

Теоретические основы технологии машиностроения

Технология машиностроения

Точность в машиностроении

Под точностью в машиностроении понимается степень соответствия производимых изделий их заранее установленным параметрам.

Под точностью детали понимается ее соответствие требованиям чертежа и характеризуется следующими параметрами:

- точностью размеров;
- точностью формы поверхностей;
- точностью относительного расположения поверхностей;
- шероховатостью поверхностей;
- волнистостью поверхности;
- физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Под точностью сборочных единиц понимается соответствие значения параметров изделия заданным в конструкторской документации (ГОСТ 23887-79).

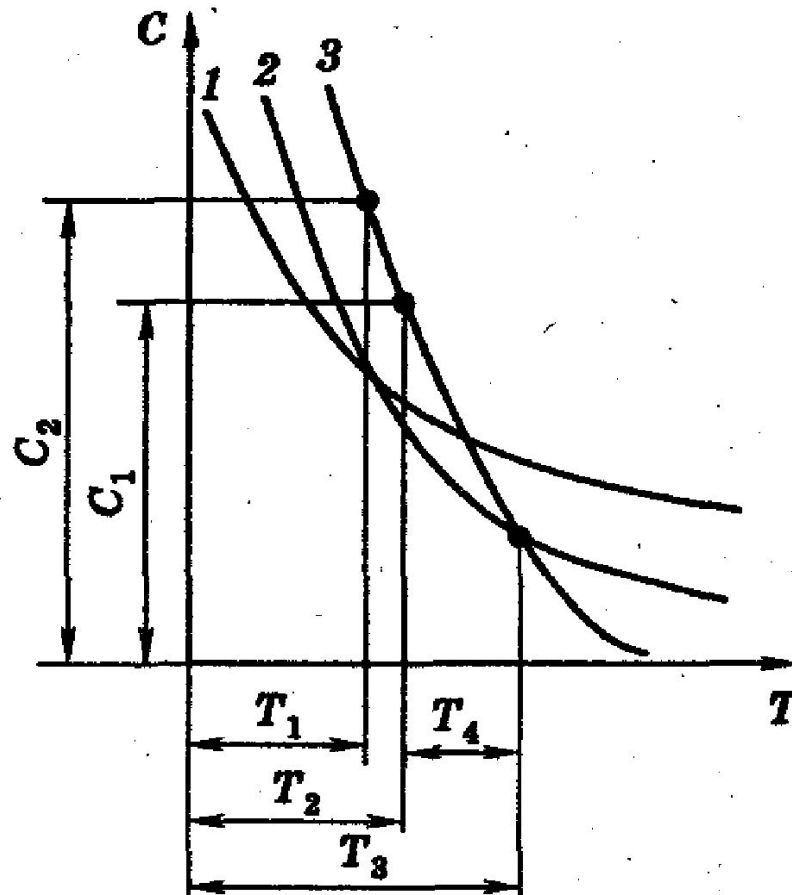
Точность в машиностроении

Точность механической обработки

Достижимая и экономическая точность

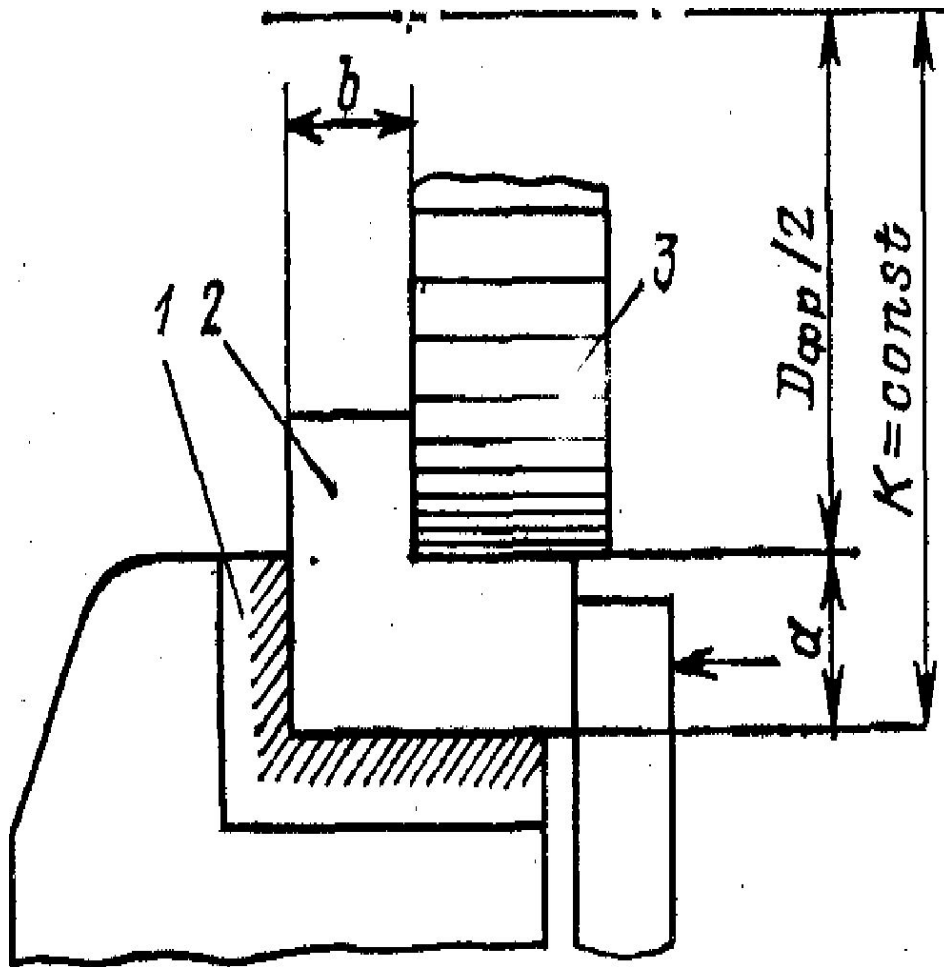
Под *достижимой точностью* понимают точность, которая может быть обеспечена в особых, необычных для данного производства условиях рабочим высокой квалификации.

Экономическая точность — это такая точность, которая при минимальных затратах на обработку достигается в нормальных производственных условиях, рабочим квалификации, соответствующей характеру работы.



Точность в машиностроении

Точность механической обработки



Методы достижения точности

- метод пробных ходов и промеров;
- метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках;
- метод автоматического регулирования точности.

Точность в машиностроении

Точность механической обработки

Действительные отклонения параметров реальной детали от их заданных номинальных значений называют *погрешностью изготовления*

Классификация погрешностей механической обработки



Систематические и случайные погрешности. Понятия

Систематическая погрешность — это такая погрешность, которая для всех заготовок рассматриваемой партии остается постоянной или же закономерно изменяется при переходе от каждой обрабатываемой заготовки к следующей.

Случайная погрешность — это такая погрешность, которая для заготовок рассматриваемой партии имеет различные значения, причем ее появление не подчиняется никакой видимой закономерности.

Точность в машиностроении
Погрешности механической обработки

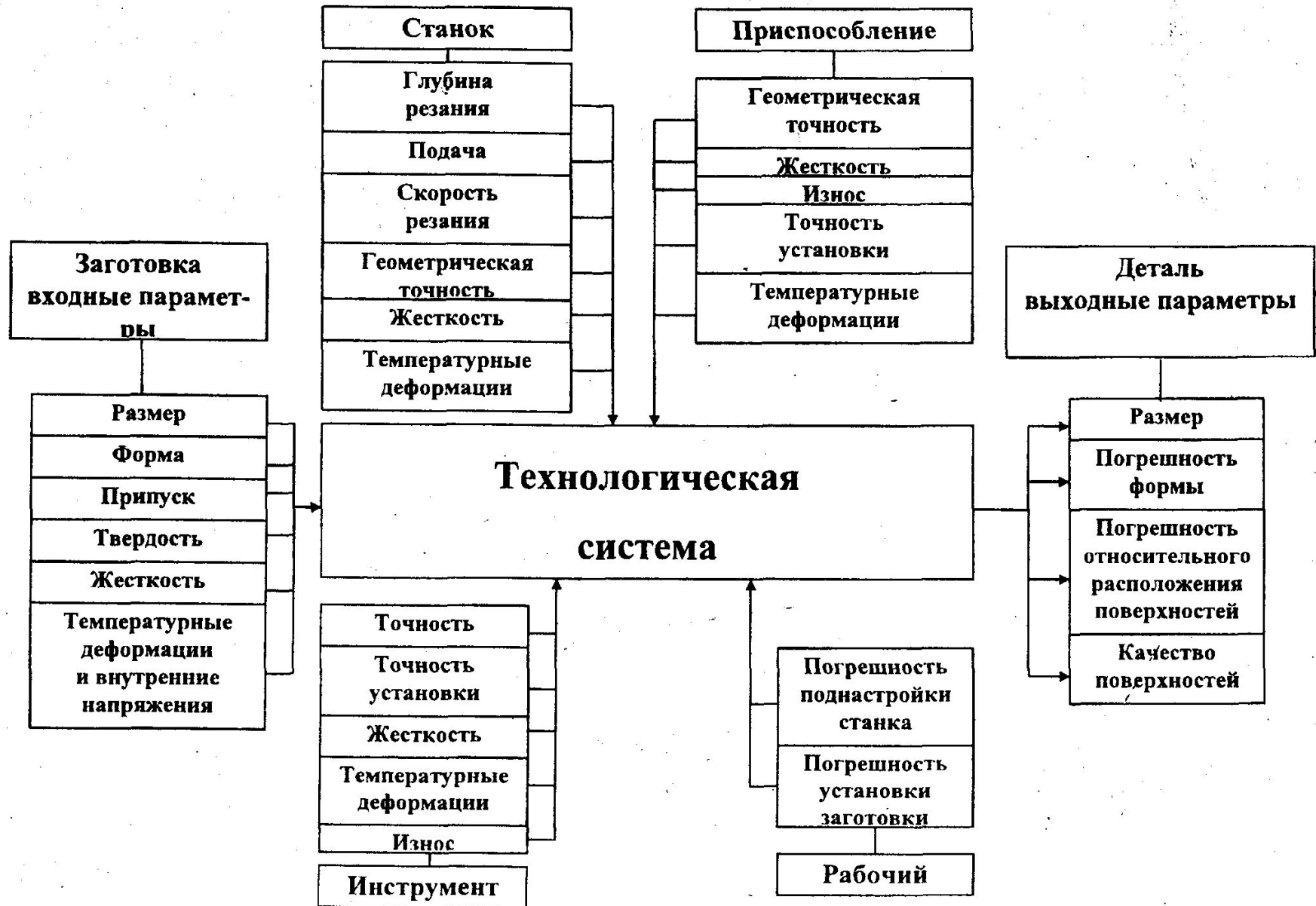
Методы определения
ожидаемой точности

```
graph TD; A[Методы определения ожидаемой точности] --> B[Расчетный метод]; A --> C[Методы математической статистики];
```

