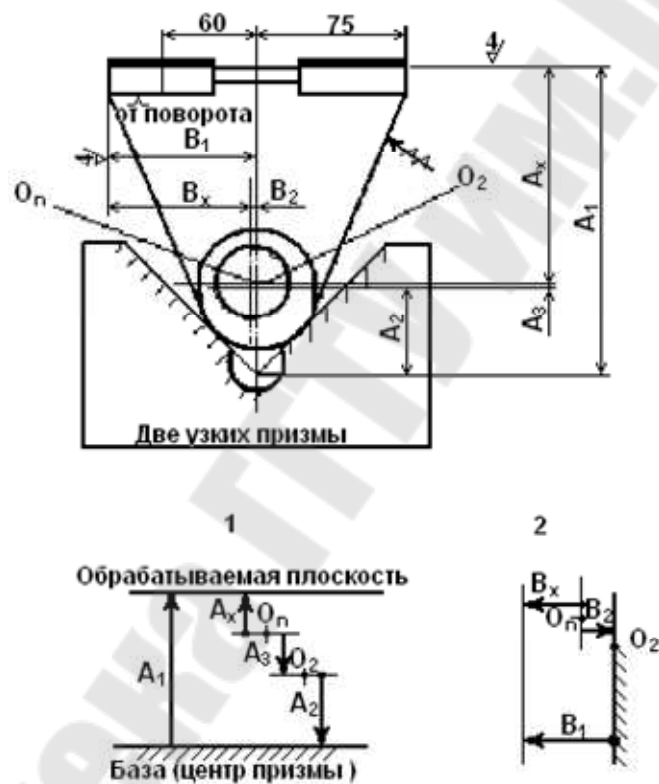


Рис. 18. Расчетная схема отклонений:

O_n – центр пролитого отверстия; O_r – центр радиусной поверхности;

A_x – замыкающее звено; B_x – замыкающее звено

Для определения величины отклонений размера A_x решим размерную цепь 1 (рис. 18):

$$Td_{A_x} = Td_{A_1} + Td_{A_2} + Td_{A_3}.$$

Для простоты расчета цепи применяем метод полной взаимозаменяемости.

$Td_{A_1} = -0,530$ мм (12-й квалитет точности). Этот допуск определяется фрезерованием.

$$Td_A = \frac{Td_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = 1,132 \text{ мм.}$$

Примем отклонения размера A_2 симметричными относительно номинала, тогда $Td_{A_2} = \pm 0,566$ мм;

$$Td_{A_3} = \pm 0,5 \text{ мм [3, табл. 4, примеч.]}$$

$$Td_{A_x} = \begin{matrix} +0,556 & +0,5 \\ -0,53 & -0,556 \end{matrix} = \begin{matrix} +1,066 \\ -1,596 \end{matrix} \text{ мм;}$$

Td_{B_x} – определим решением размерной цепи 2 (рис. 18):

$$Td_{B_x} = Td_{B_1} + Td_{B_2},$$

где $Td_{B_x} = -0,4$ мм (12-й квалитет точности для размера 75 мм – получен в результате фрезерования боковой стороны);

$$Td_{B_2} = \pm 0,5 \text{ мм [3, табл. 4].}$$

$$Td_{B_x} = \begin{matrix} +0,5 \\ -0,4-0,5 \end{matrix} = \begin{matrix} +0,5 \\ -0,9 \end{matrix} \text{ мм.}$$

Для определения R_a берем максимальное отклонение по каждой из осей (рис. 19), т. е. 0,9 (Td_{B_x}) и 1,596 (Td_{A_x}).

O_r – центр радиусной внешней поверхности детали.

$$R_a = \sqrt{1,596^2 + 0,9^2} = 1,832 \text{ мм.}$$

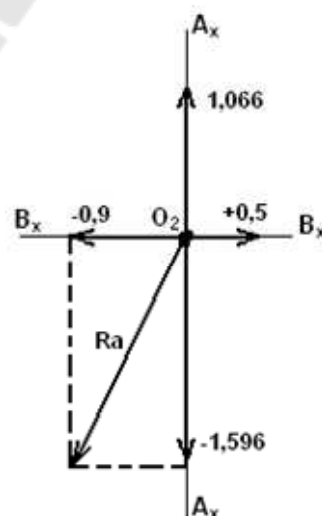


Рис. 19

- Припуск на черновое растачивание будет:

$$2z_{\text{раст}}^{\text{чист}} = 1,2\sqrt{500^2 + 4(450^2 + 250^2 + 176^2 + 103^2 + 1832^2)} \cong 4632 \text{ мк.}$$

Расчет операционного припуска на чистовое растачивание отверстия:

- $H_a = 80$ мк (соответствует R_z80 после чернового растачивания).
- $T_a = 0$ (материал заготовки – чугун).
- $Td_a = 340$ мк (соответствует 12-му качеству точности после чернового растачивания).

