Направление подготовки бакалавров
«Прмышленное и гражданское строительство»

Строительные материалы

Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,
доцент

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Тема 5. Механические характеристики металлов

1.1. Контроль за качеством металла.

1.2. Твёрдость металлов.

1.3. Методы определения твёрдости.

1.4. Прочность металлов. Диаграммы растяжения.

1.5. Динамические испытания на ударную вязкость.

1.6. Усталостные испытания.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Контроль качества металла

На любом предприятии, работающем с металлом возникает задача контроля качества металла. Обычно на *предприятиях качество металла контролируется несколько раз и можно выделить три основных вида контроля:*

- Входной;
- Междуоперационный;
- Выходной (заключительный).

Во всех видах контроля качество металла может определятся за счет определения его ***механических характеристик, с помощью физических методов дефектоскопии*** *или с помощью* ***металлографического анализа.***

Металлографический анализ *– исследование макро- и микроструктуры металла.*

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Виды контроля металла

- Контроль по **механическим характеристикам** более быстрый, он позволяет определить качественный металл или нет, но не дает представления о том, почему металл плохой.
- **Металлографический анализ** более сложный и трудоемкий, но он позволяет ответить на вопрос, почему металл плохой.
- **Физические методы дефектоскопии** (ультразвуковой, магнитная порошковая дефектоскопия и др.) используются, в основном, для контроля уже созданных конструкций при их выпуске и в процессе эксплуатации.

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Контроль качества металла

- Физические методы дефектоскопии контролируют только макродефекты в металле, которые могут появиться на стадиях изготовления или эксплуатации.
- В связи с этим качество металла на производстве прежде всего контролируется по механическим характеристикам, и только если он плохой прибегают к металлографическому анализу.
- Поэтому возникает задача познакомиться с основными механическими характеристиками металлов

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Механические характеристики металлов

- ***Твёрдость*** *металла.*

Характеристика очень ***легко и быстро*** *определяемая гостируемыми методами. Характеристика достаточно* ***интегральная****, т.к позволяет предсказывать прочность, пластичность и износостойкость металла.*

Прочность *металла. Зависит от условий эксплуатации и определяется целым рядом механических характеристик:* ***предел текучести, предел прочности, ударная вязкость, трещиностойкость, предел усталости*** *и т.д.*

Пластичность.

Это способность металла принимать под действием нагрузки новую форму, не разрушаясь. Описывается ***относительным удлинением*** *и* ***относительным сужением при разрыве****.*

Износостойкость*.*

Износостойкостью называется способность металла оказывать сопротивление изнашиванию. Описывается ***величиной, обратной скорости изнашивания****.*

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Твёрдость металлов.

Твёрдость *– свойство металла оказывать* ***сопротивление пластической деформации*** *при контактном взаимодействии.*

Существует несколько способов определения твердости металлов. Суть всех методов одна: ***твердый наконечник*** *вдавливается в испытуемый материал определенной нагрузкой, а твёрдость определяется по* ***площади*** *или* ***глубине*** *отпечатка.*

Таким образом характеризуя любой метод испытаний необходимо описать ***форму, размеры и материал*** *наконечника,* ***величину*** *прикладываемой нагрузки,* ***способ*** *определения твердости* ***по глубине*** *или* ***площади*** *отпечатка, ее* ***обозначение и размерность.***

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Твёрдость металлов.

Виды испытания на твёрдость металлов:

- Метод по Бринеллю (HB);
- Метод по Роквеллу (HR);
- Метод по Виккерсу (HV);
- Испытания на микротвёрдость.

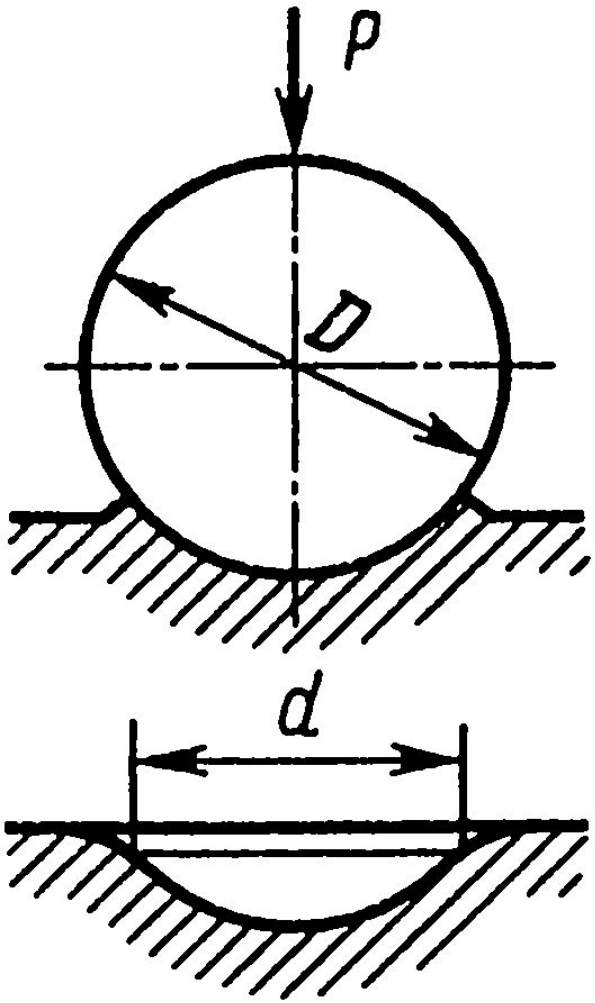
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания по Бринеллю.

Для оценки твёрдости ***цветных*** *металлов и* ***незакаленных*** *сталей.*

Наконечник – стальной закаленный шарик диаметром 10; 5; 2,5 мм.

