



# **Показатели вязкости материала. Разрушение и трещиностойкость. Конструкционная прочность.**

**Лекция 3**

**Поток 1А**

**Лектор доц. Дощечкина И .В.**

(lect\_3\_1A\_ТКМiМ \_DIV.ppt )

(Использованы материалы доц Бондаренко С.И. и  
электронного ресурса [www.google.com. ua / search](http://www.google.com.ua/search) )

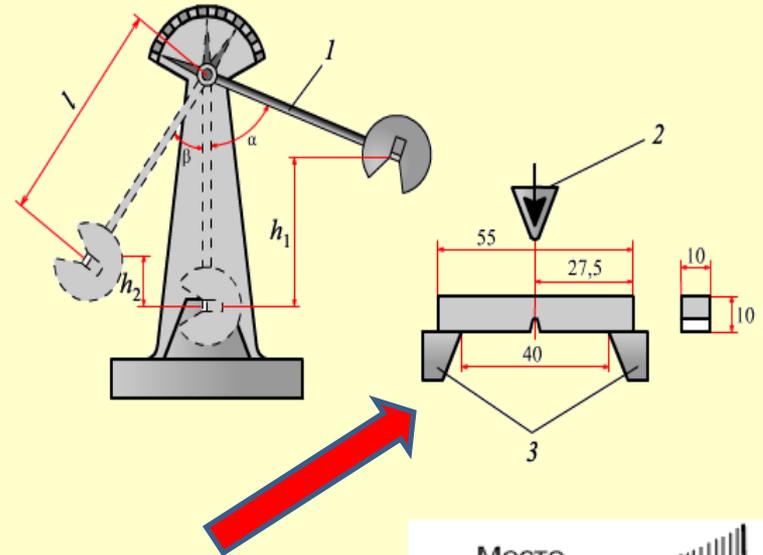
# План лекции.

- × **1. Ударная вязкость и порог хладноломкости.**
- × **2. Виды разрушения.**
- × **3. Трещиностойкость и её параметры.**
- × **4. Критерии надежности и долговечности.**
- × **5. Конструкционная прочность.**
- × **6. Связь между свойствами.**

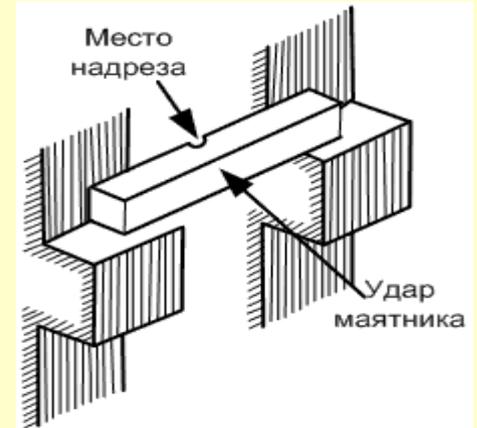
# ВЯЗКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ.

Основным показателем является ударная вязкость – это удельная работа разрушения материала под динамической нагрузкой

## Маятниковый копёр



Производят испытания на ударный изгиб стандартных образцов с концентраторами напряжений 3 – х видов: U – образным и V – образным надрезами, а также с V - образным надрезом и усталостной трещиной. Испытания хрупких материалов проводят на гладких образцах без надреза.

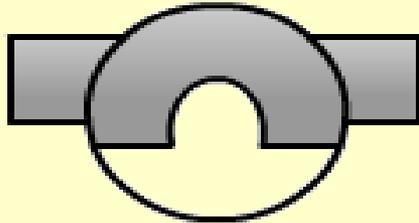


# Определение ударной вязкости материала.

Призматический образец

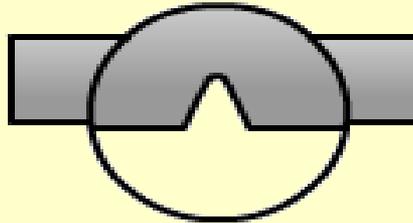


с разной формой надреза .



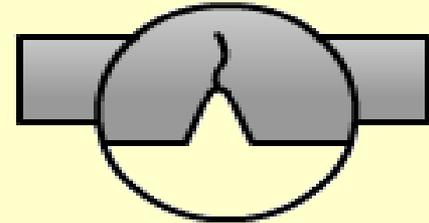
*а*

**КСU**



*б*

**КСV**



*в*

**КСТ**

$$КС = A / S_0; \text{ Дж/см}^2, \text{ МДж/м}^2$$

$A$  – работа разрушения,  
 $S_0$  – площадь сечения в месте надреза.

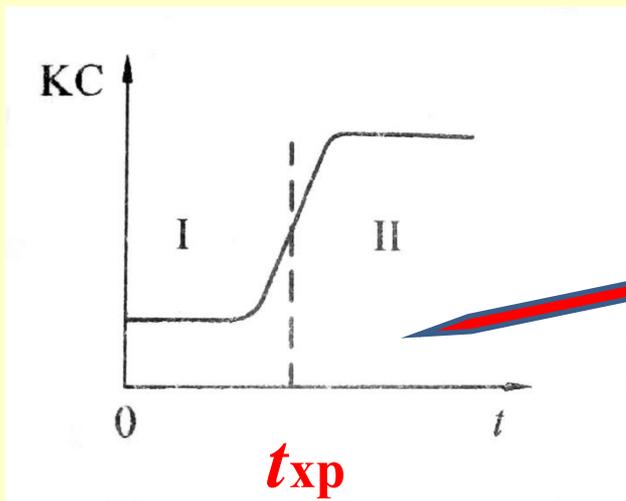
$$КС = КСз + КСр$$

**КСз** – работа зарождения трещины.      **КСр** – работа развития трещины.

**Чем выше ударная вязкость, тем меньше склонность металла к хрупкому разрушению, тем выше его надежность.**

# ПОРОГ ХЛАДНОЛОМКОСТИ.

Для большинства сталей ударная вязкость при охлаждении ниже определенной температуры понижается.