• $\rho_a = 0,05(\rho_{\text{кор}} + R_a)$ (указания к расчету припусков на обработку литых заготовок);

$\rho_{\text{кор}} = 176$ мк (см. предыдущий расчет);

$R_a = 1832$ мк (см. предыдущий расчет), следовательно,

$$\rho_a = 0,05(176 + 1832) \cong 100 \text{ мк.}$$

• $\bar{\varepsilon}_B = \bar{\varepsilon}_\delta + \bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_И$. Считаем, что операции 2–5 проходят в одном и том же приспособлении без переустановки (агрегатный станок, «спутник» автолинии).

Тогда $\varepsilon_\delta = 0$, $\varepsilon_3 = 0$, $\varepsilon_И = 50$ мк [4, табл. 3–5, примеч.], следовательно,

$$\varepsilon_B = \varepsilon_И = 50 \text{ мк.}$$

- R_a для чистового растачивания не имеет места:

$$R_a = 0.$$

- припуск на чистовое растачивание будет:

$$2z_{\text{раст}}^{\text{чист}} = K\sqrt{Td_a^2 + 4(H_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_И^2)} = 1,2\sqrt{340^2 + 4(80^2 + 100^2 + 50^2)} = 525 \text{ мк,}$$

$$2z_{\text{раст}}^{\text{чист}} = 0,525 \text{ мм.}$$

Расчет припуска на черновое развертывание отверстия:

- $H_a = 20$ мк (значение R_z20 после чистового растачивания [2, табл. 2]).
- $T_a = 0$.
- $Td_a = 140$ мк (4-й класс точности после чистового растачивания).

- $\rho_a = 0,002(\rho_{\text{кор}} + R_a)$,
- $\rho_{\text{кор}} = 176 \text{ мк}$; $R_a = 1832 \text{ мк}$;
- $\rho_a = 0,002(176 + 1832) \cong 4 \text{ мк}$.

Из-за малости величины примем:

$$\rho_a = 0.$$

- $\varepsilon_B = \varepsilon_H = 50 \text{ мк}$.
- $R_a = 0$.
- припуск на черновое развертывание будет:

$$2z_{\text{раст}}^{\text{чист}} = K\sqrt{Td_a^2 + 4(H_a^2 + \varepsilon_H^2)} = 1,2\sqrt{170^2 + 4(20^2 + 50^2)} \cong 242 \text{ мк}.$$

Расчет припуска на чистовое развертывание отверстия:

- $H_a = 10 \text{ мк}$ (значение R_z после чернового развертывания).
- $T_a = 0$.
- $Td_a = 50 \text{ мк}$ (допуск на размер отверстия после чернового развертывания по 8-му качеству точности).

- $\rho_a = 0$.
- $\varepsilon_B = \varepsilon_H = 0$ (плавающая развертка).
- $R_a = 0$.
- Припуск на чистовое развертывание будет:

$$2z_{\text{раст}}^{\text{чист}} = K\sqrt{Td_a^2 + 4H_a^2};$$

$$2z_{\text{раст}}^{\text{чист}} = 1,2\sqrt{50^2 + 4 \cdot 10^2} \cong 65 \text{ мк}.$$

5. Определение припуска на хонингование отверстия.

- $H_a = 6,3 \text{ мк}$ (табл. 2).
- $T_a = 0$.
- $Td_a = 27 \text{ мк}$ (допуск на размер отверстия после чистового развертывания – 7-й качество точности).

- $\rho_a = 0$.
- $\varepsilon_B = 0$.
- $R_a = 0$.

Следовательно, $2z_{\text{хон}} = K\sqrt{Td_a^2 + 4H_a^2}$;

$$2z_{\text{хон}} = 1,2\sqrt{27^2 + 4 \cdot 6,3^2} \cong 36 \text{ мк}.$$

6. Определение операционных размеров отверстия и размера отверстия в заготовке.

