

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ  
КГБ ПОУ «КМТ»



**Физические законы и явления  
в токарной металлообработке.**

Преподаватель физики  
Шпак С.И.

**Введение**

Для успешного овладения профессией «Токарь - универсал» необходимо не только знать принцип работы токарного станка и уметь работать на нем, а также понимать какие физические законы и явления лежат в основе металлообработки.

**Цель** данной работы: установить физические законы и явления, лежащие в основе металлообработки.

**Задача:** Изучить процесс резания металла и выявить физические законы и явления, сопровождающие процесс резания

**Практическая работа № 1**

**Тема: Силы при резании.**

**Задание:** Письменно ответить на вопросы.

1. Укажите причину возникновения силы резания и ее направление.
2. Укажите причину возникновения реактивных сил, действующих на режущий инструмент.
3. Начертите схему действия реактивных сил.(На схеме обозначьте силы, укажите их названия)
4. Заполнить таблицу «Составляющие силы резания»:

Сила	Направление действия силы	Назначение силы
Сила $PZ$		
Сила $PY$		
Сила $PX$		

5. Как вычисляется равнодействующая силы резания?

**Тема: Силы при резании**

При обработке резанием металл оказывает сопротивление режущему инструменту. Это сопротивление преодолевается силой резания, приложенной к передней поверхности инструмента. Сила резания направлена перпендикулярна передней поверхности резца. Сила резания затрачивается на отрыв элемента стружки от основной массы металла и его деформацию, а также на преодоление трения стружки о переднюю поверхность резца и задней поверхности резца о поверхность резания.

В результате сопротивления металла процессу деформирования возникают реактивные силы, действующие на режущий инструмент (рис.3а).

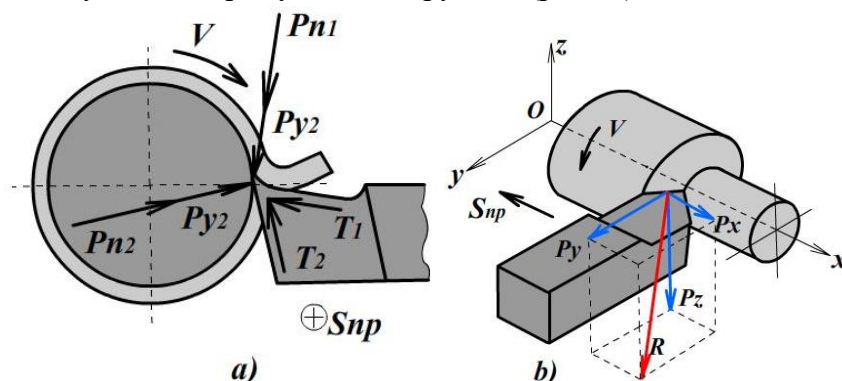


Рис.3. Схема сил, действующих на резец (а), и разложение силы резания на составляющие (б)

Это силы упругого ( $P_{y1}$  и  $P_{y2}$ ) и пластического ( $P_{n1}$  и  $P_{n2}$ ) деформирования, векторы которых направлены перпендикулярно к передней и главной задней поверхностям инструмента. Наличие нормальных сил обуславливает возникновение сил трения  $T_1$  и  $T_2$ , направленных по передней и главной задней поверхностям инструмента. Всю указанную систему сил приводят к равнодействующей силе резания:

$$R = \overrightarrow{P_{y1}} + \overrightarrow{P_{y2}} + \overrightarrow{P_{n1}} + \overrightarrow{P_{n2}} + \overrightarrow{T_1} + \overrightarrow{T_2}$$

Точка приложения силы  $R$  находится на рабочей части главной режущей кромки инструмента. Абсолютная величина, точка приложения и направление в пространстве силы  $R$  под влиянием ряда факторов (неоднородность структуры и твердости заготовки, непостоянство срезаемого слоя металла и др.) являются переменными. Поэтому для расчетов используют не равнодействующую силу резания  $R$ , а ее составляющие, действующие по трем взаимно перпендикулярным направлениям –  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ . Для токарной обработки ось  $X$  – линия центров станка; ось  $Y$  – горизонтальная линия, перпендикулярная линии центров станка; ось  $Z$  – линия, перпендикулярная плоскости  $XOY$  (рис.3б).

**Сила  $PZ$**  – вертикальная составляющая силы резания или просто сила резания. Действует в плоскости резания в направлении главного движения. По силе  $P_z$  определяют крутящий момент на шпинделе станка, эффективную мощность резания, деформацию изгиба заготовки в плоскости  $XOZ$ , изгибающий момент, действующий на стержень резца, а также ведут динамический расчет механизмов коробки скоростей станка.

**Сила  $PY$**  – радиальная составляющая силы резания. Действует перпендикулярно оси обрабатываемой заготовки в плоскости  $XOY$ . По силе  $P_y$  определяют величину упругого отжатия резца от заготовки, ведут расчет технологической системы на жесткость. Сила  $P_y$  стремится оттолкнуть резец от заготовки и деформировать ее. Учитывается при расчете прочности станины и суппорта, способствует появлению вибраций.

**Сила  $PX$**  – осевая составляющая силы резания. Действует вдоль оси заготовки параллельно направлению продольной подачи. По силе  $P_x$  рассчитывают механизм подачи станка, а также изгибающий момент, действующий на стержень резца.

Равнодействующая силы резания определяется как диагональ параллелепипеда, построенного на составляющих сил:

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

## Практическая работа № 2

**Тема: Деформации в процессе резания.**

**Задание:** Письменно ответить на вопросы.

1. Перечислить виды деформаций, возникающих в процессе резания.
2. Заполнить таблицу «Виды деформаций при резании»:

Вид деформации	Место возникновения

3. Что представляет собой процесс резания с физической точки зрения?

**Тема: Деформации в процессе резания.**

**Резание металлов** – сложный процесс взаимодействия режущего инструмента и заготовки, сопровождающийся определенными физическими явлениями. Упрощенно процесс резания можно представить в виде следующей схемы (рис.1.). В начальный момент процесса резания движущийся резец под действием силы  $P$  вдавливается в металл, в срезаемом слое возникают упругие деформации. При дальнейшем движении резца **упругие деформации**, накапливаясь по абсолютной величине, переходят в пластические. В прирезцовом срезаемом слое материала заготовки возникает сложное упругонапряженное состояние. В плоскости, перпендикулярной траектории движения резца, возникают нормальные напряжения  $\sigma_y$ , а в плоскости, совпадающей с траекторией движения резца, - касательные напряжения  $\tau_x$ . Наибольшие касательные напряжения действуют у вершины резца  $A$ , уменьшаясь до нуля по мере удаления от нее. Нормальные напряжения вначале действуют как растягивающие, а затем быстро уменьшаются и, переходя через нулевое значение, превращаются в напряжения сжатия.

Под действием нормальных и касательных напряжений срезаемый слой **пластически деформируется**. Рост пластической деформации приводит к сдвиговым деформациям, т.е. к смещению частей кристаллов относительно друг друга. Это происходит, когда возникающие напряжения превосходят предел прочности обрабатываемого материала. **Сдвиговые деформации** происходят в зоне стружкообразования  $ABC$ , причем они начинаются в плоскости  $AB$  и заканчиваются в плоскости  $AC$  – скалыванием элементарного объема металла и образованием стружки. Далее процесс повторяется и образуется следующий элемент стружки и т.д.

Условно принято считать, что сдвиговые деформации происходят по плоскости  $OO$ , которую называют плоскостью сдвига. Плоскость сдвига  $OO$  располагается примерно под углом  $\theta = 30^\circ$  к направлению движения резца. Угол  $\theta$  называют углом сдвига. Он не зависит от геометрических параметров режущего инструмента и свойств обрабатываемого материала.

Срезанный и превращенный в стружку слой металла дополнительно деформируется вследствие трения стружки о переднюю поверхность инструмента.

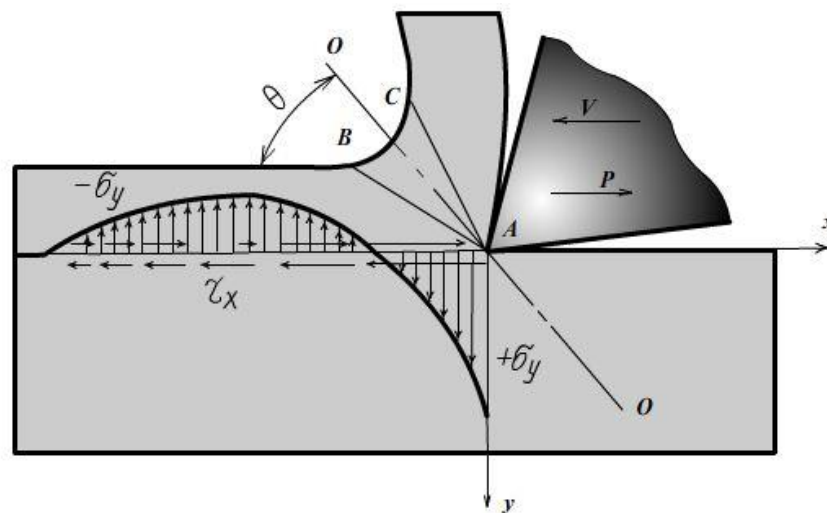


Рис.1. Схема упругонапряженного состояния металла при обработке резанием

Структура металла зоны  $ABC$  и стружки резко отличаются от структуры основного металла. Структура основного металла состоит из равноосных зерен. В зоне  $ABC$  зерна сильно измельчены и вытянуты в определенном направлении, совпадающем с направлением

плоскости  $OO$ , которая с плоскостью сдвига составляет угол  $\beta$ . Для хрупких материалов пластическая деформация практически отсутствует и угол  $\beta$  близок к нулю, а при резании деталей из пластичных материалов значение угла  $\beta$  доходит до 30 град. У передней поверхности резца слои стружки искривляются и располагаются почти параллельно ей.

**Следовательно, резание может быть представлено как процесс последовательного упругого и пластического деформирования срезаемого слоя металла, а затем его разрушения.**

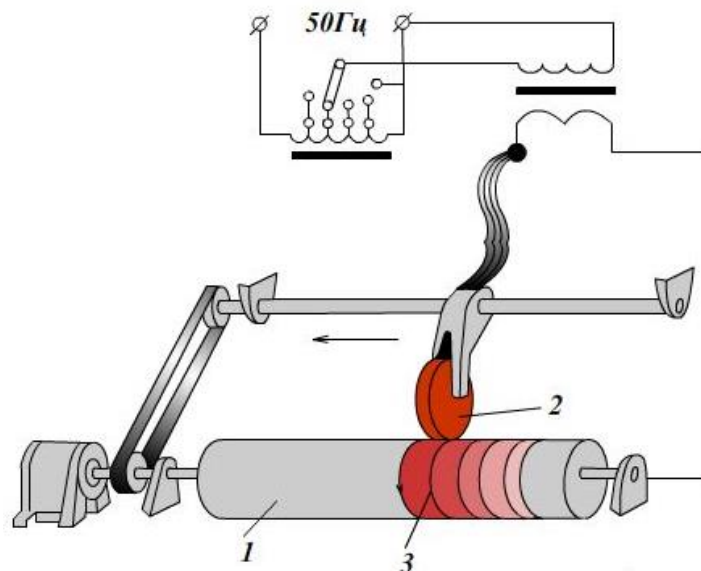
### Практическая работа № 3

**Тема: Поверхностная закалка при контактном нагреве.**

**Задание:** Письменно ответить на вопросы:

1. Каким образом осуществляется поверхностная закалка при контактном нагреве?
2. Какое свойство тока лежит в основе данного метода.
3. Каков недостаток данного метода закалки?

#### Поверхностная закалка при контактном нагреве.



Сущность данного способа закалки заключается в следующем. Электрический ток напряжением от 2 до 8 В от трансформатора подается к детали **1** и к медному ролику **2** диаметром 200 – 300 мм шириной 10 – 15 мм. Нагрев поверхности осуществляется за счет теплоты, выделяемой в месте контакта медного ролика и детали. Плотность тока равна 5000 – 1500 А/мм (ширины ролика).

Обрабатываемая деталь вращается, а медный ролик перемещается вдоль поверхности со скоростью 5 – 8 мм/с, оставляя за собой нагретый участок **3**. Охлаждение нагретой поверхности осуществляется из спрейера, который движется за роликом.

Если ширина закаливаемой поверхности превышает ширину медного ролика, то для закалки всей поверхности проводится последовательное и многократное прохождение ролика по детали. При этом каждая последовательная закаленная полоса вызывает отпуск соседней узкой зоны. В итоге твердость закаленной поверхности полосок будет неравномерной: 56 – 63 HRC зон с мартенситной структурой и значительно ниже (на 15 – 20 HRC) зон подвергнутых отпуску и имеющих сорбитную структуру.

Этот способ поверхностной закалки применим только для тел вращения, что существенно ограничивает его использование.

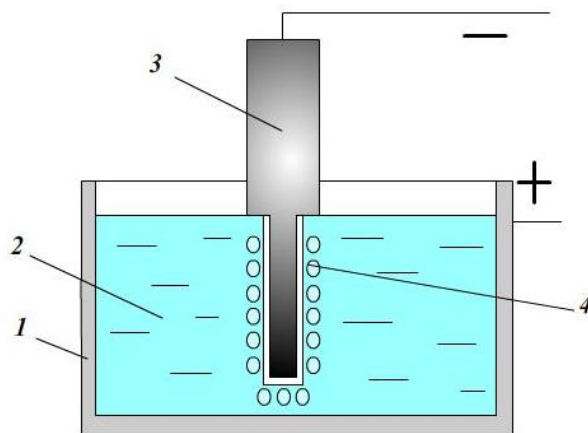
#### Практическая работа № 4

**Тема: Закалка в электролите.**

**Задание:** Заполнить таблицу «Закалка в электролите» и подготовить устный ответ.

Название процесса	Схема установки	Принцип действия	Применение

**Тема: Закалка в электролите.**



Метод основан на физическом явлении, называемом «эффектом нагрева катода». Процесс закалки заключается в следующем. В ванну 1 с электролитом 2 (5-10% - раствор кальцинированной соды) опускают закаливаемую деталь 3. Деталь присоединяют к отрицательному полюсу источника постоянного тока напряжением 220 – 250 В, а корпус ванны – к положительному полюсу. При пропускании электрического тока через электролит происходит диссоциация электролита и положительно заряженные ионы водорода устремляются к поверхности детали, образуя водородную «рубашку» 4. Сила и плотность тока зависят от глубины погружения детали в электролит и от условий нагрева. Водородная оболочка обладает большим сопротивлением и нагревается до высоких температур при прохождении электрического тока. От разогретой водородной оболочки нагревается до высоких температур поверхность детали. После нагрева детали ток отключают и происходит охлаждение непосредственно в электролите.

При закалке в электролите температура плавно падает от поверхности детали к сердцевине, что способствует снижению остаточных растягивающих напряжений и предотвращает образование закалочных трещин.

В результате закалки в поверхностном слое получают мартенсит, в сердцевине – сорбитообразный перлит и феррит.

Поверхностную закалку применяют для упрочения клапанов, винтов, штанг, рычагов и других деталей.

#### Практическая работа № 5

**Тема: Тепловыделение при резании.**

**Задание:** Письменно ответить на вопросы.

1. Объясните причину повышения температуры в зоне резания.
2. Как происходит распределение энергии при резании?
3. Почему стружка испытывает более сильный нагрев?
4. Каковы причины перегрева инструмента?
5. Каковы последствия перегрева инструмента?

### Тепловыделение при резании

Выделение тепла при резании происходит вследствие пластического деформирования металла:

- трения стружки о переднюю поверхность резца
- трения задней поверхности резца о поверхность резания.

Общее количество теплоты, выделяемое в единицу времени:  $Q = P_z \cdot V$  [Дж/мин].

При токарной обработке:

- в стружку уходит 60-80% всей выделяемой теплоты
- в резец – 4-10%
- в заготовку – 9-13%
- в окружающую среду - ~1%.

Т. е. основное количество тепла переходит в стружку и заготовку. В наибольшей степени на температуру в зоне резания оказывает влияние скорость резания. Влияют также подача, геометрия применяемого инструмента и т. д. Нагрев инструмента и заготовки снижает точность обработки.

В процессе резания температура в зоне контакта металлической детали, режущего инструмента и стружки повышается. Повышение температуры в зоне резания – это побочный и неизбежный результат превращения механической энергии, затрачиваемой на работу резания. Теплота  $Q_{рез}$ , которая выделяется в зоне резания, распределяется между взаимно контактирующими стружкой ( $Q_{стр}$ ), заготовкой ( $Q_{заг}$ ), инструментом ( $Q_{инстр}$ ) и окружающей средой ( $Q_{атм}$ ).

$$Q_{рез} \rightarrow (Q_{стр}) + (Q_{заг}) + (Q_{инстр}) + (Q_{атм})$$

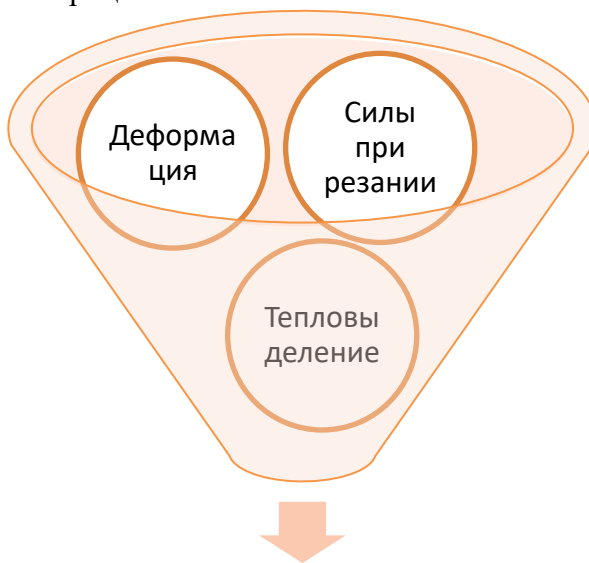
Более сильный нагрев испытывает стружка, так как она имеет небольшую толщину и подвергнута деформации: до 75% всей теплоты в зоне резания аккумулировано стружкой. Значительный нагрев испытывает инструмент, нагрев которого происходит за счет трения, а также теплопередачи от стружки, сходящей по его передней поверхности. Количество теплоты, поглощаемой инструментом, может достигать 40% всей теплоты возникающей в зоне резания.

Режущая кромка перегретого инструмента приобретает синий оттенок и оплавляється. Оплавление режущей кромки – результат неправильного выбора режима резания. Даже если инструмент не доведен до аварийного разрушения, перегрев приводит к размягчению материала режущей кромки инструмента и ускорению его изнашивания.

До 10 % теплоты может поглощать заготовка и около 1% теплоты приходится на нагрев окружающей среды.

**Заключение:**

В результате изучения процесса резания были установлены физические явления, лежащие в основе данного процесса.



**Резание металла**

Выявленные явления соотнесены с законами физики.

Силы при резании	Законы Ньютона
Тепловыделение при резании	Закон сохранения энергии.
Деформации при резании	Механические свойства твердых тел

**Список литературы:**

1. Адаскин А.М. Материаловедение (металлообработка): Учебное пособие для сред. проф. образования – М.: Издательский центр «Академия», 2016г.