Расчетный метод

Методы
математической
статистики

Факторы, влияющие на точность механической обработки



Погрешности механической обработки

Расчетный метод

К числу первичных погрешностей обработки относятся:

- погрешность из-за геометрической неточности станка, приспособления и изготовления режущего инструмента;
- погрешность настройки станка;
- погрешность установки заготовки;
- погрешность от упругих деформаций технологической системы;
- погрешность от износа режущего инструмента;
- погрешность из-за температурных деформаций системы;
- погрешность из-за остаточных напряжений в заготовке;

Геометрическая точность станков и погрешности обработки

Основным характеристикам геометрической точности станков:

- радиальное и торцевое биение шпинделей;
- биение конического отверстия в шпинделе;
- прямолинейность и параллельность направляющих;
- параллельность осей шпинделей токарных станков направлению движения кареток в вертикальной и горизонтальной плоскости;
- перпендикулярность осей шпинделей сверлильных станков относительно плоскости столов и др.

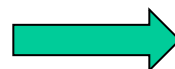
Погрешности станков приводят к:



искажает форму поверхности в поперечном сечении;



вызывает разбивку отверстия, т.е. увеличение его диаметра;



погрешность формы в виде конусности;



погрешность формы в виде конусности;

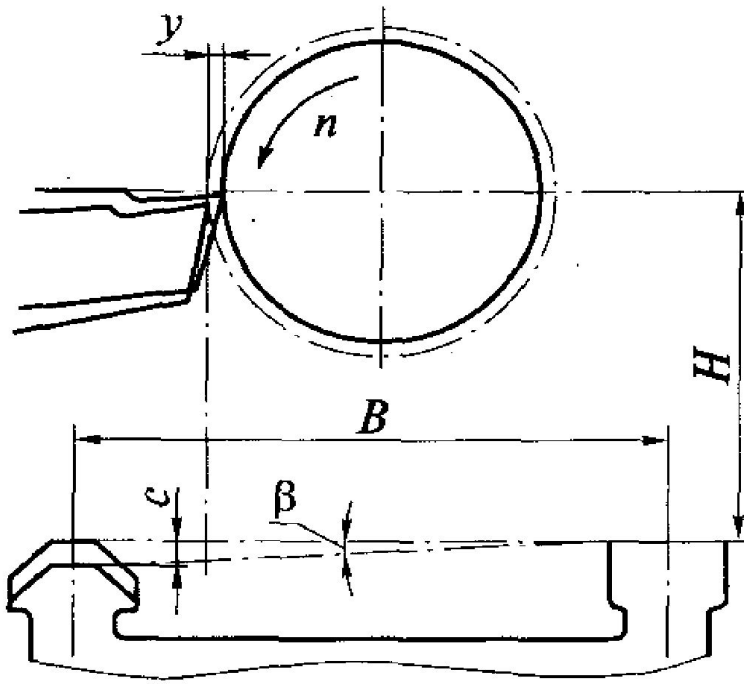


- отклонение от перпендикулярности

Геометрическая точность станков и погрешности обработки

Износ трущихся (контактных) поверхностей **станка**, и особенно неравномерный их износ, приводит к изменению взаимного расположения отдельных узлов станка, следствием чего является возникновение дополнительных погрешностей обрабатываемых деталей. В первую очередь на точность обработки влияет износ направляющих.

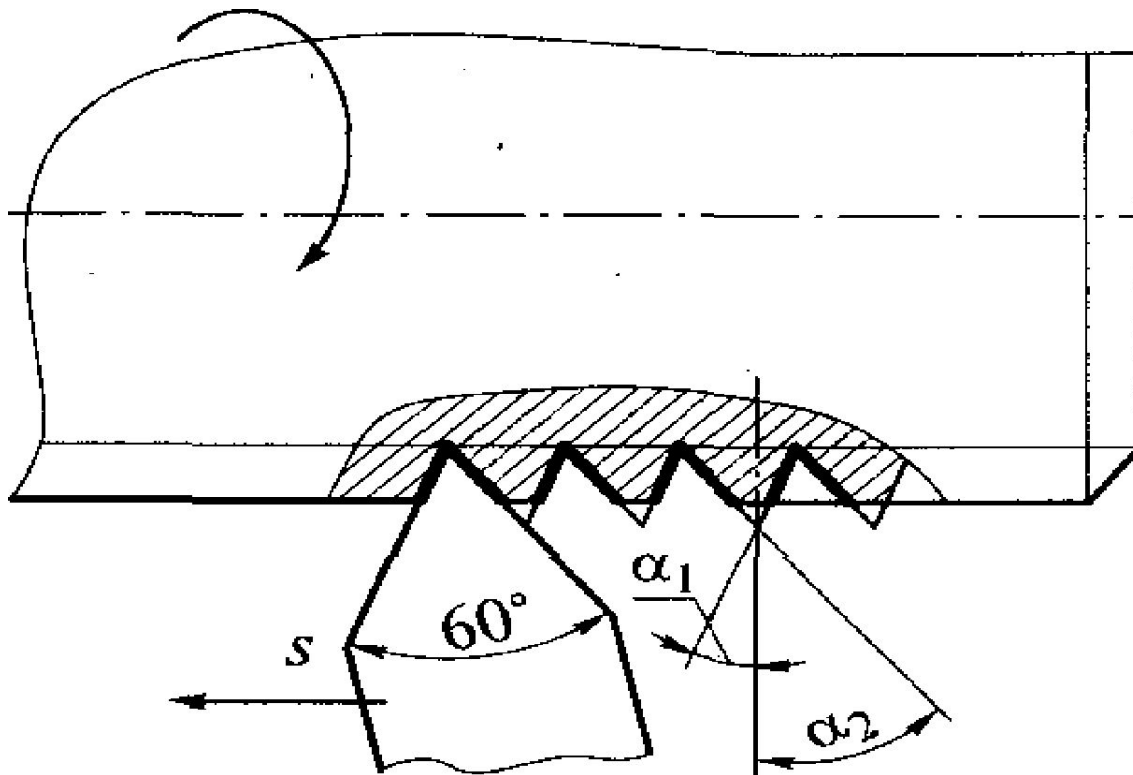
Непрямолинейность направляющих токарного станка в горизонтальной плоскости непосредственно влияет на точность диаметральных размеров, а их местные искривления влекут за собой образование поверхностей с криволинейной образующей.



Погрешности механической обработки

Геометрические неточности режущего инструмента

Погрешность обработки возникает в основном при использовании мерных и фасонных инструментов - разверток, зенкеров, сверл, канавочных резцов, пальцевых и червячных фрез, фасонных резцов, фрез, долбяков, шлифовальных кругов и др.

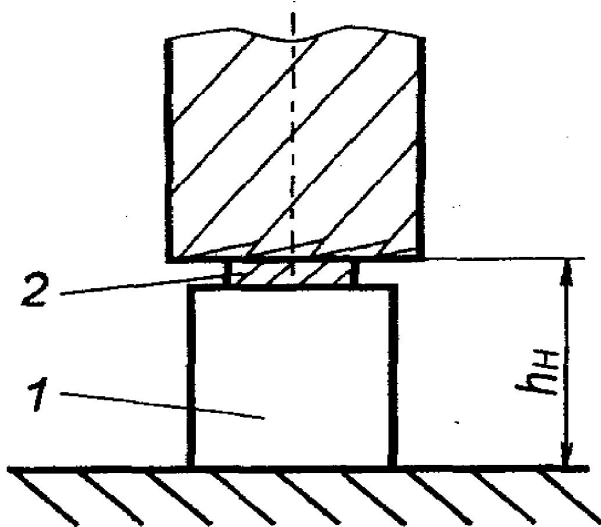


Погрешности настройки станка

Для выполнения технологической¹ операции необходимо подготовить технологическую систему (станок), т.е. установить приспособление, державки, суппорты, оправки, режущие инструменты на станок. Эта подготовка называется наладкой (ГОСТ 3.1109 - 73).