Нагрузка 187,5 – 3000 кгс. Нагрузка задаётся с помощью прибора ТШ-2 (Бринелль)



Если F (P) в Н,то $$HB = \frac{0{,}102 \cdot 2F\ (P)}{\pi D\ (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Определение твердости по Бринеллю

1.Диаметр шарика выбирается исходя из толщины детали.

2.Величина нагрузки исходя из диаметра шарика и предполагаемой твердости материала.

3.Стандартные испытания твердости отожженных сталей проводятся шариком 10 мм, при нагрузке P=3000 кг, и времени наложения нагрузки 15 сек

4. Диаметр полученного отпечатка определяется с помощью небольшого микроскопа МПБ-2, прикладываемого к прибору Бринелля.

5. Обозначение твердости по Бринеллю:

159 НВ 5/1000/20 твердость по Бринеллю в 159 кгс/мм^2, испытания шариком 5мм при нагрузке 1000кг, время испытаний 20 сек

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Достоинства и недостатки испытаний по Бринеллю

Достоинства: заводской метод *испытания непосредственно на деталях; точность измерения не зависит от посторонних веществ на поверхности (например, масла) и шероховатости.*

Недостатки: ограниченность *применения (до 420НВ), велик отпечаток (портится деталь), нельзя измерять твердость тонких листовых материалов.*

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания по Роквеллу

.

Наконечник – алмазный конус с углом при вершине 120°, или стальной закаленный шарик диаметром 1,58 мм;

Испытания по трем шкалам:

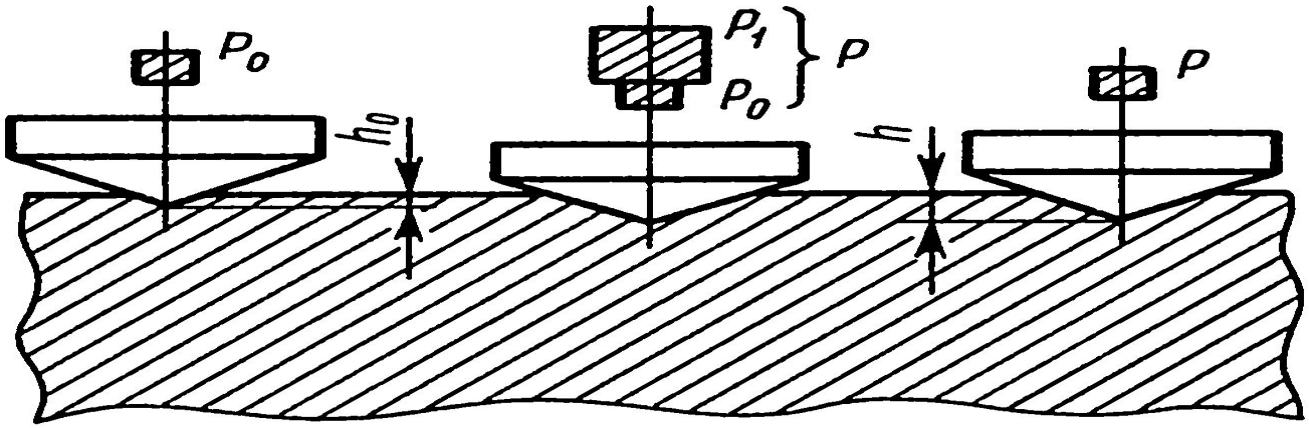
***HRC** – алмазный конус, нагрузка 150 кгс;*

***HRA** – алмазный конус, нагрузка 60 кгс;*

***HRB** – стальной закаленный шарик, нагрузка 100 кгс;*

Нагрузка задаётся с помощью прибора ТК-2. И накладывается в два приема: вначале предварительная 10 кг, затем окончательная.

.



ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания по Роквеллу

- Глубина отпечатка контролируется с помощью стрелочного механизма часового типа. Твердость по шкале С определяется по формуле:
- **HRC = 100-L, где L = (h-ho)/0,002мм**

  и выражается в условных единицах (55HRC – закаленная сталь, 32HRC – отожженная сталь)
- **HRC** – наиболее употребляемая шкала используется для всех материалов, наконечник алмазный конус.
- **HRA** - шкала для твердых и хрупких материалов, наконечник алмазный конус;
- **HRB** – шкала для мягких материалов, наконечник стальной закаленный шарик**.**

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Достоинства и недостатки испытаний по Роквеллу

- ***Достоинства***: *самый быстрый и цеховой метод испытаний; не зависит от шероховатости; отпечаток небольшой меньше портиться деталь, пригоден для испытаний любых по твердости материалов.*
- ***Недостатки***: *Нельзя проводить испытания тонких материалов, твердость определяется в условных единицах.*

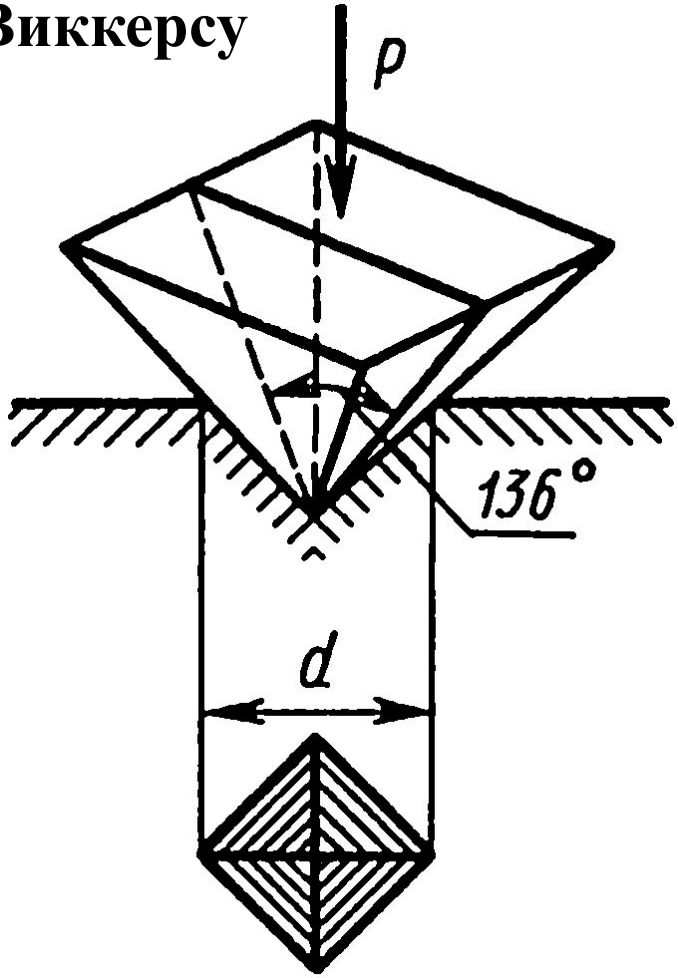
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания по Виккерсу

