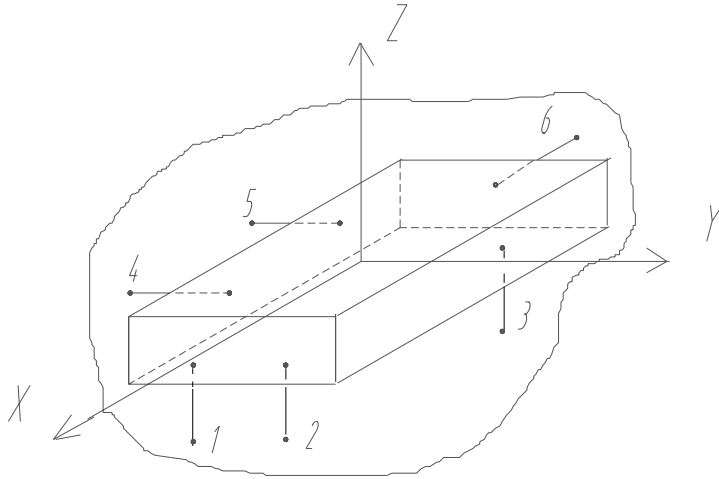


Основные положения теории базирования

Понятие о базах в приборостроении

Базирование - придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Согласно теоретической механике, требуемое положение или движение твердого тела относительно выбранной системы координат достигается наложением геометрических или кинематических связей.

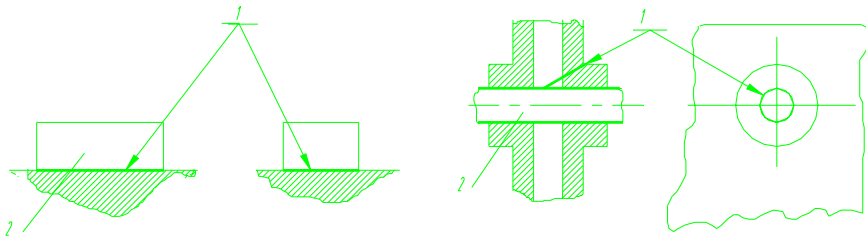


1 - 6 - двухсторонние связи

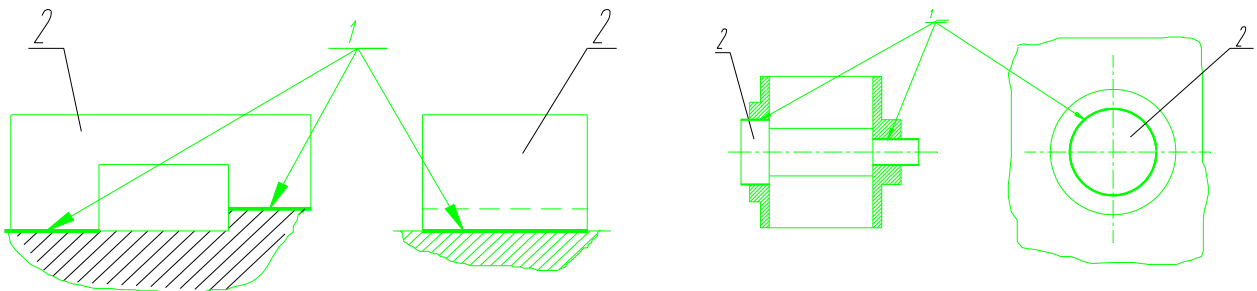
При наложении геометрических связей тело лишается трех перемещений вдоль осей OX (связь №6), OY (связи №4 и №5), OZ (связи №1, №2 и №3) и трех поворотов вокруг этих осей (связи №1, №2 и №3 - вокруг осей OX и OY и связи №4 и №5 - вокруг оси OZ), т.е. тело становится неподвижным в системе $OXYZ$.

Наложение двусторонних геометрических связей достигается соприкосновением поверхностей тела с поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложением сил или моментов для обеспечения контакта между ними.

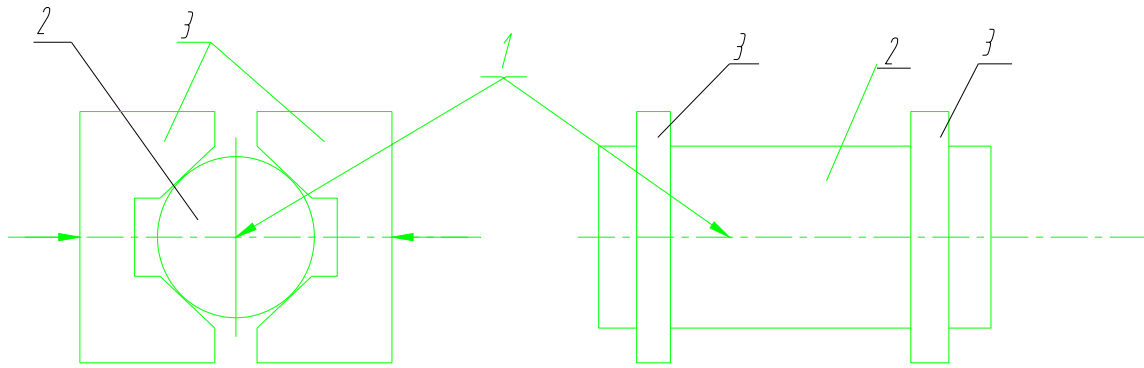
База - поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.



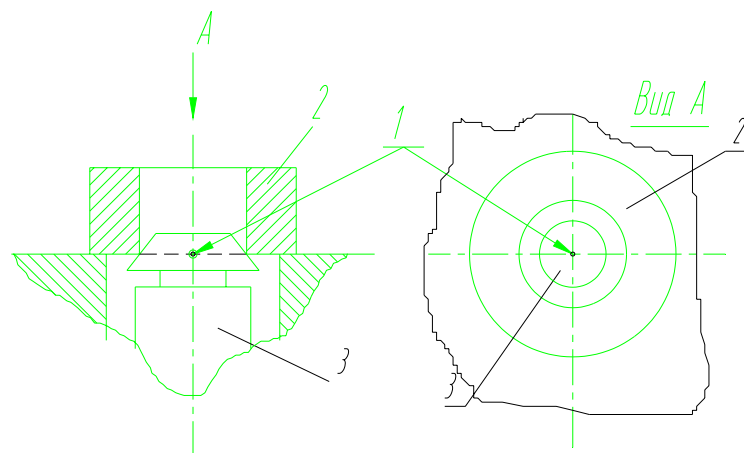
База - поверхность: 1 - база, 2 - деталь.



База - сочетание поверхностей 1 : 2 - деталь.



База - ось 1 : 2- заготовка, 3 - губки самоцентрирующих тисков.



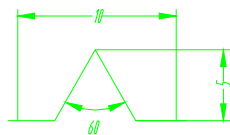
База - точка 1 : 2 - заготовка, 3 - подпружиненный центрирующий конус приспособления.

Понятие о схемах базирования

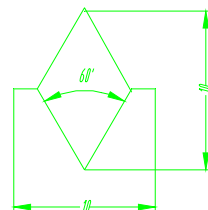
Шесть связей, лишаящих тело движения в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых тел в шести точках. В случае идеализации формы поверхностей считается, что наложение необходимых связей достигается контактом тел по поверхностям, а наличие связей символизируется опорными точками.

Опорная точка - символ одной из связей заготовки или изделия с избранной системой координат.

Условное изображение опорных точек:



На виде спереди и сбоку



На виде сверху

Для обеспечения неподвижности заготовки или изделия в избранной системе координат на них необходимо наложить 6 двусторонних геометрических связей, для создания которых необходим комплект баз. Если, в соответствии со служебным назначением, изделие должно иметь определенное число степеней свободы, то соответствующее число связей снимается.

Комплект баз - совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия.

Схема базирования - схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия.

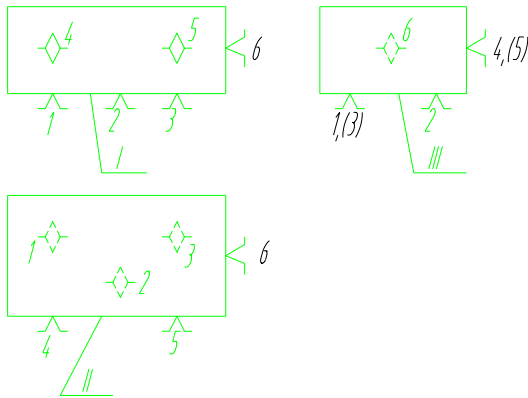


Схема базирования призматической детали: I, II, III - базы детали; 1 - 6 - опорные точки.

Все опорные точки на схеме базирования изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек.

При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую, изображается одна точка и около нее (в скобках) проставляют номера совмещенных точек.

Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

Общая классификация баз

Все многообразие поверхностей деталей сводится к четырем видам:

- 1) исполнительные поверхности - поверхности, при помощи которых деталь выполняет свое служебное назначение;
- 2) основные базы - поверхности, при помощи которых определяется положение данной детали в изделии;
- 3) вспомогательные базы - поверхности, при помощи которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной;
- 4) свободные поверхности - поверхности, не соприкасаемые с поверхностями других деталей.

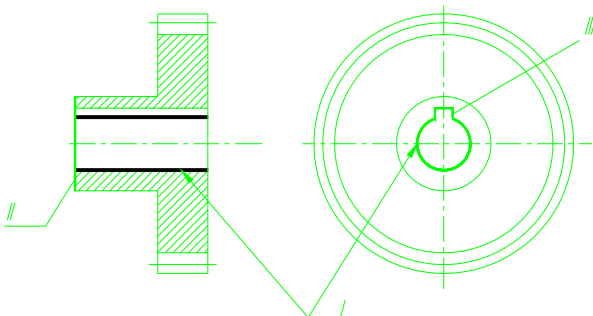
Общая классификация баз имеет следующий вид:

А. По назначению:	Б. По лишаемым степеням свободы:	В. По характеру проявления:
конструкторская	установочная	скрытая
- основная	направляющая	явная
- вспомогательная	опорная	
технологическая	двойная направляющая	
измерительная	двойная опорная	

По назначению

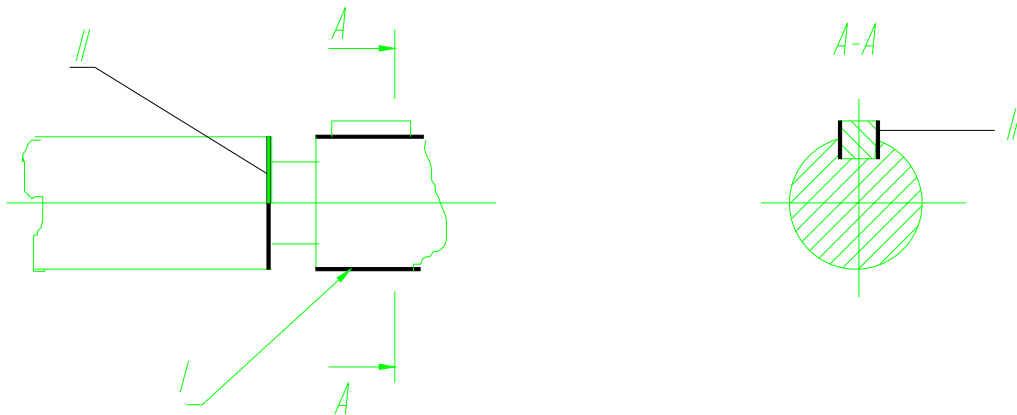
Конструкторская база - база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Основная база - конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии.



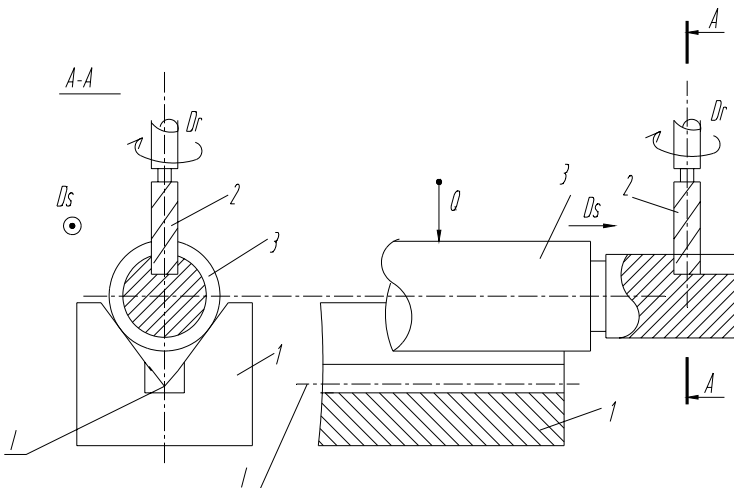
I, II, III - комплект основных баз шестерни. —

Вспомогательная база - конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия.