Наладка ведется на неработающем станке или вне станка по калибрам, эталонам, различным измерительным устройствам, устанавливая режущие кромки инструмента на таком расстоянии от технологической базы или других баз инструмента, чтобы получить рабочий настроечный размер

Погрешность настройки влияет на размер обработки и является величиной постоянной при одной настройке и случайной величиной при большом количестве настроек, т.е. подчиняется нормальному закону



»

⋮

Погрешности механической обработки

Погрешности установки заготовки

При установке заготовки в приспособление или на станке для обработки методом автоматического получения размеров достигаемая точность размеров зависит от положения измерительной базы заготовки относительно режущего инструмента.

Измерительной базой называют поверхности, линии или точки заготовки, от которых отсчитывают размеры при измерении или изготовлении (обработке). **Колебания положения измерительной базы заготовки являются причиной возникновения погрешности установки**, вызывающей рассеяние размеров деталей в партии. Погрешность установки заготовки, как одна из составляющих общей погрешности выполняемого размера, состоит из:

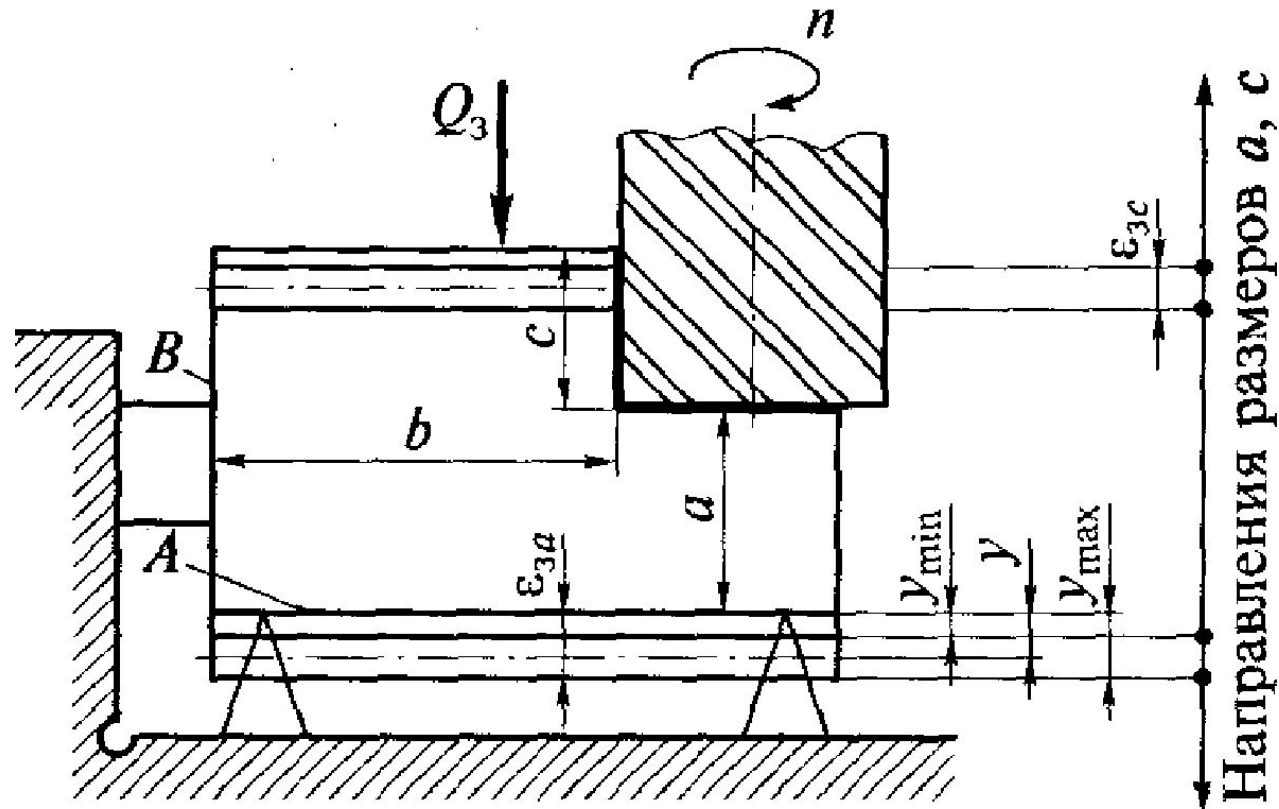
погрешности базирования $\varepsilon_{\text{б}}$,

погрешности закрепления $\varepsilon_{\text{з}}$

погрешности, вызываемой неточностью приспособления $\varepsilon_{\text{пр}}$

Погрешности установки заготовки

Погрешности закрепления

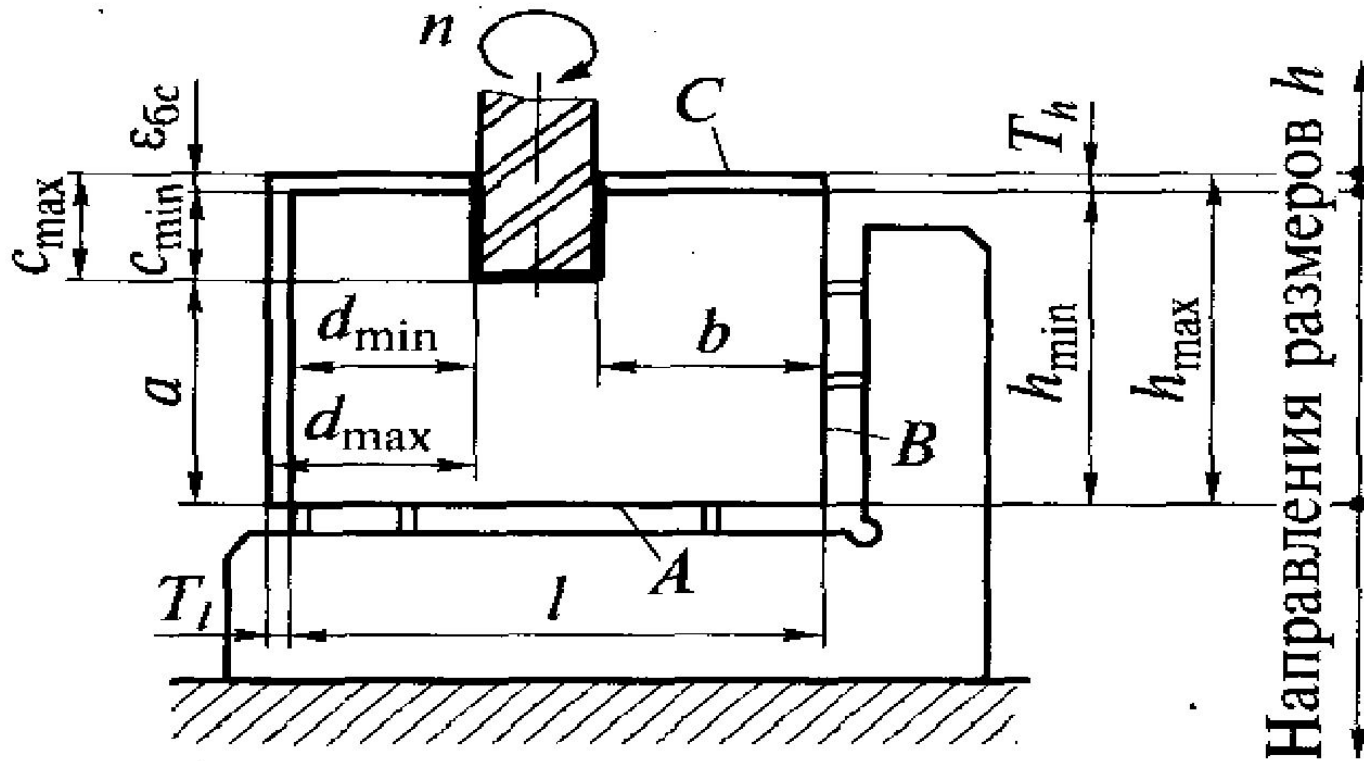


Погрешность ϵ_3 закрепления заготовки представляет собою разность проекций наибольшего и наименьшего смещения y измерительной базы на направление выполняемого размера при приложении к заготовке силы закрепления

$$\epsilon_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha, \quad y = C Q_3^m,$$

Погрешности установки заготовки

Погрешности базирования



Положение фрезы при настройке станка определено относительно плоскостей A и B , являющихся технологическими базами заготовки. Контроль (измерение) размеров a и b выполняют от тех же поверхностей, выступающих теперь в качестве измерительных баз. При совпадении установочных и измерительных баз погрешности базирования для размеров a и b отсутствуют, т. е. $\epsilon_{ba} = 0$ и $\epsilon_{ob} = 0$. Погрешность базирования заготовки для выполнения размера C равна допуску размера h – высоты заготовки:

Погрешности механической обработки

Погрешности от упругих деформаций технологической системы

Технологическая система под действием сил резания, закрепления, инерционных сил деформируется упруго. При этом происходит изменение стыковых зазоров в узлах и деталях системы и деформация обрабатываемой заготовки, деталей станка, приспособления и инструмента. Это приводит к изменению установленного взаимного расположения инструмента и заготовки и возникновению погрешности от упругих отжатий (Δy). Величина упругих отжатий зависит от жесткости системы и сил резания.