- Размер отверстия после чистового развертывания:

$$A_{\min} - 2z_{\text{хон}} = 50 - 0,036 = 49,964 \text{ мм.}$$

С учетом допуска получим размер диаметром $49,96^{+0,027}$ мм.

- Операционный размер отверстия после чернового развертывания:

$$49,89 - 0,242 = 49,648 \text{ мм.}$$

- Операционный размер отверстия после чернового растачивания:

$$49,89 - 0,242 = 49,648 \text{ мм.}$$

С учетом допуска получим размер диаметром $49,89^{+0,050}$ мм.

Округлив размер до 0,01 мм в сторону увеличения припуска, получим $49,64^{+0,17}$ мм.

- Операционный размер отверстия после чернового развертывания:

$$49,64 - 0,525 = 49,115 \text{ или } 49,11^{+0,34} \text{ мм.}$$

- Найдем номинальный размер диаметра отверстия в заготовке:

$$49,11 - 4,632 = 44,438 \text{ мм.}$$

Округлив с точностью до 0,5 в сторону увеличения припуска, получим 44,0 мм.

Окончательно размер диаметра отверстия в заготовке будет:

$$44 \pm 0,5 \text{ мм.}$$

Согласно расчету, припуск на чистовое растачивание оказался не вполне достаточным, с точки зрения нормальной работы инструмента.

Рекомендуется для чистового растачивания отверстий диаметром 30–80 мм предусматривать припуск порядка 1 мм.

Целесообразно поэтому перераспределить припуск и принять диаметр отверстия после чернового растачивания, равным диаметру $48,6^{+0,34}$ мм.

7. Расчет припуска на шлифование основания детали в размер $150 \pm 0,02$ мм при чистоте поверхности $R_a 0,63$ (операция 7).

Деталь устанавливается на самоцентрирующую оправку, которая своими шейками лежит на двух призмах. Параллельность фрезерованной плоскости основания стола шлифовального станка в пределах 0,05 мм обеспечивается при помощи убирающегося установа или выверкой по уровню (индикатору) (рис. 20).

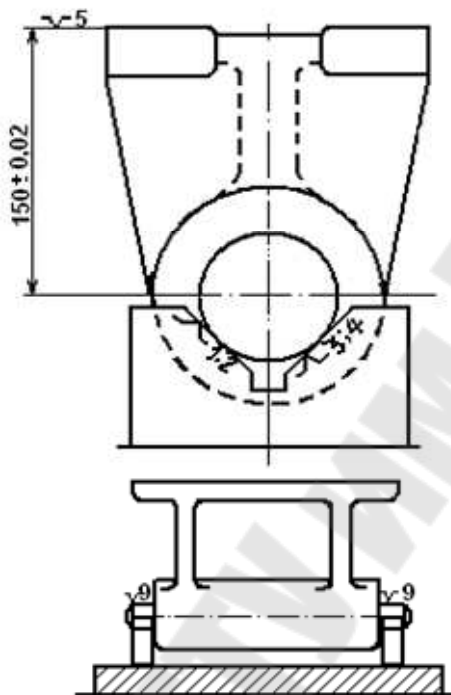


Рис. 20

Расчет припуска на шлифование основания детали:

- $H_a = 40$ мк (соответствует значению R_z40 после предварительного фрезерования плоскости основания).
- $T_a = 0$.
- $Td_a = 0,05$ мм = 50 мк (смещение оси отверстия относительно основания в вертикальной плоскости – см. примеч. к п. 1 данного примера; принимаем во внимания ее только отрицательное отклонение).
- ρ_a – коробление плоскости основания из-за перераспределения внутренних напряжений.

$$\rho_a = \Delta_k L,$$

где $\Delta_k = 0,3$ мк/мм [4, табл. 3–5, примеч.];

$L = 250$ мм;

$\rho_a = 0,3 \cdot 250 = 75$ мк .

- $\bar{\varepsilon}_B = \bar{\varepsilon}_\delta + \bar{\varepsilon}_z + \bar{\varepsilon}_и$,

$$\bar{\varepsilon}_\delta = 50 \text{ мк.}$$

Принимаем: $\varepsilon_B = \varepsilon_и = 50 \text{ мк.}$

Примечание. При обработке детали на сменных оправках необходимо учесть погрешность базирования (установки) самой оправки в призмах.

$$Td_\delta = \frac{Td_{D_{\text{опр}}}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}},$$

где $Td_{D_{\text{опр}}}$ – допуск на размер установочных шеек оправки.