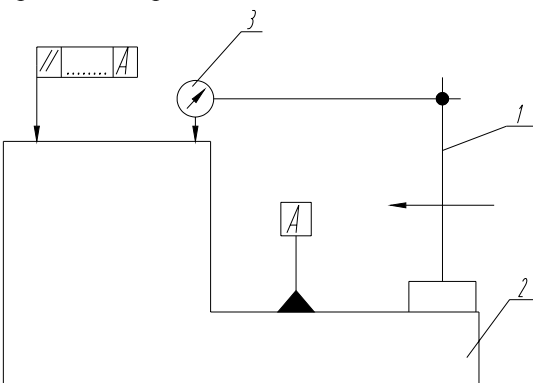
I, II, III - комплект вспомогательных баз вала со шпонкой.

Технологическая база - база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.



*I - технологическая база вала
1 - призма (элемент приспособления к фрезерному станку);
2 - шпоночная фреза;
3 - заготовка вала со шпоночным пазом.*

Измерительная база - база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.



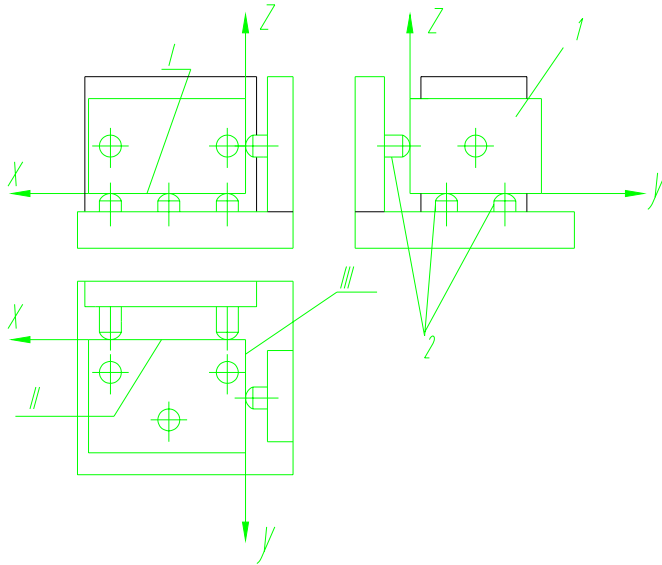
*1 - индикаторная стойка
2 - изделие
3 - индикатор (средство измерения)
A - измерительная база детали.*

По лишаемым степеням свободы

Установочная база - база, лишаящая заготовку или изделие трех степеней свободы - перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

Направляющая база - база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы - перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Опорная база - база, лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы - перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.



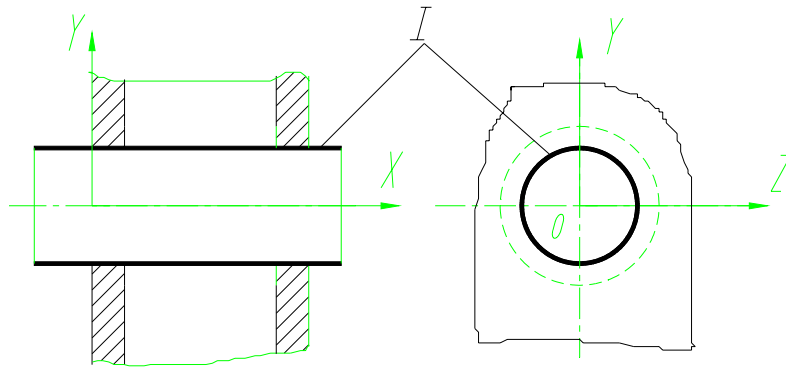
I - установочная база заготовки, лишаящая ее перемещения вдоль оси Z и поворотов вокруг осей X и Y;

II - направляющая база заготовки, лишаящая ее перемещения вдоль оси Y и поворота вокруг оси Z;

III - опорная база заготовки, лишаящая ее перемещения вдоль оси X;

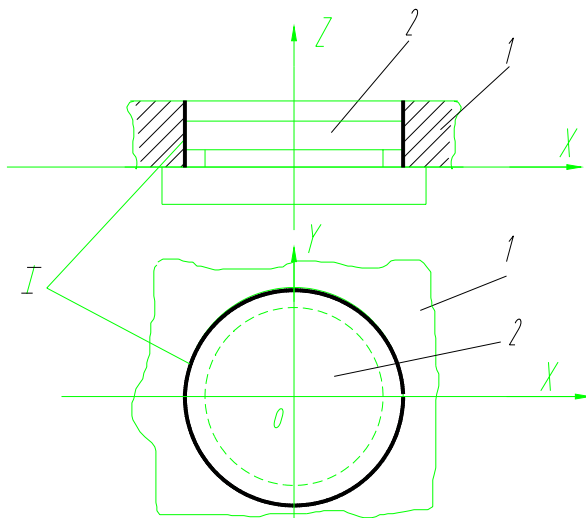
1 - заготовка; 2 - опоры приспособления.

Двойная направляющая база - база, лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы - перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.



I - двойная направляющая база детали, лишаящая ее перемещений вдоль осей Y и Z и поворотов вокруг осей Y и Z.

Двойная опорная база - база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы - перемещений вдоль двух координатных осей.



I - двойная опорная база заготовки, лишаящая ее перемещений вдоль осей X и Y.

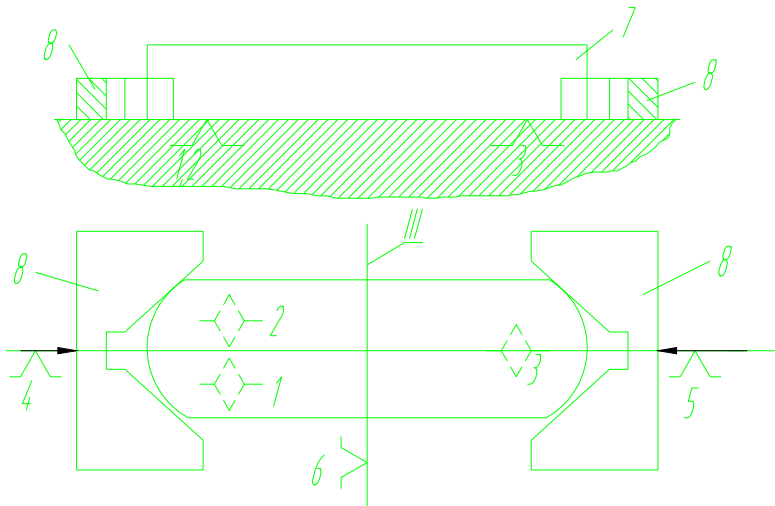
1 - заготовка

2 - элемент приспособления

По характеру проявления

Скрытая база - база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Явная база - база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.



- I - установочная явная база заготовки;
 II - направляющая скрытая база заготовки;
 1 - 6 - опорные точки;
 7 - заготовка;
 8 - губки самоцентрирующих тисков.

Понятие о погрешностях базирования

Погрешность базирования - это отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого.

Различают допустимую $[\varepsilon_6]$ и действительную $\varepsilon_{б.действ}$ (расчетную) погрешности базирования. При практических расчетах, в большинстве случаев, можно допустимое значение поля рассеивания размеров, порождаемое погрешностями базирования $[\varepsilon_6]$ определять приближенно по упрощенной формуле:

$$[\varepsilon_6] = T - \Delta, \quad (1)$$

где T - поле допуска, проставленного на операционном чертеже детали;

Δ - точность обработки, которая получается при выполнении данной операции без учета погрешности базирования.

При отсутствии более обоснованных данных можно в качестве первого приближения принимать значение Δ на основании таблиц средней экономической точности обработки.

Расчет действительных значений погрешности базирования сводится к решению соответствующих геометрических задач.

Введем понятие «исходная база».

Исходной базой называется элемент заготовки, который связан с обрабатываемой поверхностью размером или требованием (параллельности, соосности и т.д.), которые нужно обеспечить при выполнении данной операции.

Вопрос о том, какой элемент заготовки является исходной базой, решается непосредственно на основе операционного чертежа.

Если при намеченной схеме базирования геометрически обеспечивается неизменное положение исходной базы у всех заготовок, то действительная погрешность базирования отсутствует ($\varepsilon_{б.действ} = 0$). В соответствии с этим действительную погрешность базирования можно рассматривать как погрешность, порождаемую колебаниями в положении исходной базы.

Например, на рис.1,а показана деталь, у которой требуется профрезеровать поверхность M , расположенную параллельно поверхности N и на расстоянии от последней, определяемом размером a ; очевидно, поверхность N является исходной базой.

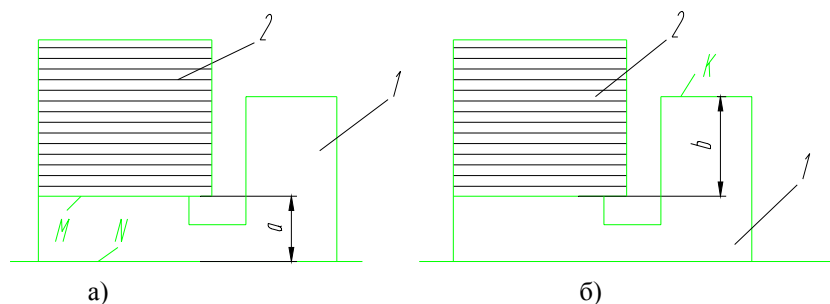


Рис. 1. Фрезерование плоскости (1 - заготовка; 2 - фреза).

Другой пример показан на рис.1,б. Здесь требуется выдержать размер b , определяющий расстояние от фрезеруемой поверхности до верхней поверхности K , являющейся, следовательно, исходной базой в данном случае.

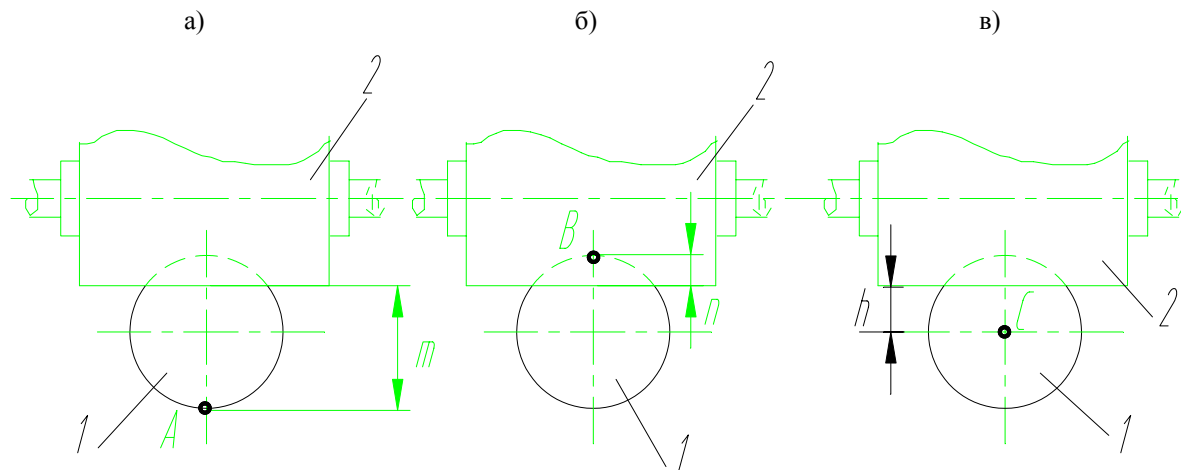


Рис. 2. Фрезерование лыски на вале (1 - заготовка вала; 2 - фреза).

В примере, показанном на рис. 2а, исходной базой является точка А. Если бы при обработке той же поверхности требовалось выдержать размер n , а не m , исходной базой была бы точка В.

В приведенных примерах указаны явные исходные базы. Однако, исходная база может быть и геометрическим понятием. Например, если требуется выдержать размер h до центра (рис. 2,в), исходной базой является центр C (скрытая база).

Общая методика расчета погрешности базирования

При определении действительного значения поля рассеивания погрешностей базирования нужно исходить из допусков по ,так называемым, «базисным размерам», т.е. тем размерам заготовки, от которых зависит положение исходной базы при данном способе установки.

В ряде случаев, когда требуется определить погрешность базирования по линейному размеру, наиболее просто можно решить задачу, если исходить из вектора, определяющего положение исходной базы относительно базирующих элементов приспособления, т.е. относительно технологической базы.

Чтобы найти погрешность базирования, нужно:

1. Найти вектор L , определяющий положение исходной базы относительно технологической базы.
2. Составить уравнение размерной цепи, в котором проекция этого вектора на направление выдерживаемого размера $Pr_X L$ выражается в виде функции от базисных размеров и тех размеров приспособления, которые оказывают влияние на положение исходной базы:

$$Pr_X L = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n, A, B), \quad (2)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n - базисные размеры;
 A, B - размеры приспособлений.

3. Найти полный дифференциал выражения (2) и заменить в последнем дифференциалы конечными приращениями, т.е. найти

$$\Delta L_X = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial x_n} \Delta x_n. \quad (3)$$

Выражением (3) определяется частное значение погрешности базирования (по абсолютной величине) в зависимости от частных отклонений $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ базисных размеров.

