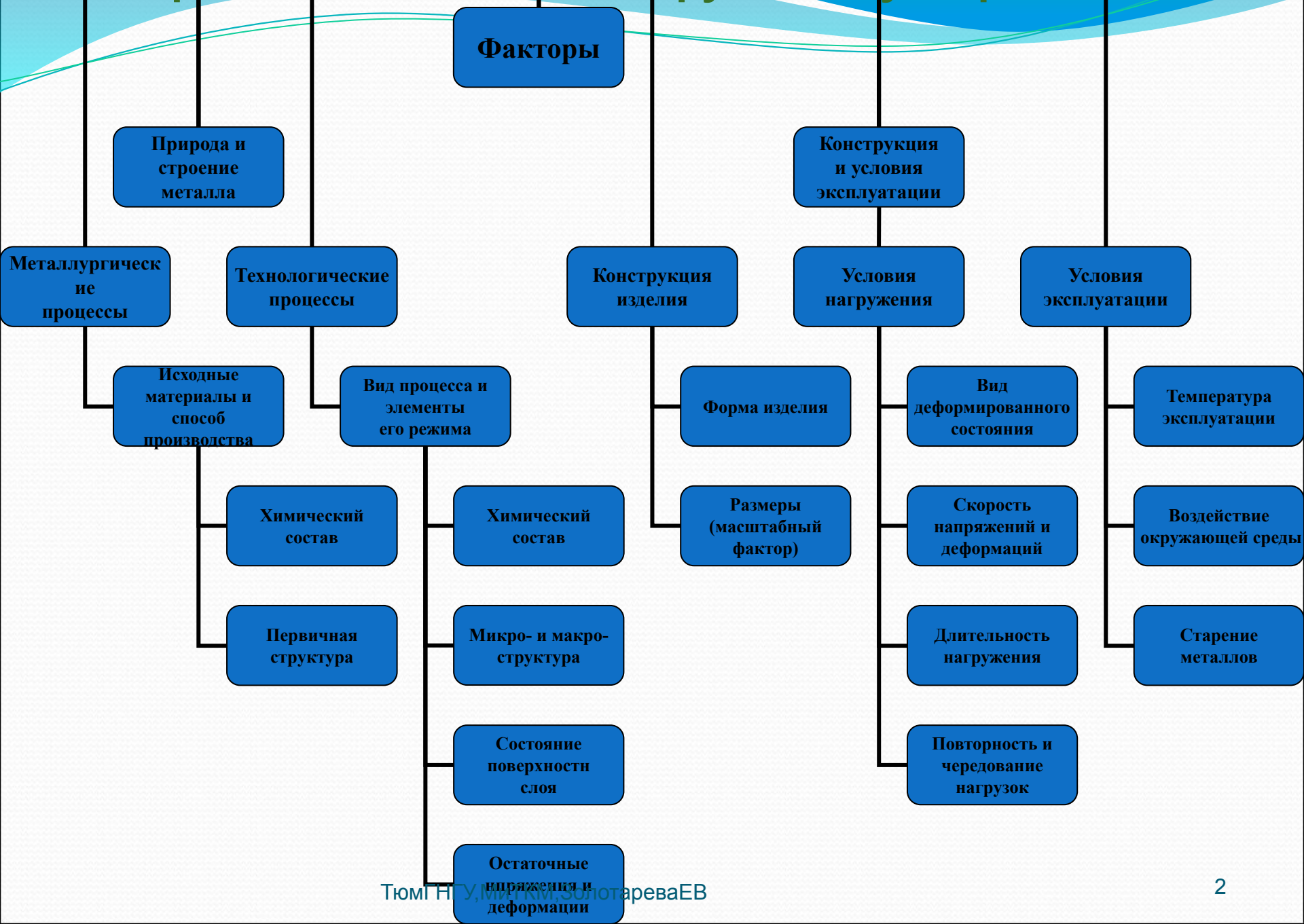


# Материаловедение. Технология конструкционных материалов

## Методы исследования материалов.

# Факторы, влияющие на конструкционную прочность



# Методы исследования материалов

## **I. Металлографические методы – применяются для изучения особенностей структуры металлов и сплавов:**

**Микроанализ** – изучение объектов структуры под микроскопом при увеличении до 2000 раз.

Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

**Макроанализ** – изучение объектов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы.

Позволяет выявить и определить дефекты, возникшие на различных этапах производства литых, кованных, штампованных и катанных заготовок, а также причины разрушения деталей.