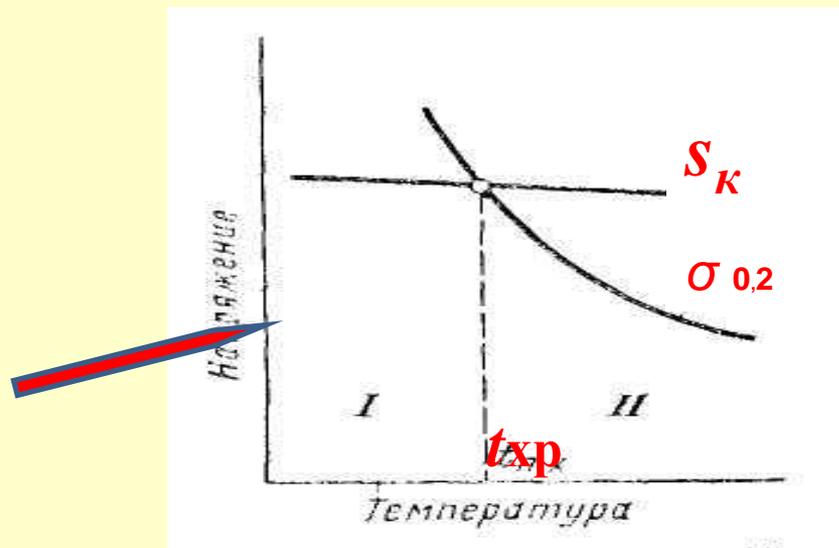


Свойство материала терять вязкость и хрупко разрушаться при снижении температуры называется **хладноломкостью**.

Температура при которой материал охрупчивается – это **порог хладноломкости  $t_{xp}$** .

При этой температуре материал из вязкого состояния (**область II**) переходит в хрупкое состояние (**область I**).

Если  $\sigma_{0,2} < S_k$  (**область II**) разрушению предшествует пластическая деформация и оно происходит вязко. При  $\sigma_{0,2} > S_k$  (**область I**) разрушение осуществляется без деформации хрупко.



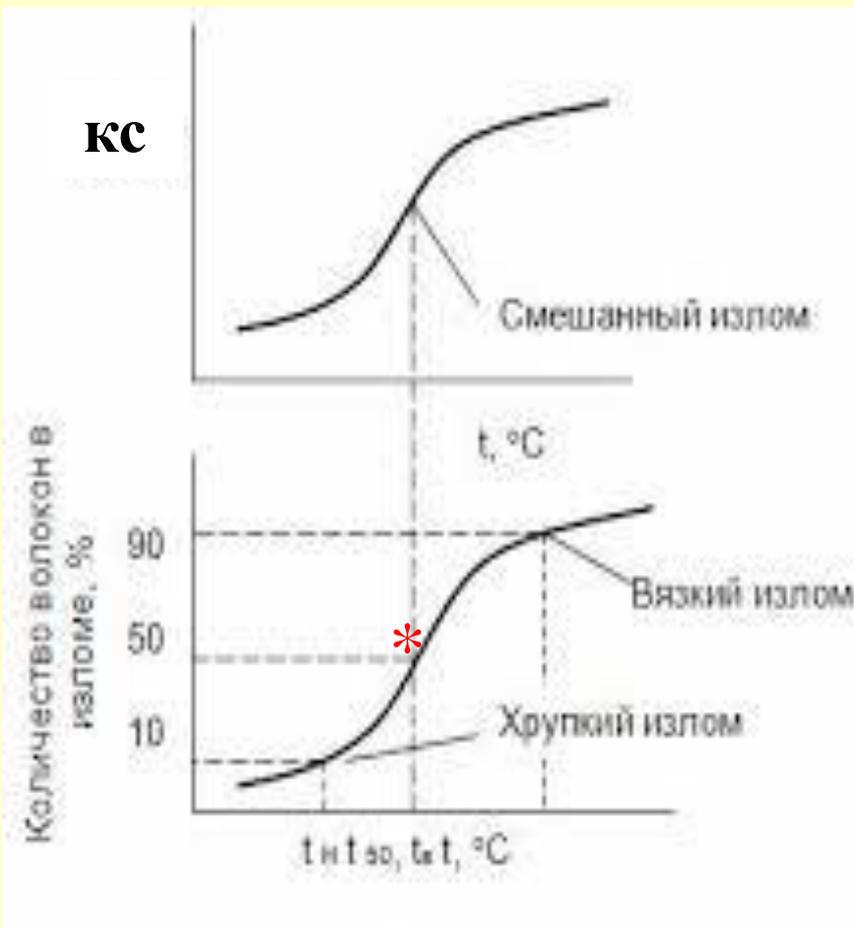
# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА ХЛАДНОЛОМКОСТИ.

Порог хладноломкости определяют разными способами:

1. Как среднюю температуру между температурой начала снижения КС ( $t^{вхр}$ ) и температурой её минимального значения ( $t^{нхр}$ ).
2. За  $t_{хр}$  принимают температуру, при которой % 50 % площади излома имеет вязкое волокнистое состояние (\*).

В заводской практике наиболее распространен метод определения  $t_{хр}$  по 50 % вязкой составляющей в изломе.

**Порог хладноломкости не является постоянной величиной и зависит от многих факторов.**

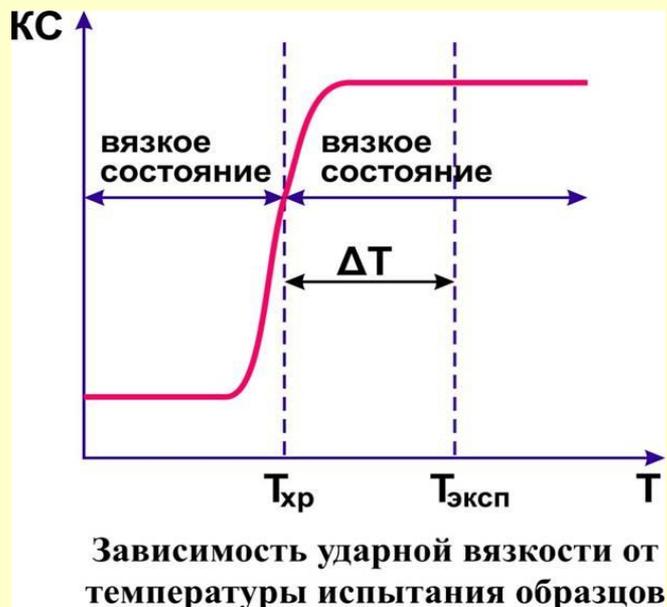


Влияние температуры на ударную вязкость и вид излома.

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОРОГ ХЛАДНОЛОМКОСТИ.

1. Химический состав стали, структура, размер зерна, наличие неметаллических включений.
2. Температура, условия и скорость нагружения.
3. Масштабный фактор и концентраторы напряжений.
4. Состояние поверхности и остаточные напряжения.

Для надежной эксплуатации изделий необходимо учитывать еще один важный параметр – **температурный запас вязкости  $\Delta T$** .



$$T_{\text{эксп}} - T_{\text{хр}} = \Delta T$$

Температура эксплуатации изделия.