Переходя от частных значений погрешностей базирования к полю рассеивания этой погрешности и от отдельных отклонений базисных размеров к соответствующим допускам, получим:

$$\varepsilon_{\text{б.действ.}} = \sqrt{k_1^2 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \right) T_{x_1}^2 + k_2^2 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_2} \right) T_{x_2}^2 + \dots + k_n^2 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_n} \right) T_{x_n}^2}, \quad (4)$$

где $T_{x_1}, T_{x_2}, \dots, T_{x_n}$ - допуски по базисным размерам;

k_1, k_2, \dots, k_n - коэффициенты, зависящие от законов рассеивания базисных размеров.

Или, в соответствии с методом максимума - минимума при сложении погрешностей:

$$\varepsilon_{\text{б.действ.}} = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} T_{x_1} + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} T_{x_2} + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial x_n} T_{x_n}. \quad (5)$$

При наличии только одного базисного размера:

$$\varepsilon_{\text{б.действ.}} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} T_x. \quad (6)$$

Если вектор, связывающий технологическую и исходную базы, параллелен направлению выдерживаемого размера, то

$$\varepsilon_{\text{б.действ.}} = T_{\text{б.р.}}, \quad (7)$$

т.е. действительная погрешность базирования равна полю допуска на базисный размер.

Примеры расчета действительных погрешностей базирования

Поверхности, по которым базируются заготовки, обычно имеют плоскую, цилиндрическую или, реже, коническую форму. В отдельных случаях заготовки базируются сразу по нескольким таким поверхностям, однако, число наиболее употребительных комбинаций невелико. Также ограничено число принципиально различных устройств, предназначенных для базирования.

Установка по плоскости. На рис. 3 представлен наиболее простой случай: заготовка базируется по плоской поверхности; требуется выдержать размер $30^{+0,15}$ (рис. 3,а).

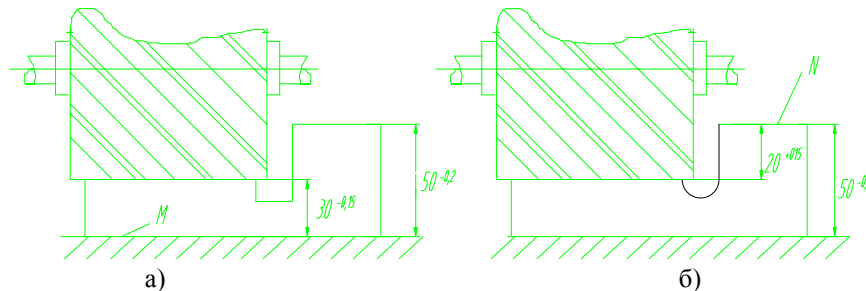


Рис. 3. *Варианты простановки размеров на операционном чертеже.*

Примем среднюю экономическую точность $\Delta = 0,1$ мм (предварительное фрезерование по 10-му качеству). Следовательно, $[\varepsilon_{\text{б.}}] = 0,15 - 0,1 = 0,05$ мм. Выдерживаемый размер $30^{+0,15}$ связывает обрабатываемую поверхность с нижней поверхностью М, являющейся, следовательно, исходной базой. Поскольку поверхность М опирается на неподвижную поверхность (стола станка или приспособления), которая в процессе обработки не поднимается и не опускается, геометрически исходная база у всех заготовок будет находиться в неизменном по высоте положении, т.е. $\varepsilon_{\text{б.действ.}} = 0$. Поэтому выдержать заданный допуск вполне возможно.

Теперь допустим, что при тех же условиях обработки нужно выдержать с тем же допуском размер $20^{+0,15}$ (рис. 3,б). Здесь дело обстоит иначе. Поскольку выдерживаемый размер $20^{+0,15}$ связывает обрабатываемую поверхность не с нижней поверхностью М, а с верхней N, последняя является исходной базой. При намеченной схеме базирования положение исходной базы обуславливается размером $50^{-0,2}$ (см. рис. 3).

Поэтому полный дифференциал по формуле (3) $\Delta 20 = \Delta_{50}$ и $\varepsilon_{\text{б.действ.}} = T_{50} = 0,2$ мм, а, т.к. допуск по выдерживаемому размеру не изменился и $[\varepsilon_{\text{б.}}] = 0,05$ мм то, очевидно, что действительное значение поля рассеивания погрешностей базирования больше допустимого. Если принять намеченную схему базирования, получится брак.

Чтобы сделать $\varepsilon_{б.действ.} \leq [\varepsilon_{б.}]$, можно осуществить одно из следующих мероприятий:

1. Увеличить допуск по размеру 20;
2. Сузить допуск по размеру 50;
3. Изменить схему базирования. Если исходную базу (поверхность N) будем прижимать к неподвижному упору, то получим $\varepsilon_{б.действ.} = 0$ (рис. 4).

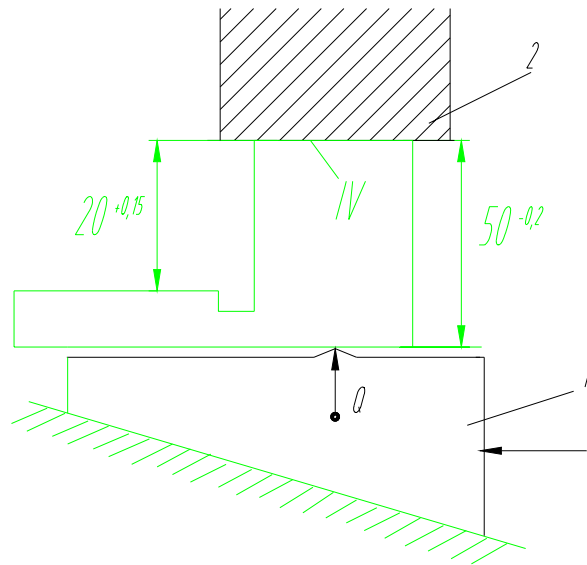


Рис. 4. *Схема усовершенствованного фрезерного приспособления:
1 - клин; 2 - неподвижный упор (элементы приспособления).*

Установка в призме. В качестве исходного примера рассмотрим случай установки деталей в призме по наружной цилиндрической поверхности, приведенный на рис.5, где в детали требуется профрезеровать паз.

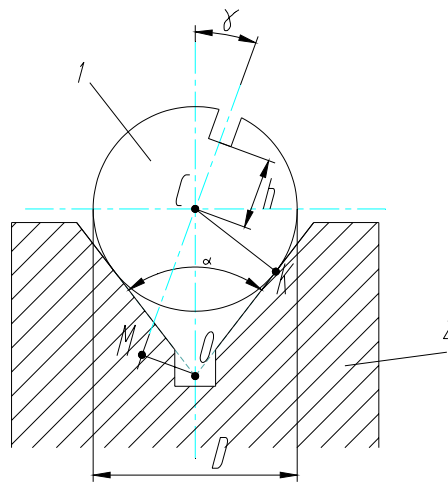


Рис. 5. *Исходные данные для расчета действительной погрешности базирования при установке заготовки в призме: 1 - заготовка; 2 - призма.*

В соответствии с конструкторскими соображениями может потребоваться соблюдение любого из размеров h , m или n (см. рис.2).

В зависимости от того, какой из этих размеров ограничен на чертеже соответствующим допуском, возможны принципиально различные случаи. В первом случае исходной базой служит центр C , во втором - точка A , в третьем - точка B (см. рис. 2).

Схема базирования цилиндров и дисков с помощью призмы является основной: расчетные погрешности базирования других способов установки цилиндров и дисков получаются как частные случаи.

1. Требуется выдержать размер h .

Положение исходной базы - центра C по отношению к призме (технологическая база - точка O) обуславливается вектором OC . Проецируя этот вектор на направление выдерживаемого размера h , получим:

Из $\triangle OCK$ находим $L = MC = OC \cos \gamma$.
 $OC = \frac{CK}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$, где α - угол призмы, D - диаметр заготовки.

Следовательно,

$$L = \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma.$$

Полный дифференциал:

$$\Delta h = -\Delta L = -\frac{\Delta D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma,$$

а поле рассеивания погрешности базирования

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma, \quad (8)$$

где T_D - допуск по диаметру заготовки.

Как видно из выражения (8), $\varepsilon_{\text{б.действ}}$ при данном угле призмы α зависит от угла γ .
 В случае, если $\gamma = 0$

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}};$$

при $\gamma = 45^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2}.$$

Схему базирования, показанную на рис.6, можно рассматривать как случай, когда $\gamma = 90^\circ$, поэтому $\varepsilon_{\text{б.действ}} = 0$.

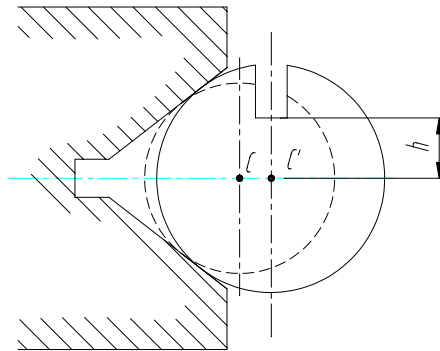


Рис. 6. Случай $\gamma = 90^\circ$ при базировании в призме.

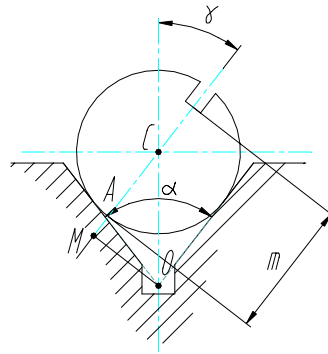
При установке в самоцентрирующем приспособлении (в трехкулачковом самоцентрирующем патроне, самоцентрирующих тисках и т.д.) центр всех заготовок, независимо от их диаметра, будет занимать неизменное положение. Вследствие этого, как и в предыдущем случае $\varepsilon_{\text{б.действ}} = 0$.

2. Требуется выдержать размер t (рис. 7).

Положение исходной базы - точки A - по отношению к призме обуславливается вектором OA . Проецируя этот вектор на направление размера t , получим:

$$L = MA = CM - CA.$$

Рис. 7. Расчетная схема базирования в призме при выдерживании размера t .



Из ΔOCM имеем :

$$CM = OC \cos \gamma = \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma .$$

Очевидно, что

$$CA = \frac{D}{2} .$$

Следовательно,

$$L = \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma - \frac{D}{2} = \frac{D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma - 1 \right) .$$

Тогда полный дифференциал по формуле (3) :

$$\Delta L = \frac{\Delta D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma - 1 \right) ,$$

а поле рассеяния, соответствующее действительной погрешности базирования, составит

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma - 1 \right) . \quad (9)$$

Погрешность базирования равна нулю в следующих случаях:

- а) если $\cos \gamma = \sin (\alpha/2)$, в частности, при $\alpha = 90^\circ$, если $\gamma = 45^\circ$;
- б) при $\gamma = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ (т.е. при установке на плоскость).

При базировании по схеме, показанной на рис.6, что соответствует $\gamma = 90^\circ$,

$$\varepsilon_{\text{действ}} = \frac{T_D}{2} .$$

В случае, когда $\gamma = 0$

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) .$$

3. Требуется выдержать размер n (рис. 8).

Положение исходной базы - точки В - относительно призмы обуславливается вектором **ОВ**. Проецируя последний на направление выдерживаемого размера n , получим:

$$L = MB = MC + CB = \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma + \frac{D}{2} = \frac{D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma + 1 \right).$$

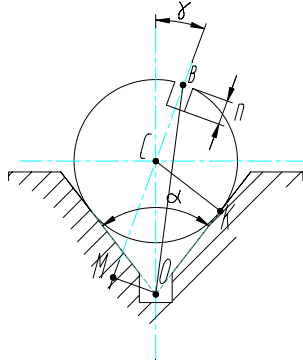


Рис. 8. *Расчетная схема базирования в призме при выдерживании размера n .*

Тогда полный дифференциал по формуле (3) :

$$\Delta L = \frac{\Delta D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma + 1 \right),$$

а поле рассеяния, соответствующее действительной погрешности базирования, составит:

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \cos \gamma + 1 \right). \quad (10)$$

При $\gamma = 0^\circ$, имеем :

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

При $\gamma = 90^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ оказывается, что $\varepsilon_{\text{б.действ}} = T_D$.

Сопоставление различных схем базирования

Допустим, что у шайбы, показанной на рис. 9,а, нужно просверлить отверстие и выдержать размер m с соответствующим допуском. Сравним при помощи выведенных зависимостей две схемы кондукторов, схематически показанных на рис. 9,б и в.