**Фрактография** - изучение изломов.

Устанавливают: вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зерен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла

## II. Методы структурного анализа применяются для исследования атомно-кристаллического строения (тонкого строения) и его дефектов:

рентгенографические методы, позволяющие устанавливать связь между химическим составом, структурой и свойствами тела, тип твердых растворов, микронапряжения, концентрацию дефектов, плотность дислокаций. (Рентгеноструктурный анализ, электронно-графический анализ)

# III. Определение механических свойств:

1. испытания на растяжение,
2. определение твердости,
3. определение ударной вязкости,
4. испытания на выносливость,
5. испытания на ползучесть и длительную прочность.

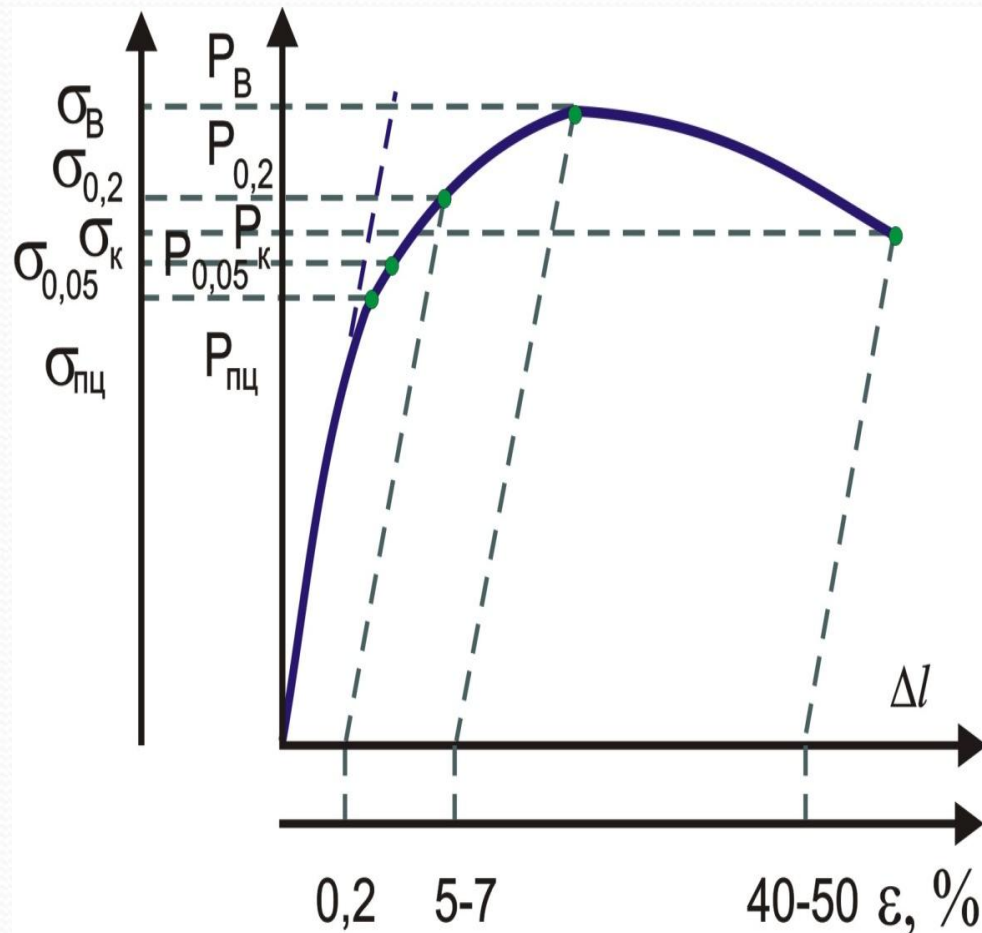
# Механические свойства определяют поведение материала при деформации и разрушении от действия внешних нагрузок.

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

- статическом нагружении – нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
- динамическом нагружении – нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
- переменном или циклическом нагружении – нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению.