Для уменьшения вероятности хрупкого разрушения температура эксплуатации изделия  **$T_{\text{эксп}}$  всегда должна быть выше порога хладноломкости  $T_{\text{хр}}$  материала, из которого оно изготовлено.**

**Из всех видов разрушения наиболее опасно хрупкое, наступающее внезапно. Порог хладноломкости должен быть как можно ниже.**

**Однако:**

- каждая десятая процента углерода повышает  $T_{кр}$  на 20 %;
- вредные примеси увеличивают порог хладноломкости;
- чем больше металлических включений и они острее, тем выше  $T_{кр}$ ;
- чем мельче зерно, тем выше порог хладноломкости;
- Ni при любом содержании и Cr до 1,5 – 2 % снижают  $T_{кр}$ , остальные легирующие элементы повышают его;
- затруднение пластической деформации может повысить  $T_{кр}$  на 30 -40 %;
- увеличение размеров изделия повышает  $T_{кр}$  на 100 -150 %.

**Увеличивают порог хладноломкости также интенсивность нагружения, остаточные напряжения в изделии, агрессивная среда.**



Порог хладоломкости.avi

**Чем больше температурный запас вязкости, тем больше вероятность того, что не произойдет хрупкое разрушение.**

# Температурный запас вязкости – показатель надежной эксплуатации изделий.

Под влиянием внешних факторов порог холодноломкости увеличивается и может превысить температуру эксплуатации изделия.

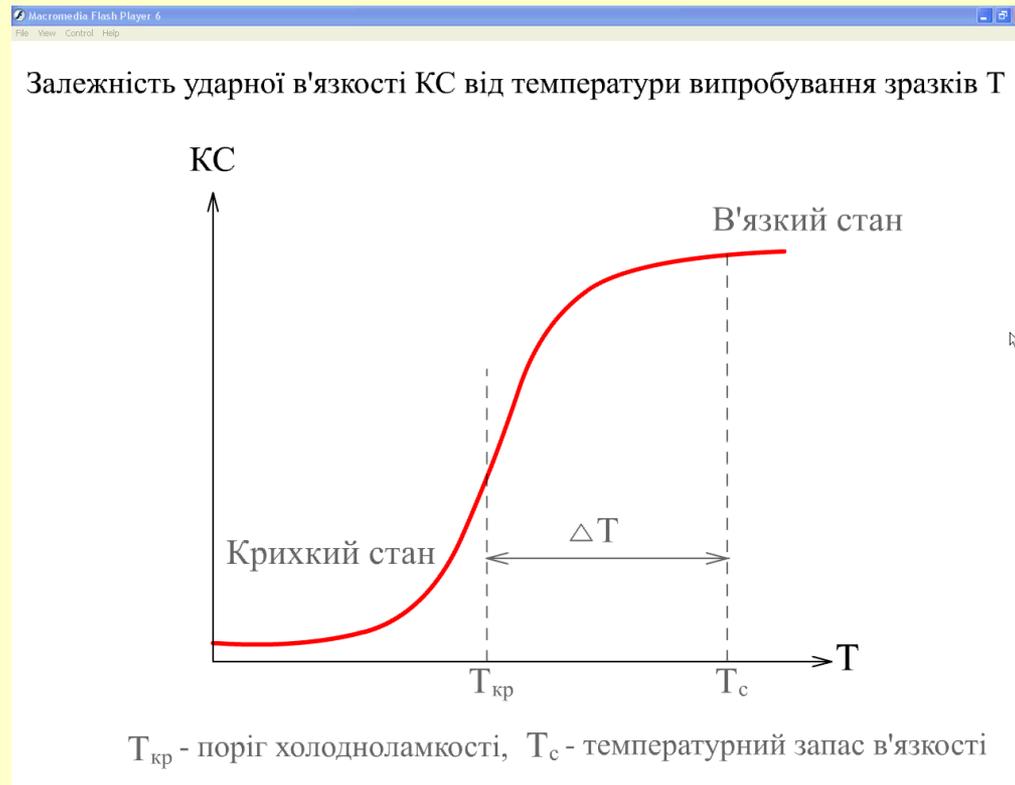


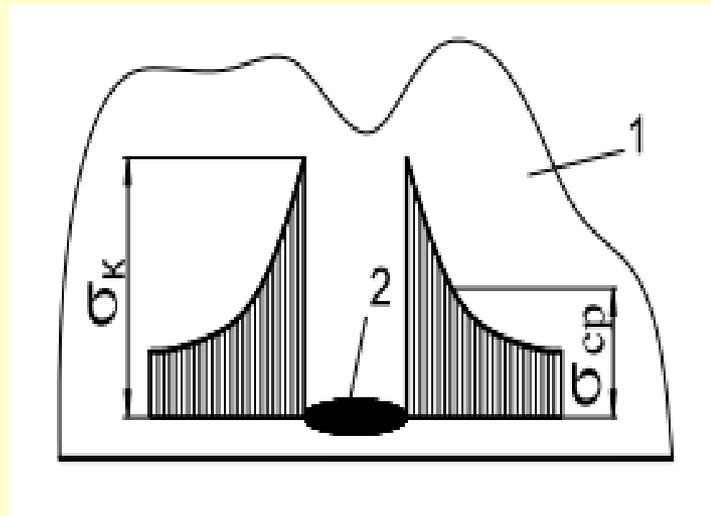
график2.exe

Чем больше температурный запас вязкости, тем больше вероятность того, что не произойдет хрупкое разрушение.

**Разрушение** – это разделение тела (образца, детали) на части под действием внешних сил или остаточных напряжений.

**Наступает разрушение вследствие возникновения и развития трещины.**

Появление трещины приводит к резкой локальной концентрации напряжений  $\sigma_k$ .



1 - металл; 2 - трещина;  $\sigma_{cp}$  – среднее номинальное напряжение;  $\sigma_k$  – напряжение у концов трещины.

**$\sigma_k$  вызывает дальнейшее распространение трещины.**

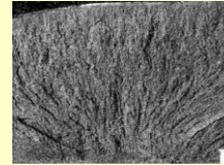
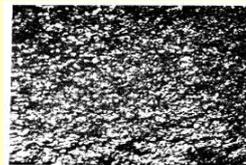
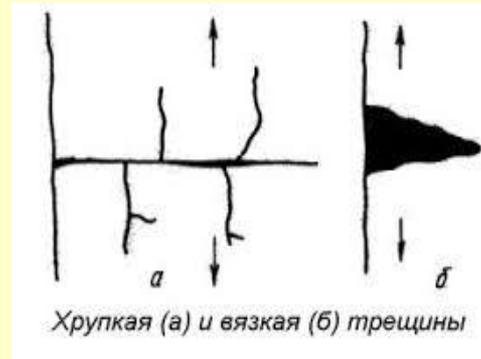
Промышленный металл всегда содержит макро-, микро- и субмикроструктурные дефекты (неметаллические включения, микротрещины, поры) – концентраторы напряжений.