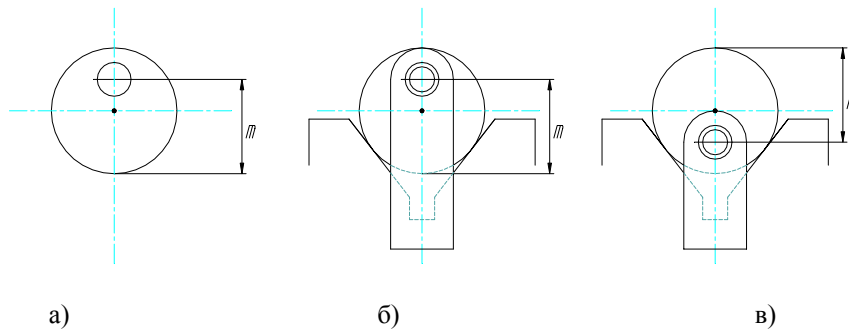


Рис. 9. *Варианты конструкции сверлильного приспособления - кондуктора.*

Схема кондуктора на рис. 9,б аналогична схеме, приведенной для размера m выше (см. рис. 2) при $\gamma = 0^\circ$ (см. рис. 5). Поэтому

$$\varepsilon'_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

Схема кондуктора на рис. 9, в аналогична схеме, приведенной выше для размера n (см. рис. 2), следовательно,

$$\varepsilon''_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

Отношение

$$\frac{\varepsilon''_{\text{б.действ}}}{\varepsilon'_{\text{б.действ}}} = \frac{\frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)}{\frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)} = \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (11)$$

При $\alpha=90^\circ$

$$\frac{\varepsilon''_{\text{б.действ}}}{\varepsilon'_{\text{б.действ}}} = \frac{1 + 0,7}{1 - 0,7} = 5,7 \approx 6$$

Таким образом, несущественная, с первого взгляда, разница в схемах конструкций кондукторов ведет к увеличению значения $\varepsilon_{\text{б.действ}}$ при второй схеме по сравнению с первой почти в 6 раз.

Базирование по коническому отверстию

Требуется проточить цилиндрическую поверхность 1 (см. рис. 10) и подрезать торцевую поверхность 2, выдержав размер a .

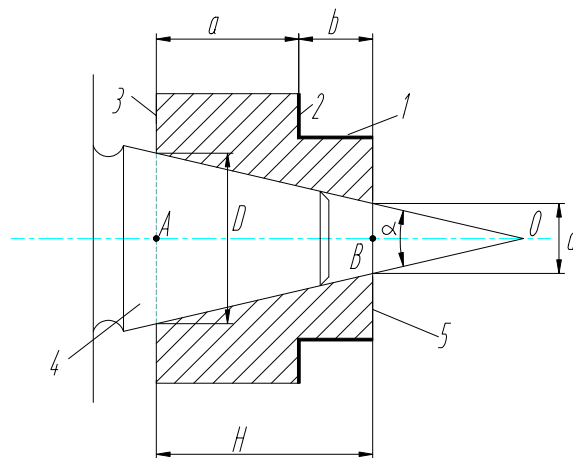


Рис. 10. Схема базирования заготовки по конусу : 1,2,3,5 - поверхности заготовки; 4 - элемент токарного приспособления.

Положение исходной базы - торца 3 - относительно оправки 4 (технологическая база - точка O) можно определить размером OA. Поэтому определяемый по формуле (2) базисный размер

$$L = OA = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2};$$

$$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{H}{\frac{D-d}{2}}.$$

Следовательно,

$$L = \frac{D}{2} * \frac{H}{\frac{D-d}{2}} = \frac{D}{D-d} * \frac{D}{H},$$

где k - конусность.

Тогда определяемый формулой (3) полный дифференциал

$$\Delta L = \frac{\Delta D}{k},$$

а соответствующая погрешность базирования

$$\varepsilon_{\text{б.действ}} = \frac{T_D}{k}. \quad (12)$$

По схеме базирования, показанной на рис. 11 (с подвижным конусом и неподвижной упорной плоскостью), $\varepsilon_{\text{б.действ}} = 0$.

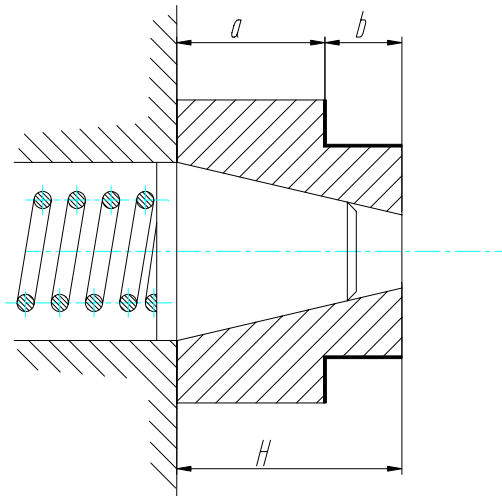


Рис. 11. *Схема усовершенствованного токарного приспособления с базированием заготовки по конусу.*

Если требуется выдержать размер b, а не a, то при схеме базирования, показанной на рис. 10, исходной базой является торец 5, и поэтому

$$L = OB = OA - H = \frac{D}{k} - H$$

Соответствующий формуле (3) полный дифференциал

$$\Delta L = \frac{\Delta D}{k} - \Delta H,$$

а вычисляемая по формуле (4) действительная погрешность базирования составит:

$$\varepsilon_{\text{б.действ.}} = \sqrt{\left(\frac{T_D}{k}\right)^2 + T_H^2} \quad (13)$$

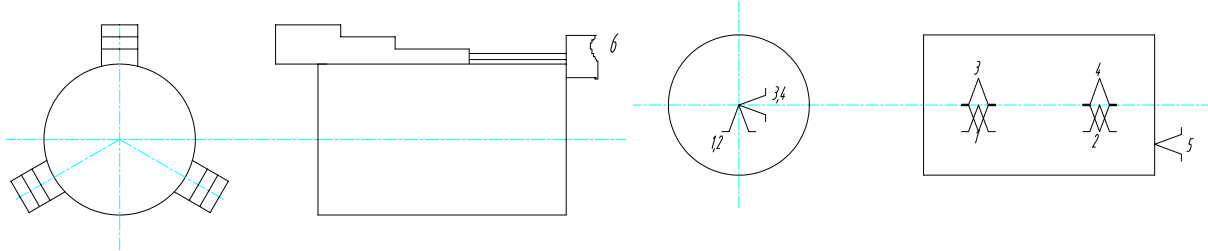
При установке, показанной на рис. 11, оказывается, что $\varepsilon_{\text{б.действ.}} = T_H$.

Распространенные схемы установки заготовок

Схема установки

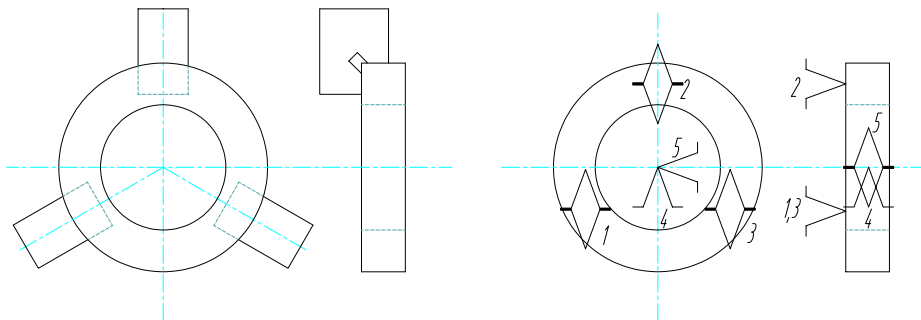
Теоретическая схема базирования

Установка вала в трехлапчатом самоцентрирующем патроне.



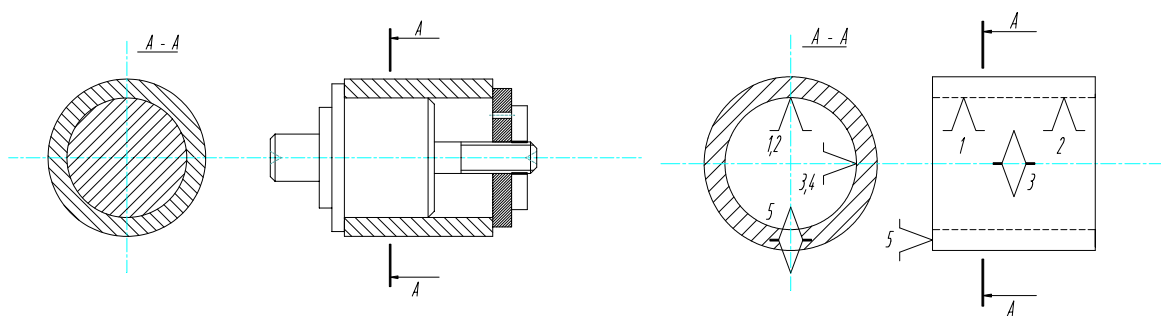
б - штангенциркуль

Установка диска в трехлапчатом самоцентрирующем патроне.



цилиндрической оправке (с зазором).

Установка втулки на



Задание по вариантам.

За одну операцию обрабатываются поверхности детали, выделенные утолщенной линией. Дать теоретическую схему базирования и закрепления и вычислить расчетную и допустимую погрешности базирования. Сумма всех погрешностей (кроме базирования) Δ по вариантам равна экономически обоснованной точности обработки. Проставьте величину допуска на базисный размер так, чтобы операционный размер был выдержан с заданной точностью.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ (НА ПРИМЕРЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ)

ПОНЯТИЕ ОБ ОБЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

Общую погрешность обработки (в частности механообработки) можно выразить функцией от ряда не зависящих друг от друга величин:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Sigma\Delta_{\phi}, \Delta_y, \varepsilon, \Delta_u, \Delta_n, \Delta_T). \quad (1)$$

Здесь в скобках указаны частные (элементарные) погрешности, вызванные действием Факторов различной природы.

$\Sigma\Delta_{\phi}$ - суммарная погрешность Формы изделия (детали), вызванная несовершенством технологического оборудования и состоящая из элементарных погрешностей, вызываемых:

- 1) геометрическими неточностями оборудования, $\Delta_{об}$;
- 2) деформациями заготовки под влиянием сил закрепления, $\Delta_{зак}$;
- 3) неравномерностью упругих отжати в технологической системе под влиянием возникающих в ней сил, $\Delta_{нер}$.

Δ_y - погрешность, представляющая собой технологическую наследственность и обусловленная нестабильностью возникающих в технологической системе сил, вследствие имеющихся на заготовке отклонений.

ε - погрешность установки заготовки, состоящая из погрешностей базирования $\varepsilon_б$, закрепления $\varepsilon_з$ и приспособления $\varepsilon_{пр}$.

Δ_u - погрешность, обусловленная размерным износом инструмента;

Δ_n - погрешность размерной настройки оборудования;

Δ_T - погрешность, обусловленная тепловыми деформациями технологической системы.

СУММАРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ФОРМЫ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ ОБОРУДОВАНИЯ $\Sigma\Delta_{\phi}$

ПОГРЕШНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С НЕТОЧНОСТЬЮ, ИЗНОСОМ И ДЕФОРМАЦИЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ $\Delta_{об}$

Погрешности изготовления и сборки оборудования контролируются стандартными методами проверки его геометрической точности, т.е. точности в ненагруженном состоянии.

Применительно к металлорежущим станкам, параметрами, характеризующими их геометрическую точность, являются, например, следующие:

- 1) прямолинейность и параллельность направляющих;
- 2) параллельность оси шпинделя к направлению движения каретки (для токарных станков);
- 3) перпендикулярность оси шпинделя к плоскости стола (для фрезерных станков);
- 4) биение конического отверстия в шпинделе станка и т.д.

Указанные характеристики геометрической точности станков задаются в мм и для станков нормальной точности (станки группы Н), предназначенных для обработки заготовок средних размеров в пределах допусков IT9 составляют 0,01 - 0,05 мм. Более высокоточные станки характеризуются тем, что численные значения соответствующих параметров уменьшаются и составляют в процентах относительно значений для станков группы Н:

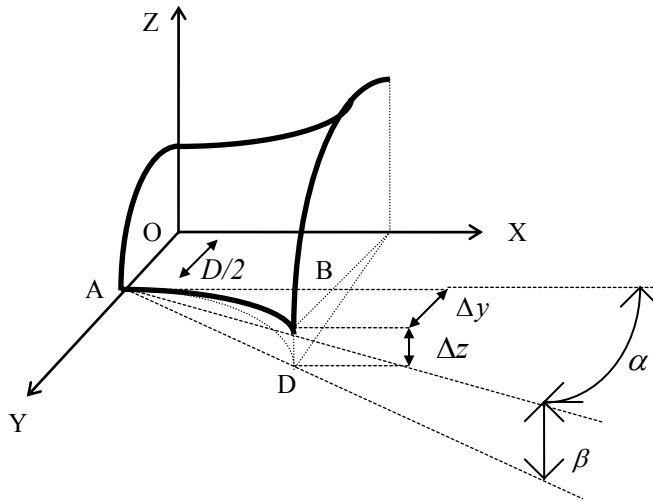
- станки повышенной точности (группа П) - 60%;
- станки высокой точности (группа В) - 40%;
- станки особо высокой точности (группа А) - 24%;
- станки особо точные (группа С) - 16%.

Геометрические погрешности оборудования полностью или частично переносятся на обрабатываемые детали в виде систематических погрешностей последних. Систематические погрешности поддаются предварительному анализу и расчету.

В качестве примера рассчитаем форму поверхности детали при то-

карной обработке в условиях, когда вершина резца перемещается непараллельно оси вращения заготовки как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

Пусть OX – ось вращения заготовки.