Наконечник – **алмазная пирамидка** с квадратным основанием и углом при вершине 136°

Нагрузка **1 – 120 кгс**. Нагрузка задается с помощью рычажного механизма ТП-2.

Диаметр диагоналей отпечатка измеряется с помощью встроенного в прибор микроскопа.



Стандартные испытания Р = 30 кгс,

τ = 15 сек.

$HV = 1{,}854P/d^2$ кгс/мм^2

$$HV = 0{,}189\frac{F}{d^2}$$

Н/ мм^2

Обозначение: ***450 HV10/40***

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Достоинства и недостатки испытаний по Виккерсу

- **Достоинства метода**:
- используется для оценки любых по твердости материалов;
- может быть использован для оценки твердости листовых материалов.
- **Недостатки**: лабораторный метод, испытания проводятся на образцах с специально подготовленной поверхностью.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания на микротвердость

В основе испытаний на микротвердость лежит метод Виккерса, отличие заключается в величине прикладываемой нагрузки Р, которая составляет от 5 г до 200 г, соответственно отпечаток после вдавливания пирамидки получается очень маленький и для определения диагоналей отпечатка используется металлографический микроскоп с увеличением х300.

Испытания проводятся на приборе **ПМТ-3**

по ГОСТ 9450-73

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания на микротвердость

- Метод может быть использован для определения твердости самых тонких покрытий, толщиной в несколько микрон (гальванических, химических, диффузионных)
- А также для определения твердости отдельных фаз и структурных составляющих сплавов.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Прочность металлов

- Прочность одна из **главных** характеристик металла, которая часто определяется при контроле качества металла.
- У металла, в отличие от других строительных материалов никогда не определяется **прочность на сжатие.**
- Понятие прочности металла очень **широкое** понятие, прочность зависит от условий нагружения металла (статическая нагрузка, ударная, переменная) поэтому прочность характеризуется не одной, а целым рядом механических характеристик.

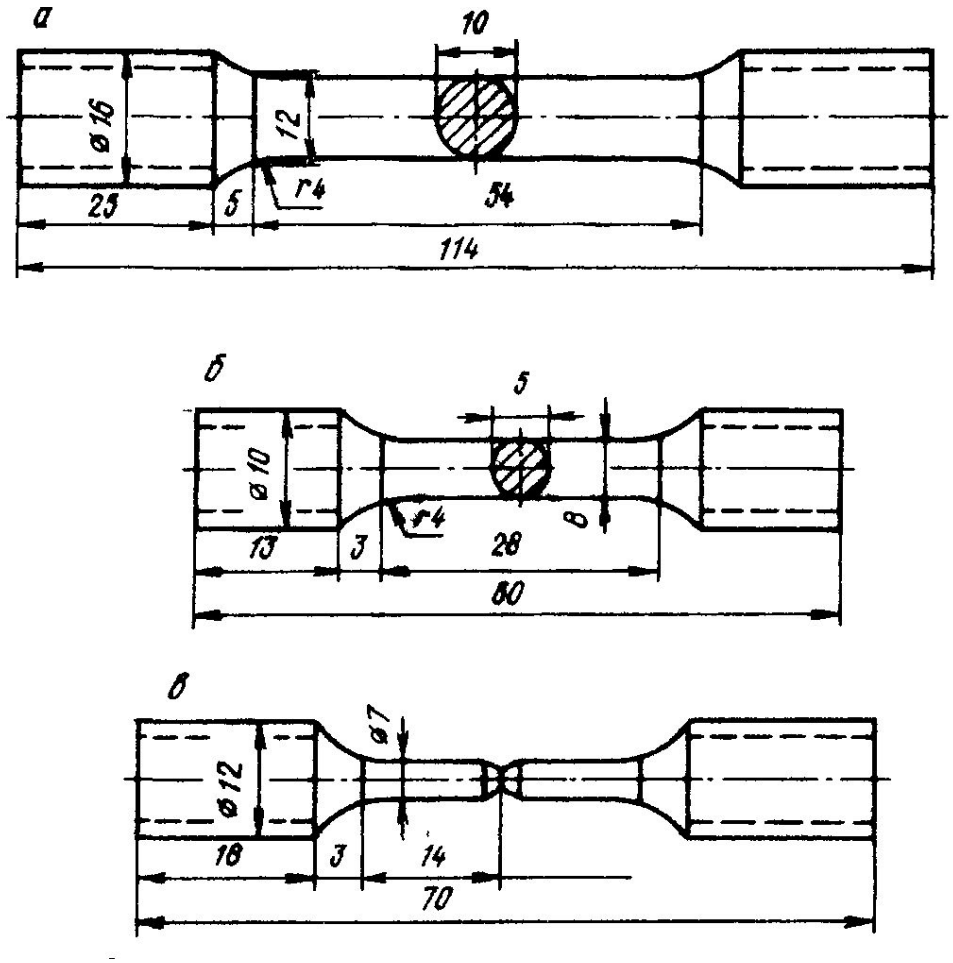
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Статическая прочность металла

