

ЖЕСТКОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Технология машиностроения
Лекция 4

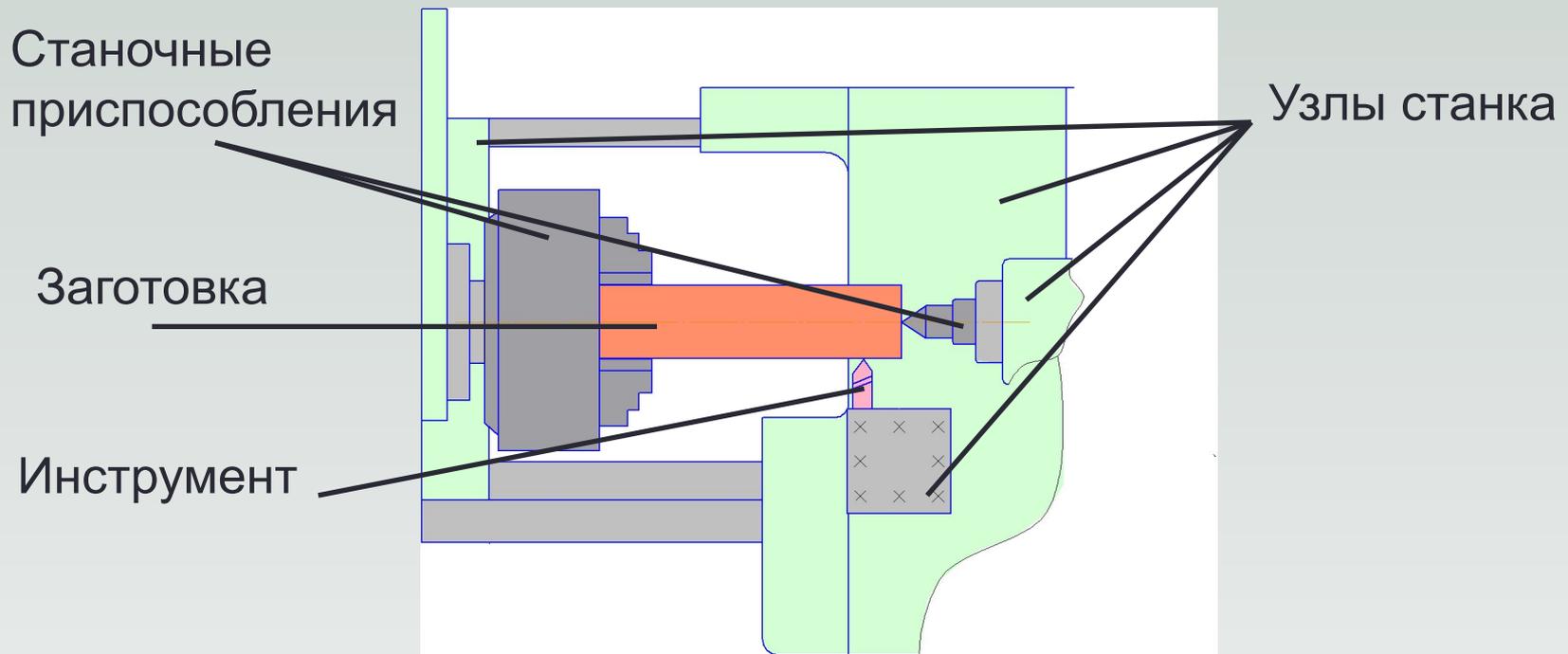
Содержание

1. Основные определения.
2. Жесткость станка.
3. Жесткость заготовки и инструмента.
4. Пути снижения погрешности Δ_{γ} .
5. Влияние колебаний технологической системы на точность обработки.

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Технологическая система

При обработке станок, приспособление, заготовка, инструмент представляют собой замкнутую упругую систему, которая называется *технологической системой*.



Погрешность от деформации технологической системы

Погрешность от деформации технологической системы под влиянием сил резания Δ_y обычно представляют как сумму деформаций элементов технологической системы:

$$\Delta_y = \Delta_{\text{с}}^y + \Delta_{\text{п}}^y + \Delta_{\text{инст}}^y + \Delta_{\text{за}}^y$$

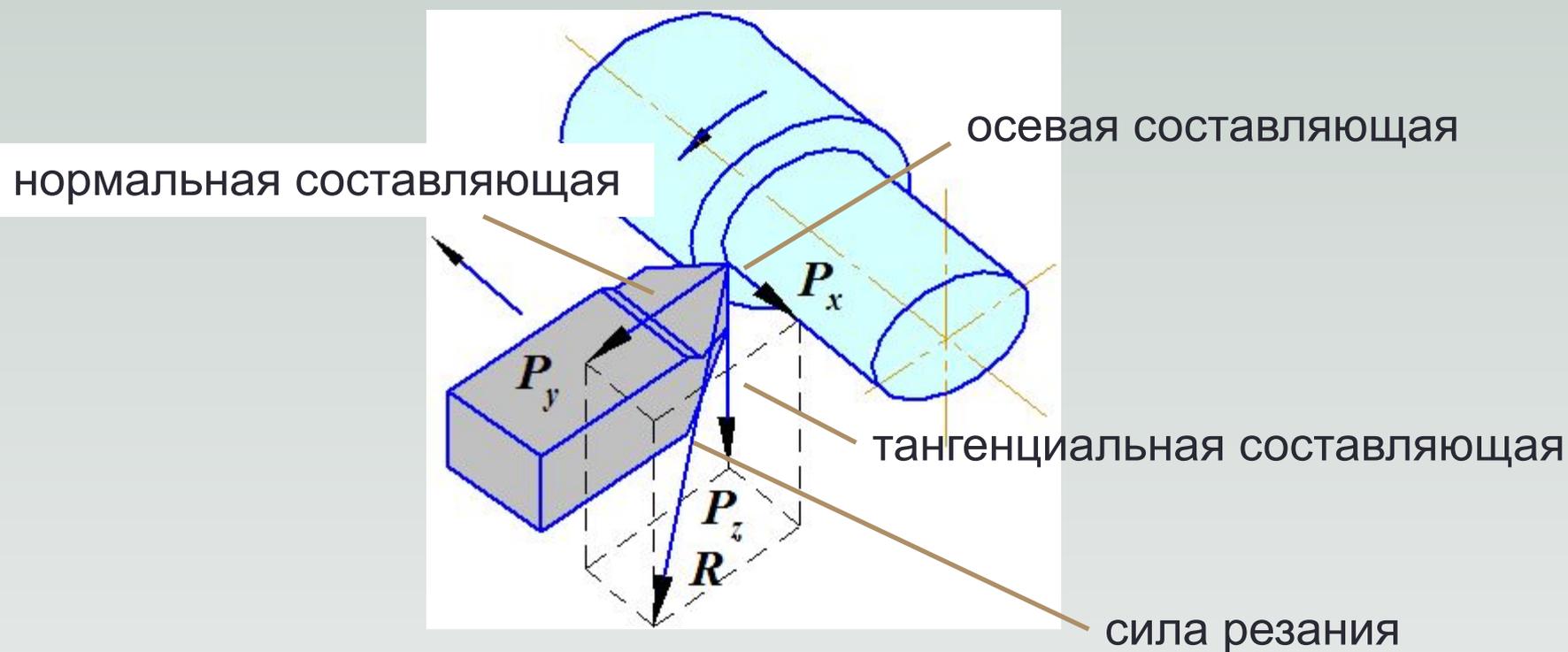
$\Delta_{\text{с}}^y$ – погрешность от упругих деформаций узлов станка;