Если построить в плоскости XOY кривую, у которой

$$y^2 = \left(\frac{D}{2} + \Delta y\right)^2 + \Delta z^2, \quad (2)$$

где Δy и Δz – смещения вершины резца при перемещении в горизонтальном и вертикальном направлениях, то вращая эту кривую вокруг оси OX , получим искомую поверхность.

Уравнение искомой кривой в плоскости XOY :

$$y^2 = \left(\frac{D}{2} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha\right)^2 + \left(\frac{x}{\cos \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta\right)^2 = \frac{D^2}{4} + x D \operatorname{tg} \alpha + x^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{x^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{\cos^2 \alpha}.$$

Приводя это уравнение к каноническому виду, имеем:

$$\left(\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{\cos^2 \alpha}\right) \cdot x^2 - y^2 + D \operatorname{tg} \alpha \cdot x + \frac{D^2}{4} = 0, \quad (3)$$

где: $D/2$ – номинальный радиус обрабатываемой цилиндрической поверхности; α и β – связанные с неточностью изготовления станка углы, образуемые реальной траекторией движения вершины резца относительно требуемой соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Общее уравнение кривых второго порядка имеет вид:

$$ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2ey + f = 0 \quad (4)$$

и характеризуется следующими инвариантами:

$$I_1 = \begin{vmatrix} a & b & d \\ b & c & e \\ d & e & f \end{vmatrix}; \quad I_2 = \begin{vmatrix} a & b \\ b & c \end{vmatrix}.$$

Относительно инвариант полученного уравнения (3) реальной обработанной поверхности можно отметить следующее:

$$I_1 = \begin{vmatrix} \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{\cos^2 \alpha} & 0 & \frac{D \operatorname{tg} \alpha}{2} \\ 0 & -1 & 0 \\ \frac{D \operatorname{tg} \alpha}{2} & 0 & \frac{D^2}{4} \end{vmatrix} \neq 0 ;$$

$$I_2 = \begin{vmatrix} \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{\cos^2 \alpha} & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} < 0 ;$$

Эти условия свидетельствуют, что получено уравнение гиперболы.

Форма обработанной поверхности - гиперболоид вращения.

Очевидно, что геометрическая неточность станка в горизонтальном направлении Δy полностью переходит в погрешность обработанной поверхности таким образом, что

$$\Delta D = 2 \Delta y. \quad (6)$$

Если предположить, что станок имеет геометрическую неточность только в вертикальном направлении Δz , то погрешность по диаметру детали составит:

$$\Delta D = 2 \sqrt{\frac{D^2}{4} + \Delta z^2} - D.$$

Производя преобразования, имеем:

$$D + \Delta D = \sqrt{D^2 + 4\Delta z^2};$$

$$2D\Delta D + \Delta D^2 = 4\Delta z^2.$$

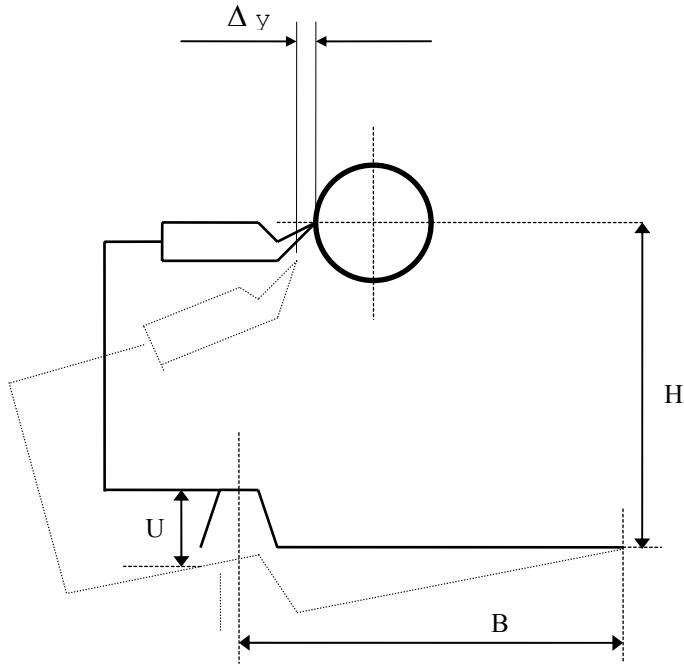
Исключая бесконечно малую величину второго порядка ΔD^2 , получаем:

$$\Delta D = \frac{2\Delta z^2}{D}; \quad (7)$$

Эта величина незначительна по сравнению с полученной выше по формуле (6). Поэтому принято считать, что отклонения формы обработанной поверхности ΔD при точении возникают только от неточности станка в горизонтальной плоскости.

Износ направляющих станков вследствие присущей ему неравномерности приводит к потере точности станков и возникновению на обработанной поверхности систематической погрешности. Износ передней направляющей токарного станка обычно в 5 раз больше, чем износ второй направляющей. Кроме того, износ направляющих по длине также не равномерен - износ максимален на определенном (конкретном для данного типоразмера) расстоянии от торца шпинделя.

Указанный неравномерный износ U вызывает наклон суппорта и смещение вершины резца в горизонтальной плоскости по следующей схеме.



Деформация станков в ненагруженном состоянии (искривление станин и столов, извернутость направляющих) возникает при неправильном монтаже под действием собственной массы вследствие оседания фундамента. Этот фактор приводит к образованию систематической погрешности на обработанной поверхности по схеме, идентичной выявленной при рассмотрении влияния износа направляющих.

ПОГРЕШНОСТИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗАГОТОВОК

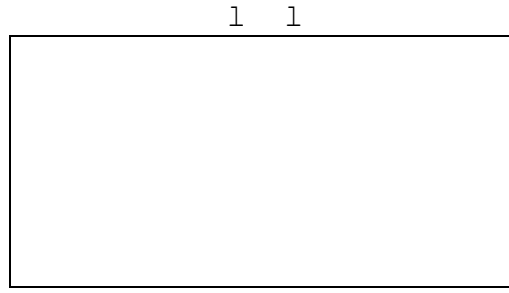
ПОД ВЛИЯНИЕМ СИЛ ЗАКРЕПЛЕНИЯ $\Delta_{\text{зак}}$

Величина погрешности взаимного расположения и формы обработанной поверхности детали может быть значительной, если место приложения зажимного усилия выбрано неправильно.

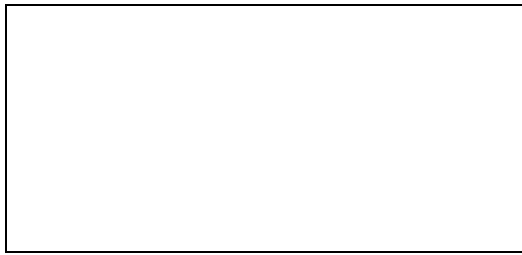
Рассмотрим схему установки и закрепления заготовки при фрезеровании бобышек. Если зажимное усилие не пересекает поверхность заготовки, создается изгибающий момент и изгиб заготовки: чем больше усилие P , и плечо l , на котором оно действует, тем больше прогиб. В результате параллельность торцов бобышек после фрезерования нарушается.



Заготовка до зажатия



Место зажима выбрано неправильно



Заготовка после обработки

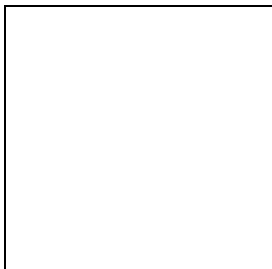


Заготовка после разжатия

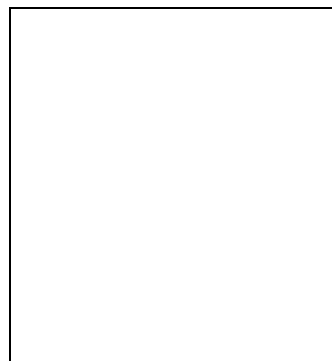


Место зажима выбрано правильно

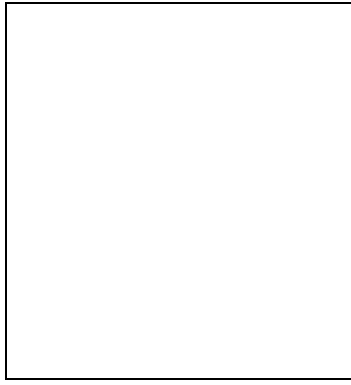
Аналогичные явления наблюдаются при токарной обработке колец с закреплением заготовки в трехкулачковом патроне.



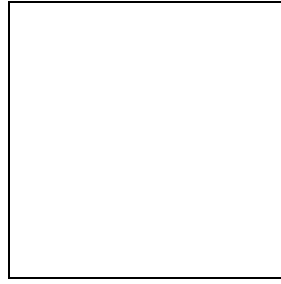
Кольцо до зажима



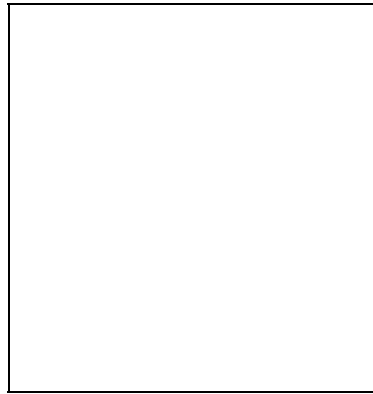
Форма кольца после зажима



Форма отверстия кольца
после его расточки



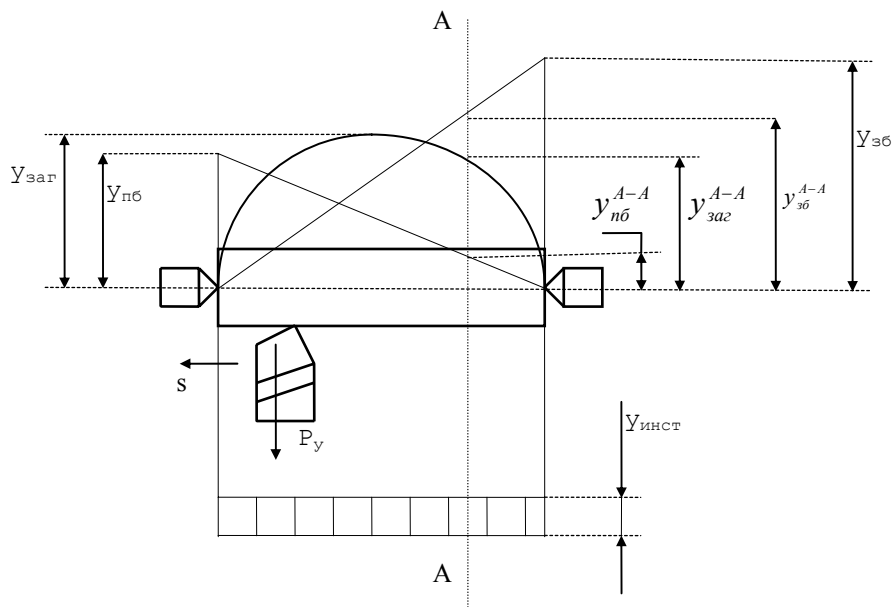
Форма отверстия кольца
после удаления из патрона



Применение мембранного патрона позволяет минимизировать $\Delta_{\text{зж}}$

ПОГРЕШНОСТИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ УПРУГИМИ ОТЖАТИЯМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
СИЛЫ РЕЗАНИЯ $\Delta_{\text{нер}}$

В качестве примера рассмотрим обработку гладкого вала в центрах
на токарном станке.



В начальный момент, когда резец находится у правого конца вала,
вся нормальная составляющая P_y усилия резания передается через заготовку
на задний центр, пиноль и заднюю бабку станка, вызывая упругую деформацию

названных элементов в направлении «от рабочего». Это приводит к увеличению расстояния от вершины резца до оси вращения заготовки на величину $y_{зб}$ и к соответствующему возрастанию радиуса обработанной заготовки.

Одновременно происходит упругое отжатие $y_{инстр}$ резца и суппорта в направления «на рабочего». Таким образом, в начальный момент диаметр

обработанной поверхности фактически оказывается больше установленного

при настройке на величину $\Delta = 2(y_{зб} + y_{инстр})$.

При дальнейшей обточке, т.е. перемещении резца от задней бабки к передней, отжатие задней бабки уменьшается, но возникает отжатие передней бабки $y_{пб}$ и заготовки $y_{заг}$. Следовательно в некотором сечении

A-A фактический диаметр обрабатываемой заготовки оказывается равным:

$$d_{факт}^{A-A} = d_{настр}^{A-A} + 2(y_{зб}^{A-A} + y_{пб}^{A-A} + y_{инстр}^{A-A} + y_{заг}^{A-A}). \quad (8)$$

Поскольку упругие отжатия элементов технологической системы (ТС) (кроме $y_{инстр}$) изменяются по длине обрабатываемой заготовки, её диаметр, а следовательно и форма, оказываются переменными по длине.