- Принимаем: $R_a = 0$.

- Припуск на шлифование основания рассчитываем по формуле:

$$Z_{\text{шлиф}} = K \sqrt{Td_a^2 + H_a^2 + \rho_a^2 + \varepsilon_B^2} = 1,2 \sqrt{50^2 + 40^2 + 75^2 + 50^2} \cong 110 \text{ мк,}$$

$$Z_{\text{шлиф}} = 0,11 \text{ мм.}$$

Определение операционных размеров (при обработке основания детали) и размера заготовки:

- Размер после обработки отверстия и фрезерования основания:
 $150,0 + 0,11 = 150,11$ или $150,11 \pm 0,05$ мм. Ввиду того, что припуск на фрезерование большой (6,0 мм), лучше снять его за два прохода, применив грубое фрезерование и черновое фрезерование. Весь припуск разделим между двумя проходами: 1890 мк оставим на черновое фрезерование, остальную часть припуска снимем на первом проходе (4,11 мм).

- Размер после грубого фрезерования:

$$150,11 + 1,89 = 152 \text{ или } 152 \pm 0,5 \text{ мм (14-й квалитет точности).}$$

- Номинальный размер заготовки будет:

$152 + 4,11 = 156,11$ мм. Округлим размер в сторону увеличения припуска, т. е. до 156,5 мм. Окончательно размер заготовки будет:

$$156,5 \pm 1 \text{ мм.}$$

8. Расчет погрешности базирования ($\varepsilon_{\delta 2}$) в плоскости, перпендикулярной оси детали.

Ранее был дан приближенный расчет погрешности ε_{δ_2} для случая расположения упора 5 снизу опорного платика обрабатываемой детали.

В приведенном ниже расчете более точно определяется значение ε_{δ_2} для двух вариантов расположения упора 5 – снизу и сбоку опорного платика, и выясняется, как влияет на величину припуска изменение в базировании детали.

Вариант А (эскиз установки см. на рис. 14). Для определения величины ε_{δ_2} воспользуемся расчетными схемами, изображенными на рис. 21, 22.

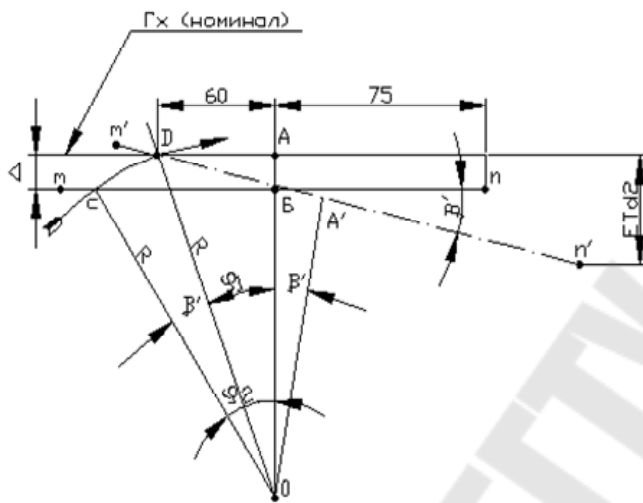


Рис. 21

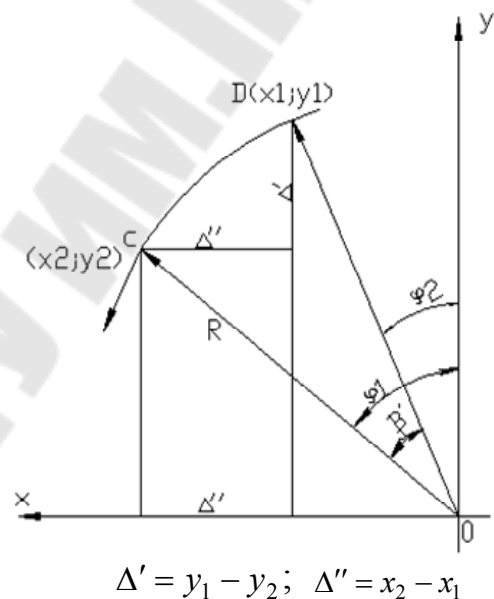


Рис. 22

Положение точки D упора 5 соответствует нормальному положению обрабатываемой детали с номинальным размером Γ_x . Деталь с минимальным значением Γ_x повернется вокруг оси радиусной поверхности на угол β' и займет положение $m'n'$.