$\Delta_{\text{п}}^y$ – погрешность от упругих деформаций станочного приспособления;

$\Delta_{\text{инст}}^y$ – погрешность от упругих деформаций инструмента;

$\Delta_{\text{за}}^y$ – погрешность от упругих деформаций заготовки.

Составляющие силы резания при токарной обработке



Коэффициент жесткости

На размеры и форму обрабатываемых заготовок, в основном, влияет составляющая силы резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности.

Для определения деформаций технологической системы часто пользуются коэффициентом жесткости:

$$j = \frac{P_y}{\Delta_y}$$

где P_y – нормальная составляющая силы резания;

Δ_y – суммарное смещение лезвия режущего инструмента, измеренное по нормали к обрабатываемой поверхности.

Определение коэффициента жесткости технологической системы

Коэффициент жесткости технологической системы можно определить из соотношения:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{\text{ст}}} + \frac{1}{j_{\text{пр}}} + \frac{1}{j_{\text{инстр}}} + \frac{1}{j_{\text{заг}}},$$

где $j_{\text{ст}}$ – коэффициент жесткости станка;

$j_{\text{пр}}$ – коэффициент жесткости приспособления;

$j_{\text{инстр}}$ – коэффициент жесткости инструмента;

$j_{\text{заг}}$ – коэффициент жесткости заготовки.

ЖЕСТКОСТЬ СТАНКА

Жесткость станка

- Главная составляющая коэффициента жесткости технологической системы – это коэффициент жесткости станка.
- Станок является сложной системой, поэтому коэффициент жесткости станка удобнее определять экспериментальными методами.
- Существует два метода определения коэффициента жесткости металлорежущих станков: статический и производственный.

Статический метод определения коэффициента жесткости станка

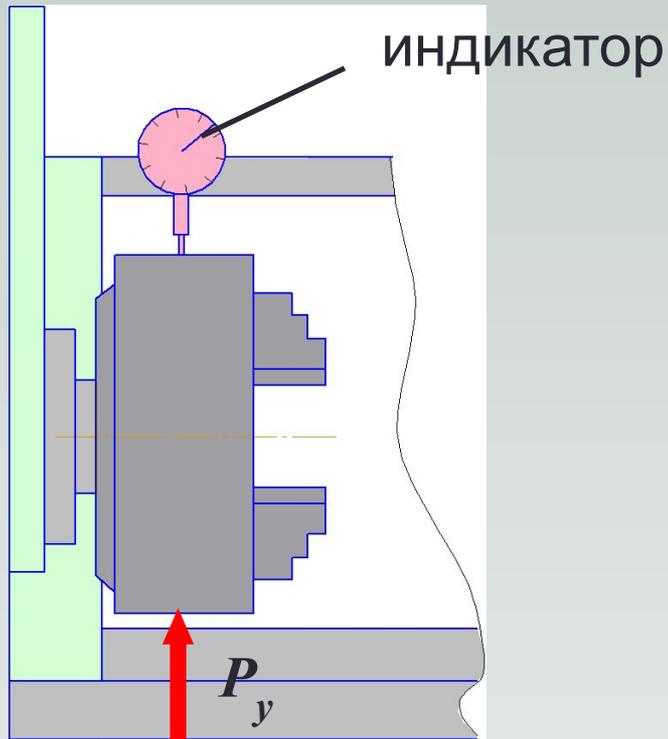


схема измерения перемещений

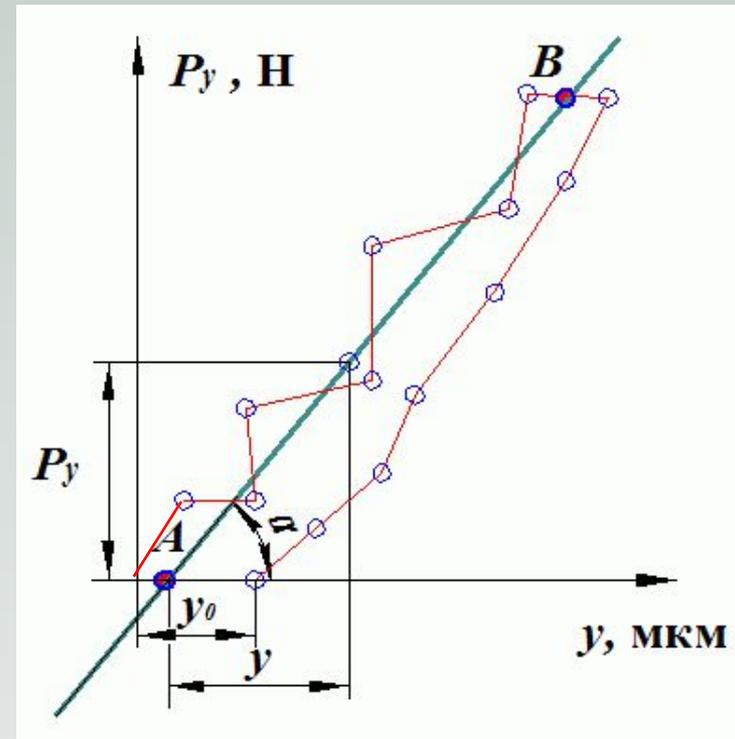
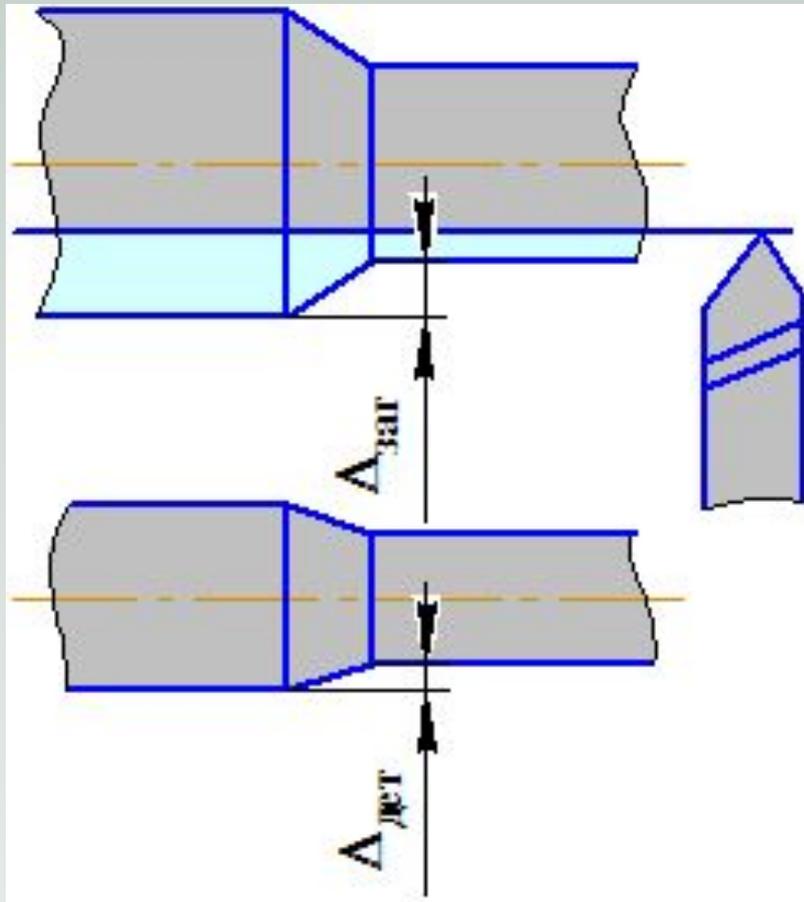