Под жесткостью j ТС подразумевают способность этой системы оказывать сопротивление действию деформирующих её сил:

$$j = \frac{P_y}{y}; \quad \text{или} \quad j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}; \quad (9)$$

Иногда удобнее пользоваться понятием податливости:

$$\omega = \frac{1}{j}; \quad \omega = \frac{y}{P_y};$$

поскольку всегда

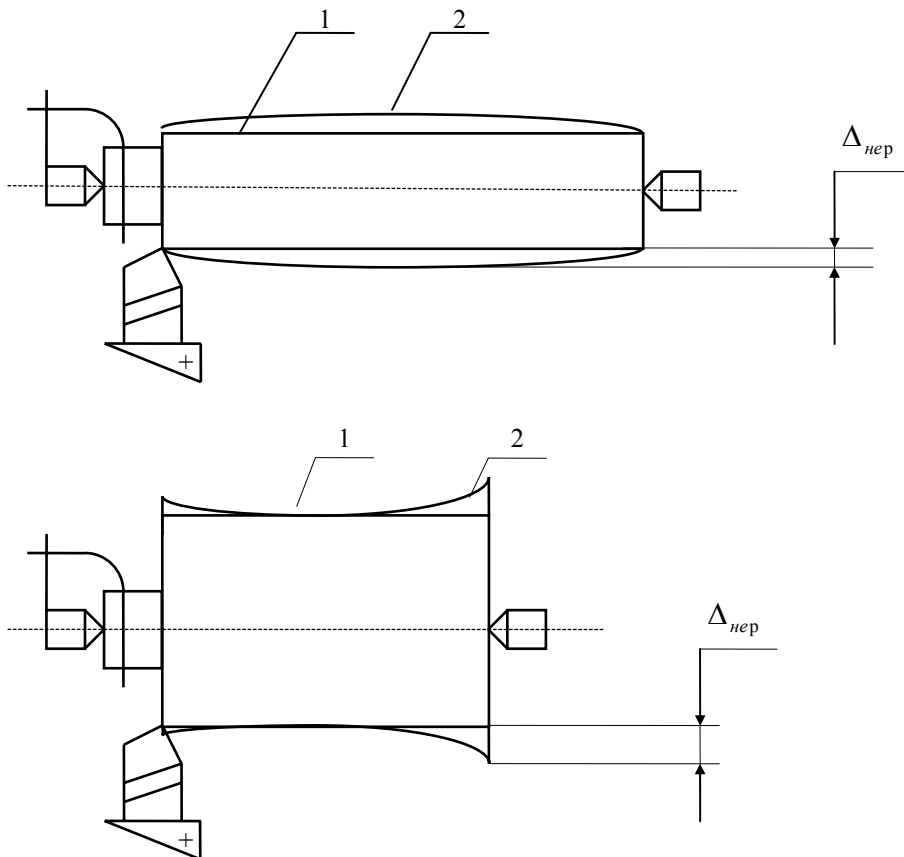
$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n, \quad (10)$$

а

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \dots + \frac{1}{j_n}, \quad (11)$$

где ω_i и j_i - податливость и жесткость i -го элемента ТС.

Если жесткость элементов станка очень велика, а жесткость заготовки мала (обточка длинного и тонкого вала на массивном станке), то отжатия $y_{пб}$ и $y_{зб}$ малы, а $y_{заг}$ значительно. В результате этого форма заготовки станет бочкообразной. Наоборот, при обработке массивной заготовки, дающей минимальный прогиб, на станке малой жесткости ($y_{пб}$ и $y_{зб}$ значительны) форма заготовки получается корсетообразной с наименьшим диаметром в середине заготовки.



- 1 - теоретические (заданные) образующие вала;
 2 - фактические (полученные) образующие вала.

При обтачивании гладкого вала в центрах можно определить величину его прогиба, как прогиба балки, свободно лежащей на двух опорах. Наибольший прогиб вала по его середине

$$y_{заг} = \frac{P_y L^3}{48EI}, \quad (12)$$

где L - длина заготовки; E - модуль упругости; I - момент инерции сечения заготовки: для круглого вала $I=0,05D^4$.

Прогиб заготовки в данном случае в любом сечении, расположенном на расстоянии x от передней бабки

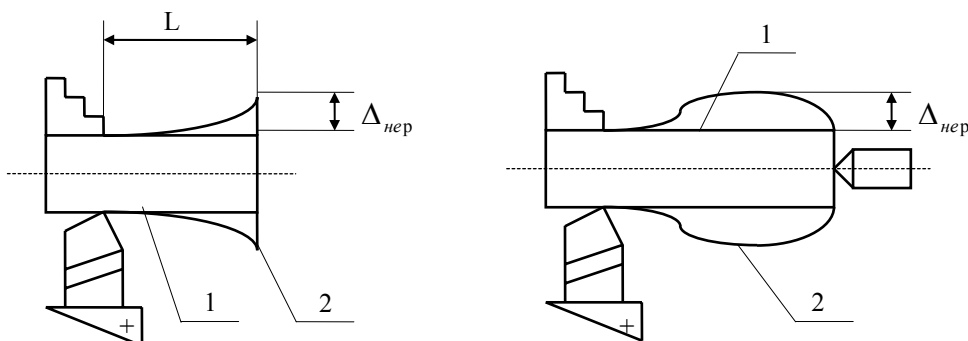
$$y_{заг} = \frac{P_y}{3EI} \cdot \frac{x^2(L-x)^2}{L}. \quad (13)$$

Для гладкого вала, консольно закрепленного в патроне,

$$y_{заг} = \frac{P_y L^3}{3EI}. \quad (14)$$

Если такой валик подпереть центром задней бабки, то

$$y_{заг} = \frac{P_y L^3}{100EI}. \quad (15)$$



ПОГРЕШНОСТИ, ЯВЛЯЮЩИЕСЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬЮ Δy
(ОБУСЛОВЛЕННЫЕ НЕСТАБИЛЬНОСТЬЮ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ВСЛЕДСТВИЕ
НЕСТАБИЛЬНОСТИ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ)

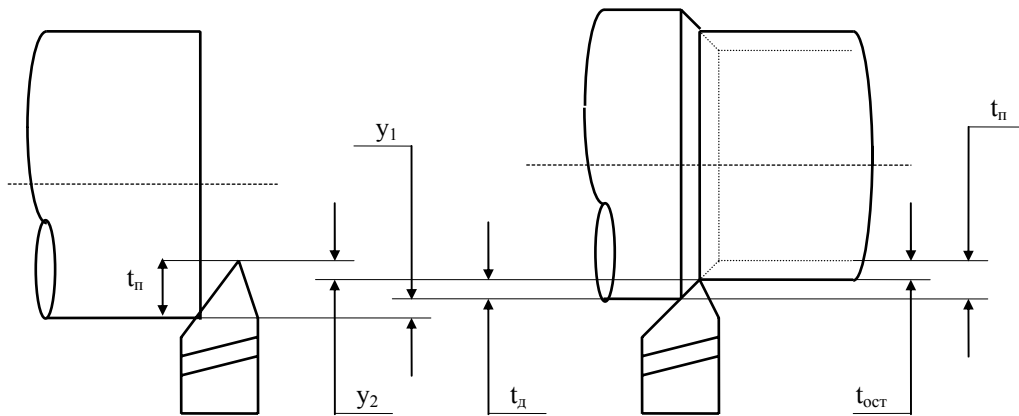
Известно, что радиальная составляющая силы резания определяется следующей формулой:

$$P_y = C_{P_y} \cdot s^{y_{P_y}} \cdot t^{x_{P_y}} \cdot HB^n. \quad (16)$$

Будем считать, что скорость подачи и твердость обрабатываемого материала – величины постоянные, т.е. изменяющимся (нестабильным) фактором является только глубина резания t . Тогда, формулу (16) можно переписать в виде:

$$P_y = Ct^{x_{P_y}}. \quad (17)$$

В процессе обработки имеют место упругие отжатия: заготовки на величину y_1 и инструмента на величину y_2 . Поэтому предполагаемая глубина резания t_n уменьшается до фактической (действительной), как это показано на рисунке:



Можно записать, что

$$y_1 + y_2 = t_n - t_d = t_{ост}, \quad (17)$$

причем

$$y_1 = \frac{P_y}{j_{заг}}; \quad y_2 = \frac{P_y}{j_{инст}}. \quad (18)$$

Поэтому

$$t_{ост} = y_1 + y_2 = P_y \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{инст}} \right) = \frac{P_y}{j}, \quad (19)$$

где $j_{заг}$, $j_{инст}$, j – жесткости соответственно заготовки, инструмента и суммарная. Относительно радиальной составляющей силы резания можно записать следующую систему уравнений:

$$P_y = Ct_d^{x_{P_y}}; \quad (20)$$

$$P_y = t_{ост} \cdot j.$$

Из этой системы определяется $t_{ост}$:

$$t_{ост} = \frac{C \cdot t_d^{x_{P_y}}}{j}. \quad (21)$$

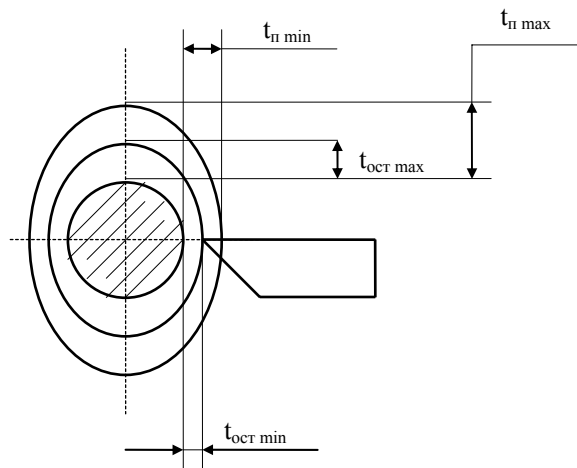
Учитывая, что в соответствии с (17) $t_d = t_n - t_{ост}$, получается:

$$t_{ост} = \frac{C \cdot (t_n - t_{ост})^{x_{P_y}}}{j}. \quad (22)$$

Из уравнения (22) величина $t_{ост}$ может быть определена численными методами. Однако, учитывая что для большинства обрабатываемых материалов $x_{P_y} \cong 1$, приняв $x_{P_y} = 1$ имеем:

$$t_{ocm} = \frac{Ct_n}{j + \frac{c}{j}}. \quad (23)$$

Предположим, что на обрабатываемой заготовке имеется погрешность формы - овальность. Тогда непостоянство свойств срезаемого слоя приводит к колебаниям силы резания, вследствие изменения глубины резания в процессе стружкообразования по следующей схеме:



Рассматриваемая погрешность Δy определяется как:

$$\Delta y = t_{очст. max} - t_{очст. min}, \quad (24)$$

где $t_{очст. max}$ и $t_{очст. min}$ - наибольшее и наименьшее значения величины $t_{очст}$, соответствующие наибольшему и наименьшему отжатию в технологической системе.

Соответственно, искомая погрешность, определяемая формулой (24), выразится в следующем виде:

$$\Delta y = \frac{\frac{C}{j}(t_{n max} - t_{n min})}{1 + \frac{c}{j}}. \quad (25)$$

Замечая, что

$$t_{n max} - t_{n min} = \Delta_{заг}, \quad (26)$$

окончательно получаем:

$$\Delta y = \frac{c \Delta_{заг}}{j + c}. \quad (27)$$

Анализируя уравнение (27), можно отметить, что при малой жесткости системы (малые j) исправления формы заготовки не происходит: исходная погрешность наследуется полностью. С увеличением жесткости технологической системы возрастает т.н. «уточнение», определяемое как:

$$q = \frac{\Delta_{заг}}{\Delta_{дем}}, \quad (28)$$

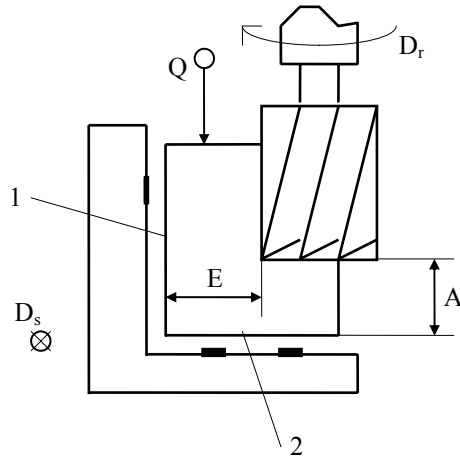
где q - уточнение, обеспечиваемое данным оборудованием.

ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ ε

Погрешность установки ε заготовок в приспособлении состоит из погрешности

базирования ε_b , погрешности закрепления ε_z и погрешности положения заготовки $\varepsilon_{пр}$, вызываемой неточностью приспособления.

Погрешностью закрепления ε_z называется разность предельных расстояний от исходной базы до установленного на размер инструмента в результате смещения обрабатываемых заготовок под действием силы закрепления.