Под жесткостью j (Н/мкм) технологической системы понимают способность системы оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил

$$J = P_y / y$$

где P_y – радиальная составляющая силы резания, измеряемая в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности;

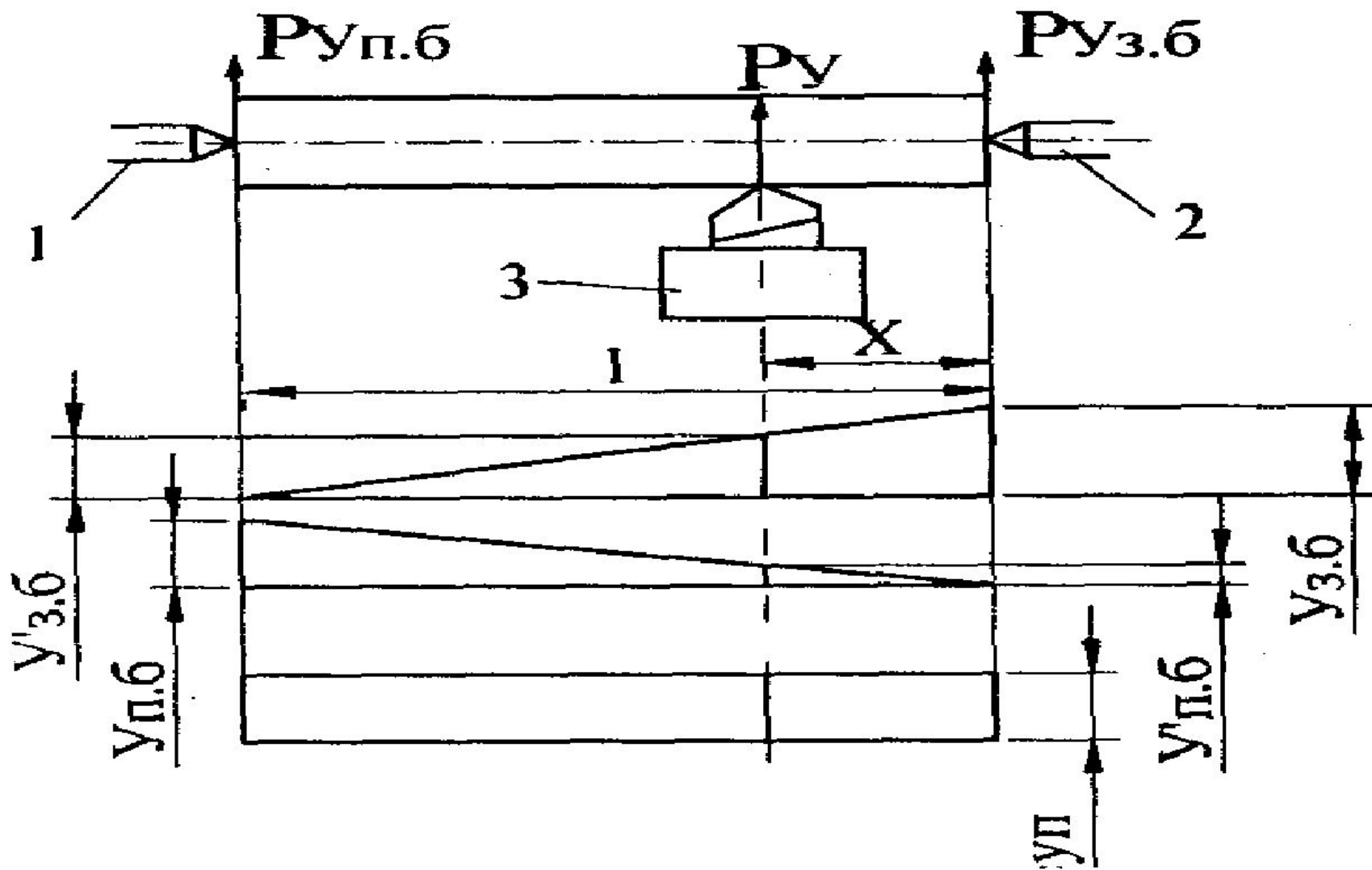
y – смещение режущей кромки инструмента (величина деформации)

Податливостью называется величина обратная жесткости

$$\omega = \frac{1}{j}$$

Погрешности от упругих деформаций технологической системы

Упругие отжатия при обработке в центрах



Погрешности от упругих деформаций технологической системы

Упругие отжатия при обработке в центрах

$$y_{\text{сист}} = y_{\text{суп}} + y_{\text{з.б}} + y_{\text{н.б}} + y_{\text{заг}}$$

$$\text{центра } y_{\text{сист}} = \frac{P_y}{J_{\text{суп}}} + \frac{P_y}{4} \left(\frac{1}{J_{\text{н.б}}} + \frac{1}{J_{\text{з.б}}} \right) + \frac{P_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$\text{патрон } y_{\text{заг}} = \frac{P_y l^3}{3EI};$$

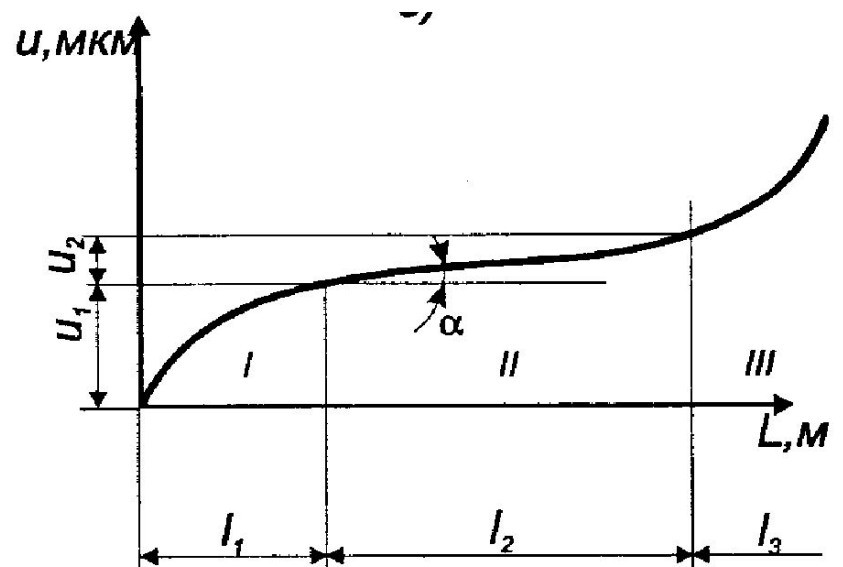
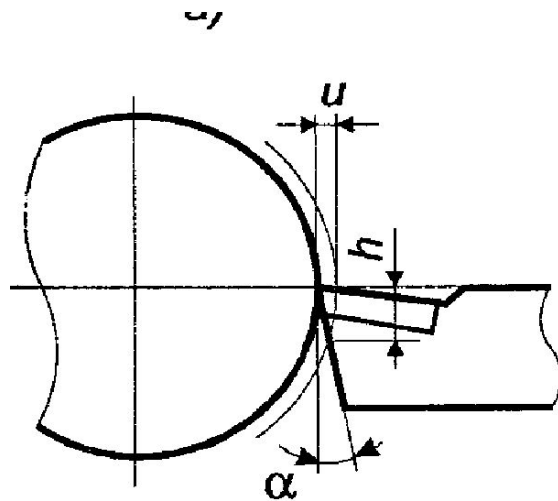
$$\text{патрон + центр } y_{\text{заг}} = \frac{P_y l^3}{110EI}$$

Погрешности механической обработки

Погрешности от износа режущего инструмента

В процессе резания имеет место постоянный прогрессирующий износ режущего инструмента, который идет преимущественно по задней поверхности при чистовой обработке и по передней - при черновой или одновременно по обеим граням.

Износ режущего инструмента при работе на настроенном станке приводит к возникновению переменной систематической погрешности обработки.



Погрешности механической обработки

Погрешности от износа режущего инструмента

Интенсивность износа на участке нормального износа (2) называют относительным (удельным) износом U_0

$$U_0 = U_2 / l_2$$

Зная величину U_0 , начальный износ U_n и длину резания l можно определить размерный износ инструмента (мкм) по формуле:

$$\Delta_\partial = U_n + U_0 l_0 / 10^6$$

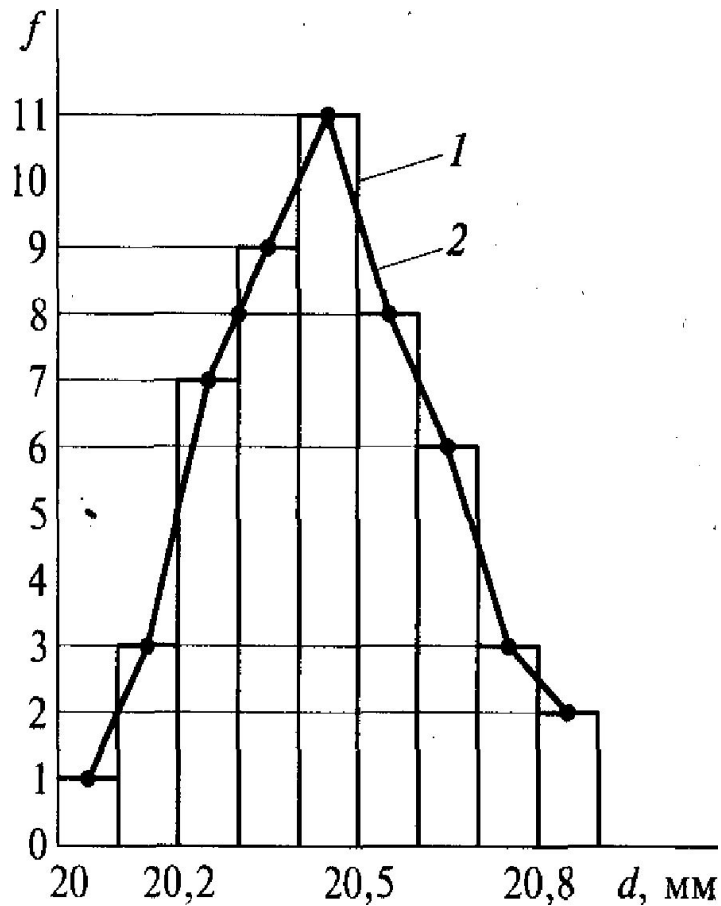
$$\text{При точении } \Delta_\partial = U_n + U_0 \pi D L / S_0 10^6$$