# Виды разрушения

**Разрушение** всегда осуществляется **в три этапа**: зарождение трещины, её развитие до критического размера и закритическое развитие, которое приводит к разделению тела на части.

По скорости перемещения трещины в металле различают **хрупкое, квазихрупкое и вязкое разрушение**.

**При хрупком разрушении** высокая скорость развития трещины -  $0,9V_{зв}$  при малой работе разрушения - до 5 Дж. Пластическая деформация более 1,5 %. Трещина острая. Излом хрупкий, блестящий, кристаллический.

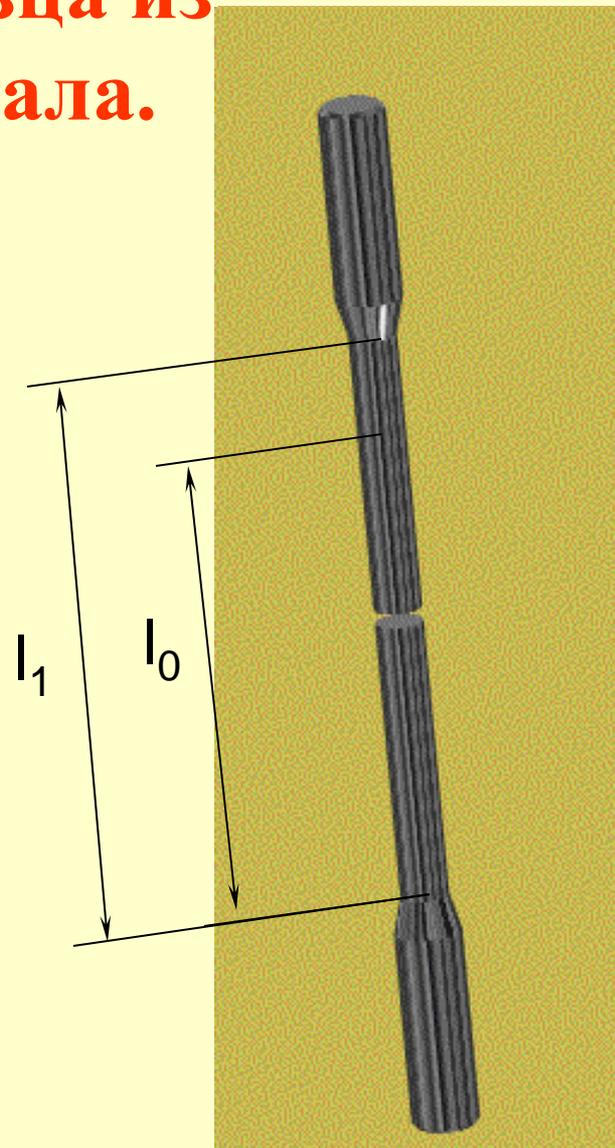
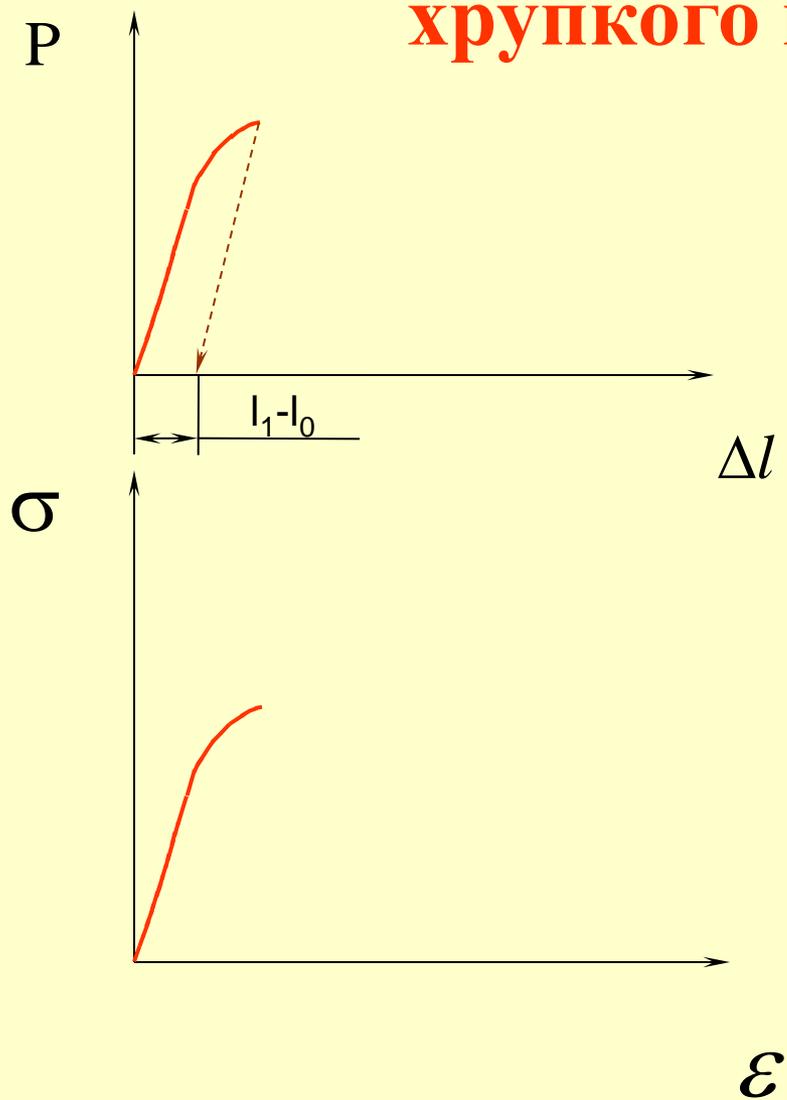


**При вязком разрушении** скорость развития трещины мала – до  $0,15V_{зв}$  при работе разрушения более 20 Дж. Пластическая деформация выше 15%. Трещина тупая. Излом волокнистый, вязкий, матовый.