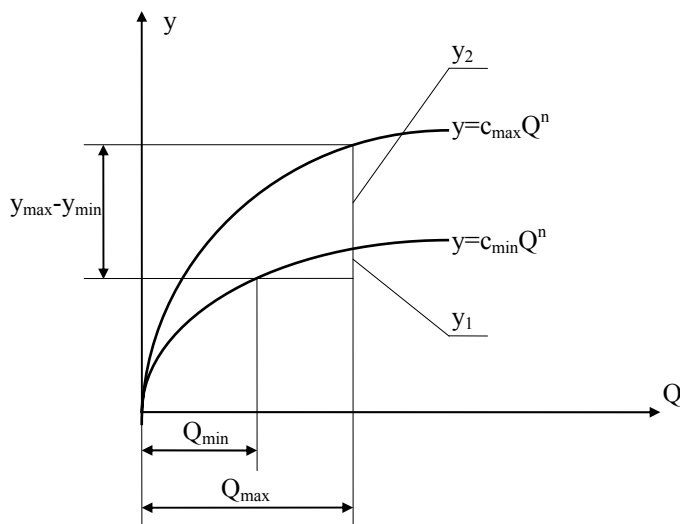


Погрешность закрепления заготовки относительно размера A не равна нулю ($\varepsilon_{zA} \neq 0$), тогда как для размера E она равна нулю ($\varepsilon_{zE} = 0$), т.к. исходная база 1 не перемещается при закреплении заготовки.

Наибольшие перемещения исходной базы 2 наблюдаются в стыке заготовка - установочные элементы. Зависимость контактных деформаций для таких стыков выражается в общем виде нелинейной закономерностью

$$y = cQ^n, \quad (29)$$

где c - коэффициент, характеризующий вид контакта, материал заготовки, шероховатость поверхности, структуру поверхностного слоя. Для партии заготовок при данной схеме установки этот коэффициент изменяется от c_{\min} до c_{\max} ; Q - сила, действующая на установочный элемент (опору); n - показатель степени, причем $n < 1$.



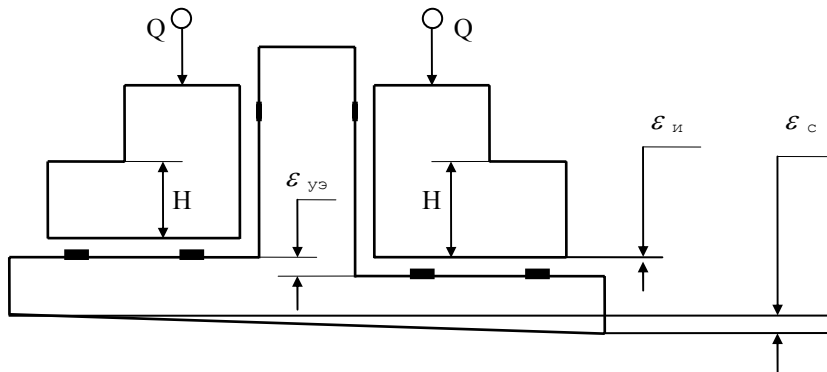
В зажимных устройствах приспособлений сила закрепления при обработке партии заготовок колеблется от Q_{\min} до Q_{\max} . Применительно к размеру A:

$$\varepsilon_z = y_{\max} - y_{\min}. \quad (30)$$

Погрешность положения заготовки $\varepsilon_{пр}$, вызываемая неточностью приспособления, определяется ошибками изготовления и сборки его установочных элементов $\varepsilon_{уэ}$, их прогрессирующим износом $\varepsilon_{и}$, а также ошибками установки и фиксации приспособления на станке ε_c .

Составляющая $\varepsilon_{yз}$ при использовании одного приспособления представляет собой систематическую постоянную погрешность, которую можно устранить соответствующей настройкой станка. При использовании нескольких одинаковых приспособлений (приспособлений-дублеров и приспособлений-спутников), а также многоместных приспособлений, эта погрешность не компенсируется и входит полностью в погрешность $\varepsilon_{пр}$.

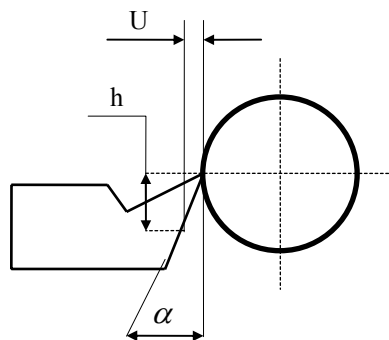
Величины ε_c , $\varepsilon_{yз}$ и $\varepsilon_{и}$ покажем на примере двухместного приспособления. Они влияют на размер Н, выдерживаемый при обработке.



Составляющая ε_c возникает в результате смещений и перекосов корпуса приспособления на столе, планшайбе или шпинделе станка. При многократном периодическом переустанавливании приспособления, ε_c является не компенсируемой случайной величиной, изменяющейся в определенных пределах. При однократном неизменном закреплении приспособления на станке, величина ε_c остается постоянной в течение эксплуатации данного приспособления.

ПОГРЕШНОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РАЗМЕРНЫМ ИЗНОСОМ ИНСТРУМЕНТА $\Delta_{и}$

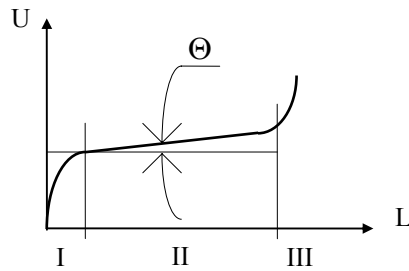
При обработке резанием износ инструмента происходит по задней поверхности, следствием чего является "отдаление" главного режущего лезвия от обрабатываемой поверхности на величину U.



В направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности, величину U можно определить по формуле:

$$U = h \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (31)$$

где h - ширина ленточки износа по задней поверхности; α - главный задний угол. Размерный износ инструмента происходит по следующему закону.



Первый период работы инструмента называется "приработкой" и характеризуется непродолжительностью и повышенным размерным износом. Второй (основной) период характеризуется равномерным износом инструмента, а соответствующий участок кривой прямолинеен и наклонен к оси абсцисс под небольшим углом. Третий период соответствует катастрофическому износу инструмента.

Интенсивность размерного износа на втором участке называют относительным (удельным) износом инструмента:

$$u = \operatorname{tg}\Theta = \frac{U}{L} \left[\frac{\text{мкм}}{\text{км}} \right], \quad (32)$$

где U - размерный износ инструмента, полученный за время основного периода его работы; L - путь резания, соответствующий этому же периоду работы инструмента.

Погрешность может рассматриваться как переменная систематическая или случайная погрешность с равномерным законом распределения.

ПОГРЕШНОСТЬ НАСТРОЙКИ Δ_n

Настройкой называется процесс подготовки технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению определенной технологической операции.

Известны два принципиально различных метода настройки.

По первому методу установку режущего инструмента производят последовательным приближением к заданному настроечному размеру в результате обработки на станке пробных деталей, размеры которых проверяют универсальными измерительными инструментами. По данным проверки пробных деталей определяют величину и направление необходимого смещения инструмента.

По второму методу режущий инструмент устанавливают в требуемое, заранее определенное по эталону положение в нерабочем (статическом) состоянии станка или вне его.

Погрешностью настройки Δ_n называют поле рассеяния положений инструмента (расстояние между двумя его предельными положениями).

При выполнении настройки по пробным заготовкам Δ_n состоит из погрешности измерения $\Delta_{\text{изм}}$ пробных заготовок, погрешности регулирования $\Delta_{\text{рег}}$ положения инструмента, а также погрешностью метода расчета $\Delta_{\text{расч}}$ смещения инструмента.

При этом

$$\Delta_{\text{расч}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (33)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение, характеризующее точность данного метода обработки; n - число пробных заготовок ($n = 5 \dots 10$).

Приблизительно можно считать, что

$$\sigma = \frac{T_{\omega}}{6}, \quad (34)$$

где T_{ω} - поле допуска, соответствующее средней экономической точности данного метода обработки.

При установке инструмента по эталону, необходимое положение инструментов в радиальном и продольном направлениях определяют доведением

их режущих кромках до соприкосновения с соответствующими поверхностями эталона. При этом Δ_n зависит от погрешности изготовления эталона $\Delta_{изг.эт.}$, которая может находиться в пределах 10 – 20 мкм, а также погрешность установки инструмента $\Delta_{уст.инст.}$, которая составляет 2 – 50 мкм.

ПОГРЕШНОСТЬ ОТ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Δ_T

Нагрев технологической системы происходит под действием тепла, выделяющегося в зоне резания и в частях станка в результате потерь на трение. Тепловое состояние системы может быть стационарным и нестационарным в зависимости от соотношения подводимого и отводимого тепла.

Тепловые деформации заготовки определяют по средней температуре ее нагрева:

$$t = \frac{Q}{cV\rho}, \quad (35)$$

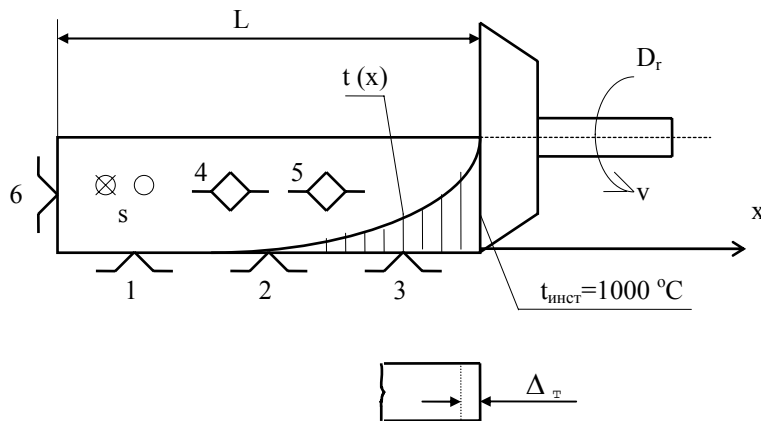
где Q – полученное заготовкой тепло резания, ккал; c – удельная теплоемкость материала заготовки, ккал/кг·К; ρ – плотность материала заготовки, кг/см³; V – объем заготовки, см³.

Тепловое расширение (деформация) в направлении линейного размера L :

$$\Delta_T = \alpha L t, \quad (36)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения материала заготовки.

Например, при шлифовании призматической заготовки:



Удлинение заготовки может быть определено в виде:

$$\Delta_T = \alpha \int_0^L t(x) dx \quad (37)$$

При нестационарном тепловом поле заготовки процесс нагрева можно выразить уравнением теплопроводности:

$$a \nabla^2 t = \frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad (38)$$

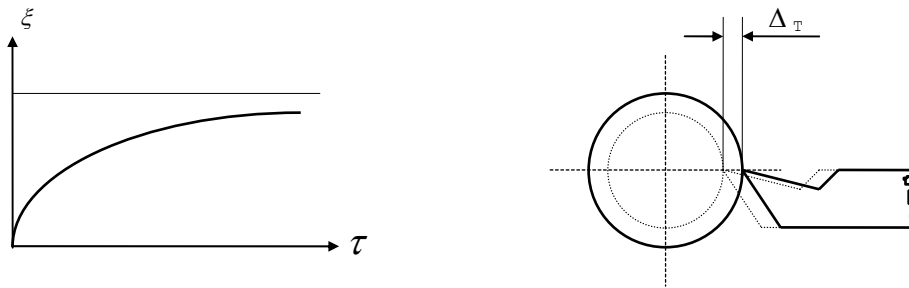
где $a = \frac{\lambda}{c\rho}$, причем λ – коэффициент теплопроводности, τ – время;

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}.$$

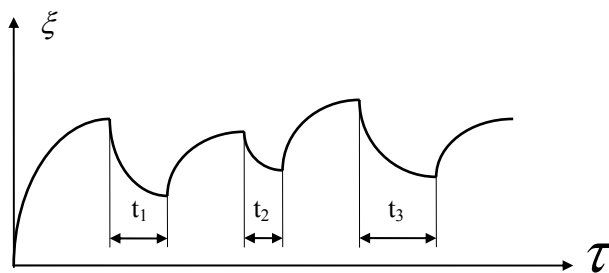
При одномерном тепловом потоке

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (39)$$

Тепловые деформации ξ режущего инструмента могут достигать при обычных условиях 30 - 50 мкм и вызывают погрешность обработки Δ_T по следующей схеме:



Изменение длины резца при обработке партии заготовок имеет следующий вид:



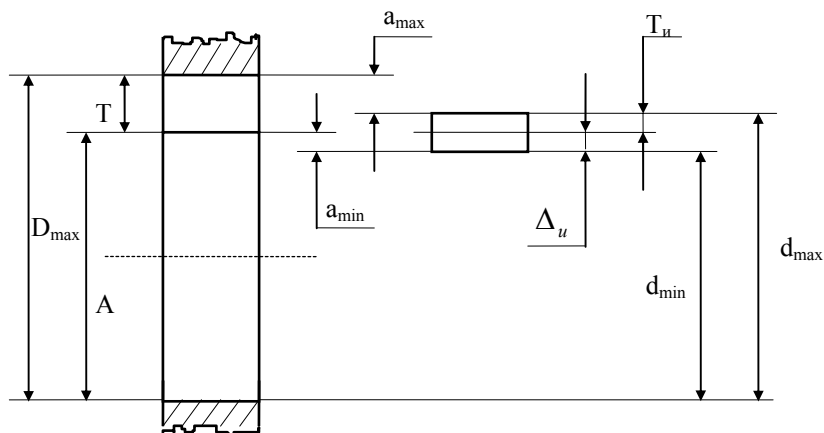
При отсутствии ритмичности ($t_1 \neq t_2, t_2 \neq t_3$) деформации резца различны. В этом случае возникает рассеяние размеров деталей в партии.