- Прочность металла в условиях статических или медленно меняющихся нагрузок растяжения, оценивается с помощью следующих механических характеристик:
- $\sigma_т$ – предела текучести;
- $\sigma_{0,2}$ – условного предела текучести;
- $\sigma_В$ - предела прочности.
- Размерность этих характеристик кгс/мм^2, МПа (н/м^2)

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Образцы для испытаний на разрыв



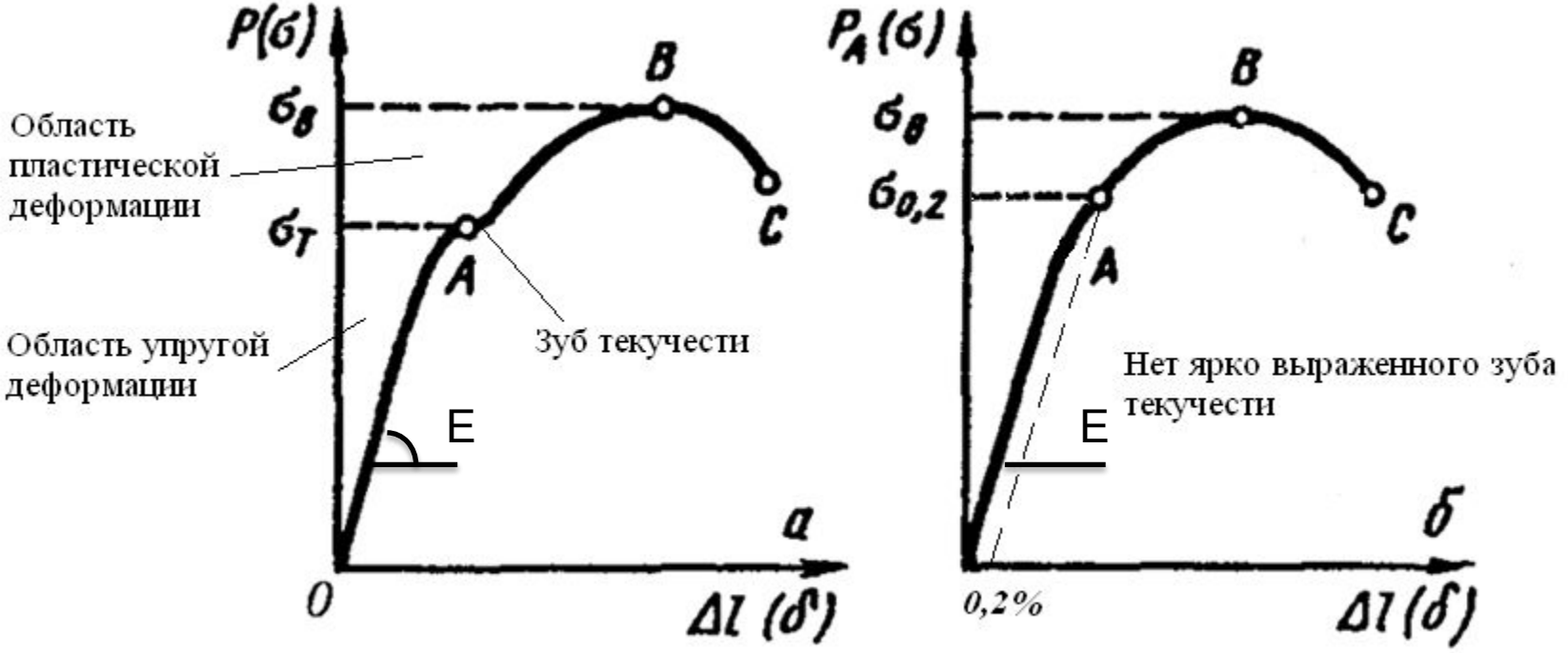
- В испытаниях на статическую прочность используются стандартные образцы круглого или прямоугольного сечения.
- На чертеже приведены примеры таких образцов, различной длины и сечений.
- Образцы закладываются в специальную разрывную машину, которая постепенно увеличивает разрывную нагрузку, фиксирует при этом длину образца и снимает **кривую растяжения.**

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания на прочность при статических нагрузках

•Кривая растяжения позволяет узнать все три основных характеристики статической прочности: $\sigma_т$, $\sigma_{0,2}$, $\sigma_В$.

•Причем диаграмма(кривая) растяжения может быть двух видов.



ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Испытания на статическую прочность

Кривая первого вида состоит из четырех участков:

- **Упругой деформации** (участок ОА). На этом участке металл растягивается упруго, т.е. при снятии нагрузки он возвращается к исходной длине.
- **Участок перехода** от упругой деформации к пластической (зуб текучести).
- **Равномерной пластической деформации** (участок АВ), на этом участке при снятии нагрузки в металле остается остаточное удлинение.
- **Сосредоточенной пластической деформации** металла в области образующейся шейки (участок ВС).

Т.е. на кривой первого вида упругая деформация от пластической четко разграничиваются зубом текучести.

- Наименьшее напряжение, при котором происходит переход от упругой деформации к пластической (т.е. образец деформируется без заметного увеличения нагрузки), называется ***пределом текучести*** σ_T**.** Это и есть первая характеристика статической прочности.

Это главная характеристика, необходимая строителям при расчете металлических конструкций. Размерность кгс/мм^2, н/мм^2, Мпа.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Условный предел текучести

На кривых второго типа нет четкого перехода от области упругой к области пластической деформации. В этом случае вводят понятие **условного** предела текучести ($\boldsymbol{\sigma_{0,2}}$).

$\boldsymbol{\sigma_{0,2}}$ – ***условный предел текучести*** – нагрузка, которая оставляет остаточное удлинение 0,2% от первоначальной длины образца.