Величина удельного износа инструмента зависит от:

- метода обработки;
- материала заготовки и материала режущей кромки инструмента;
- режимов резания (обработки), главным образом - скорости резания;
- наличия охлаждения;
- состояния технологической системы СПИД (жесткости, вибраций)

Погрешности механической обработки

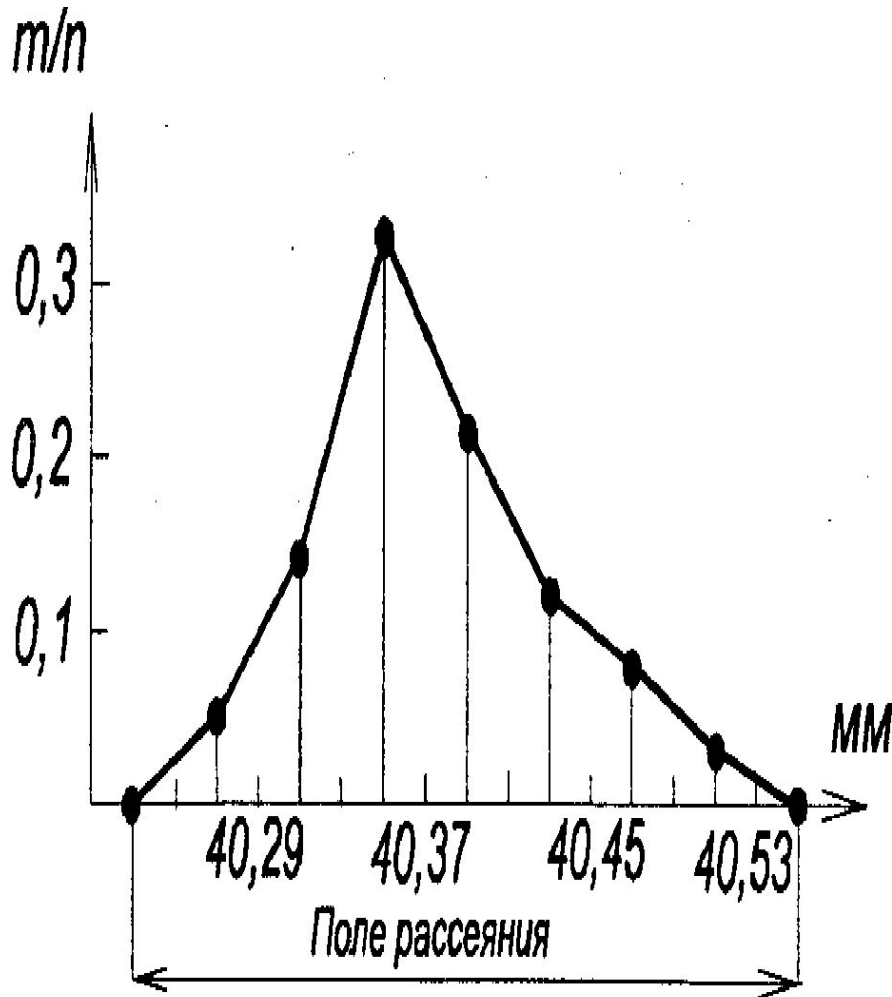
Статистические методы в технологии машиностроения



$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_i - \bar{d})^2}{2\sigma^2}},$$

Погрешности механической обработки

Статистические методы в технологии машиностроения



**Распределение размеров
обработанных валков диаметром**

Интервал, мм	Частота, m	Частость m/n
40,50 - 40,48	4	0,04
40,47 - 40,45	10	0,10
40,44 - 40,42	14	0,14
40,41 - 40,39	22	0,22
40,38 - 40,36	24	0,24
40,35 - 40,33	14	0,14
40,31 - 40,29	10	0,10
40,29 - 40,27	2	0,02
	$n = \sum m = 100$	$\sum m/n = 1$

Статистические методы

Закон нормального распределения (Гаусса)

дифференциальная функция
распределения случайной величины

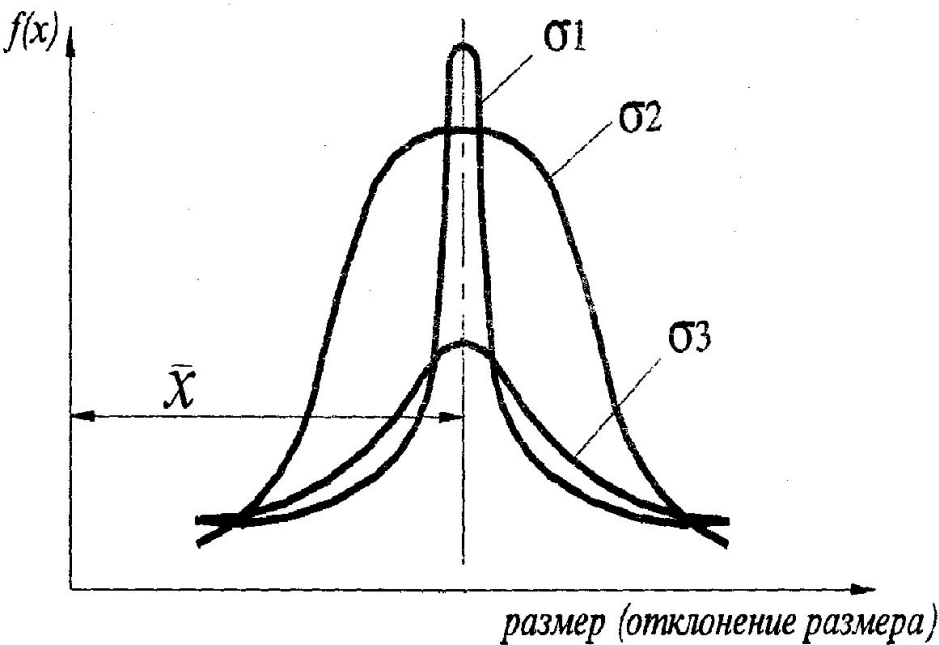
$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}$$

где x – переменная случайная
величина;

$\varphi(x)$ -плотность вероятности

σ – среднее квадратичное
отклонение случайной величины

\bar{X} – среднее значение (математическое
ожидание) величины x

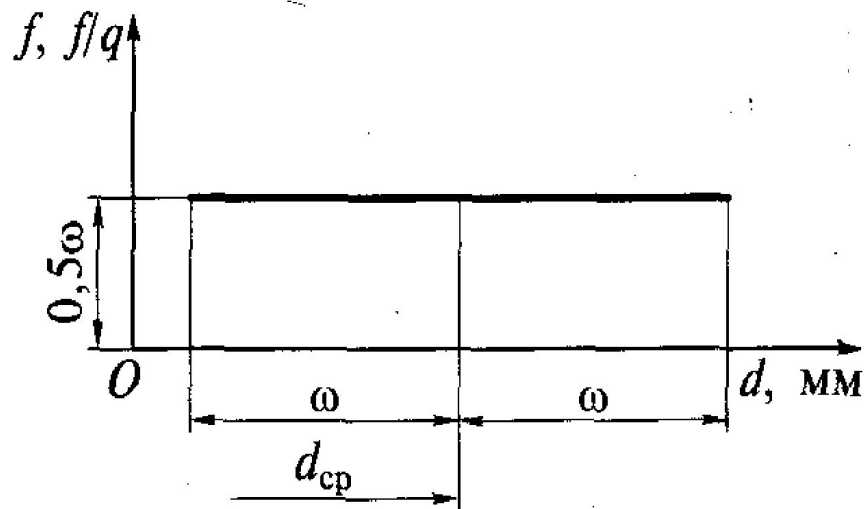


$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Статистические методы

Закон равной вероятности (прямоугольника)