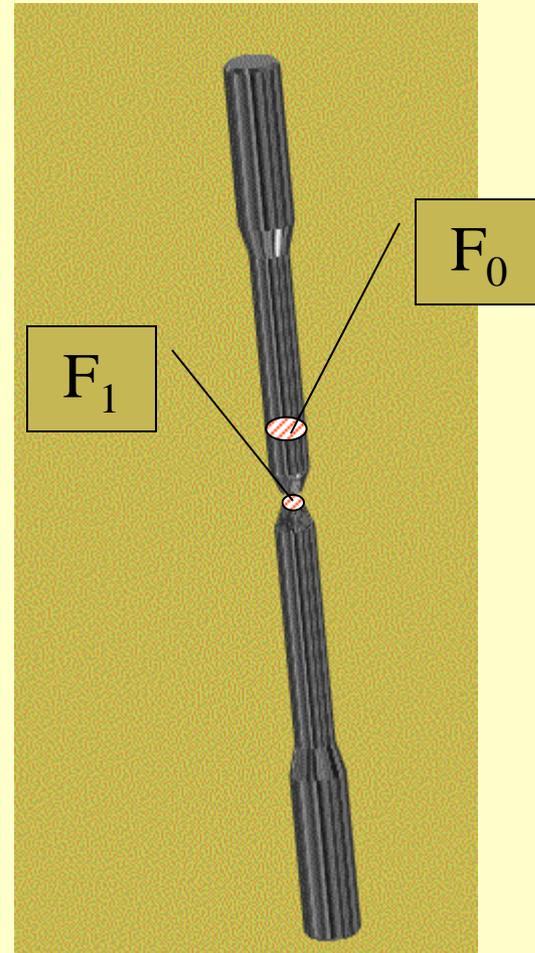
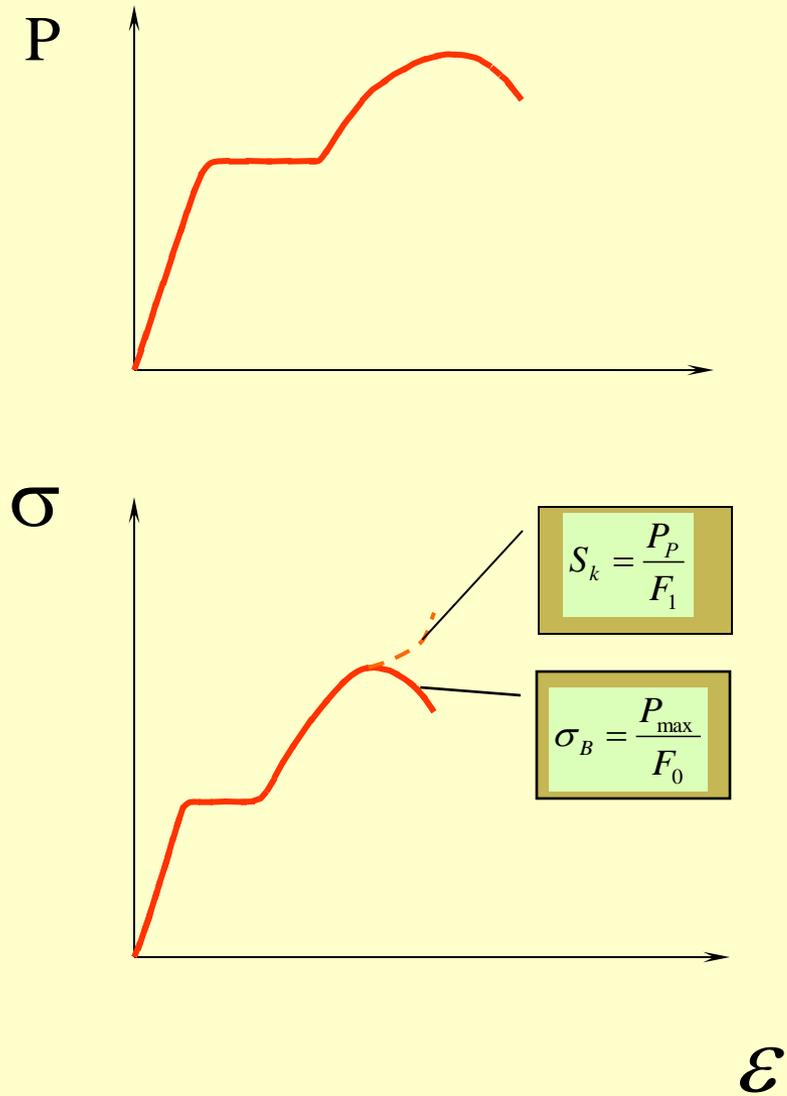


**При квазихрупком (смешанном) разрушении** скорость развития трещины ~  $0,4V_{зв}$ , работа разрушения 5-20 Дж. Пластическая деформация не выше 15 %. Излом смешанный с областями хрупкой и вязкой составляющих.

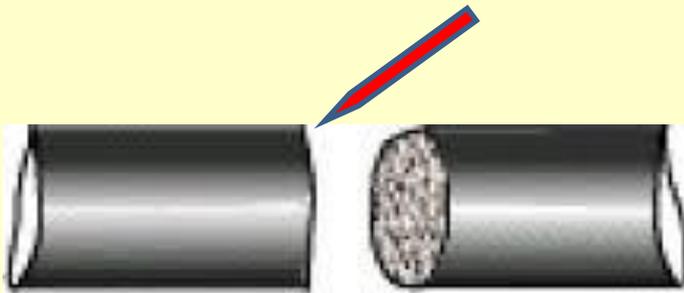
# Разрушение образца из хрупкого материала.



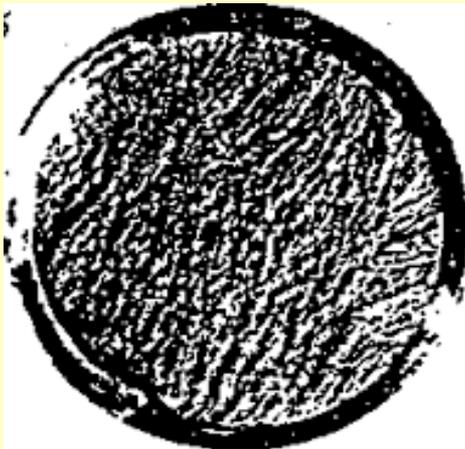
# Растяжение образца из пластичного материала.