Для его определения $\boldsymbol{\sigma_{0,2}}$ на кривой растяжения на оси абсцисс откладывают остаточное удлинение равное 0,2% от первоначальной длины образца и проводят линию параллельную области упругой деформацию. Пересечение этой линии с кривой растяжения дает значение условного предела текучести $\boldsymbol{\sigma_{0,2}}$

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Предел прочности

- Кривая растяжения позволяет определить еще одну характеристику статической прочности металла: **предел прочности**, который обозначается $\sigma_в$
- Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению, называется ***пределом прочности*** $\sigma_в$ ***или временным сопротивлением разрыву.***
- При этом напряжении металл начинает интенсивно удлиняться в области шейки и через некоторое время рвется.
- Эта характеристика прочности нужна при обработке металла.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Механические характеристики статической прочности

Таким образом:

- Размерность пределов текучести σ_T, $\sigma_{0,2}$ и предела прочности, $\sigma_в$ одинаковая: кгс/мм^2, н/мм^2, или МПа.
- Пределы текучести σ_T, $\sigma_{0,2}$ нужно знать для определения эксплуатационной нагрузки на металл.
- Предел прочности $\sigma_В$ необходим при определении нагрузок при обработке металла, например, при обработке давлением.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Модуль упругости (Е)

- Кривые растяжения позволяют также узнать еще одну механическую характеристику металла: модуль упругости.
- Модуль упругости обозначается буквой **Е** и выражается в кгс/мм^2, МПа;
- На кривой растяжения модуль упругости Е определяется по **тангенсу угла** наклона кривой растяжения в области упругой деформации.
- **Е** характеризует способность металла к упругой деформации. Второй название модуля упругости - **жесткость** металла. При большом тангенсе угла наклона в области упругой деформации металл жесткий и мало склонен к упругой деформации.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Пластичность металлов

- С помощью кривых растяжения определяются также характеристики **пластичности металлов**
- **Пластичность металла –** это способность его к деформации:
- Пластичность характеризуется: относительным удлинением - **δ**
- δ = Lкон –Lнач/ Lнач 100%;

где, **Lнач** – начальная длина образца до испытаний;

Lкон – конечная длина образца при разрыве;

Lкон = Lнач +Δl (из кривой растяжения); δ = Δl / Lнач 100%;

- Относительное сужение - **Ψ**
- **Ψ** = Fнач – Fкон/ Fнач 100%;

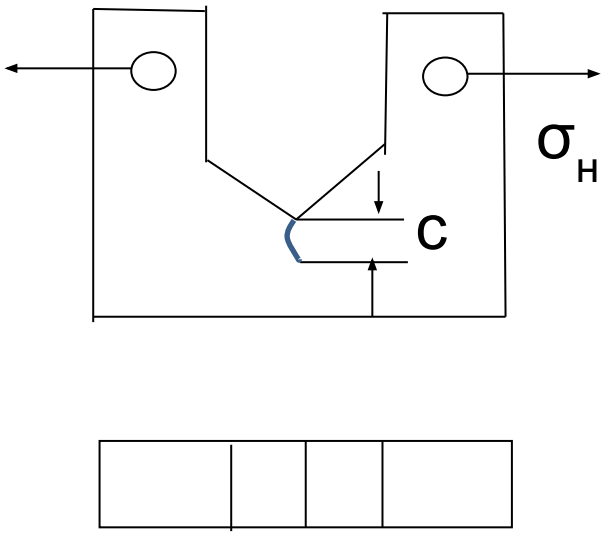
где, Fнач - начальное сечение образца;

Fкон – сечение образца в области шейки после разрыва

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Трещиностойкость Коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины.

Трещиностойкость характеризует прочность металла при наличии на нем дефекта (трещины)



Испытания проводятся на образцах с трещиной

$$К_{1с} = У\sigma_н\sqrt{\pi c}$$ кг/мм^2 м$^{1/2}$

У – коэффициент, учитывающий форму и размеры образца для испытаний

$\sigma_н$ – нагрузка, вызывающая, разрыв образца, кг/мм^2

с – длина дефекта (трещины), м.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

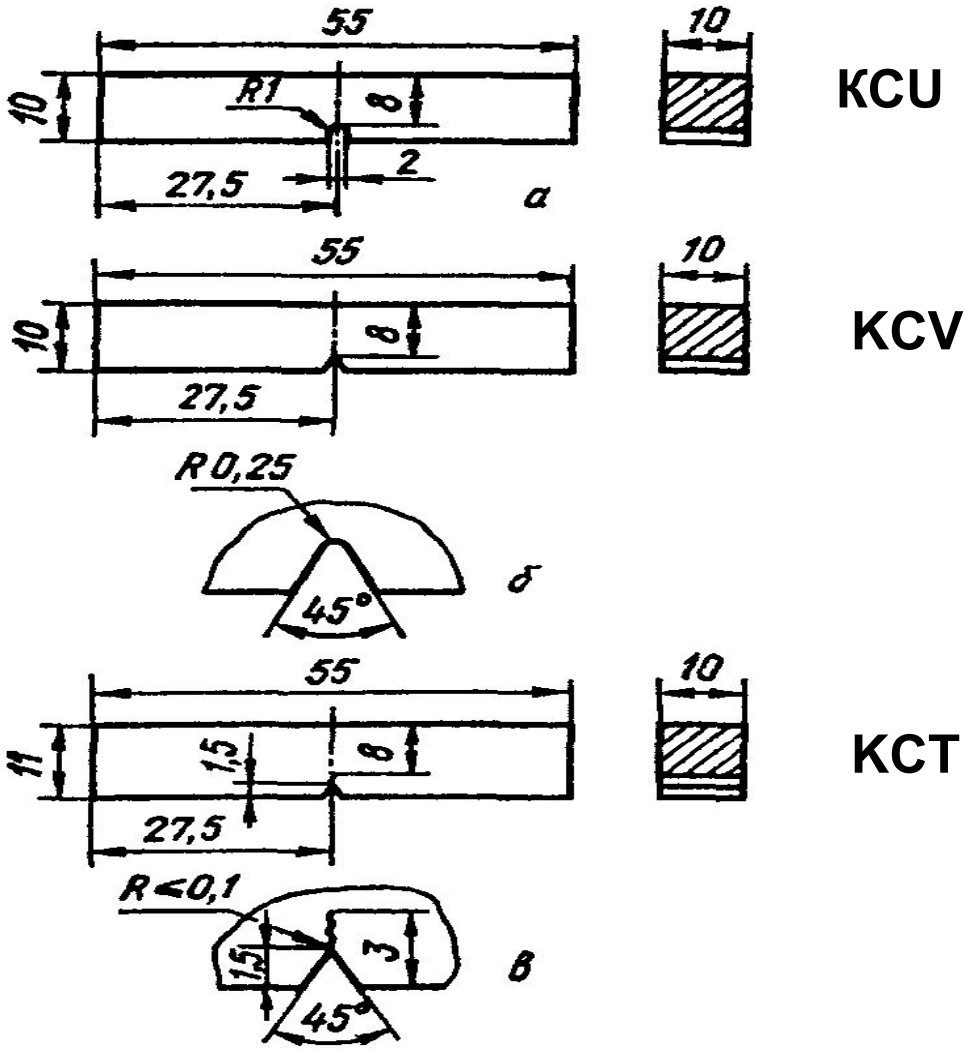
Прочность металла в условиях динамической (ударной) нагрузки