Среднее арифметическое значение размера

$$D_{\text{ср}} = (d_{\text{max}} + d_{\text{min}})/2$$

Среднее квадратическое отклонение

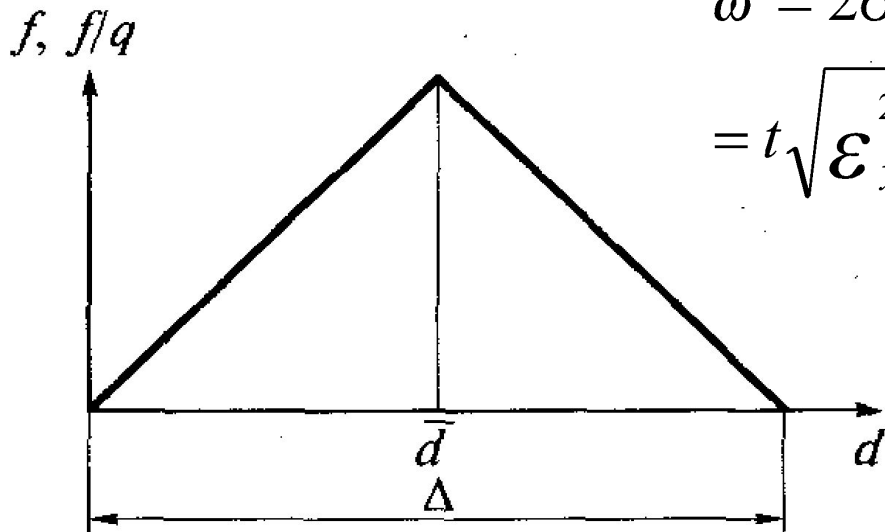
$$\sigma = \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{2\sqrt{3}} = 0,577\sigma$$

Фактическое поле рассеивания размеров в партии деталей

$$\omega = 2\sigma\sqrt{3} = 3,46\sigma$$

Статистические методы

Закон треугольника (Симпсона)



$$\omega = 2\sigma\sqrt{6} = 4,9\sigma$$

$$= t\sqrt{\varepsilon_y^2 + 3\varepsilon_H^2 + \varepsilon_{изн}^2 + 3\varepsilon_{тем}^2 + y_{сист}^2 + \varepsilon_{см}} \leq T$$

$$\omega = 2\sigma\sqrt{6} = 4,9\sigma$$

Погрешности механической обработки

Суммарная погрешность обработки

$$\Delta = t \sqrt{\lambda_1 \varepsilon_y^2 + \lambda_2 \varepsilon_H^2 + \lambda_3 \varepsilon_{изн}^2 + \lambda_4 \varepsilon_{тем}^2 + \lambda_5 y_{сист}^2} + \varepsilon_{ст} \leq T$$

$$\Delta = t \sqrt{\varepsilon_y^2 + 3\varepsilon_H^2 + \varepsilon_{изн}^2 + 3\varepsilon_{тем}^2 + y_{сист}^2} + \varepsilon_{ст} \leq T$$

$$\Delta = \Delta_{уф} + \varepsilon_y + \varepsilon_{\phi} + \varepsilon_{изн} + \varepsilon_{тем} + \varepsilon_{ст}$$

Базирование

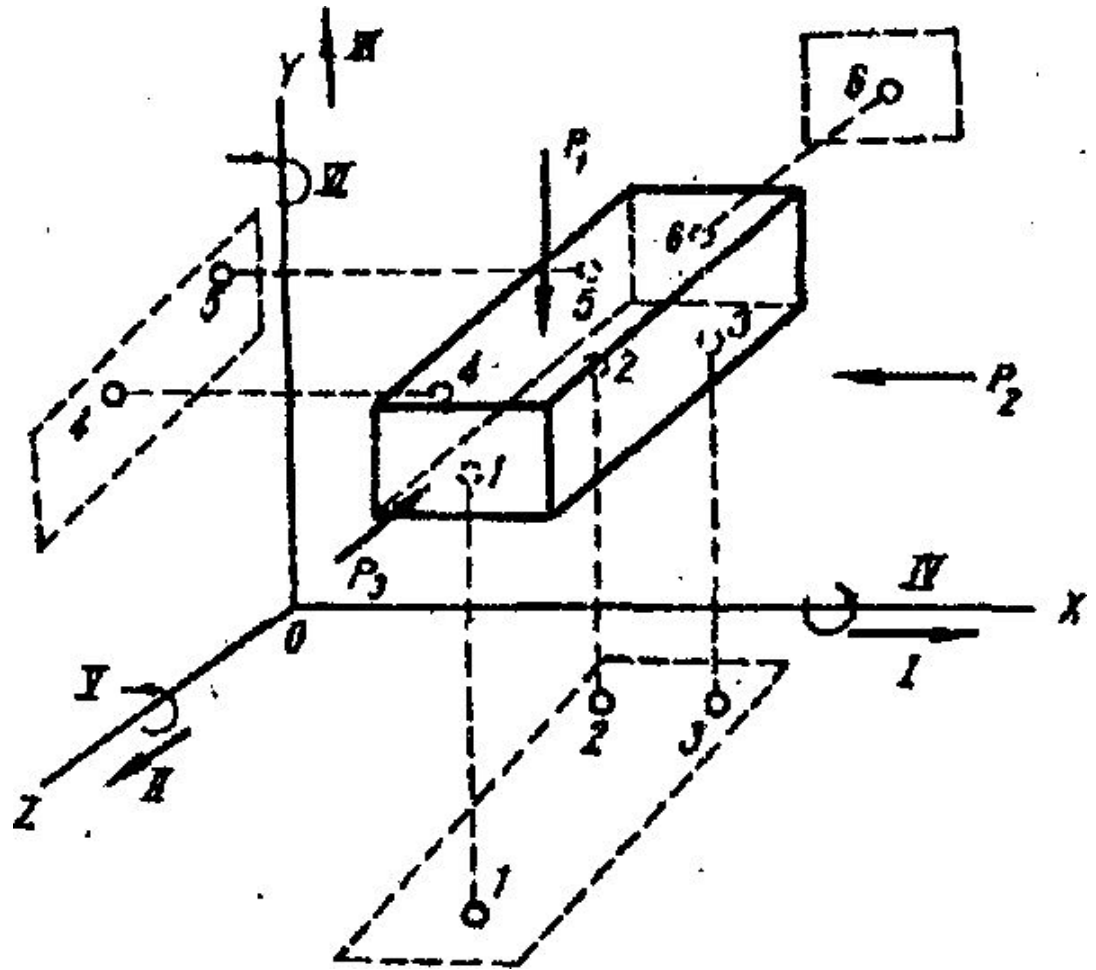
Основные определения

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. При механической обработке заготовок на станках под базированием понимается придание заготовки требуемого положения относительно элементов станка, определяющих траекторию движения подачи обрабатывающего инструмента.

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

Базирование Комплект баз

Комплект баз – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия (рис. 2).



Базирование

Классификация баз

В соответствии с ГОСТ 21495-76 принята следующая классификация баз.

По назначению: конструкторская (основная и вспомогательная); технологическая (основная, вспомогательная); измерительная.

По лишаемым степеням свободы: установочная; направляющая; опорная; двойная направляющая; двойная опорная.

По характеру проявления: явная; скрытая. Реальные поверхности, линии и точки их пересечения относятся к **явным** базам, а условные точки, линии и плоскости, например, симметрии – к **скрытым**.

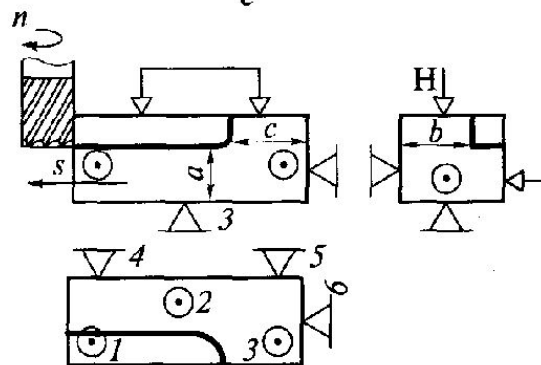
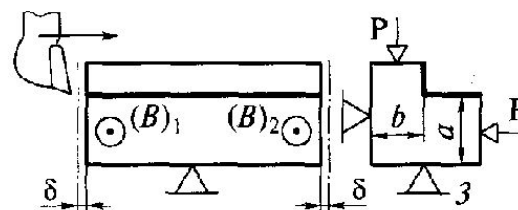
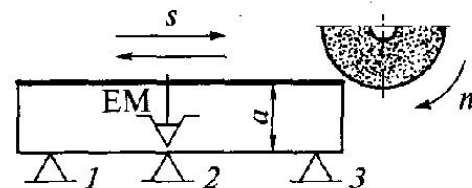
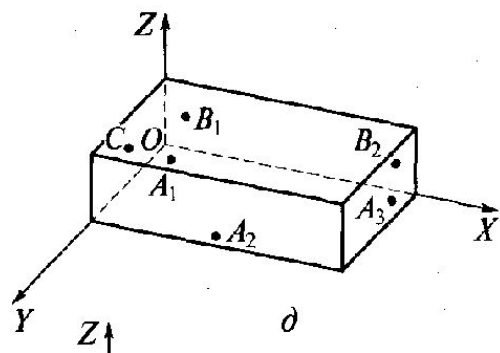
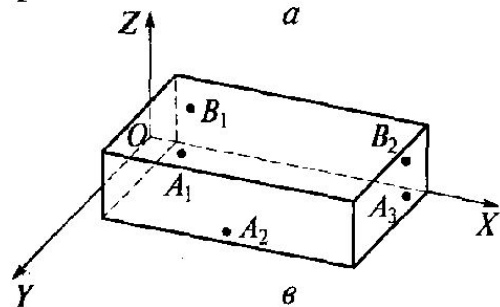
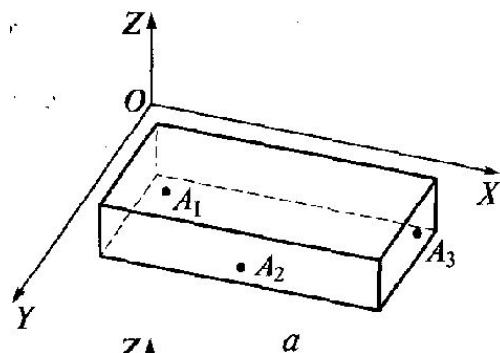
Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. **Основная база** – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии. **Вспомогательная база** – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия.

Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. **Основная технологическая база** – база, которая совпадает с конструкторской или измерительной.

Базирование

Схемы базирования призматических заготовок

Схемой базирования называют эскиз заготовки (или детали) на котором нанесены условные обозначения опорных точек сопряжений в соответствии с принятыми условными обозначениями



Базирование

Принципы базирования

Принципы единства (совмещения) баз

В качестве технологических баз следует принимать те поверхности заготовок, которые одновременно являются конструкторскими и измерительными базами детали, а также используются в качестве баз при сборке изделий.

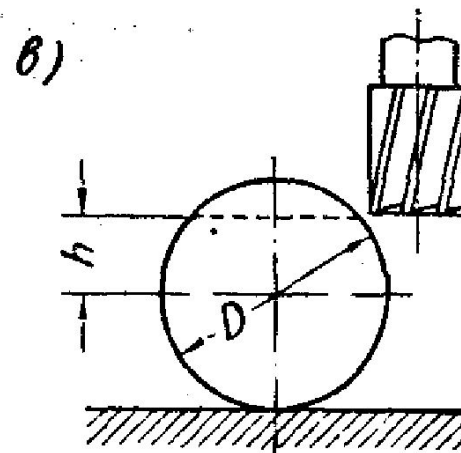
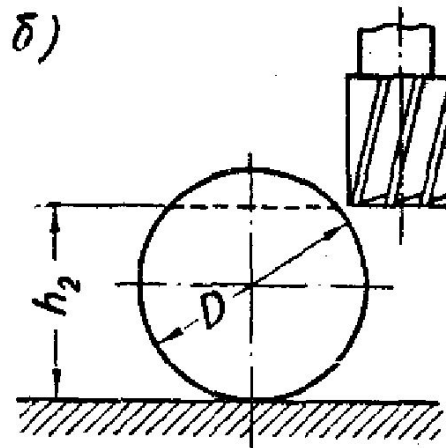
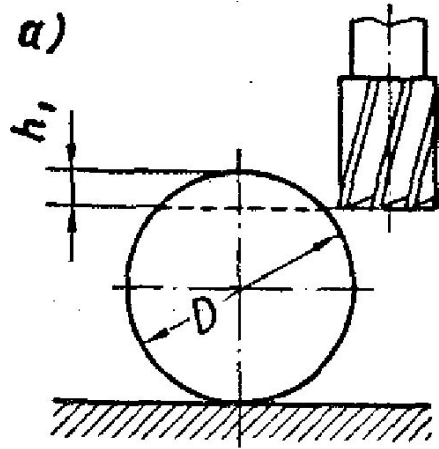
Несоблюдение принципа приводит к погрешности базирования

Принцип постоянства баз

При разработке технологического процесса следует стремиться к использованию одной и той же технологической базы при выполнении всех технологических операций, не допуская без особой необходимости смены технологических баз (не считая смены черновой базы)

Базирование

Погрешности базирования



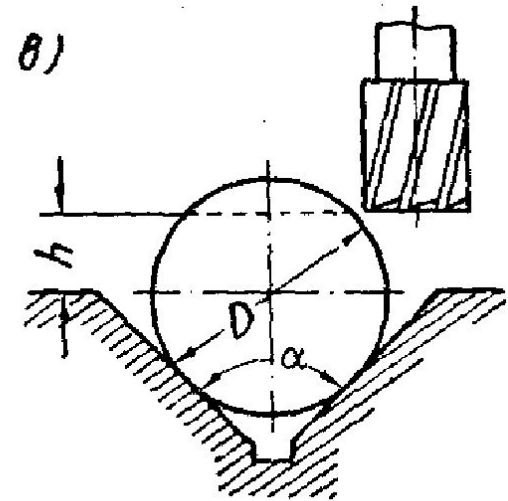
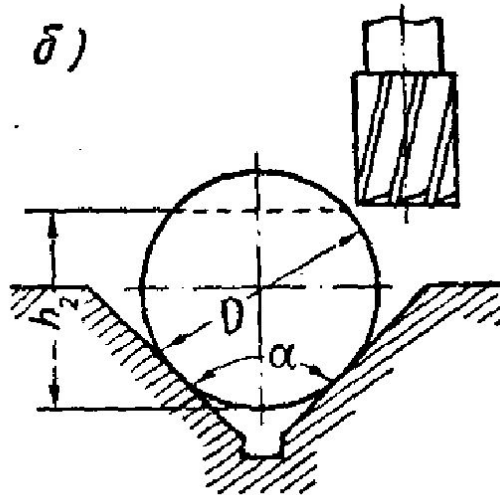
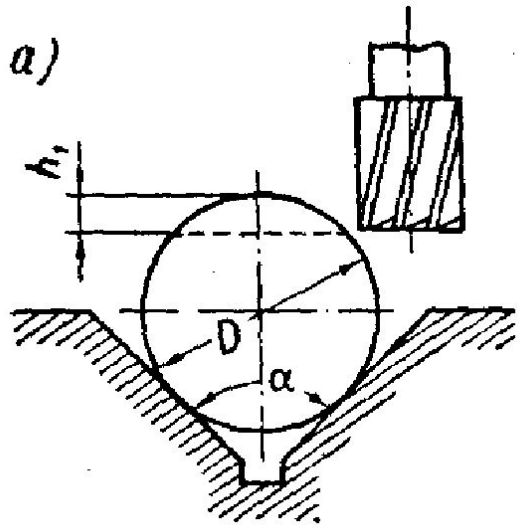
$$\varepsilon_{\sigma_{h_1}} = T_D = \delta$$

$$\varepsilon_{\sigma_{h_2}} = 0$$

$$\varepsilon_{\sigma_{h_3}} = \frac{\delta}{T_D} = \frac{\delta}{\delta}$$

$$\varepsilon_{\sigma_h} = \frac{T_D}{2} \frac{1}{\sin \alpha / 2}$$

Базирование Погрешности базирования



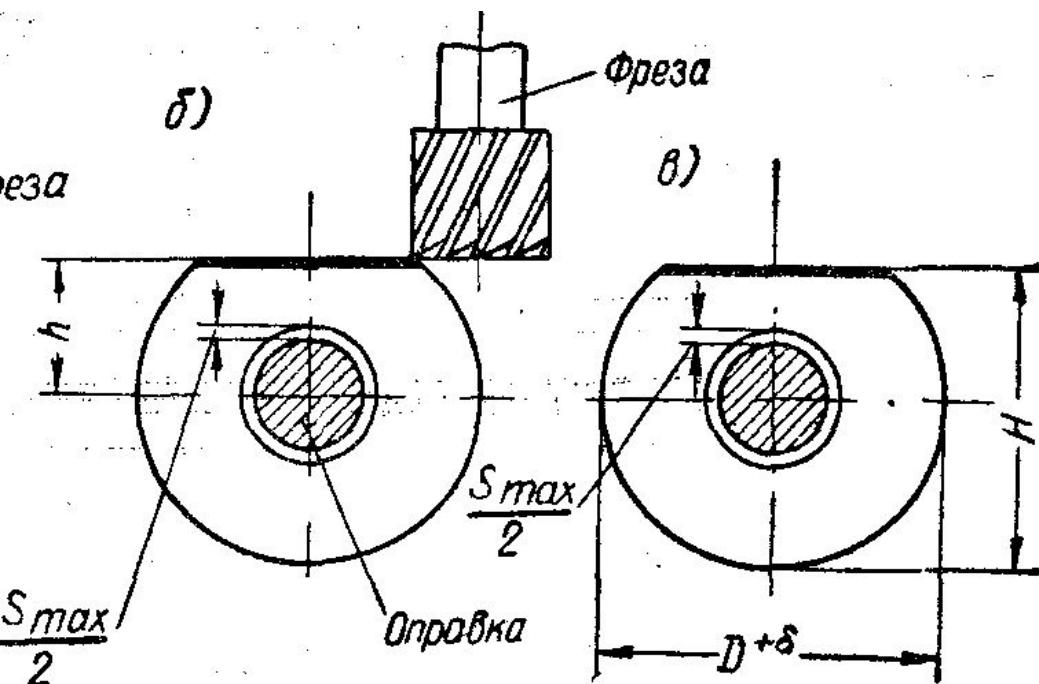
$$\varepsilon_{\sigma_{h_1}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} - 1 \right)$$

$$\varepsilon_{\sigma_{h_2}} = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} + 1 \right)$$

$$\varepsilon_{\sigma_h} = \frac{T_D}{2} \frac{1}{\sin \alpha / 2}$$

Базирование

Погрешности базирования



$$\varepsilon_{\sigma_h} = S_{\max}$$

$$\varepsilon_{\sigma_H} = \frac{\delta}{2} + S_{\max}$$

Правила выбора баз

1. Необработанные (черновые) поверхности в качестве баз можно использовать только один раз и только на первой операции.
2. В качестве технологических баз следует принимать наиболее точные поверхности достаточных размеров, с наименьшей шероховатостью, без прибылей, литников, окалины и других дефектов. Это обеспечивает большую точность базирования и закрепления.
3. Если у заготовки обрабатываются не все поверхности, то за технологические базы рекомендуется принимать поверхности, которые вообще не обрабатываются.
4. Если у заготовки обрабатываются все поверхности, то в качестве технологической базы целесообразно принимать поверхности с наименьшими припусками, что позволяет избежать появления «чернот».
5. Черновая база выбирается с учетом обеспечения лучших условий обработки поверхностей, принимаемых в дальнейшем за чистовые базы.