## Хрупкое разрушение

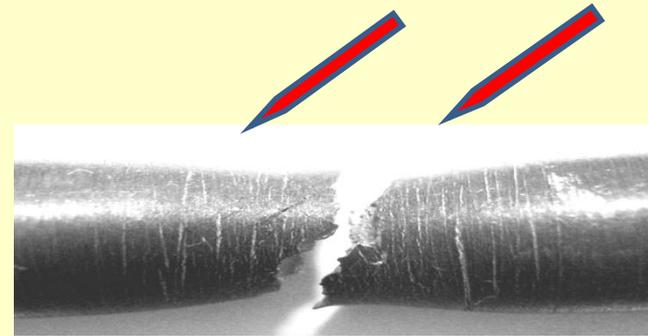


Разрушение отрывом, **без**  
видимой деформации.

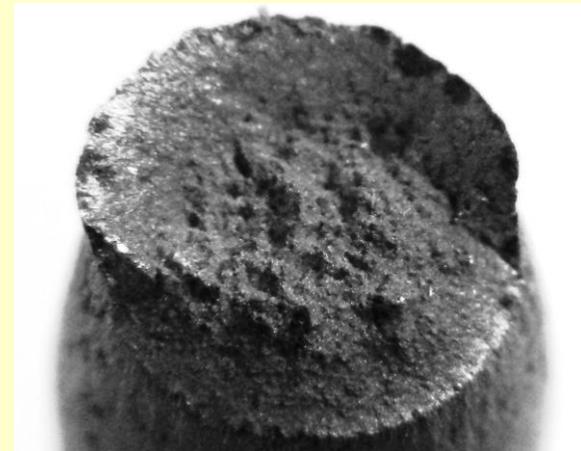


Излом кристаллический,  
блестящий.

## Вязкое разрушение



Разрушению предшествовала  
деформация – образовалась шейка.



Излом волокнистый,  
матовый.

# Квазихрупкое (смешанное) разрушение.

**Поверхностный слой**  
вала **хрупкий** -  
упрочненный, обладает  
высокой твердостью и  
износостойкостью.  
**Сердцевина – вязкая** с  
запасом пластичности,  
чтобы воспринимать  
ударные и циклические  
нагрузки.



**Вязкая**  
составляющая.

**Хрупкая**  
составляющая.

**Смешанный излом.**

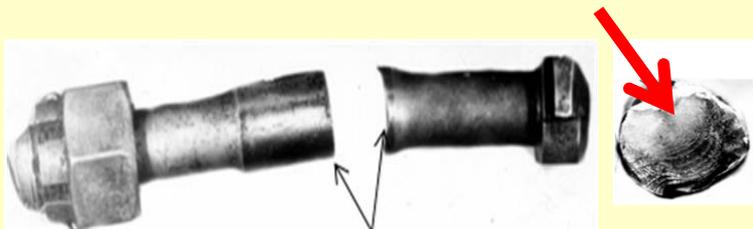
**Соотношение хрупкой и вязкой составляющих в изломе является показателем склонности материала к хрупкому разрушению, т.е. косвенной оценкой его надежности.**

# Усталостное разрушение.

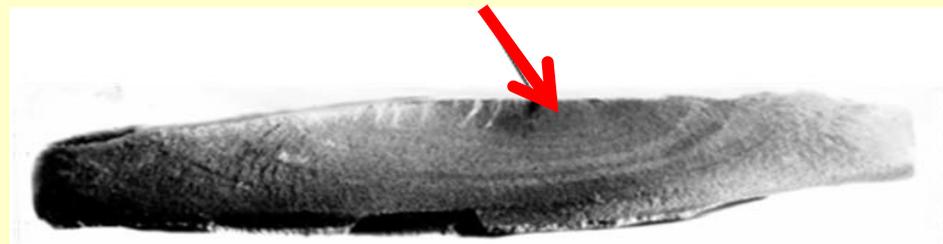
Имеет место при циклическом нагружении.

Для усталостных изломов характерно несколько зон, соответствующих разным стадиям зарождения и развития усталостной трещины до ее критической длины, после чего наступает мгновенное разрушение.

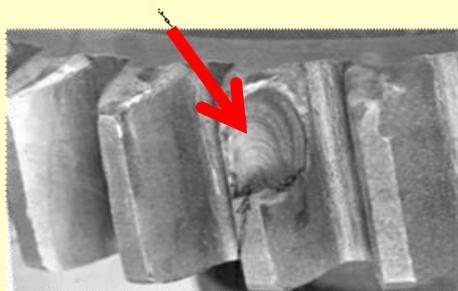
## Усталостные изломы деталей автомобиля.



Шатунный болт.



Щека коленчатого вала.



Зуб шестерни.

Причиной усталостного разрушения является **усталость металла**, возникающая при эксплуатации изделия в условиях циклических нагрузок.

**Из всех видов разрушения наиболее опасно хрупкое, наступающее внезапно и его невозможно остановить!!!**

**Трещиностойкость** – свойство материала с трещиной противостоять разрушению, т.е. оказывать сопротивление продвижению трещины. **Есть два основных параметра трещиностойкости:**

**Вязкость разрушения:**

$$G_{1c} = \frac{\pi \cdot l \cdot \sigma^2}{E}$$

**Коэффициент интенсивности напряжений:**

$G_{1c}$  [Н/м] – сила, необходимая для продвижения трещины

$$l_{кр} = \frac{E \cdot G_{1c}}{\pi \sigma^2}$$

$$K_{1c} = \frac{E \cdot G_{1c}}{(1 - \mu)} \left[ \text{МПа}/\text{м}^{1/2} \right]$$

$l$  на единицу длины при напряжении  $\sigma$

$$\sigma_{кр} = \sqrt{\frac{G_{1c} \cdot E}{\pi \cdot l}}$$

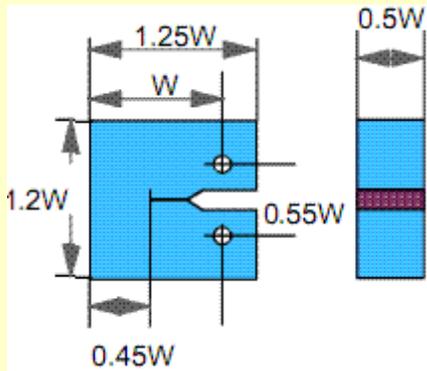

$E$  – модуль упругости;