# 1. Испытания на растяжение

- $P$  – усилие;
- $\Delta l = l - l_0$  – абсолютное удлинение;
- $\sigma = P / F_0$  – условное напряжение;
- $\varepsilon$  – относительное удлинение.
- $\sigma_{пц}$  – предел пропорциональности;
- $\sigma_{0,05}$  – предел упругости;
- $\sigma_{0,05к}$  – физический предел текучести;
- $\sigma_{0,2}$  – предел текучести условный;
- $\sigma_{0,2к}$  – временное сопротивление (предел прочности);
- $S_k = P_k / F_k$  – истинное напряжение разрушения;
- $\Psi = [(F_0 - F_k) / F_0] \cdot 100\%$  – относительное сужение после разрыва;
- $\delta = [(l_k - l_0) / l_0] \cdot 100\%$  – относительное удлинение после разрыва;
- $E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$  – модуль упругости.



# Определения

- **Предел пропорциональности** – напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между нагрузкой и удлинением достигает такой величины, что тангенс угла наклона, образованного касательной к кривой деформации в точке  $R_{пц}$  с осью нагрузок, увеличивается на 50 % своего значения на линейном участке.
- **Предел упругости** – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05% от длины участка образца, равного базе тензометра; **характеризует сопротивление упругой деформации.**
- **Физический предел текучести** отвечает напряжению, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки – образуется область (площадка) текучести.
- **Предел текучести условный** – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 % начальной длины образца; **характеризует сопротивление пластической деформации.**
- **Временное сопротивление (предел прочности)** – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующее разрушению образца и отнесенное к начальной площади его поперечного сечения до испытания; **характеризует сопротивление разрушению.**



# Определения

- **Истинное напряжение разрушения** – отношение усилия в момент разрушения ( $P_K$ ) к минимальной площади сечения образца в месте разрыва ( $F_K$ ).
- **Относительное сужение после разрыва** – отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади его поперечного сечения, **характеризует пластичность материала**.
- **Относительное удлинение после разрыва** – отношение приращения расчетной длины образца  $l_K - l_0$  после разрыва к его первоначальной расчетной длине  $l_0$ , **характеризует пластичность материала**.
- **Модуль упругости** – отношение приращения напряжения к соответствующему приращению относительного удлинения в пределах упругой (линейной) деформации в соответствии с законом Гука; **характеризует упругость материала**.

## 2. Испытания на твердость

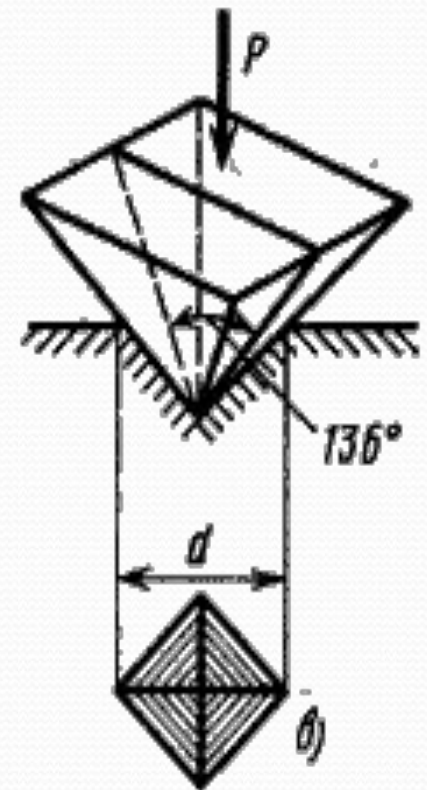
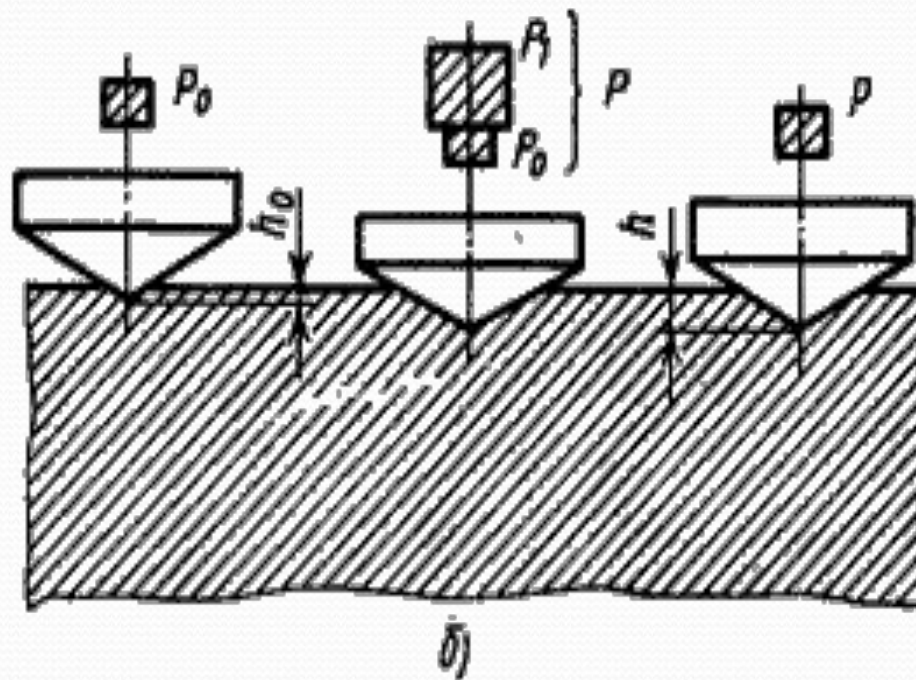
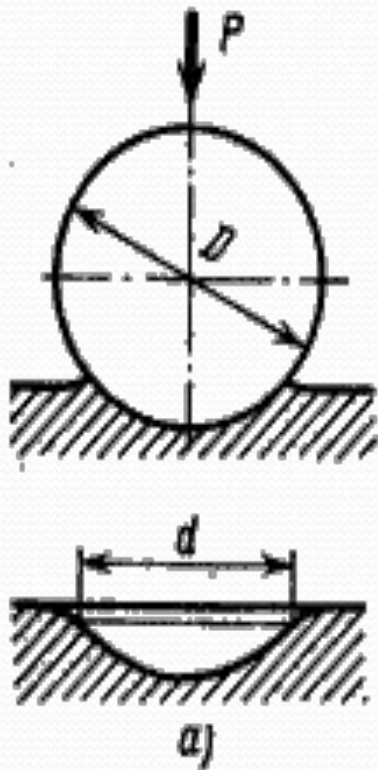
- **Твердость** – характеристика прочности материала в условиях сложнапряженного состояния, возникающего при внедрении **индентора** и сопровождающегося большими пластическими деформациями в зоне испытания (поверхностных слоях материала).
- **Способы** измерения твердости вдавливанием:
  - по Бринеллю (*НВ*, мерой твердости служит отношение нагрузки к площади поверхности сферического отпечатка шарика);
  - по Роквеллу (*HRA, HRB, HRC* – условная величина, обратная глубине вдавливания шарика или алмазного конуса в зависимости от твердости испытуемого металла, с соответствующим отсчетом на приборе Роквелла);
  - по Виккерсу (*HV* – определяется отношением нагрузки к квадрату средней длины диагоналей отпечатка от вдавливания четырехгранной алмазной пирамидки).

# Схемы определения твердости:

а – по Бринеллю;

б – по Роквеллу;

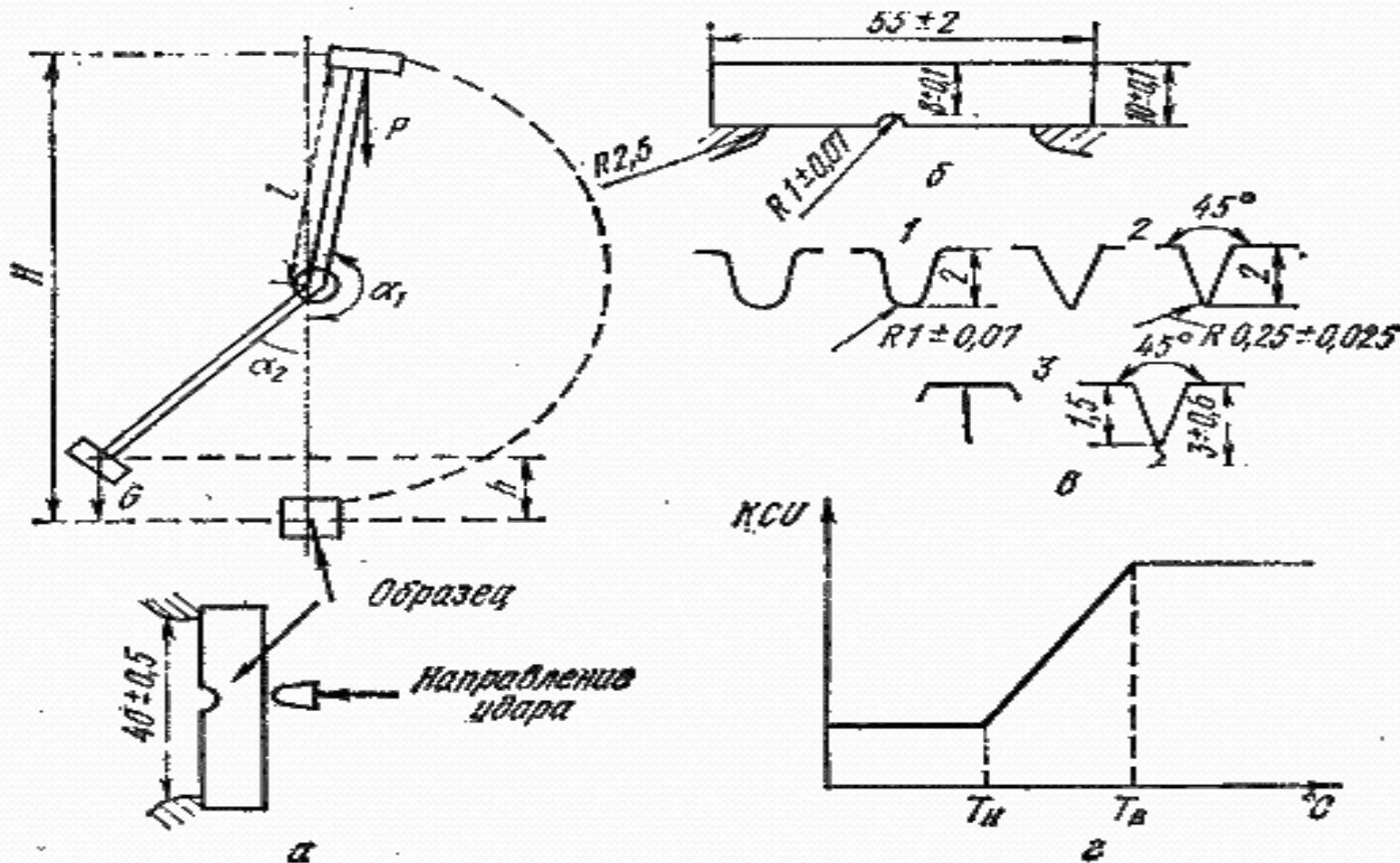
в – по Виккерсу



### 3. Динамические испытания

- За результат испытания принимают работу удара  $K$  или ударную вязкость (удельная работа, затраченная на разрушение образца)  $KC = K / F_0$ , где  $F_0$  – площадь начального сечения образца в месте концентратора, для образцов с концентраторами видов  $U$ ,  $V$  и  $T$  (трещина):  $KCU$ ,  $KCV$  и  $KCT$ .
- Допускается обозначать ударную вязкость двумя индексами ( $a_i$ ): первый ( $a$ ) – символ ударной вязкости, второй ( $i$ ) – номер типа образца в соответствии с ГОСТ. В литературе используется также обозначение  $a_n$ .
- Концентрация напряжений увеличивается в ряду концентраторов  $U \rightarrow V \rightarrow T$ , поэтому для одного материала при одинаковых условиях испытания  $KCU > KCV > KCT$ .

**Схема испытания на ударную вязкость:** а – схема маятникового копра; б – стандартный образец с надрезом; в – виды концентраторов напряжений; г – зависимость вязкости от температуры

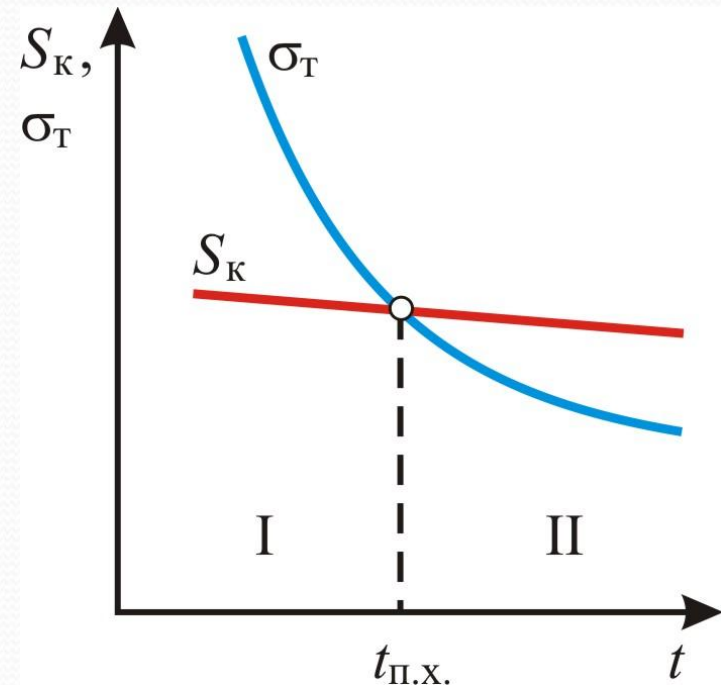


## 3.1. Хладноломкость

- **Хрупкое разрушение** характеризуется очень быстрым ростом трещины, причем это происходит без повышения действующих напряжений.
- **Вязкое разрушение** характеризуется не только предшествующей ему большой пластической деформацией, но и медленным развитием трещины.
- Понижение температуры обуславливает переход от вязкого к хрупкому разрушению. Это явление получило название **хладноломкости**.

## 3.2. Порог хладноломкости

- Ниже некоторой температуры, которая называется **критической температурой хрупкости**, или **порогом хладноломкости**  $t_{п.х.}$ , и возникает хрупкое разрушение.
- Порог хладноломкости может характеризоваться также по 50 % вязкой составляющей в изломе  $t_{50}$  или по величине ударной вязкости  $KCU = 0,3 \text{ МДж/м}^2$  ( $t_{KCU=0,3}$ ).



## 3.3. Масштабный фактор

- Чем выше скорость деформации, тем больше склонность металла к хрупкому разрушению. Хрупкому разрушению способствуют все концентраторы напряжений, особенно с увеличением остроты и глубины надреза. Вероятность хрупкого разрушения возрастает с ростом размеров образца – **масштабный фактор разрушения**.
- Масштабный эффект имеет сложную природу и зависит от многих факторов. Основными причинами его проявления является действие следующих факторов: ***металлургического, технологического и статистического.***



## 4. Испытания на усталость

- Разрушение, возникающее под действием циклически изменяющихся напряжений, называется **усталостью**.
- Усталостью определяется степень долговечности почти всей техники. Это основной путь разрушения фюзеляжей, вагонов, мостов, шестерен, тросов, рельсов, подшипников и т.д.
- Многие металлы имеют **предел выносливости**  $\sigma_{-1}$  ( $\tau_{-1}$ ), т. е. при напряжении ниже предела выносливости металл не подвержен усталостному разрушению (обычно приводится с числом циклов испытаний).
- **Усталостная долговечность**  $N$  – характеристика выносливости материала, определяемая числом циклов, пройденных образцом перед разрушением при задаваемом напряжении.

## 5. Испытания на ползучесть

- Ползучесть представляет собой зависящую от времени  $t$  пластическую деформацию.
- Скорость этой деформации невелика, но материалы, используемые при высокой температуре, подвергаются воздействию напряжения в течение длительного времени.
- **Предел ползучести**, найденный при допуске на остаточную деформацию, например, 0,2 % за 100 часов испытания при 700 °С, обозначают  $\sigma_{0,2/100}^{700}$ , указывая суммарную или остаточную деформацию. Предел ползучести, определяемый по скорости ползучести, например,  $1 \cdot 10^{-5}$  %/ч при 700 °С, обозначают  $\sigma_{\Phi 10^{-5}}^{700}$ , указывая время испытания, за которое была достигнута заданная скорость ползучести.

# 6. Испытания на длительную прочность

- **Длительная прочность** – прочность материала, находящегося длительное время в напряженном состоянии при высокой температуре. Она характеризуется **пределом длительной прочности** – напряжением, которое вызывает разрушение материала при заданной температуре.
- В обозначении предела длительной прочности указывают температуру и время до разрушения:  
 $\sigma_{10000}^{600} = 130 \text{ МПа}$  означает, что при 600 °С материал выдерживает напряжение в 130 МПа в течение 10000 ч.

# **У. Специальные виды испытаний:**

- **Физические методы исследования:**

**Термический анализ** основан на явлении теплового эффекта.

**Дилатометрический метод.** При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение.

**Магнитный анализ.** Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот).

- **Испытания на коррозионную стойкость**