- Прочность металлов в условиях динамических нагрузок характеризуется ударной вязкостью, которая определяется работой (Дж/м^2), затраченной на разрушение образца при ударе.
- Ударная вязкость обозначается тремя буквами **KCU, KCV, KCT**, где КС –обозначение ударной вязкости, U,V,T указывают на вид образца использованного при испытаниях.
- При низкой ударной вязкости часто говорят, что материал очень хрупкий.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Виды образцов при испытаниях на ударную вязкость

Образцы для испытаний на ударную вязкость имеют одинаковые размеры и отличаются только видом концентратора напряжений, по которому образцы ломаются.



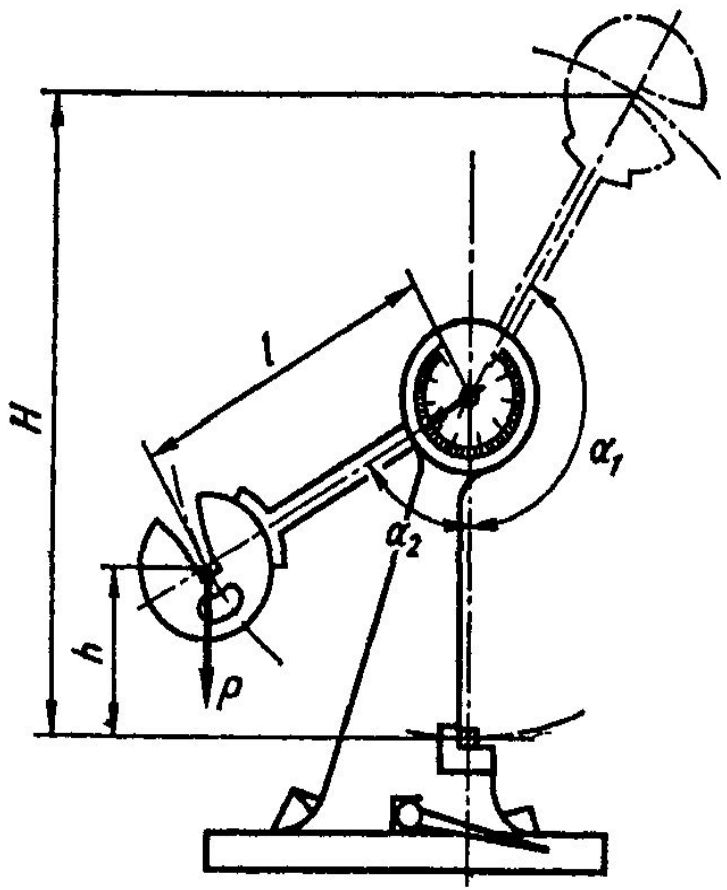
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

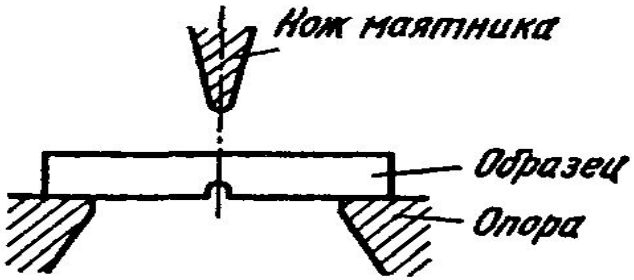
Динамические испытания на ударную вязкость

Метод основан на разрушении образца с надрезом одним ударом маятникового копра.

Испытания проводятся по ГОСТ 9454-78

*На **маятниковом копре.***





ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Прочность металла при динамических (переменных) нагрузках.