Общие сведения и основные определения

Припуск - слой материала, удаляемый с поверхности исходной заготовки в процессе механической обработки с целью получения готовой детали.

Различают общий, операционный и промежуточный припуски.

Операционный припуск (ГОСТ 3.1109 – 82) – это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции. Операционный припуск равняется сумме промежуточных припусков, т.е. припусков на отдельные переходы, входящие в данную операцию.

Промежуточный припуск – разность размеров заготовки, полученных на смежном предшествующем ($i-1$) –м и выполняемом (i)-м технологических переходах.

Общим припуском называют сумму промежуточных припусков по всему технологическому маршруту обработки данной поверхности. Общий припуск равен разности размеров исходной заготовки и готовой детали, измеренных от одной базы.

Способы назначения припусков

Припуск на обработку поверхностей деталей устанавливают двумя методами:

опытно-статистическим и расчетно-аналитическим.

При *опытно-статистическом методе* значения общих и промежуточных припусков принимают по справочным таблицам, составленным на основе обобщения и систематизации производственных данных.

Расчетно-аналитический метод назначения припусков, разработан проф. В. М. Кованом. Расчетно-аналитический метод предусматривает расчет межоперационных припусков, т.е. припусков по всем последовательно выполняемым технологическим операциям обработки поверхности заготовки детали, их суммирование для определения общего припуска на обработку поверхности и расчет промежуточных размеров.

Расчетно-аналитический метод

Расчетной величиной является минимальный промежуточный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемой операции погрешностей обработки и дефектов поверхности, полученных на предшествующей операции, и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемой операции.

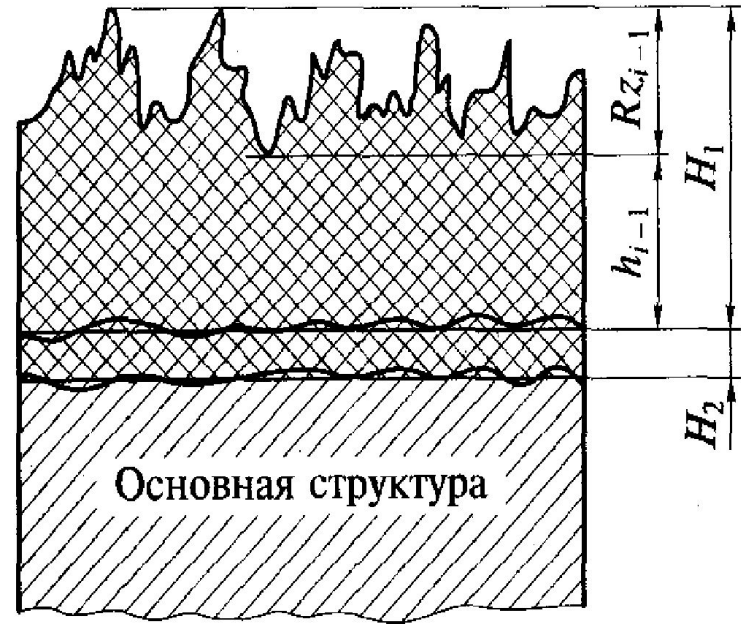
При расчете минимального промежуточного припуска учитывают следующие элементы погрешности:

- шероховатость поверхности Rz_{i-1} , полученную на предшествующем переходе;
- состояние и толщину h_{i-1} поверхностного слоя материала заготовки, снимаемого в результате выполнения предшествующего перехода;
- пространственные отклонения Δ_{i-1} расположения обрабатываемой поверхности относительно баз заготовки;
- погрешность установки ε_y при выполнении данного перехода.

Расчетно-аналитический метод

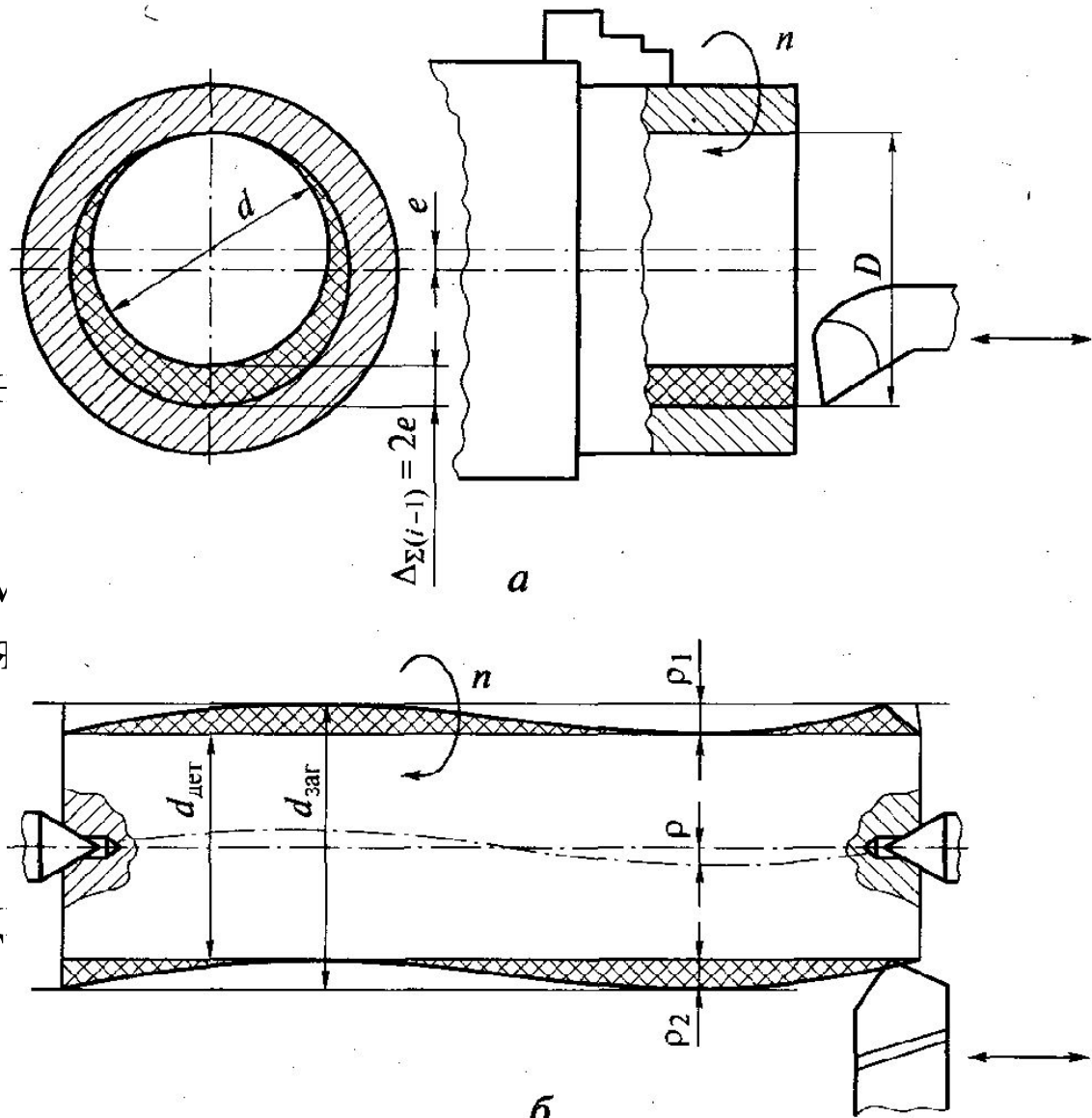
Высота шероховатости Rz_{i-1} , полученная на смежном предшествующем переходе обработки данной поверхности.

Состояние и глубина h_{i-1} поверхностного слоя после смежной предшествующей технологической операции



Расчетно-аналитический метод

Суммарное (пространственное) отклонение Δ_{i-1} расположения обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки и в некоторых случаях отклонения форм поверхности (отклонения плоскостности, прямолинейности и т.п.), образовавшиеся на предшествующей операции или переходе.



Расчет минимального припуска

Припуск на сторону при последовательной обработке противоположных или отдельно расположенных поверхностей

$$Z_{i_{\min}} = R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_{y_i}$$

Припуск на две стороны

$$2Z_{i_{\min}} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_{y_i})$$

Припуск на диаметр

$$2Z_{i_{\min}} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{y_i}^2})$$

Расчет минимального припуска

При обработке в центрах погрешность установки отсутствует (база ось заготовки) припуск на диаметр

$$2Z_{i_{\min}} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1})$$

При протягивании и развертывании, хонинговании и доводке увод и смещение оси не исправляются, отсутствует и погрешность установки; при бесцентровом шлифовании

$$2Z_{i_{\min}} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1})$$

При полировании и суперфинишировании цилиндрической поверхности достигают лишь уменьшение ее шероховатости, припуск на обработку

$$2Z_{i_{\min}} = 2R_{Z_{i-1}}$$

Структура нормы времени