Из схемы на рис. 21 ясно, что $\varepsilon'_{\delta_2} = \beta' Dn'$; $Dn' = 60 + 75 = 135$ мм. Следовательно, задача сводится к определению угла поворота детали β' .

$$\Gamma_{\text{хном}} - \Gamma_{\text{хmin}} = \Delta' = \frac{1}{2} T d_{\Gamma_x} = 20,7 \text{ мм (рис. 21);}$$

$$\Delta' = y_1 - y_2 = R \cos \varphi_1 - R \cos \varphi_2 = R(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \text{ (рис. 22),}$$

тогда $\frac{\Delta'}{R} = \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2$, откуда $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_1 - \frac{\Delta'}{R}$

и $\varphi_2 = \text{Arc cos}(\cos \varphi_1 - \frac{\Delta'}{R})$.

Определим R :

$$R = OD = \sqrt{AO^2 + AD^2} = \sqrt{130^2 + 60^2} \cong 143 \text{ мм}; \quad R = 143 \text{ мм}.$$

Определим φ_1 (рис. 22)

$$\cos \varphi_1 = \frac{AO}{OD} = \frac{AO}{R} = \frac{130}{143} = 0,91;$$

$$\varphi_1 = \text{Arc cos } 0,91 = 24^\circ 30'.$$

Определим φ_2 :

$$\Delta' = R(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2);$$

$$\varphi_2 = \text{Arc cos}(\cos \varphi_1 - \frac{\Delta'}{R}) = \text{Arc cos}(0,91 - \frac{2,07}{143}) = \text{Arc cos } 0,896 = 26^\circ 21';$$

$$\varphi_2 = 26^\circ 21';$$

$$\beta' = \varphi_2 - \cos \varphi_1 = 26^\circ 21' - 24^\circ 30' = 1^\circ 51'; \quad \beta' = 1^\circ 51' = 0,0323 \text{ рад}.$$

Погрешность базирования будет:

$$\varepsilon'_{\delta_2} = \beta' D n' = 0,0323 \cdot 135 = 4,361 \text{ мм}; \quad \varepsilon'_{\delta_2} = 4,361 \text{ мм}.$$

Вариант Б (эскиз установки детали на рис. 23). Для определения величины ε''_{δ_2} в этом случае воспользуемся расчетными схемами, изображенными на рис. 23 и 24.

Как видно из рис. 23, положение упора 5 рассчитано на номинальный размер ширины основания заготовки. Если бы ширина заготовки действительно была выражена размером $L_{\text{НОМ}}$, то заготовка занимала бы при фрезеровании основания нормальное положение. На практике размер $L_{\text{НОМ}}$ не выдерживается, а колеблется в пределах допуска L_{max} до L_{min} . Это приводит к перекосу детали на угол β'' (рис. 24) и вызывает появление погрешности ε''_{δ_2} .

Предположим, что в приспособлении установлена отливка с размером L_{min} , тогда под действием прижима П она повернется в направлении стрелки S (рис. 23). При этом базовая сторона платика переместится в горизонтальном направлении на величину Δ'' (по дуге DC).