ПРАВИЛА СЛОЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

1. Систематические погрешности складываются алгебраически, т.е. с учетом их знака:

$$\overline{\Delta_{\Sigma}} = \overline{\Delta_1} + \overline{\Delta_2} + \dots + \overline{\Delta_n} \quad (40)$$

В качестве примера определим суммарную погрешность механической обработки при сверлении отверстия в печатной плате. То же относится и к обработке любым размерным инструментом, т.е. для случаев, когда выдерживаемый размер определяется копированием размера инструмента.



Здесь обозначено: a_{\max} - увеличение диаметра (разбивка) отверстия при наибольшем размере инструмента d_{\max} ; T_u - допуск на диаметр инструмента, т.е. погрешность его изготовления, Δ_u - допустимый износ при наименьшем предельном

размере инструмента, a_{\min} - увеличение диаметра отверстия при допустимом наименьшем диаметре инструмента с учетом его размерного износа. Суммарная погрешность, таким образом, составит:

$$\Delta_{\Sigma} = T = a_{\max} + T_{и} + \Delta_u - a_{\min} . \quad (41)$$

Пользуясь этой формулой, можно решать и обратную задачу: по величинам T , a_{\max} , a_{\min} находить при заданном Δ_u допуск $T_{и}$, или при заданном $T_{и}$ допустимое значение Δ_u .

2. Случайные погрешности суммируются по правилу квадратного корня. В предположении, что Δ_{Σ} подчиняется нормальному закону распределения, она рассчитывается как:

$$\Delta_{\Sigma} = t \sqrt{\lambda_1 \Delta_1^2 + \lambda_2 \Delta_2^2 + \dots + \lambda_n \Delta_n^2} . \quad (42)$$

Это обусловлено тем, что дисперсия

$$D\{ \xi + \eta \} = D\{ \xi \} + D\{ \eta \} . \quad (43)$$

В приведенной формуле: t - коэффициент, определяющий процент риска получения брака при обработке: при $t=1$ процент риска равен 32%, при $t=2$, он равен 4,5%, при $t=3$ он равен 0,27%; λ_i - коэффициенты относительного рассеяния характеризующие отклонения действительных кривых нормального распределения.

Для кривой распределения, близкой с нормальной $\lambda=1/9$. Для кривой равной вероятности и в случае, когда о формуле кривой распределения ничего неизвестно, рекомендуется принимать $\lambda=1/3$. Если форма кривой распределения приближается к форме треугольника, то $\lambda=1/6$.

В качестве примера рассмотрим, чему равна погрешность настройки, рассматриваемая как случайная погрешность, состоящая, как указывалось выше, для метода пробных деталей, из $\Delta_{изм}$, $\Delta_{рег}$ и $\Delta_{рас}$.

$$\Delta_n = t \sqrt{\lambda_1 \Delta_{изм}^2 + \lambda_2 \Delta_{рег}^2 + \lambda_3 \Delta_{рас}^2} \quad (44)$$

Принимаем $t=3$, поскольку обычно так рекомендуется; $\lambda_1=\lambda_2=1/3$ - закон равной вероятности, $\lambda_3=1/3$ - неизвестный закон, т.к. $\Delta_{расч} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Если предполагать что Δ_n подчиняется нормальному закону распределения, то

$$\Delta_n = 3 \sqrt{\frac{1}{3} \Delta_{изм}^2 + \frac{1}{3} \Delta_{рег}^2 + \frac{1}{3} \Delta_{рас}^2} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\Delta_{изм}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{рас}^2} \quad (45)$$

Если предполагать что, Δ_n подчиняется закону равной вероятности, то

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{изм}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{рас}^2} \quad (46)$$

Другой пример расчета суммарной погрешности установки, состоящей из \mathcal{E}_6 , \mathcal{E}_3 и $\mathcal{E}_{пр}$. Составляющая \mathcal{E}_6 - случайная погрешность, которая подчиняется закону нормального распределения. Составляющая \mathcal{E}_3 - погрешность закрепления заготовки. Величины $y_1 = C_{\min} (Q_{\max}^n - Q_{\min}^n)$ и $y_2 = C_{\max} (Q_{\max}^n - Q_{\min}^n) Q_{\max}^n$ - случайные, подчиняющиеся нормальному закону распределения, поэтому

$$\varepsilon_3 = \sqrt{y_1^2 + y_2^2} \quad (47)$$

Составляющая $\varepsilon_{\text{пр}}$ - погрешность положения заготовки, вызываемая неточностью приспособления, определяется ошибками изготовления и сборки его установочных элементов $\varepsilon_{yэ}$, их прогрессирующим износом ε_u , а также ошибками установки и фиксации приспособления на станке ε_c . Распределение этих величин можно принять по нормальным законам (для приспособлений - спутников):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 3\sqrt{\frac{1}{9}\varepsilon_{yэ}^2 + \frac{1}{3}\varepsilon_u^2 + \frac{1}{9}\varepsilon_c^2} = \sqrt{\varepsilon_{yэ}^2 + 3\varepsilon_u^2 + \varepsilon_c^2} \quad (48)$$

Погрешность установки, как суммарное поле рассеивания выполняемого размера

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \quad (49)$$

3. Систематические погрешности со случайными складываются арифметически. Поскольку знак случайной погрешности невозможно предвидеть, то нужно считаться с худшим вариантом.

В качестве примера рассмотрим суммарную погрешность, которая возникает при обработке одной партии заготовок в одном приспособлении на одном станке при одной настройке. В этом случае Δ_y - случайная погрешность, связанная со случайными неравномерностями припуска. Δ_n ,

$\Sigma \Delta_\phi$ - систематические погрешности, причем постоянные. Δ_u - переменная систематическая погрешность, но она может рассматриваться, как случайная с равномерным законом распределения. Тогда

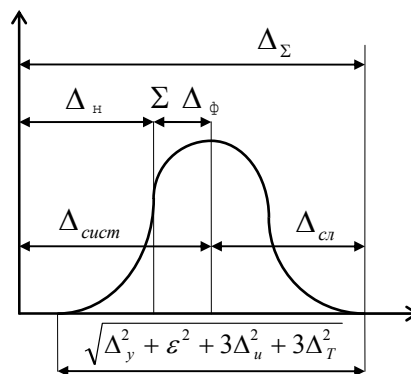
$$\Delta_\Sigma = 3\sqrt{\frac{1}{9}\Delta_y^2 + \frac{1}{9}\varepsilon^2 + \frac{1}{3}\Delta_u^2 + \frac{1}{3}\Delta_T^2} + \Delta_n + \Sigma\Delta_\phi \quad (50)$$

Сокращая коэффициенты, получаем:

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2} + \Delta_n + \Sigma\Delta_\phi \quad (51)$$

ε и Δ_T - случайные погрешности, причем в этом случае

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{пр}} + \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2} \quad (52)$$



ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Относительный износ u_0 (мкм/км) резцов при чистовом точении.

Материал инструмента	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун, НВ 375-400
T60K6	0,7-4	0,7-4	-	-
T30K4	3-4	4-6	-	-
T15K6	5-7	9-10	-	-
T5K10	8	12-13	-	-
BK9	-	65	-	-
BK8	-	17-25	13-14	-
BK6	-	-	14	-
BK4	-	15-30	-	-
BK3	-	9-10	6	16
BK2	-	-	4-26	12

Таблица 2. Станки токарные многорезцовые и многорезцово-копировальные горизонтальные полуавтоматические (ГОСТ 16472-79)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм				
		160	200	250	320	400
		Наибольшее допустимое перемещение под нагрузкой продольного суппорта относительно оправки, закрепленной в шпинделе или переходной втулке, мкм	Н	160	220	320
	П	100	140	200	280	400
То же, относительно оправки, закрепленной в пиноли, мкм	Н	200	300	450	670	1000
	П	120	200	280	400	630
Наибольшее допустимое перемещение под нагрузкой поперечного суппорта относительно оправки, закрепленной в шпинделе или переходной втулке, мкм	Н	300	450	670	1000	1500
	П	200	280	400	630	1000
Сила, КН	Н	6	10	16	26	40
	П	5	8	12	20	30

Таблица 3. Станки токарные и токарно-винторезные (ГОСТ 18097-72)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм					
		100	160	250	400	630	1000
Наибольшее смещение (мкм) резцедержателя и оправки, установленной: в шпинделе передней бабки	Н	40	70	130	200	350	600
	П	25	40	80	130	220	400
в пиноли задней бабки	Н	50	100	160	270	470	800
	П	30	60	100	170	300	500
Сила, Н	Н	686	1372	2744	5488	10976	21952
	П	549	1098	2195	4390	8781	17562

Таблица 4. Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах силы резания.

Материал рабочей части	Вид обработки	Коэффициенты и показатели степеней			
		C_{py}	x	y	n
Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	243	0,9	0,6	-0,3
Твердый сплав	Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	355	0,6	0,8	-0,3
Твердый сплав	Отрезание и прорезание	173	0,73	0,67	0
Быстрорежущая сталь	Наружное продольное точение, подрезание и растачивание	125	0,9	0,75	0
Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	-	-	-	-

Таблица 5. Значение поправочного коэффициента k_{φ} от главного угла в плане.

Материал режущей части	Величина угла, φ^0	Поправочные коэффициенты, k_{φ}
Твердый сплав	30	1,3
Твердый сплав	45	1
Твердый сплав	60	0,77
Твердый сплав	90	0,5
Быстрорежущая сталь	30	1,63
Быстрорежущая сталь	45	1
Быстрорежущая сталь	60	0,71
Быстрорежущая сталь	90	0,44

Таблица 6. Полуавтоматы (станки) токарные многорезцовые и многорезцово-копировальные горизонтальные (ГОСТ 16472-79)

Характер образца изделия	Сталь НВ 161-207								
	до 160			160-250			свыше 250		
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм									
Длина λ (обработки I_d)	150			300			300		
Постоянство диаметра, С :	Классы точности станков								
	Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В
в поперечном сечении	10	6	4	12	8	5	16	10	6
в продольном сечении	16	10	6	20	12	8	25	16	10

Таблица 7. Допустимые погрешности измерения $\Delta_{изм}$ (мкм) линейных размеров (длин, диаметров) в зависимости от допусков и качеств точности размеров.

Квалитеты	Погрешности	Номинальные размеры, мм									
		св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св.30 до 50	св.50 до 80	св.80 до 120	св.120 до 180	св.180 до 250	св.250 до 315
4	IT	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16
	$\Delta_{изм}$	1,4	1,4	1,7	2	2,4	2,8	3,5	4	4,5	5,5
5	IT	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23
	$\Delta_{изм}$	1,4	2	2,8	3	4	4,5	5	6	7	8
6	IT	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32
	$\Delta_{изм}$	2,5	2,5	3	4	4,5	5,5	6	7	9	10
7	IT	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52
	$\Delta_{изм}$	3,5	4,5	5,5	6	7	9	10	12	13	15
8	IT	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81
	$\Delta_{изм}$	4,5	5,5	7	8	10	12	13	16	18	20
9	IT	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130
	$\Delta_{изм}$	7	9	10	13	15	18	20	25	25	30
10	IT	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210
	$\Delta_{изм}$	10	12	14	15	20	20	25	30	35	40
11	IT	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320
	$\Delta_{изм}$	15	18	20	25	30	40	40	50	60	60
12	IT	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520
	$\Delta_{изм}$	20	30	35	40	50	60	70	80	90	100
13	IT	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810
	$\Delta_{изм}$	35	40	50	70	80	90	100	120	140	150
14	IT	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300
	$\Delta_{изм}$	60	70	80	100	120	150	170	200	200	250
15	IT	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100
	$\Delta_{изм}$	100	100	150	150	200	250	250	300	350	400
16	IT	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200
	$\Delta_{изм}$	150	200	200	250	300	400	400	500	600	600

Таблица 8. Погрешность регулирования (установки) резца при наладке на размер в поперечном направлении.

Метод регулирования положения резца	Δ_p , мкм
По лимбу с ценой деления, мм	
0,01	5-10
0,02	10-15
0,03	10-30
0,05	15-30
0,1-0,5	30-70
По индикаторному упору с ценой деления прибора, мм	
0,01	10-15
0,002	3-5
0,001	1-2
По жесткому упору	20-50 (10-130)
По эталону:	
резец закрепляют винтами резцедержателя после касания его с эталоном	100-130
резец, закрепленный в резцедержателе, подводят к эталону винтом поперечной подачи	20-30
то же, но с контролем положения резца с помощью бумажного щупа	10-20
то же, но с контролем положения резца с помощью металлического щупа	7-10
Установка взаимозаменяемого режущего инструмента со сменой:	
резца, установленного на размер вне станка с помощью индикатора или миниметра	20-30
блока с резцами, установленными на размер вне станка	10-50
режущей пластинки (или путем поворота круглой пластинки)	25