$\mu$  – коэффициент Пуассона

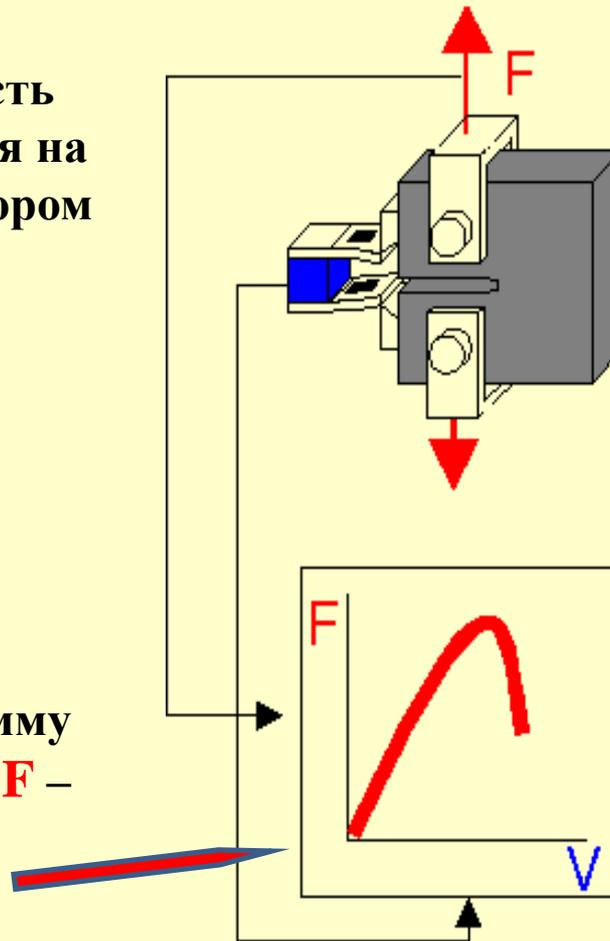
Показатели трещиностойкости позволяют определить критическую длину трещины  $l_{кр}$ , которая приведет к разрушению при действующем напряжении  $\sigma$ , или критическое максимальное напряжение  $\sigma_{кр}$ , которое выдержит изделие без разрушения при данной длине трещины.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ.

Испытания на вязкость разрушения проводятся на образцах с концентратором напряжений



Записывают диаграмму « приложенная сила  $F$  – скорость раскрытия трещины  $V$  ».

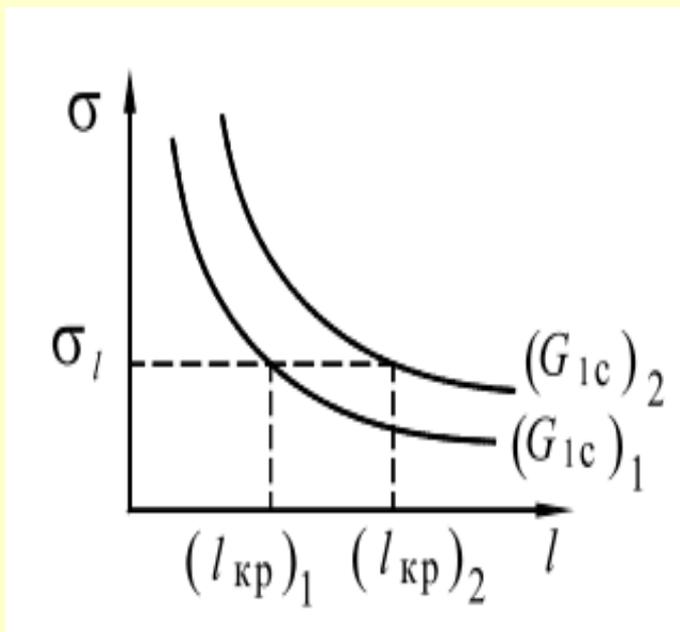


Трещиностойкость определяют для ответственных конструкций, работающих в сложно-напряженном состоянии под высокими ударными и циклическими нагрузками. Так как испытания сложные, то оценку работоспособности изделий производят по значениям  $K_{Cp}$ .

Значения работы развития трещины  $K_{Cp}$  на качественном уровне позволяют судить о способности материала сопротивляться хрупкому разрушению.

# Существует связь между разрушающим напряжением и длиной трещины.

Один материал имеет вязкость разрушения  $G_{IC1}$  и при напряжении  $\sigma_1$  трещина достигает длины  $l_{кр1}$ .



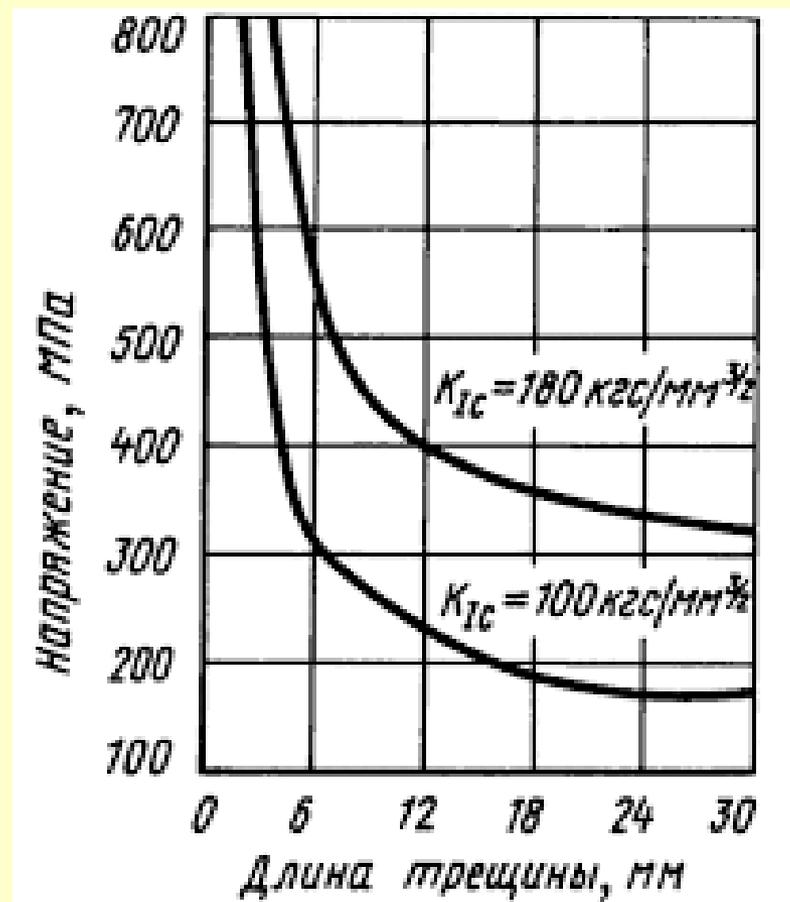
Второй материал имеет вязкость разрушения  $G_{IC2}$  и при напряжении  $\sigma_1$  трещина достигает длины  $l_{кр2}$ .