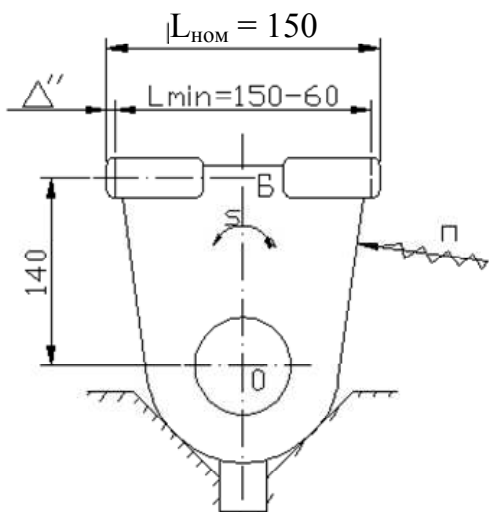


Рис. 23

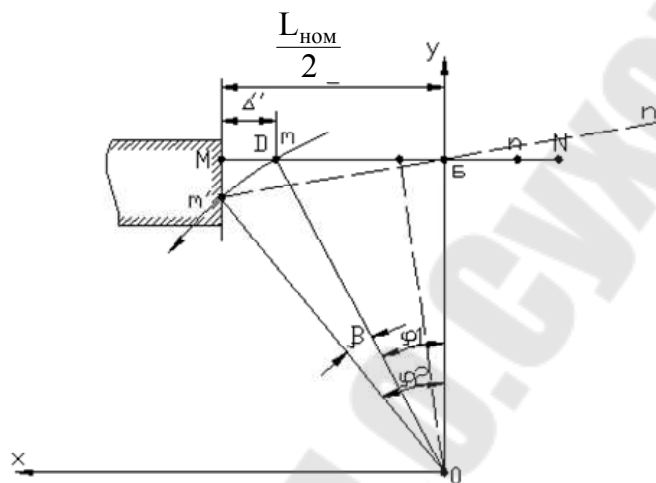


Рис. 24

Если допуск на размер $L = 150$ мм для отливки из серого чугуна 2-го класса точности равен $Td_L = \pm 1,0$ мм [3, табл. 4], то минусовое отклонение размера отливки на одну сторону будет

$$\Delta'' = \frac{1}{4} \delta_L = 0,5 \text{ мм.}$$

В то же время $\Delta'' = x_2 - x_1$ (рис. 22), следовательно,

$$\Delta'' = R \sin \varphi_2 - R \sin \varphi_1 = R(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)$$

и $\frac{\Delta''}{R} = \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1$, откуда $\sin \varphi_2 = \frac{\Delta''}{R} + \sin \varphi_1$.

Определим R :

$$R = \sqrt{m^2 + BO^2} = \sqrt{74,5^2 + 140^2} \cong 159 \text{ мм (рис. 23, 24).}$$

Определим φ_1 :

$$\sin \varphi_1 = \frac{m}{R} = \frac{74,5}{159} = 0,4685; \quad \sin \varphi_1 = \text{Arcsin } 0,4685 = 27^\circ 57';$$

$$\varphi_1 = 27^\circ 57'.$$

Определим φ_2 :

$$\sin \varphi_2 = \frac{\Delta''}{R} + \sin \varphi_1 = 0,5/159 + 0,4685 = 0,4716,$$

$$\varphi_2 = \text{Arcsin } 0,4716 = 28^\circ 9'.$$

Угол поворота β'' будет:

$$\beta'' = \varphi_2 - \varphi_1 \text{ (рис. 22, 24); } \beta'' = 28^\circ 9' - 27^\circ 57' = 12';$$

$$\beta'' = 12' = 0,0035 \text{ рад.}$$

Погрешность базирования будет:

$$\varepsilon''_{\delta_2} = \beta''_{\text{рад}} L = 0,0035 \cdot 150 = 0,525 \text{ мм; } \varepsilon''_{\delta_2} = 0,525 \text{ мм.}$$

Как видно из сравнения двух вариантов установки детали на 1-й операции, погрешность базирования ε_{δ_2} может иметь различную величину: при варианте А (упор 5 снизу) $\varepsilon'_{\delta_2} = 4,361$ мм; при варианте Б (упор 5 сбоку) $\varepsilon''_{\delta_2} = 0,525$ мм, что при прочих равных условиях в значительной мере влияет и на величину припуска, который надо предусмотреть для механической обработки основания детали.

Так, для варианта А припуск на фрезерование $z'_{\text{фр}} = 5,67$ мм (соответствующий размер заготовки 156 ± 1 мм), а для варианта Б $z''_{\text{фр}} = 2,27$ мм (соответствующий размер заготовки $152,5 \pm 1$ мм). Вариант Б установки, благодаря уменьшенному припуску на обработку, позволит производить фрезерование основания детали не за два, а за один проход, что может и определить выбор варианта.

Литература

1. Козловский, Н. С. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения / Н. С. Козловский, А. Н. Виноградов. – Москва : Машиностроение, 1982
2. Жиров, Р. И. Краткий справочник конструктора / Р. И. Жиров. – Москва : Машиностроение, 1983.
3. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1985.
4. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под редакцией А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1986.
5. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1987.

Содержание

I. Основные направления рационального энергосбережения в промышленном производстве	3
II. Факторы, определяющие величину припуска, составляющие припуска	4
III. Суммирование составляющих операционного припуска	13
IV. Примеры расчета припусков	14
Литература	44

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Практикум
по курсу «Основы энергосбережения»
для студентов специальности 1-36 01 03
«Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Авторы-составители: **Вечер** Ромуальд Иванович
Шейбак Марина Ромуальдовна

Редактор *Н. И. Жукова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 21.03.07.

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,7.

Изд. № 185.

E-mail: ic@gstu.gomel.by
<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр Учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.