график зависимости нагрузки от перемещения

Производственный метод определения коэффициента жесткости станка

- Производственный метод определения коэффициента жесткости металлорежущих станков основан на принципе обработки заготовок с неравномерным припуском (переменной глубиной резания).
- Неравномерный припуск при обработке может быть получен за счет эксцентриситета заготовки, ее конусообразности или ступенчатости.

Схема определения коэффициента жесткости станка производственным методом



$\Delta_{\text{заг}}$ – величина ступени до обработки

$\Delta_{\text{дет}}$ – величина остаточной ступени после обработки

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{\text{заг}}}{\Delta_{\text{дет}}} \quad - \text{ уточнение}$$

Формула для расчета коэффициента жесткости станка производственным методом:

$$j_{ст} = 10^4 \lambda C_p C_s^{0,75} C_\epsilon \quad , \text{ Н/мкм}$$

где λ – коэффициент, зависящий от геометрии резца

C_p – коэффициент, зависящий от состояния режущей кромки и механических свойств обрабатываемого материала;

s – подача, мм/об;

ϵ – уточнение.

ЖЕСТКОСТЬ ЗАГОТОВКИ И ИНСТРУМЕНТА

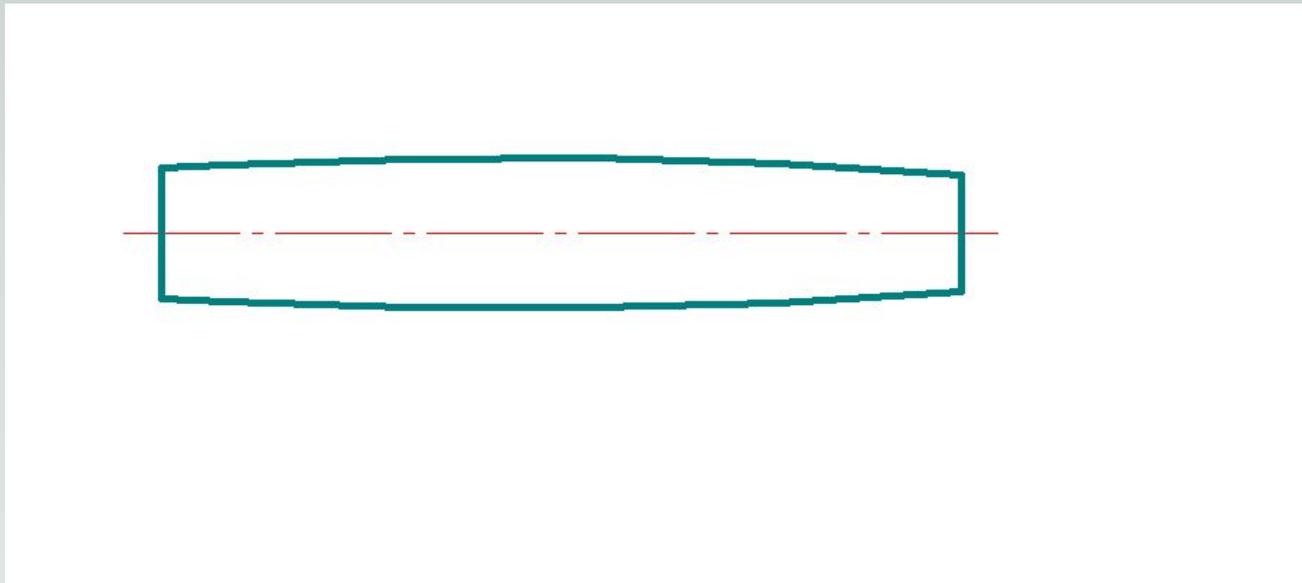
Жесткость заготовки и инструмента

Деформацию заготовки под действием силы резания можно определить, используя формулы сопротивления материалов. В качестве примеров рассматриваются:

- деформация заготовки при установке в центрах;
- деформация заготовки при установке в патроне;
- деформация токарного резца под действием составляющей силы резания P_z .

Жесткость заготовки при установке в центрах

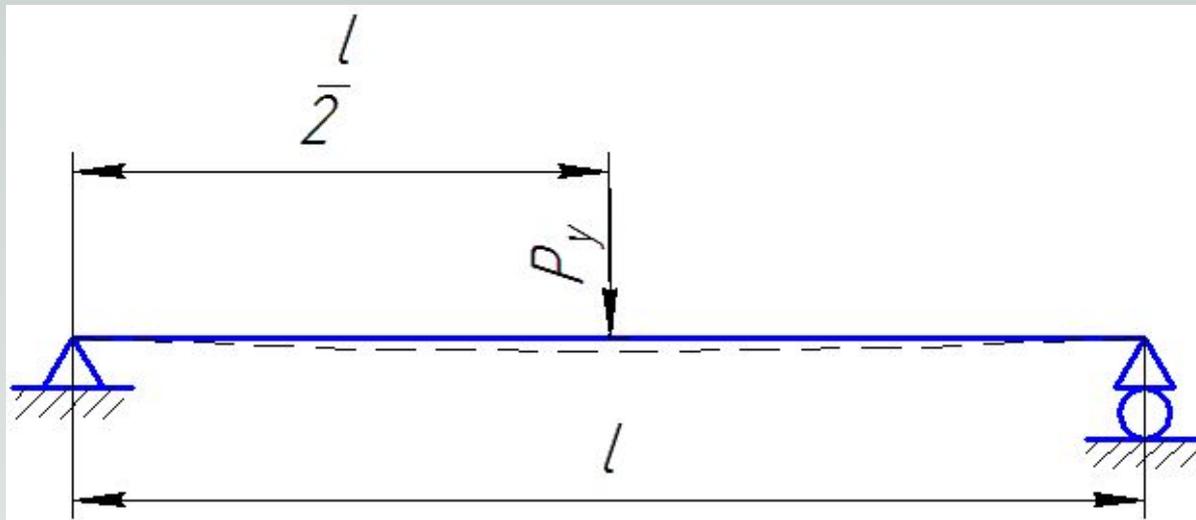
Расчетный случай: определение максимального прогиба заготовки $\Delta y_{\text{заг}}$ при установке в центрах



l – длина заготовки; d – диаметр заготовки

Жесткость заготовки при установке в центрах

Расчетная схема обработки вала в центрах



Жесткость заготовки при установке в центрах

Максимальный прогиб вала:

$$\Delta y_{\text{заг}} = \frac{P_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J},$$

где E – модуль упругости;
 J – момент инерции сечения
вала относительно оси.

Жесткость заготовки при установке в центрах

Коэффициент жесткости заготовки при положении
резца посередине:

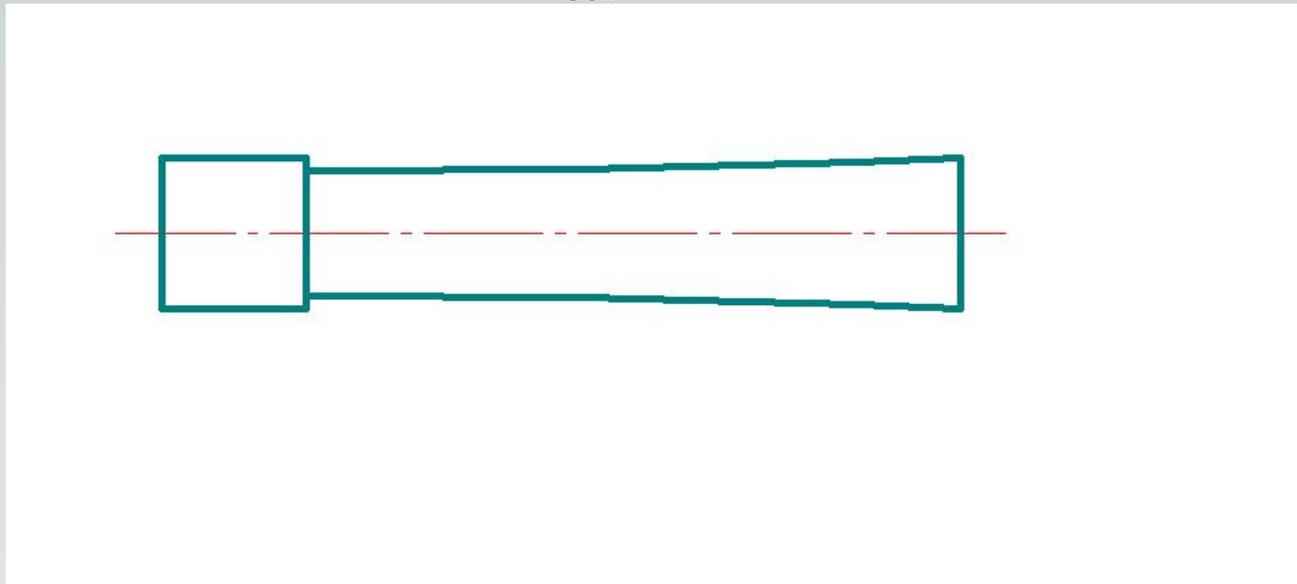
$$j = \frac{48 \cdot E \cdot J}{l^3}$$

Для кругового сечения момент инерции
равен

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Жесткость заготовки при установке в патроне

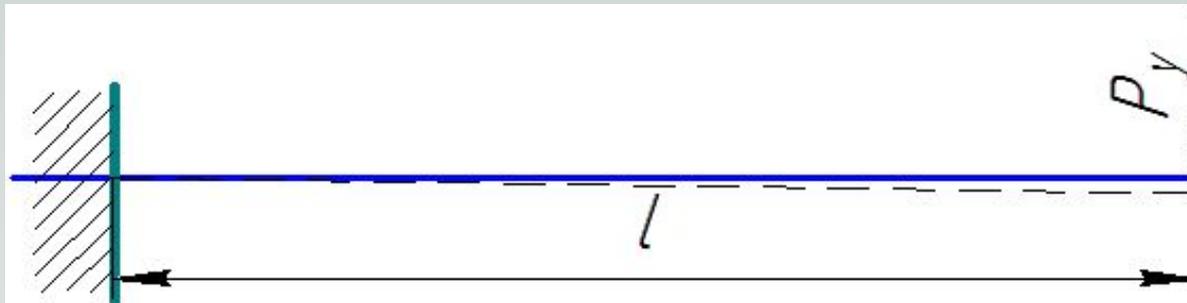
Расчетный случай: определение максимального прогиба заготовки $\Delta y_{\text{заг}}$ при установке в патроне



l – вылет заготовки; d – диаметр заготовки

Жесткость заготовки при установке в патроне

Расчетная схема обработки вала в патроне



Жесткость заготовки при установке в патроне

Максимальный прогиб вала:

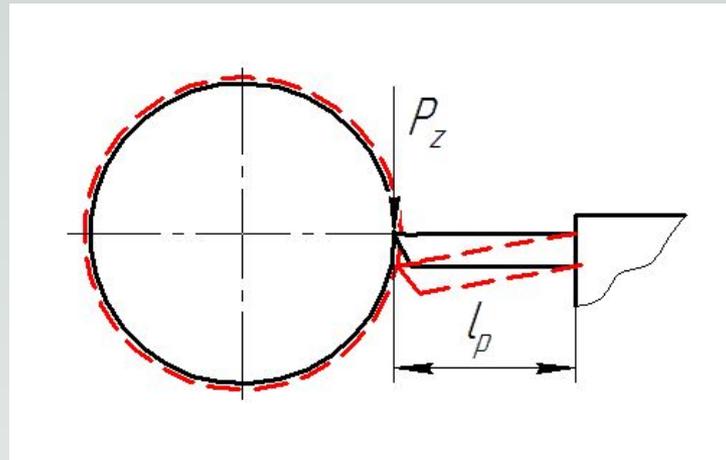
$$\Delta y_{\text{заг}} = \frac{P_y \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J} .$$

Коэффициент жесткости заготовки при положении резца на краю:

$$j = \frac{3 \cdot E \cdot J}{l^3} .$$

Деформация инструмента под влиянием составляющей P_z

Под влиянием составляющей P_z резец отжимается вниз. При этом диаметр обрабатываемого вала увеличивается

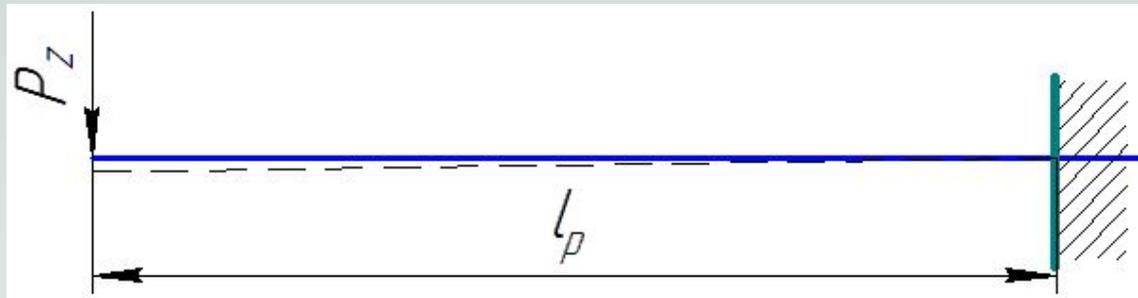


l_p – вылет резца

Деформация инструмента под влиянием составляющей P_z

Для того, чтобы предотвратить возникновение вибраций при обработке применяется проверочный расчет резца на жесткость.

Расчетная схема:



Деформация инструмента под влиянием составляющей P_z

Максимальный прогиб резца:

$$\Delta z_{\text{инстр}} = \frac{P_z \cdot l_p^3}{3 \cdot E \cdot J_{\text{инстр}}} .$$

$J_{\text{инстр}}$ – момент инерции сечения инструмента

Деформация инструмента под влиянием составляющей P_z

Момент инерции для прямоугольного сечения резца

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} .$$

где b – высота сечения;
 h – ширина сечения.

Деформация инструмента под влиянием составляющей P_z

Максимальный прогиб резца должен удовлетворять следующим условиям:

- для черновой обработки $\Delta z_{\text{инстр}} \leq 0,1$ мм.

- для чистовой обработки $\Delta z_{\text{инстр}} \leq 0,05$ мм.

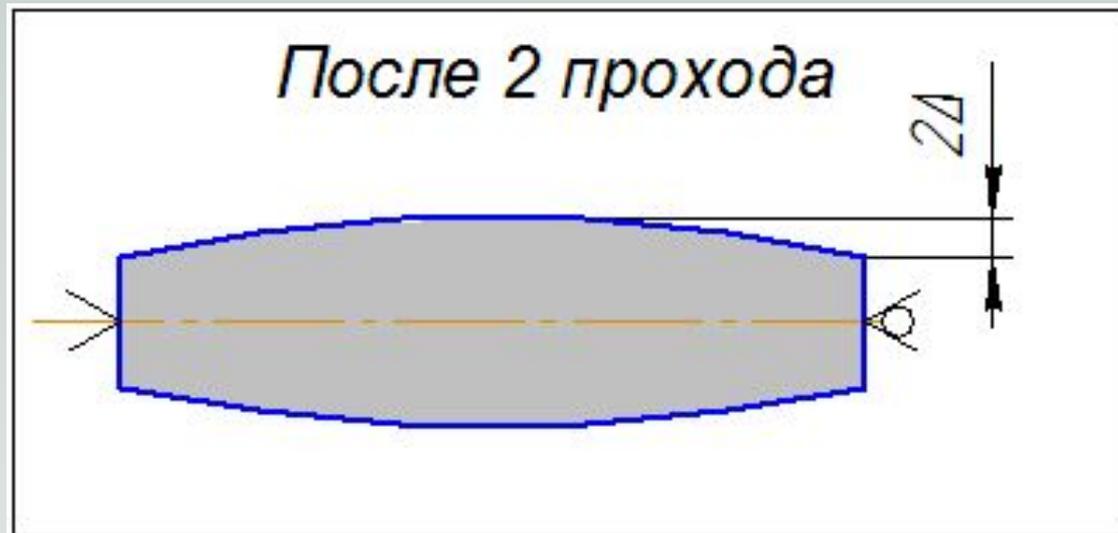
ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ Δ_y

Пути снижения погрешности от деформации технологической системы Δ_y

При чистовой обработке заготовок,

- чтобы избежать накопления погрешностей формы,
- необходимо с каждым проходом уменьшать снимаемый припуск.

Пример: шлифование вала в центрах

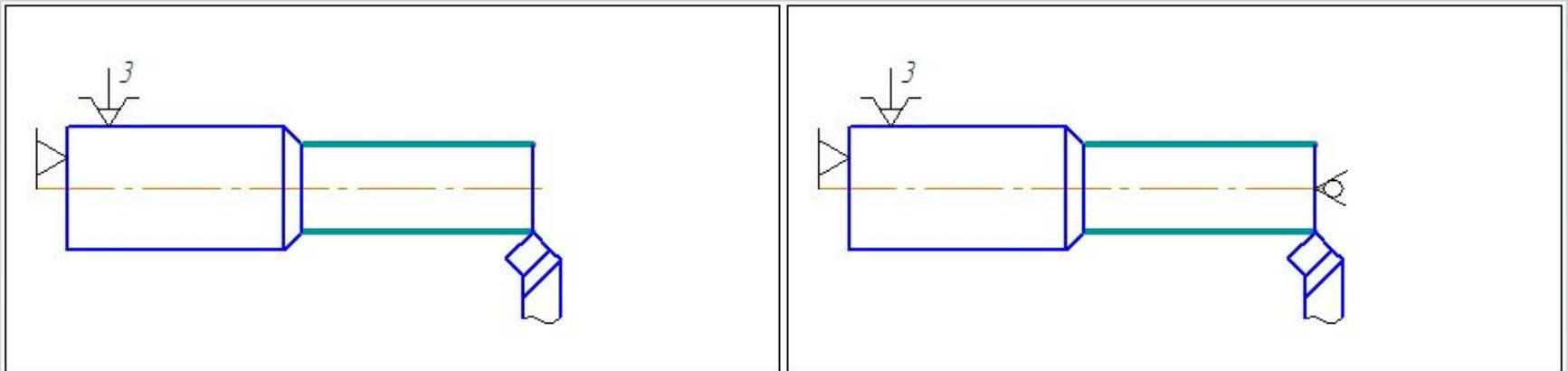


Пути снижения погрешности от деформации технологической системы Δ_y

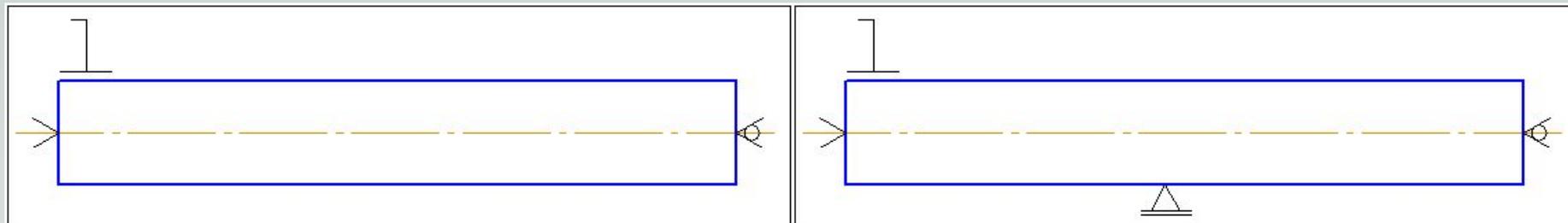
Для повышения точности обработки необходимо увеличивать жесткость технологической системы, именно

- станка;
- заготовки;
- инструмента.

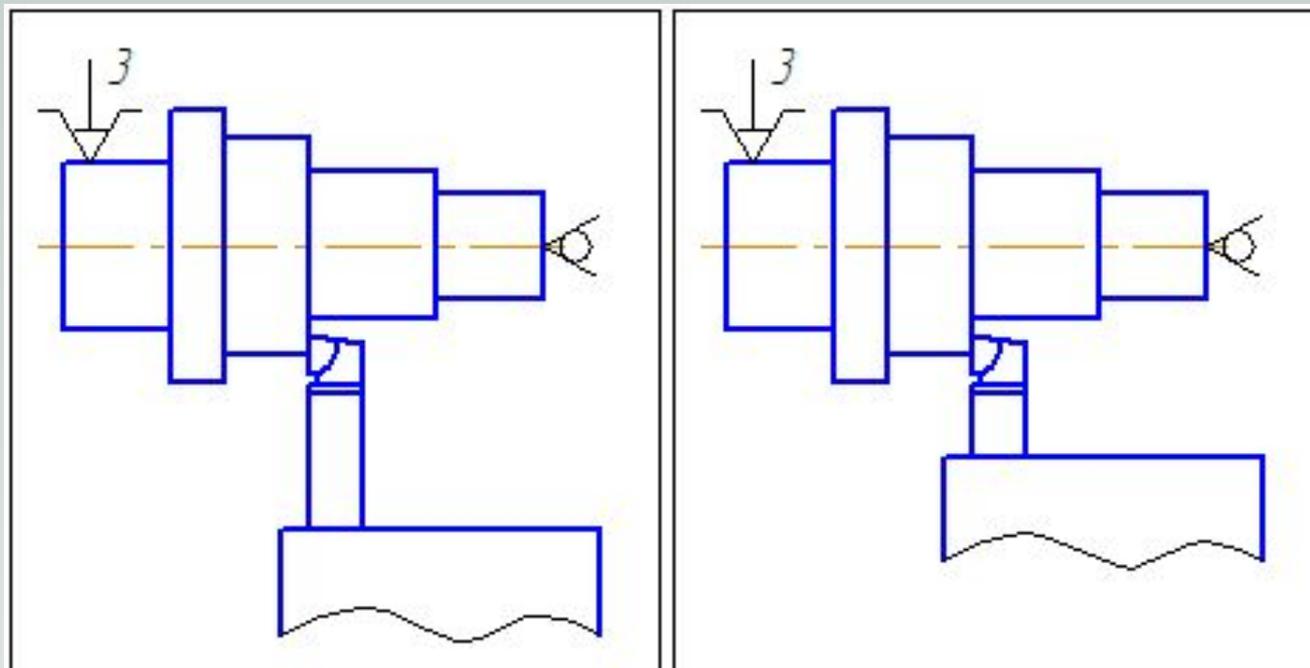
Пример установки заготовки



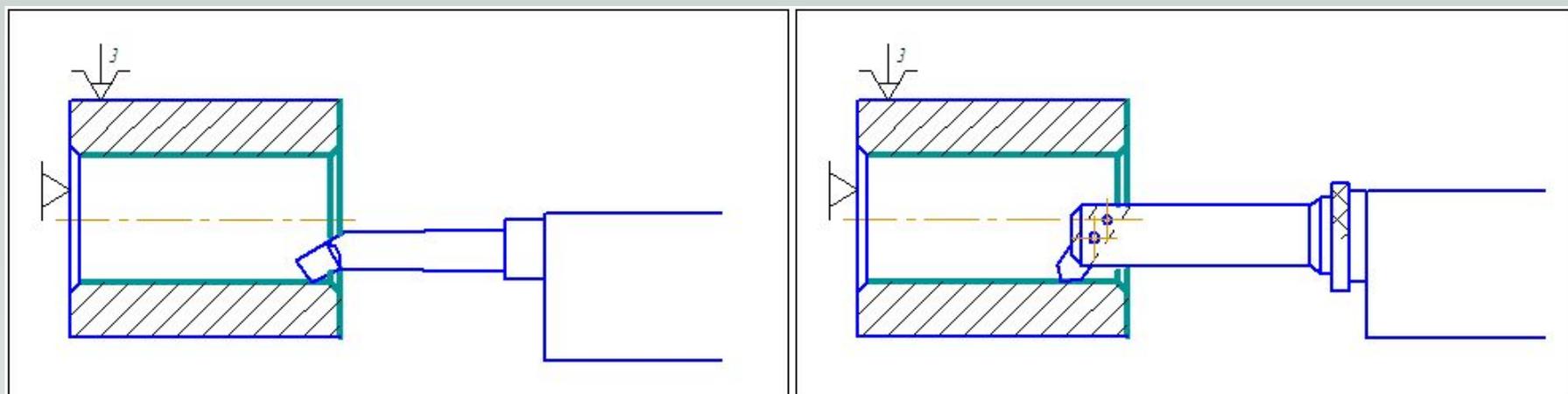
Пример установки заготовки



Пример уменьшения вылета инструмента



Пример применения расточной оправки

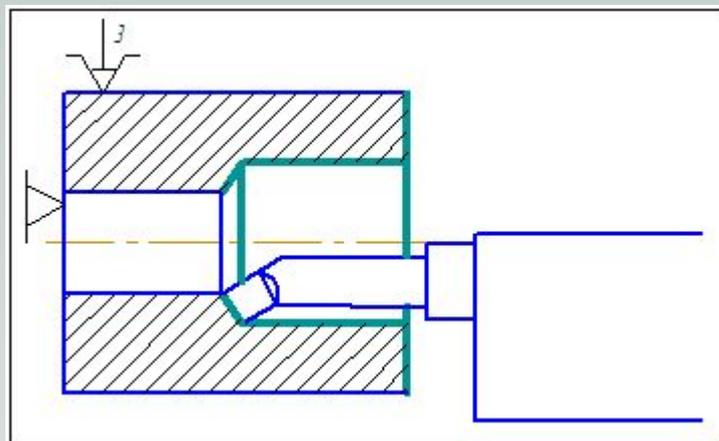


Пути снижения погрешности от деформации технологической системы Δ_y

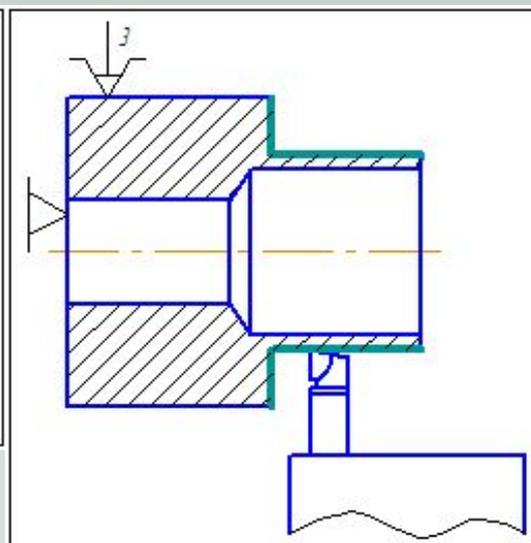
Последовательность обработки должна быть такой,

- чтобы раньше времени не ослаблять заготовку

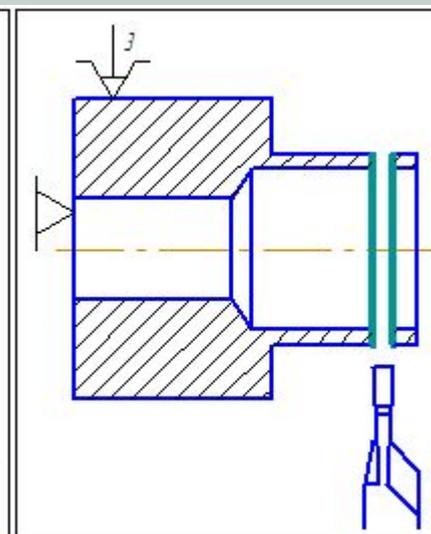
Пример: изготовление тонких шайб



1 переход



2 переход



3 переход

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Влияние колебаний технологической системы на точность обработки

- Технологическая система является замкнутой упругой **динамической** системой
- При обработке деталей резанием элементы технологической системы совершают **колебания** с определенной частотой и амплитудой.
- Колебания оказывают отрицательное действие на точность обработки, т.к. инструмент совершает возвратно-поступательное движение по направлению действия составляющей силы резания P_y

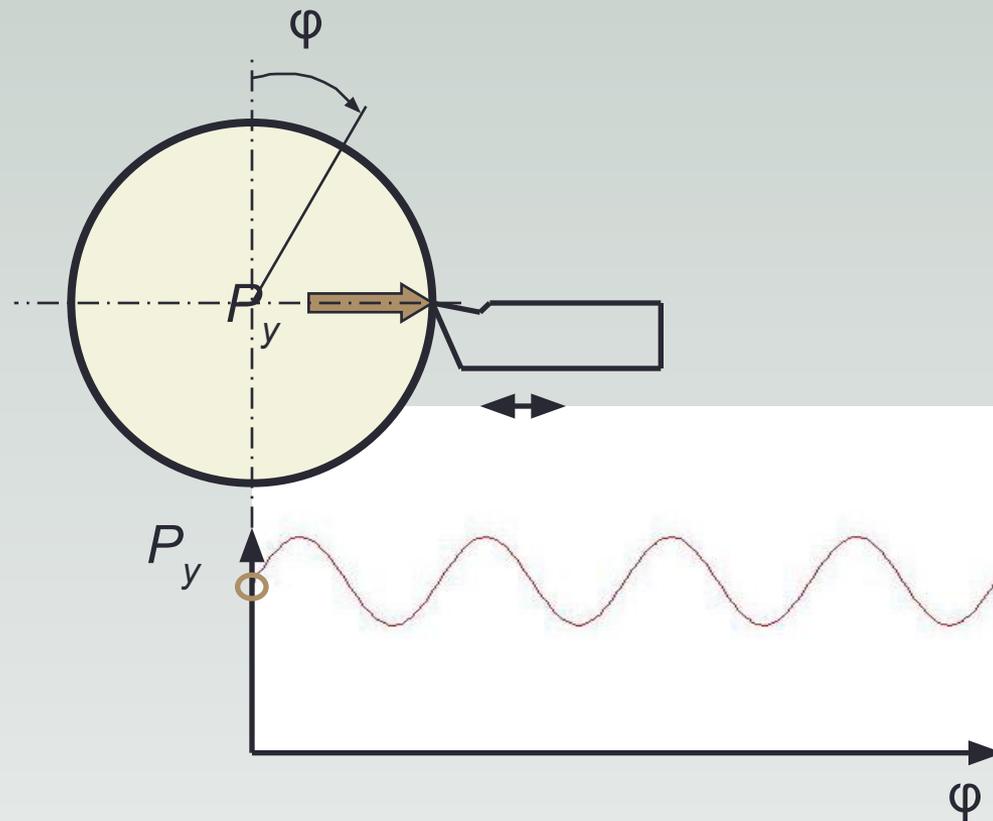
Отрицательное влияние колебаний на точность обработки

Отрицательное влияние колебаний на точность обработки выражается в том, что

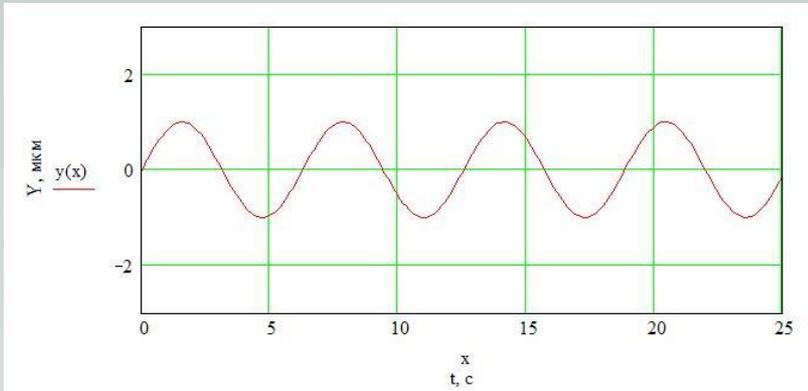
- ухудшаются параметры шероховатости;
- появляется заметная волнистость,
- усиливается износ инструмента (пропорционально квадрату амплитуды колебаний).

Поэтому необходимо уменьшать амплитуду колебаний.

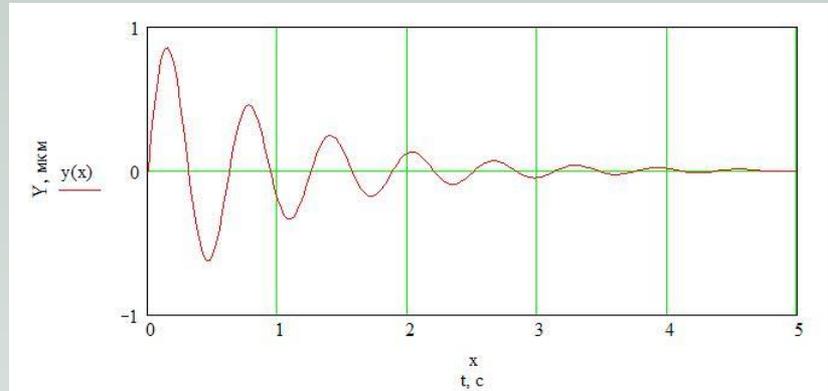
Возвратно-поступательное движение инструмента



Виды колебаний



Вынужденные колебания происходят с постоянной амплитудой и частотой



Свободные колебания происходят с собственной частотой системы и являются затухающими

Вынужденные колебания технологической системы

Источником вынужденных колебаний является вращение шпинделя станка с определенной частотой.

Частота вынужденных колебаний станка

$$f_{\text{в}} = \frac{n}{60} \quad , \text{ Гц},$$

где n – частота вращения шпинделя, об/мин.

Для самых распространенных режимов обработки металлов $n = 300 \dots 1000$ об/мин, что соответствует частоте $f_{\text{в}} = 5 \dots 15$ Гц.

Свободные колебания технологической системы

Собственная частота свободных колебаний технологической системы f_c прямо пропорциональна жесткости j технологической системы

$$f_c \sim j.$$

Собственная частота f_c также обратно пропорциональна массе m технологической системы

$$f_c \sim \frac{1}{m}$$

Свободные колебания технологической системы

Технологическая система – сложная система.

Она имеет несколько собственных частот, соответствующих основным ее элементам (станку, приспособлению, заготовке, инструменту)

К примеру:

Колебания узлов станка происходят с

$$f_c = 10 \dots 100 \text{ Гц.}$$

Колебания режущего инструмента происходят с

$$f_c = 1500 \dots 4000 \text{ Гц.}$$

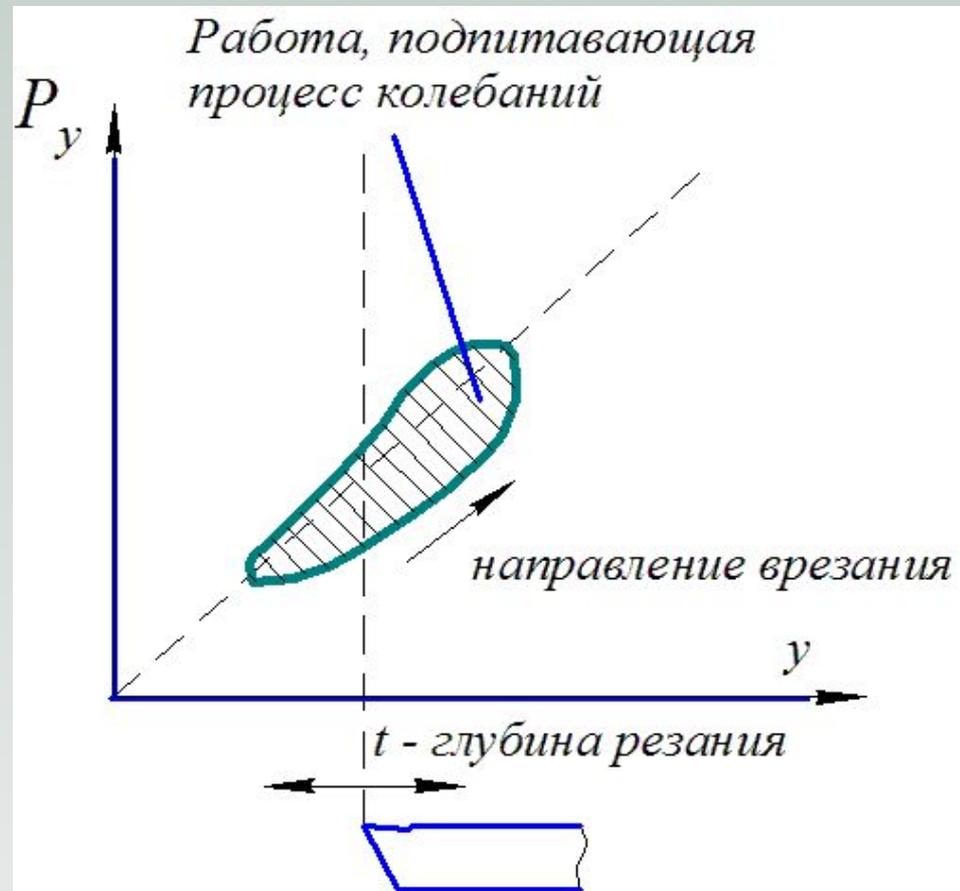
Определение автоколебаний

Автоколебания - это самовозбуждающиеся колебания с частотой,

- близкой к одной из собственных частот системы,
- вызываемые самим процессом резания.

Отличительная особенность автоколебаний – они возникают после касания заготовки инструментом, после отвода инструмента сразу исчезают.

Иллюстрация механизма возникновения автоколебаний



Борьба с вредными последствиями автоколебаний

- Борьба с автоколебаниями сводится к снижению их амплитуды до безопасного уровня.
- Радикальные средства борьбы с автоколебаниями это:
 - увеличение жесткости самого слабого элемента технологической системы;
 - применение демпферов.

Борьба с вредными последствиями автоколебаний

- В небольших пределах можно уменьшить амплитуду колебаний за счет изменения режимов резания:
 - увеличением скорости резания V ;
 - уменьшением глубины резания t ;
 - увеличением подачи s ;
 - увеличением главного угла в плане резца φ до $70-80^\circ$.
 - применением смазочно-охлаждающей жидкости.