Чем выше вязкость разрушения, тем больше критическая длина трещины при данном уровне напряжений и меньше вероятность хрупкого разрушения.

# Связь между разрушающим напряжением и длиной трещины.

**Пример:** При уровне напряжений 400 МПа сталь с  $K_{1c} = 100$  кгс/мм<sup>3/2</sup> может эксплуатироваться до длины трещины не более 4 мм, а с  $K_{1c} = 180$  кгс/мм<sup>3/2</sup> – до 12 мм. Вероятность неконтролируемого хрупкого разрушения в первом случае выше, чем во втором.

**Надежность** выше у изделия, изготовленного из материала, имеющего больший коэффициент интенсивности напряжений.



# Критерии надежности и долговечности.

**Надежность** материала определяется его способностью противостоять возникновению внезапного отказа, который является следствием хрупкого разрушения.

**Критерии надежности: трещиностойкость, работа развития трещины и температура вязко – хрупкого перехода:**

$$G_{1c}, K_{1c}, K_{IC}, T_{кр}$$

**Долговечность** определяется способностью материала сопротивляться постепенному отказу, когда изделие теряет свою работоспособность. Главным образом, это сопротивление изнашиванию, усталостному разрушению и коррозии.

**Критерии долговечности: износостойкость, предел выносливости, циклическая долговечность, живучесть и коррозионная стойкость:**

$$I, \sigma_{-1}, N, N_{ж}, K.$$

# КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ ( КП ) МАТЕРИАЛА.

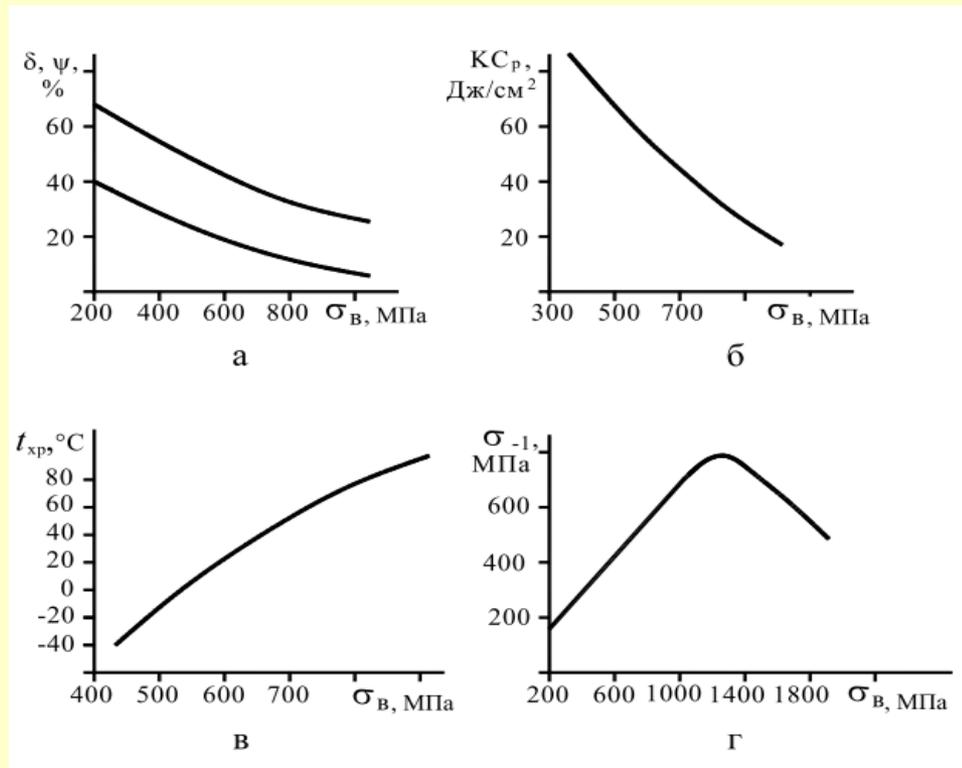
**Конструкционная прочность** – комплекс показателей, определяющих работоспособность материала конкретного изделия в данных условиях эксплуатации.

**КП** характеризует как свойства самого материала, так надежность и долговечность его работы в данной конструкции:

$\sigma_{в} \uparrow$ ;  $\sigma_{0,2} \uparrow$ ;  $\sigma_{-1} \uparrow$ ;  $\delta \uparrow$ ;  $\psi \uparrow$ ;  $K_{С} \uparrow$ ;  $K_{С3} \uparrow$ ;  
 $K_{Ср} \uparrow$ ;  $t_{хр} \downarrow$ ;  $N \uparrow$ ;  $N_{ж} \uparrow$ ;  $G_{1c} (K_{1c}) \uparrow$ ;  $I \uparrow$ .

# ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СВОЙСТВАМИ.

**Одновременно достичь высоких показателей прочности, пластичности, ударной вязкости, циклической долговечности, живучести, критериев трещиностойкости, износостойкости и низкого порога хладноломкости очень сложно. Для этого нужны специальные методы обработки материала.**



**Такой характер изменения свойств обусловлен наличием в реальном материале дефектов кристаллического строения и их различным влиянием на показатели конструкционной прочности.**

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ:

- × **Прочность** – свойство материала сопротивляться деформации и разрушению.
- × **Конструкционная прочность** – комплекс свойств, определяющих работоспособность материала конкретного изделия в данных условиях эксплуатации.
  - × **Конструктивная прочность** – это свойства изделия, определяющие его работоспособность.  
Термины «**прочность**» и «**конструкционная прочность**» - это характеристики свойств материала.
- × Термин «**конструктивная прочность**» - характеристики конкретного изделия из данного материала.

# Вопросы для самостоятельной работы

- ✘ 1. Существующие методы оценки порога хладноломкости.
- ✘ 2. Температурный запас вязкости конкретного изделия.
- ✘ 3. Характер усталостного разрушения деталей машин.

# Литература

- ✘ 1. Дьяченко С.С. Материаловедение : учебник / С.С. Дьяченко, И.В. Дощечкина, А.А. Мовлян, Э.И. Плешаков.- Харьков: Издательство ХНАДУ, 2010.-464 с. (стр.24 –29, 96 – 106 ).
- ✘ 2. Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебное пособие / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова,
- ✘ Д.Б. Глушкова.- Харьков: ХНАДУ, 2011.-460 с.( стр.16 – 18, 408 – 411).



## **Кафедра технології металів и матеріалознавства**

**Доц. Дощечкина Ирина Васильевна.**

**E-mail: [div\\_khadi@ukr.net](mailto:div_khadi@ukr.net)**

**Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ**