

Механические, конструкционные и эксплуатационные свойства материалов и методы их определения

Общие понятия о нагрузках, напряжениях, деформациях и разрушениях материалов

Напряжения - внутренние силы, приходящиеся на единицу площади поперечного сечения

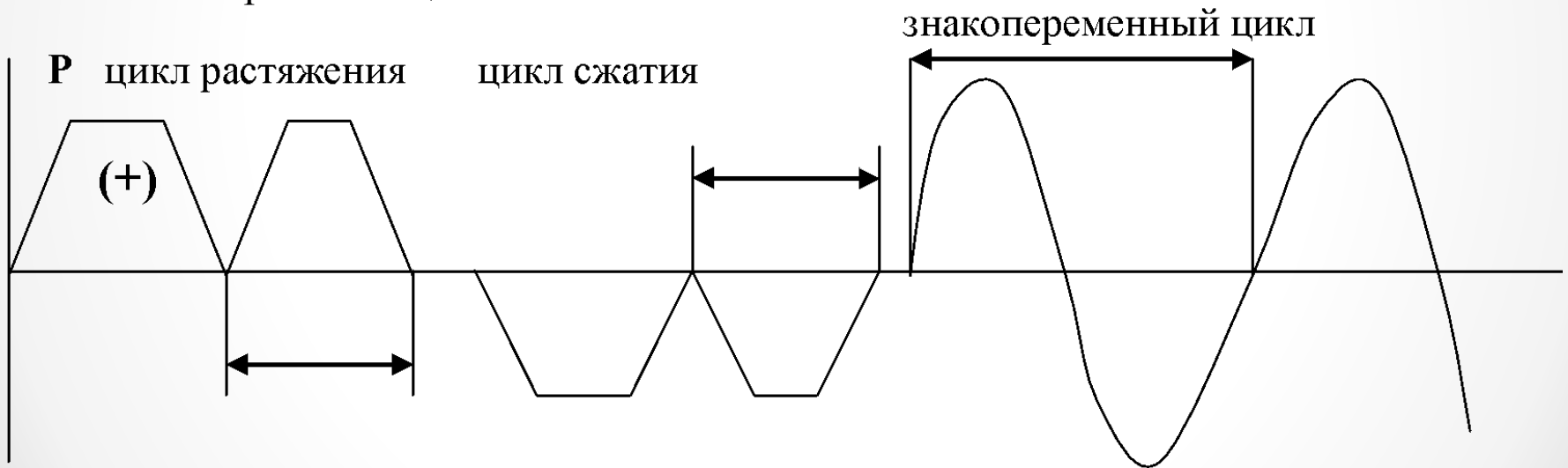
Деформацией называется изменение формы и размеров тела под действием напряжений

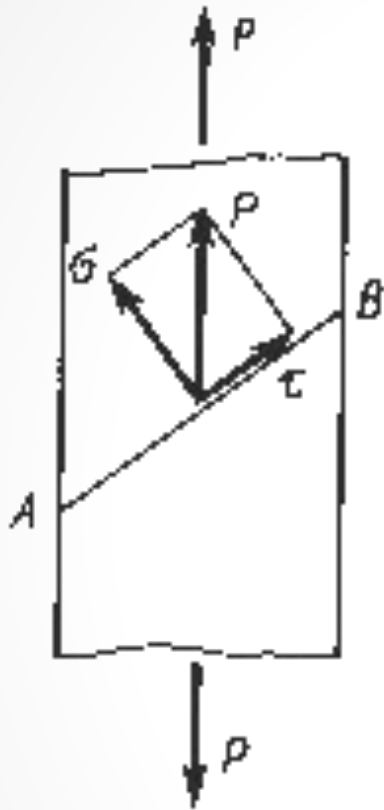
Нагрузки

1. **статические** – скорость нагружения минимальная
2. **динамические** – высокая скорость нагружения – удар

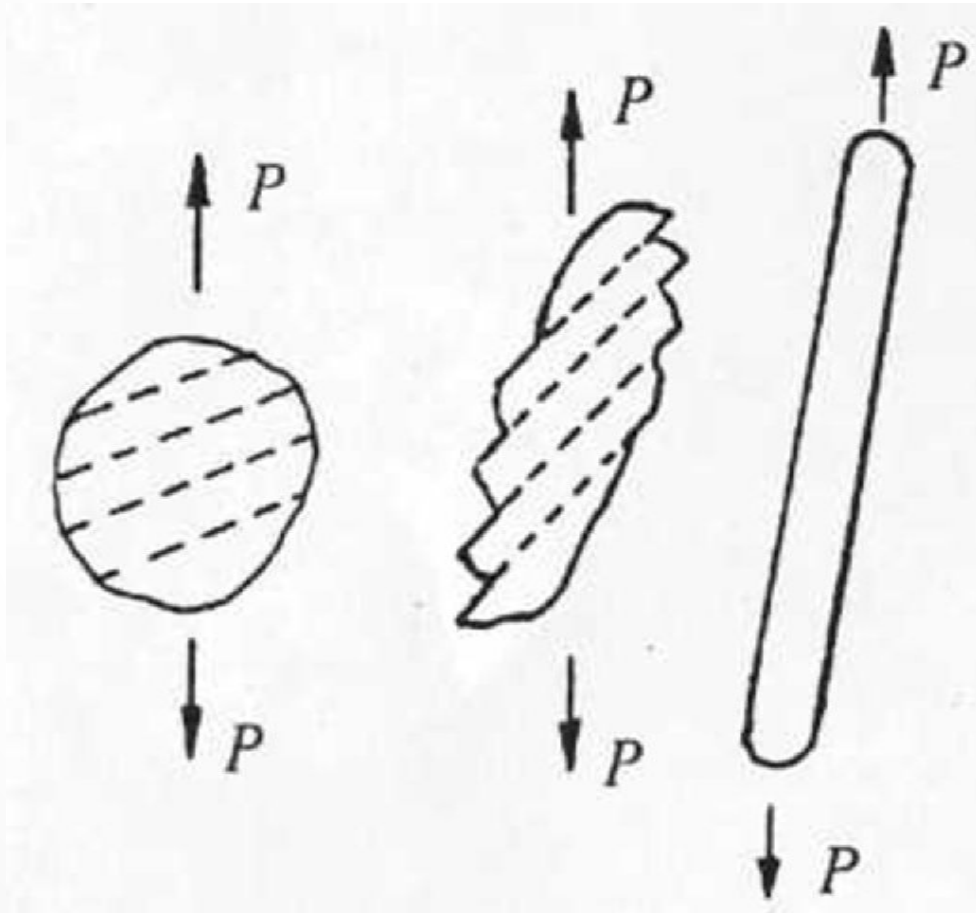
Типы нагрузок

- растягивающие
- сжимающие
- изгибающие
- скручивающие
- срезающие

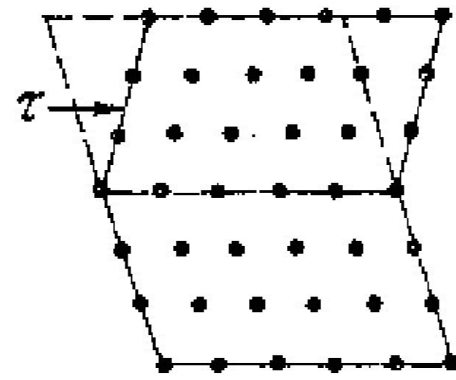
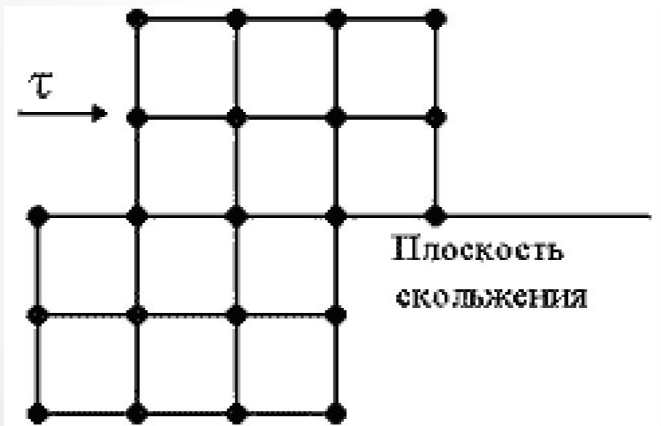




Дислокационные механизмы упругопластической деформации

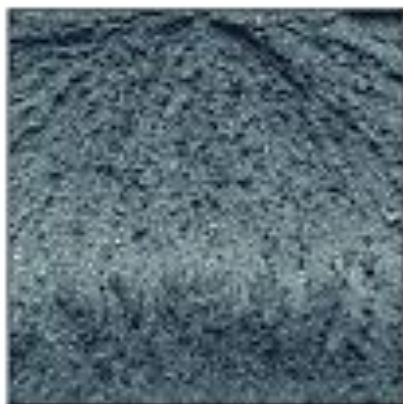


При пластической деформации изменение размеров тела может происходить скольжением (сдвигом) и двойникованием, т.е поворотом одной части кристалла в положение, симметричное другой его части



- В результате пластической деформации может происходить вязкое и хрупкое разрушение.
- **Вязкое** – при действии касательных напряжений, сопровождается значительной пластической деформацией и происходит срезом. В месте разрушения наблюдается матовый излом.
- **Хрупкое** – под действием нормальных напряжений вызывающих отрыв частей без макропластической деформации – блестящий излом.

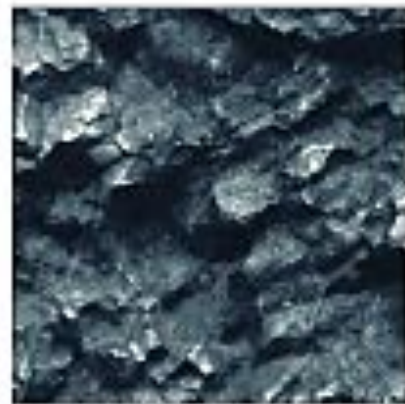
Исследование изломов металлов



Вязкий излом X5



Некристаллитный хрупкий излом X5



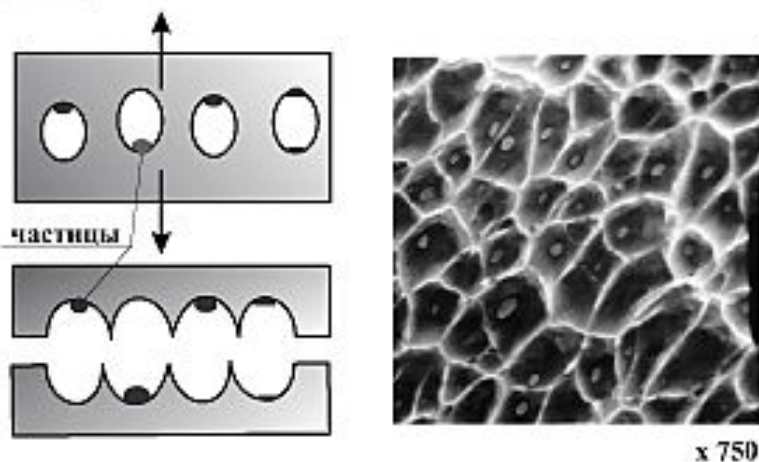
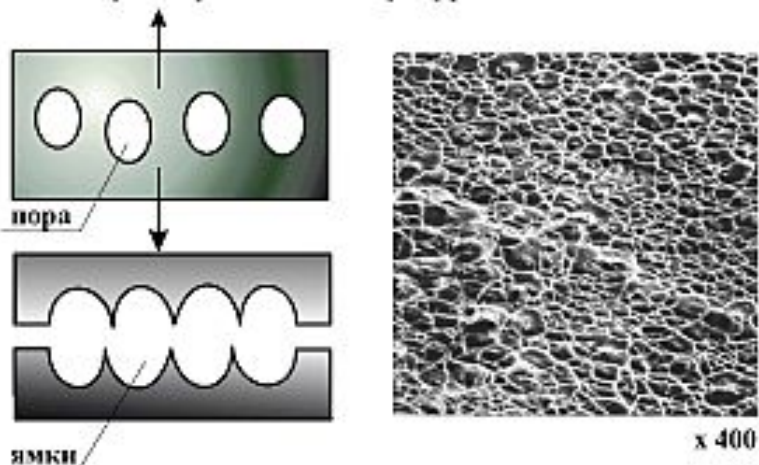
Кристаллитный хрупкий излом X5



Слоистый излом

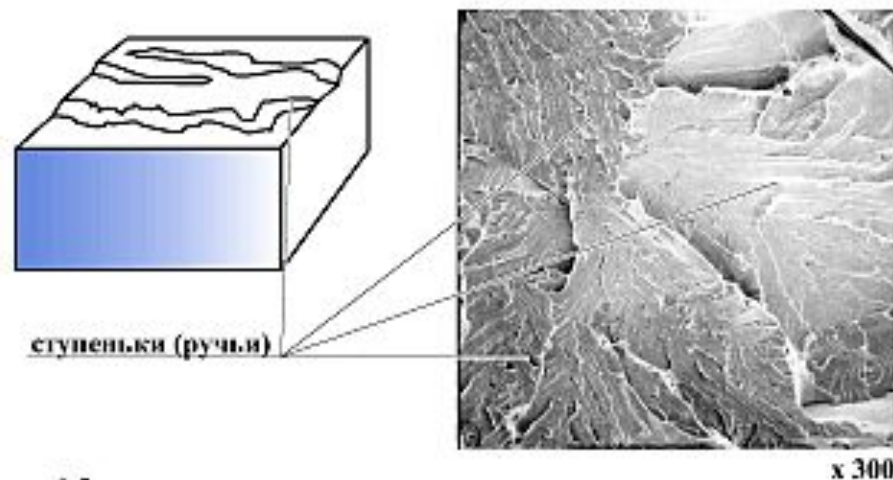
Исследование изломов на сканирующем электронном микроскопе

Вязкое транскристаллитное разрушение

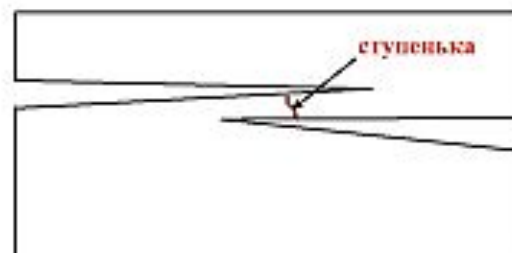


Исследование изломов на сканирующем электронном микроскопе

Хрупкое транскристаллитное разрушение (скол)



Образование ступенек

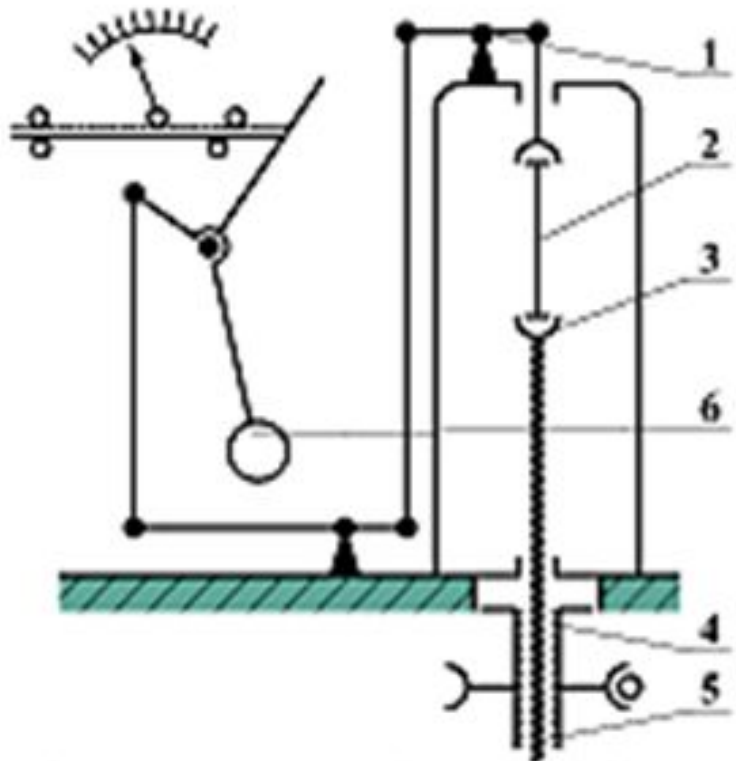


Свойства и методы испытания материалов

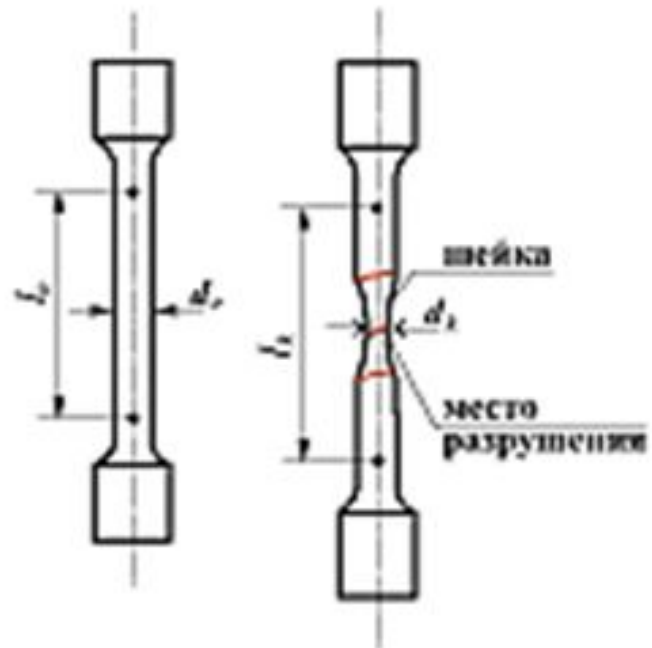
Определяют:

- упругость
- пластичность
- твердость
- вязкость
- усталость
- трещиностойкость
- холодостойкость
- жаропрочность

Статическое испытание на растяжение

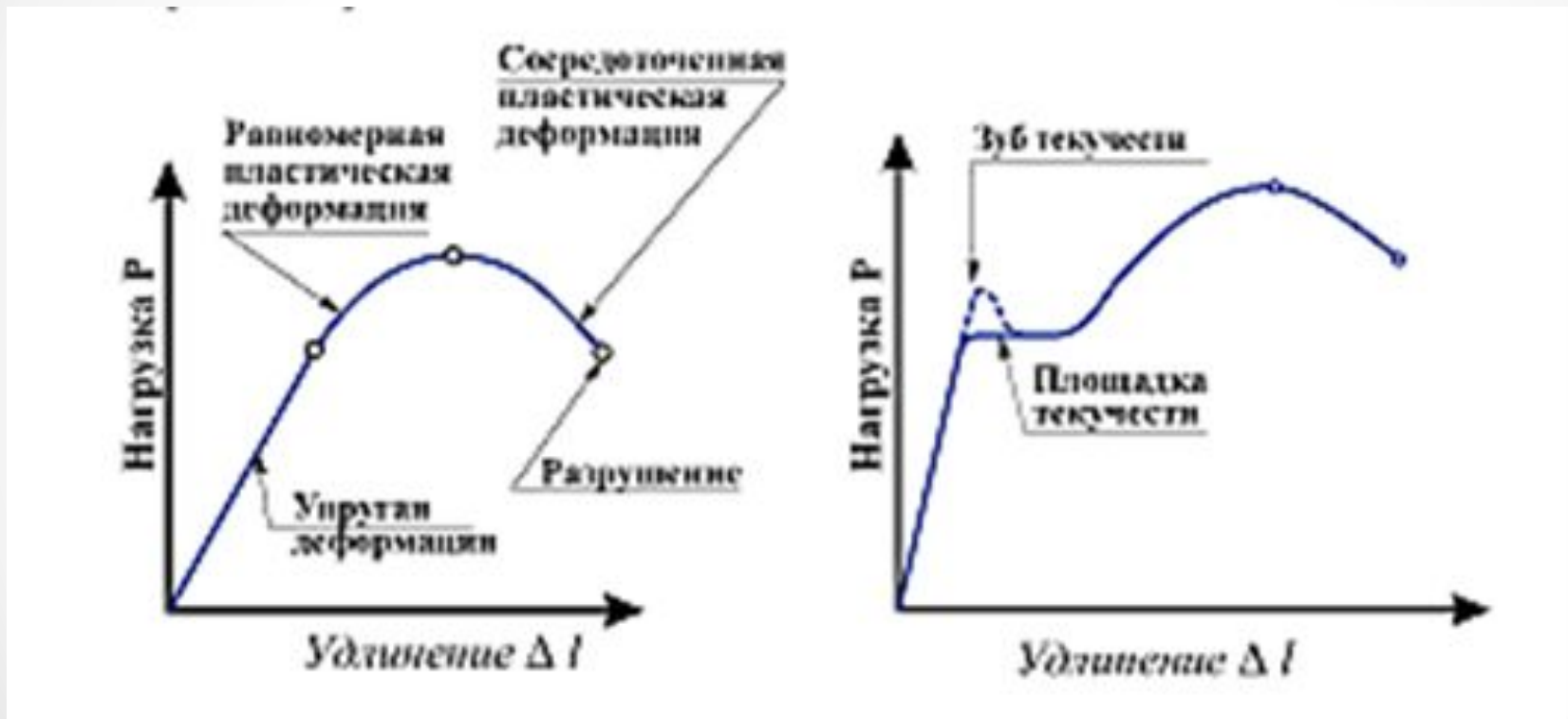


1 – силовой измеритель; 2 – образец; 3 – захват;
4 – грузовой винт; 5 – гайка; 6 – маятник



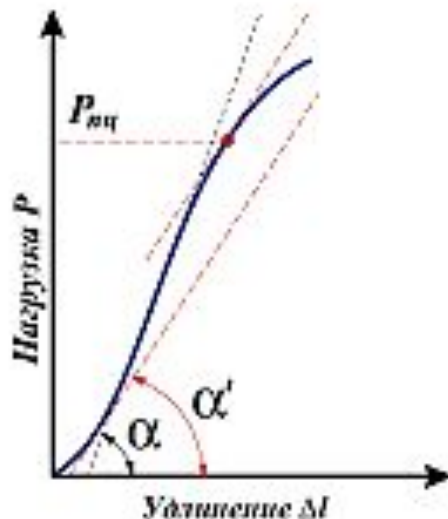
Разрывной образец
до и после испытаний

Диаграмма растяжения



Испытания на растяжение

Характеристики прочности

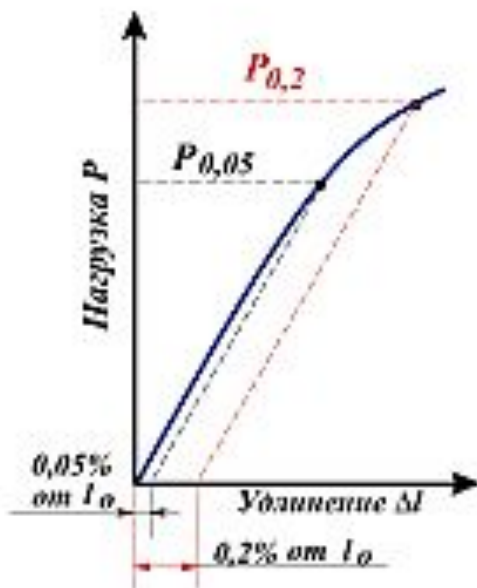


Предел пропорциональности - напряжение, при котором отклонение от линейной зависимости между нагрузкой и деформацией достигает некоторой определенной величины

$$\sigma = \frac{P_{пц}}{F_0} \quad (\text{МПа})$$

где F_0 - исходная площадь поперечного сечения образца

По уменьшению $\text{tg } \alpha$ на 10, 25 и 50% определяют $\sigma_{пц10}$, $\sigma_{пц25}$ и $\sigma_{пц50}$ соответственно



Предел упругости - напряжение, при котором остаточная деформация достигает заданной величины. Остаточная деформация выбирается от 0,05 до 0,005%

При остаточной деформации 0,05%

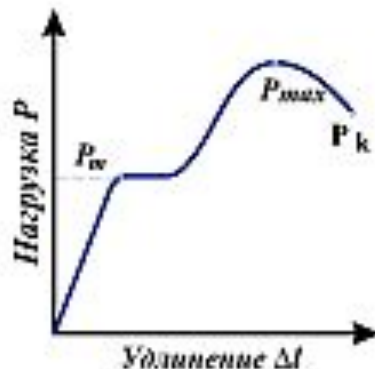
$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0} \quad (\text{МПа})$$

Условный предел текучести - напряжение, которому соответствует остаточная деформация, равная 0,2%

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \quad (\text{МПа})$$

Испытания на растяжение

Характеристики прочности



Физический предел текучести - напряжение, при котором образец деформируется под действием неизменной нагрузки

$$\sigma = \frac{P_{тв}}{F_0} \quad (\text{МПа})$$

Предел прочности или временное сопротивление - условное напряжение, соответствующее максимальному усилию, которое может выдержать образец до разрушения.

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0} \quad (\text{МПа})$$

Характеристики пластичности

Относительное удлинение - $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100 \quad (\%)$
где l_0 - начальная длина образца,
 l_k - конечная длина образца.

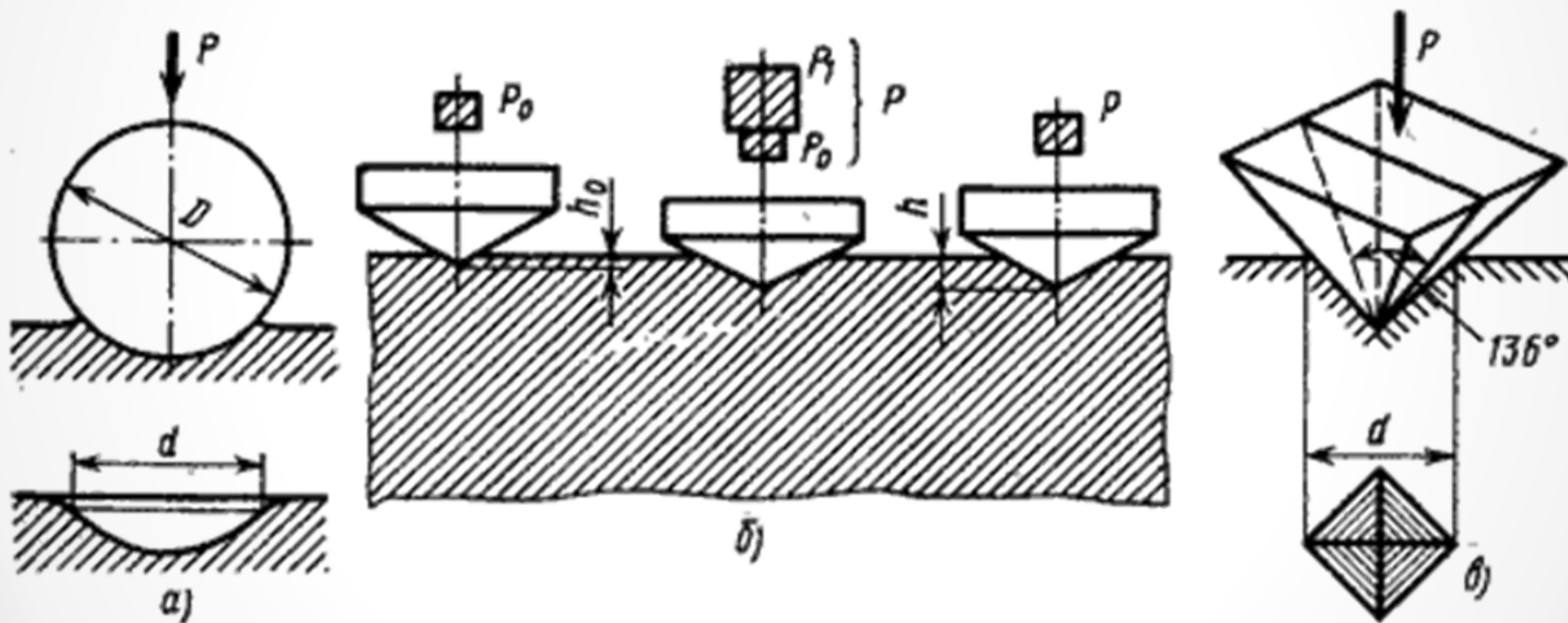
Относительное сужение - $\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100 \quad (\%)$

где F_0 - исходная площадь поперечного сечения образца,
 F_k - площадь поперечного сечения образца в месте разрушения.

Испытание на твердость

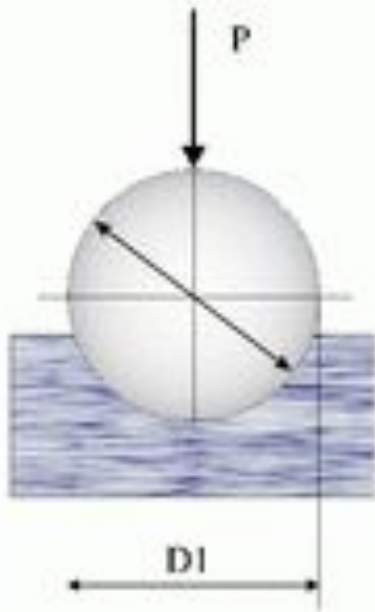
- **Твердость** – свойство материала оказывать сопротивление контактной деформации или хрупкому разрушению при внедрении индентора в его поверхность.
- **Индентор** - тело стандартного размера, которое вдавливается в образец.

Схемы определения твердости

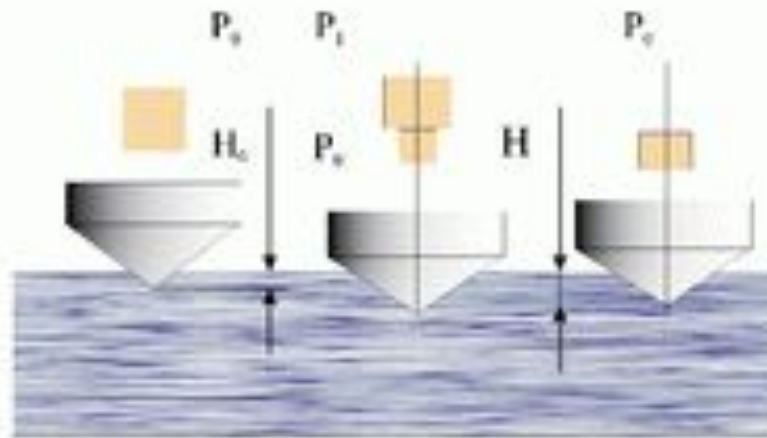


a – по Бринеллю; b – по Роквеллу; c – по Виккерсу

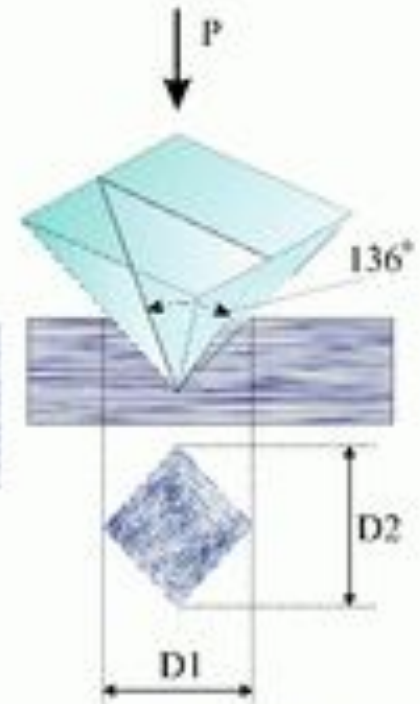
$$P = P_0 + P_1$$



По Бринеллю



По Роквеллу



По Виккерсу

Твердость по Бринеллю

Измерения твердости по Бринеллю

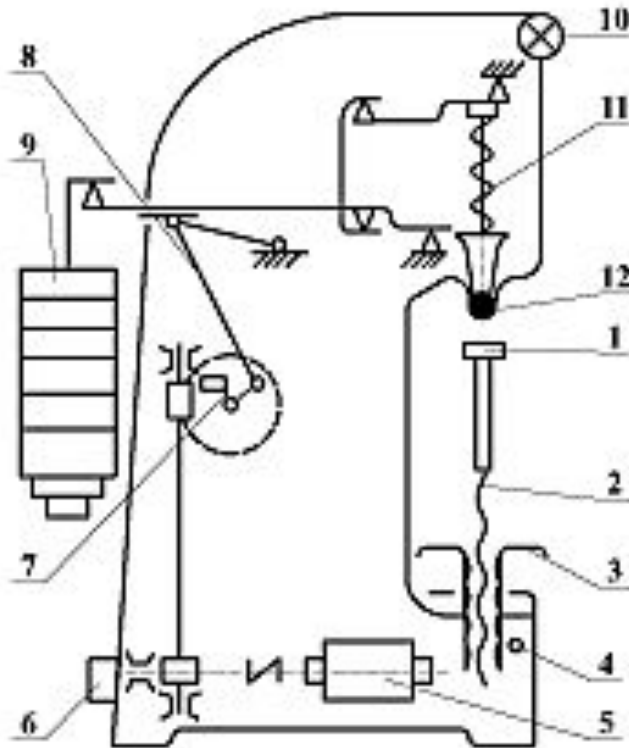


Схема прибора:

1 – сталеик; 2 – подъемный винт; 3 – маховик;
4 – пусковая катушка; 5 – электродвигатель;
6 – магнитный муфта; 7 – подвешенный узор;
8 – шатуны; 9 – грузы; 10 – сигнальная лампа;
11 – пружина; 12 – оправка с шариком (индентор)



Индентор – стальной закаленный шарик диаметром D , равным 10, 5 или 2,5 мм;

Нагрузка – от $2,5 D^2$ до $30 D^2$ (кгс);

Время выдержки под нагрузкой – 10, 30 или 60 секунд

Число твердости по Бринеллю (НВ) – отношение нагрузки к площади поверхности сферического отпечатка

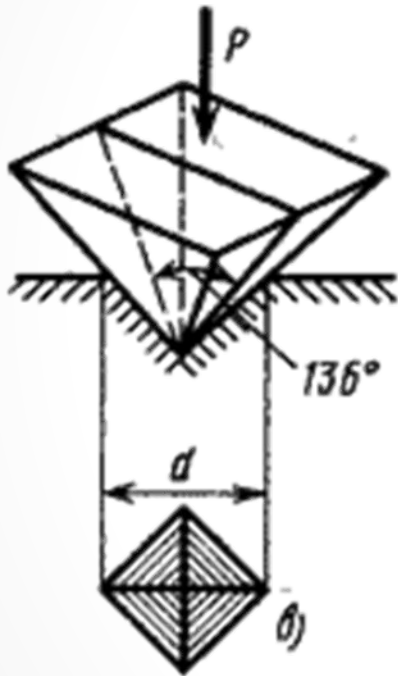
Метод Виккерса

С использованием алмазной
четырёхгранной пирамиды.

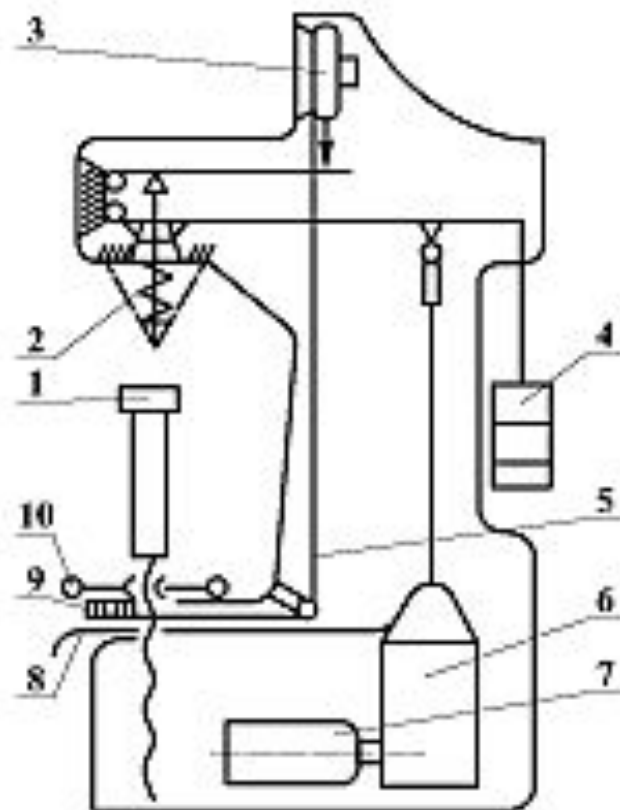
$P = 50 \dots 1000 \text{ Н}$

$t = 15 \text{ с.}$

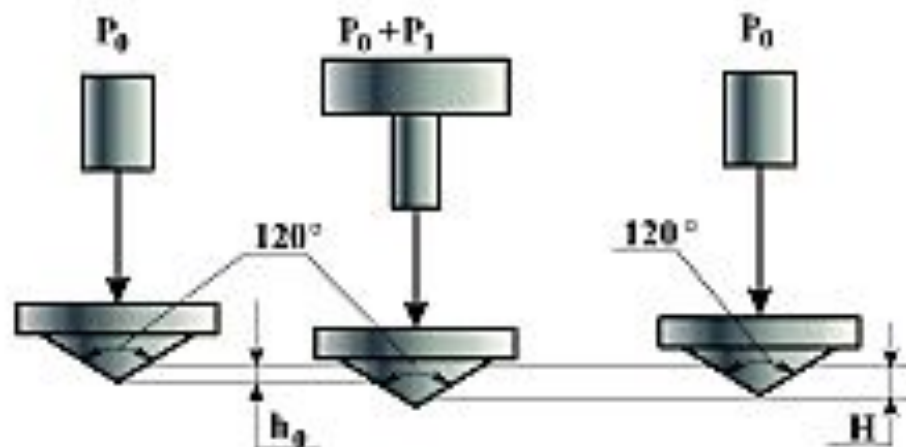
Диагональ отпечатка d



Измерения твердости по Роквеллу



1 - стол; 2 - наконечник (индентор); 3 - индикатор; 4 - грузы; 5 - трос; 6 - редуктор; 7 - привод; 8 - клавиша; 9 - барабан; 10 - маховик



Индентор – алмазный конус с углом 120° при вершине или стальной шарик диаметром 1,588 мм

P_0 – предварительная нагрузка (10 кг);

P_1 – основная нагрузка

Единица твердости по Роквеллу (HR) – безразмерная величина, соответствующая осевой перемещению индентора на 0,002 мм

Обозначение твердости	Индентор (наконечник)	Шкала индикатора	Полная нагрузка, кг
HRC HRA	алмазный конус	C A	150 60
HRB	стальной шарик	B	100

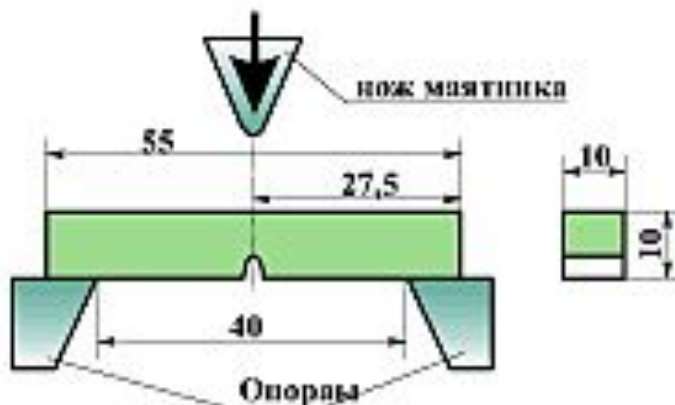
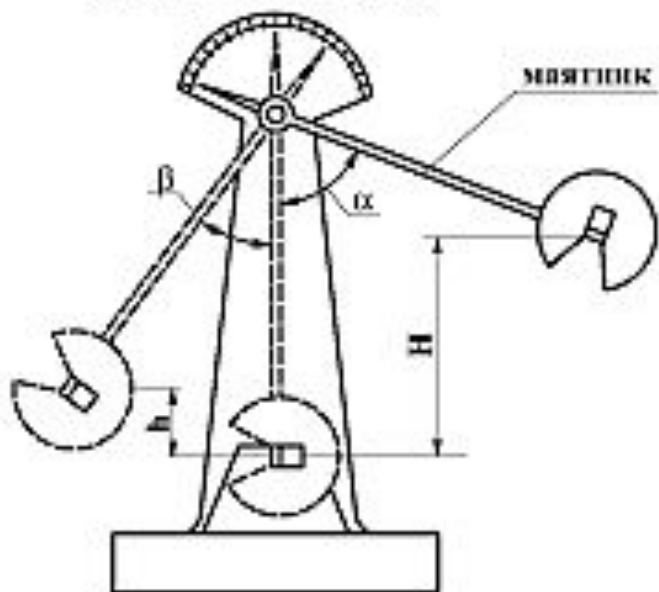
Метод Роквелла

Группа	Обозначение	Назначение	Нагрузка, кг			Сфера применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для твердых материалов
B	HRC	Стальной закаленный шарик $\varnothing 15$	10	50	100	Для сталей и сплавов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для твердых материалов

Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении

Испытания на ударный изгиб

Схема испытаний



Ударная вязкость

$$K_C = \frac{K}{F} \text{ (МДж/м}^2\text{)}$$

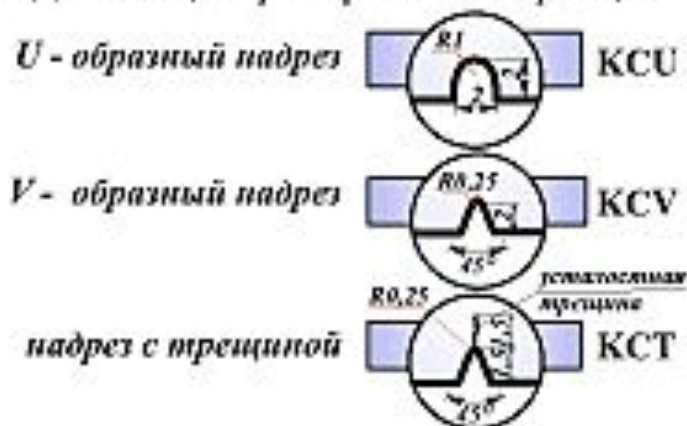
K - работа удара, затраченная на пластическую деформацию и разрушение образца;

$$K = P(H - h) = PL(\cos\beta - \cos\alpha),$$

где P и L - вес и длина маятника соответственно

F - площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания.

Виды концентраторов на образце



Испытания на ударный изгиб

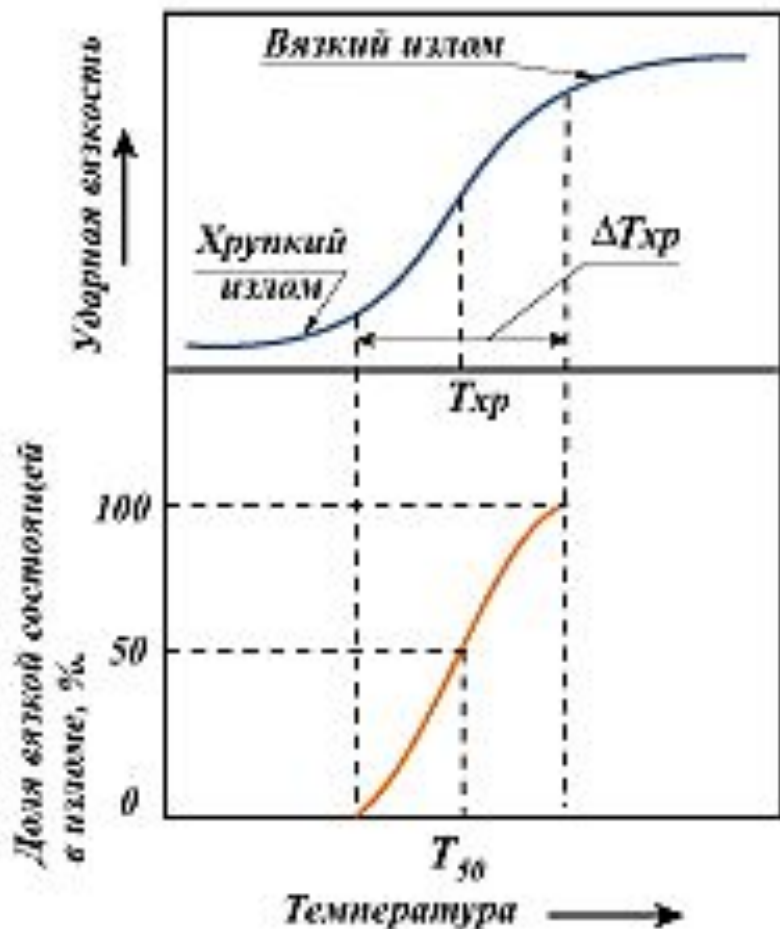
Составляющие ударной вязкости

$$K_C = K_{C3} + K_{Cp}$$

K_{C3} - работа зарождения трещины

K_{Cp} - работа распространения трещины

Порог хладноломкости



$\Delta T_{хр}$ — температурный интервал перехода от вязкого разрушения к хрупкому

$T_{хр}$ — порог хладноломкости, соответствующий середине интервала $\Delta T_{хр}$

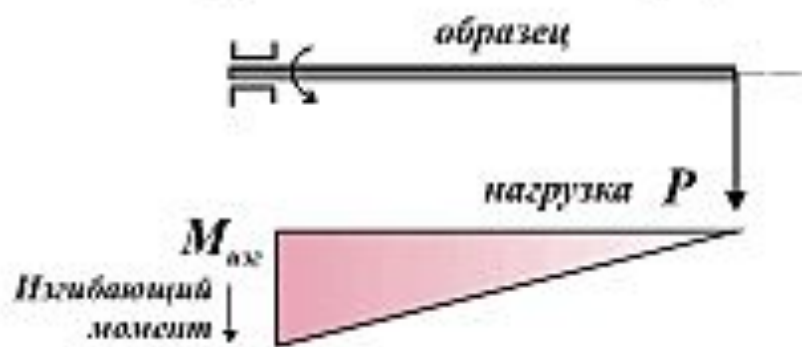
T_{50} — порог хладноломкости, соответствующая наличию 50% вязкой составляющей в изломе

Механические свойства при циклическом нагружении

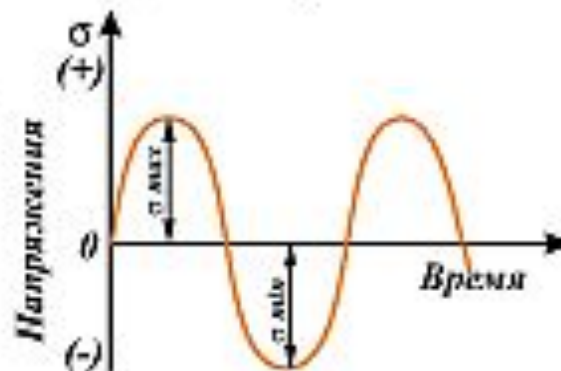
- **Усталость** – процесс постепенного накопления повреждений в металле при действии циклических нагрузок, приводящей к образованию трещин и разрушений.
- **Выносливость** – свойство противостоять усталости.
- **Сопротивление усталости** характеризуется пределом **ВЫНОСЛИВОСТИ**

Испытания на выносливость

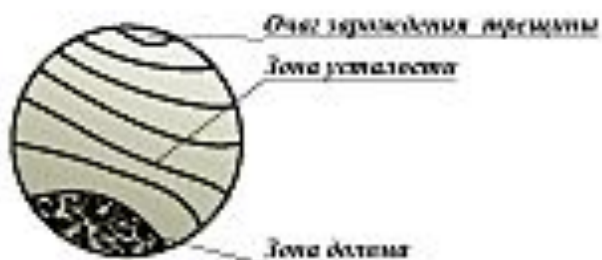
Схема нагружения – изгиб с вращением



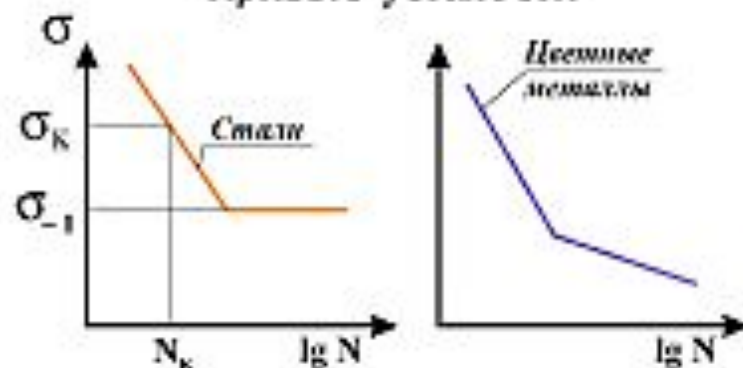
Цикл напряжений



Разрушение при усталости (схема)



Кривые усталости



$\sigma_{0.1}$ - физический предел выносливости

σ_K - предел ограниченной выносливости при заданном количестве циклов до разрушения N_K

Технологические и эксплуатационные свойства. Методы определения

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

1. Литейные свойства.

Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

Жидкотекучесть – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

Усадка (линейная и объемная) – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения.

Ликвация – неоднородность химического состава по объему.

2. Способность материала к обработке давлением.

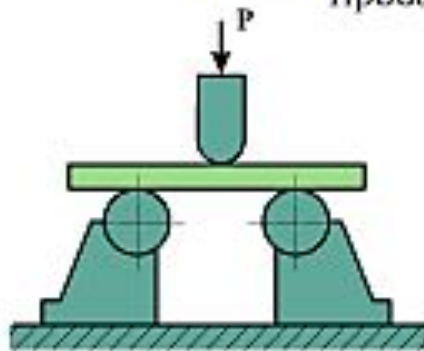
Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь.

Листовой материал испытывают на *перегиб и вытяжку* сферической лунки.

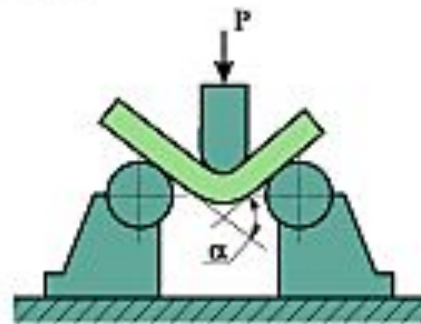
Проволоку испытывают на *перегиб, скручивание, на навивание*.

Трубы испытывают на *раздачу, сплющивание* до определенной высоты и *изгиб*.

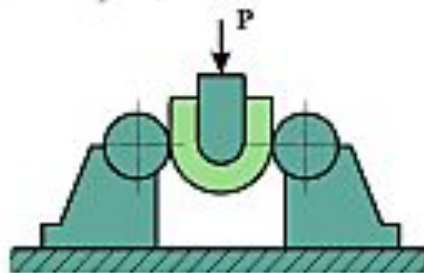
Технологические испытания
Проба на изгиб



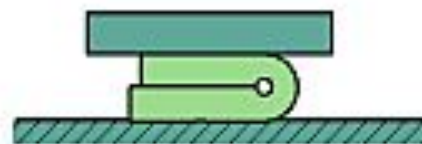
Образец до испытания



Загиб до определенного угла

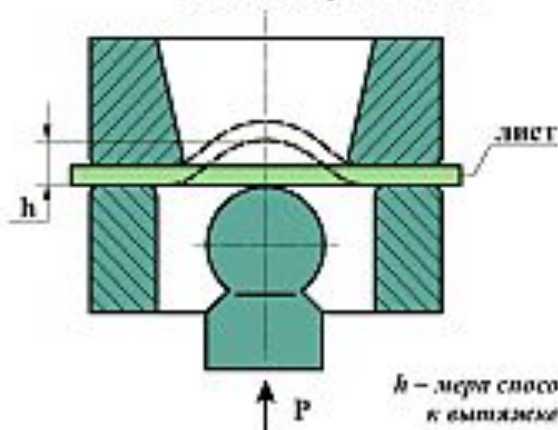


Загиб до параллельности сторон



Загиб до соприкосновения сторон

Испытания на вытяжку сферической лунки
(метод Эриксона)



h – мера способности материала к вытяжке

Эксплуатационные свойства

1. *Износостойкость* – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.
2. *Коррозионная стойкость* – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.
3. *Жаростойкость* – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.
4. *Жаропрочность* – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.
5. *Хладостойкость* – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.
6. *Антифрикционность* – способность материала прирабатываться к другому материалу