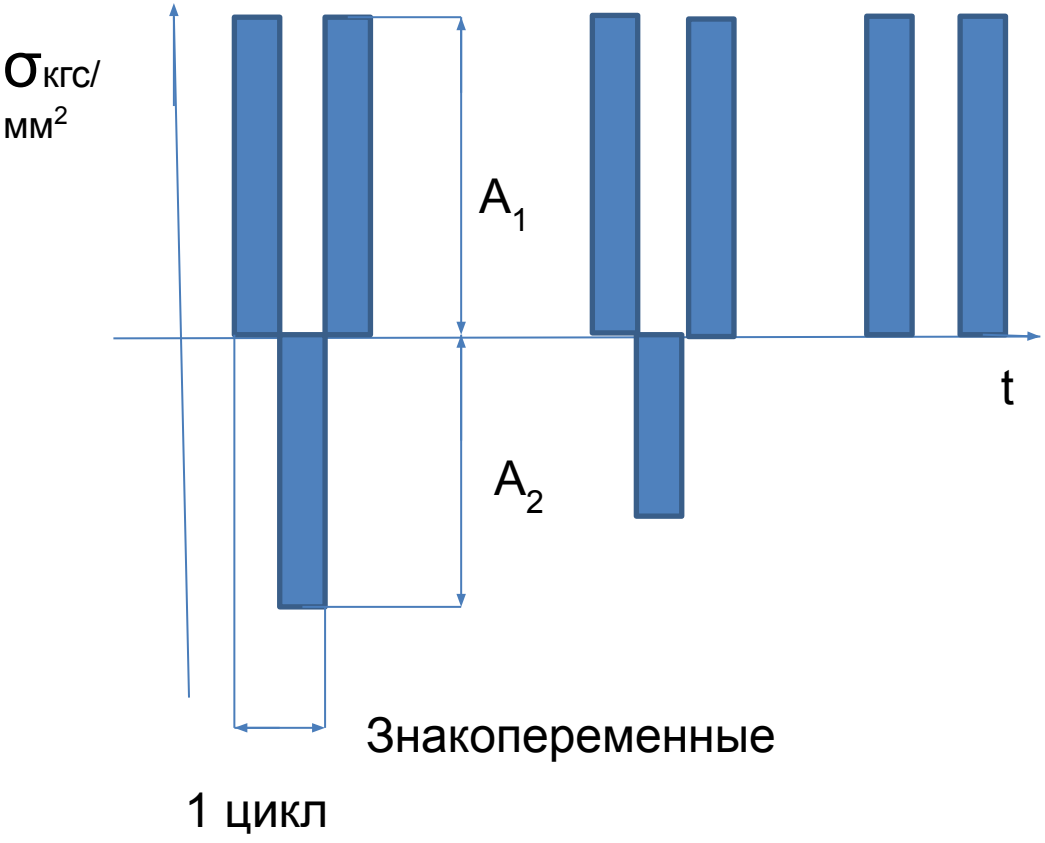
- Помимо статических и ударных нагрузок металл часто работает под воздействием динамических (переменных) нагрузок. Во всех движущихся частях любых механизма металл подвергается динамической нагрузке.
- Переменные нагрузки характеризуются амплитудой нагрузки и циклом нагрузки, и различаются на знакопеременные и знакопостоянные, и симметричные и асимметричные.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Виды переменных нагрузок

Симметричная нагрузка $A_1=A_2$

Ассиметричные нагрузки $A_1 \neq A_2$



Знакопостоянная

Симметричная, знакопеременная

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Усталость и выносливость металла

- Поведение металла при наложении переменных динамических нагрузок описывается с помощью терминов: **усталость** металла, **выносливость** металла.
- ***Усталость*** *- процесс постепенного накопления повреждений в металле под действием переменных напряжений, приводящих к образованию и развитию усталостных трещин.*
- **Выносливость** – способность металла сопротивляться переменным нагрузкам.
- Т.е. усталость и выносливость понятия противоположные.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Прочность металла при наложении переменных нагрузок

- Оценивается с помощью **предела усталости** или **предела выносливости**:
- σ_R - при асимметричной нагрузке;
- σ_{-1} - при симметричной нагрузке;

Предел выносливости(усталости) определяется из кривой усталости металла, для снятия которой необходимо иметь не менее 10 образцов.

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Усталостные испытания.

Кривая усталости снимается следующим образом:

На 1-ый образец накладывается переменная нагрузка с высокой амплитудой, близкой к пределу прочности металла и определяется количество циклов переменной нагрузки, которое выдержит образец до разрыва.

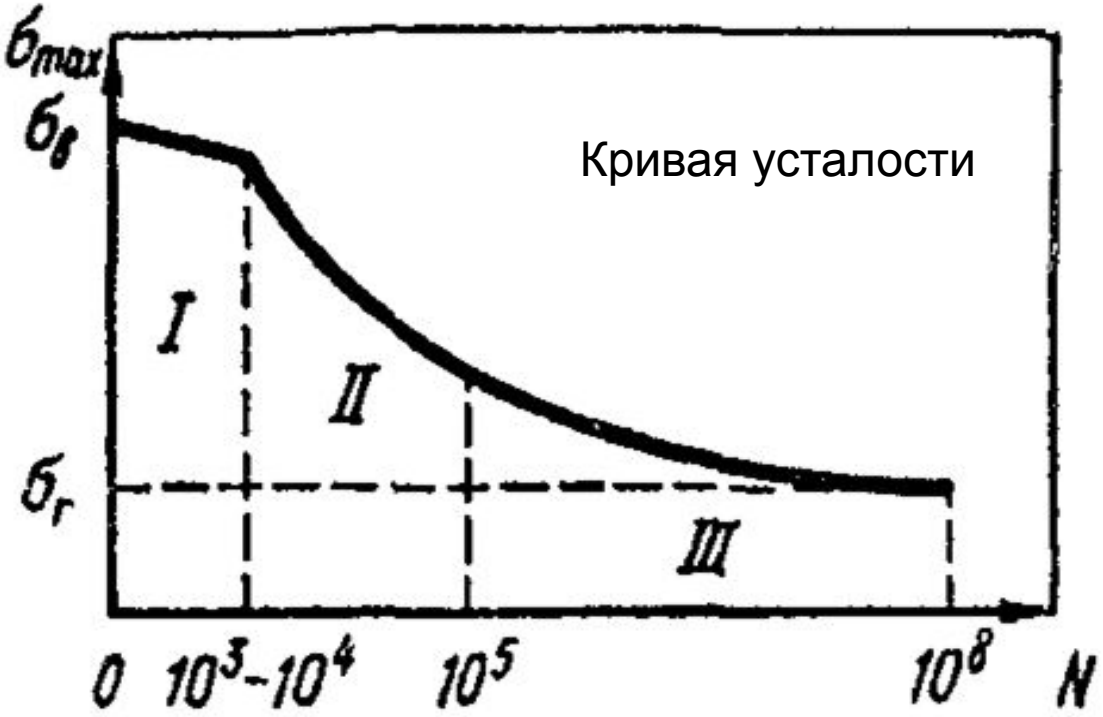
На 2-ом образце амплитуда нагрузки снижается и образец, соответственно, выдержит большее количество циклов и т.д.

При испытании не менее 10 образцов получается кривая усталости, которая часто выходит на предел.

Вид такой кривой изображен на следующем слайде

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кривая усталости



Кривая усталости

σ_B – предел прочности металла.

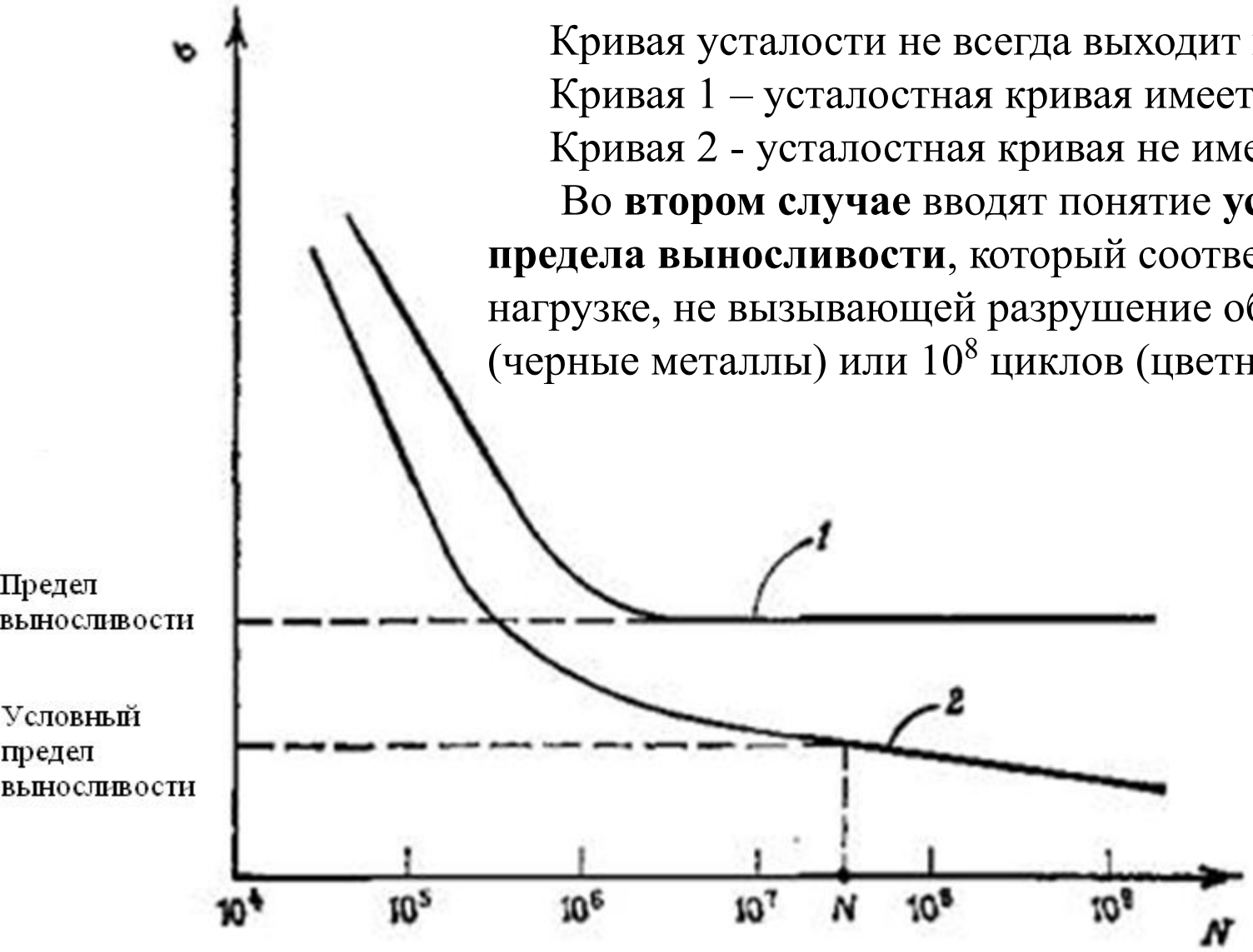
σ_R (σ_r) – предел выносливости при асимметричной нагрузке

Амплитуда нагрузки при которой металл не разрывается при любом количестве циклов называется пределом выносливости (усталости) и обозначается σ_R при симметричной нагрузке и σ_R при асимметричной нагрузке.

Кривые усталости

Кривая усталости не всегда выходит на предел:
Кривая 1 – усталостная кривая имеет предел.
Кривая 2 - усталостная кривая не имеет предела.

Во **втором случае** вводят понятие **условного предела выносливости**, который соответствует нагрузке, не вызывающей разрушение образца до 10^7 (черные металлы) или 10^8 циклов (цветные металлы).



ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Износостойкость

- Важное свойство для всех материалов, особенно изоляционных;
- Теплопроводность - свойство материала передавать тепло через свою толщу от одной поверхности к другой;

$$\lambda = \frac{Q\,a}{\tau S \Delta t},\ \text{Вт/м}\cdot{}^{o}\text{C},$$

где, Q - количества тепла, Дж;

- a - толщина слоя, м;
- τ - время, с;
- S - площадь, $м^2$;
- Δt - разность температур, ^0C