



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))

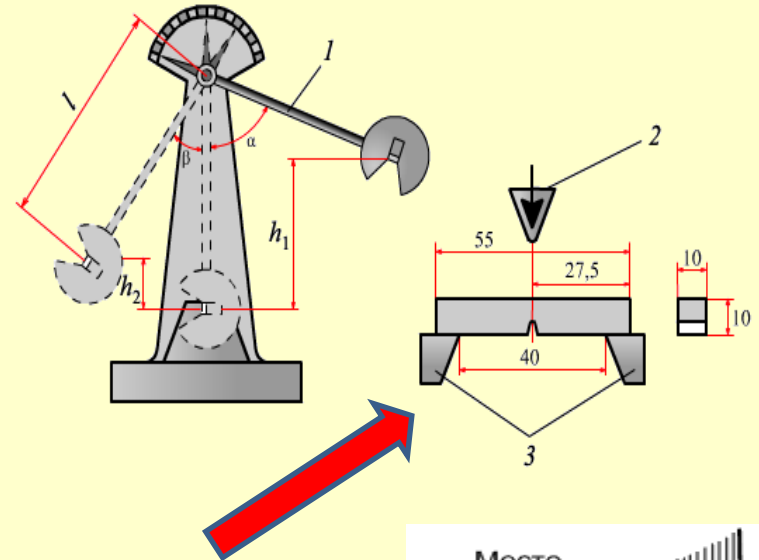
План лекции.

- × **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.**

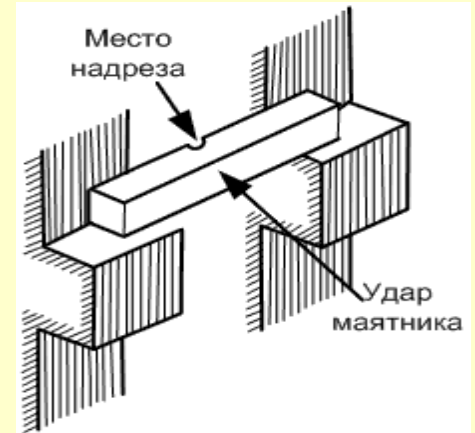
ВЯЗКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ.

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.

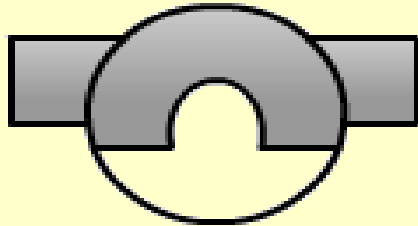


Определение ударной вязкости материала.

Призматический образец

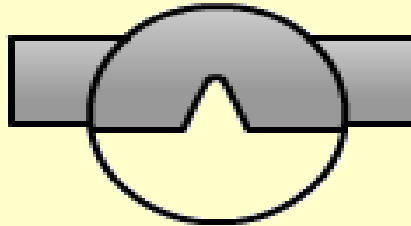


с разной формой надреза .



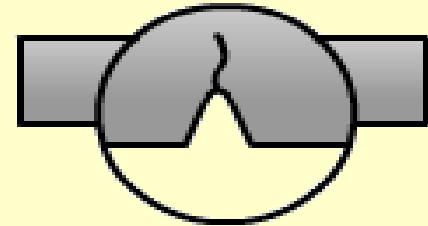
а

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.

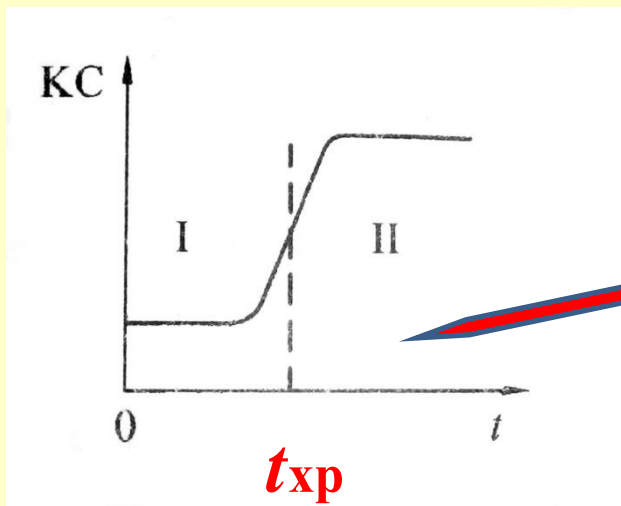
$$КС = КСз + КСр$$

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.

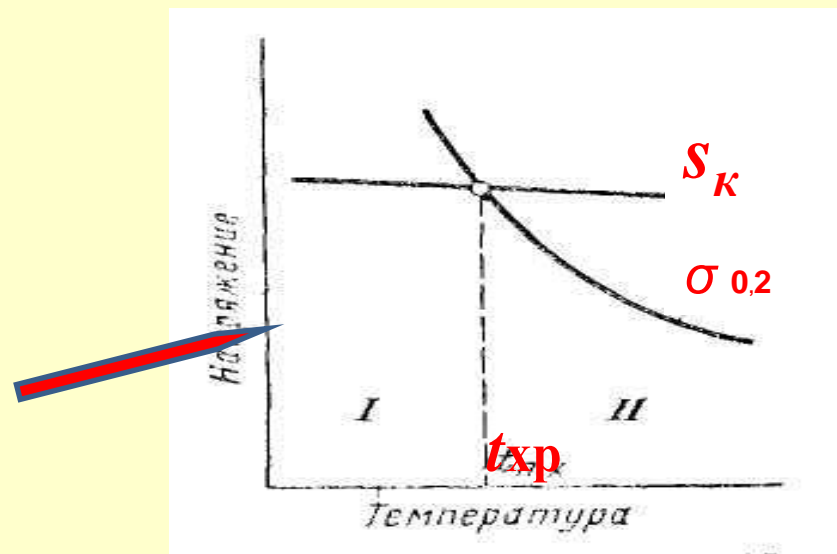


Свойство материала терять вязкость и хрупко разрушаться при снижении температуры называется **хладноломкостью**.

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.

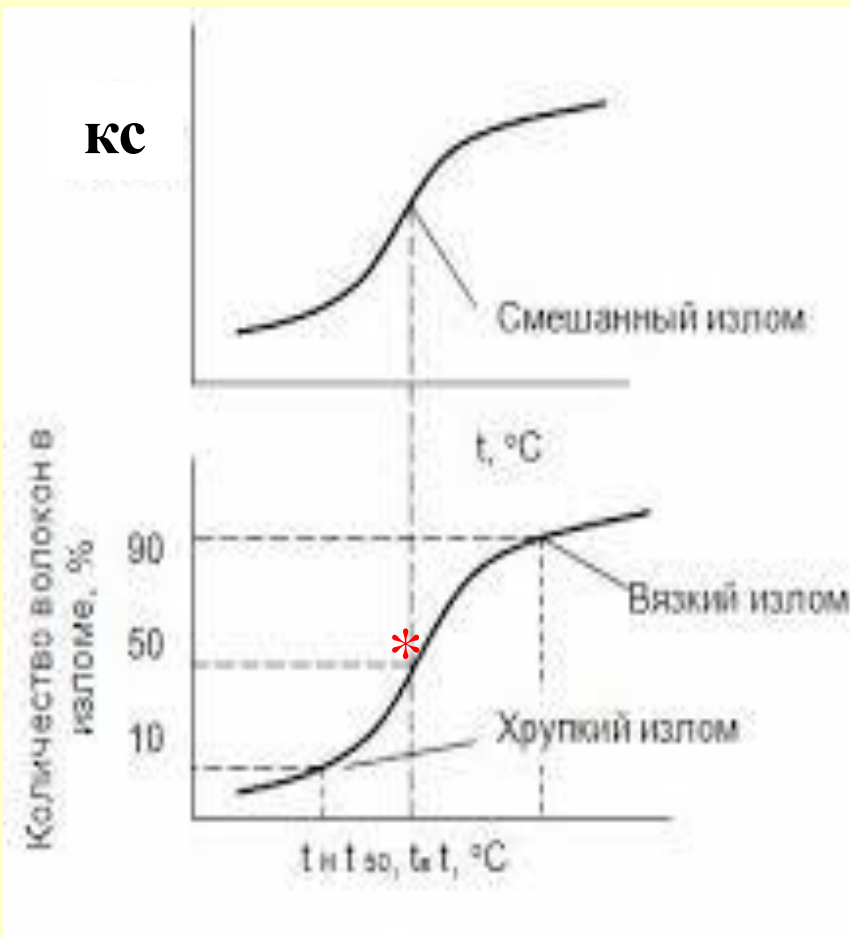


ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА ХЛАДНОЛОМКОСТИ.

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.



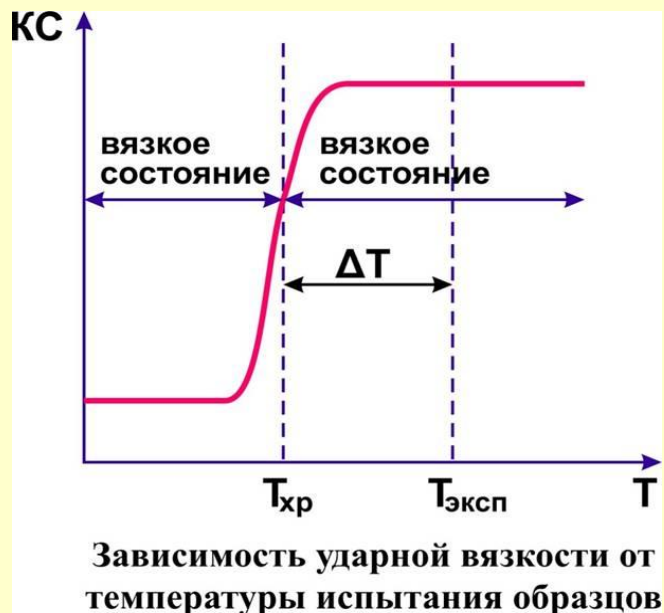
Влияние температуры на ударную вязкость и вид излома.

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

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 ΔT** .



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

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.

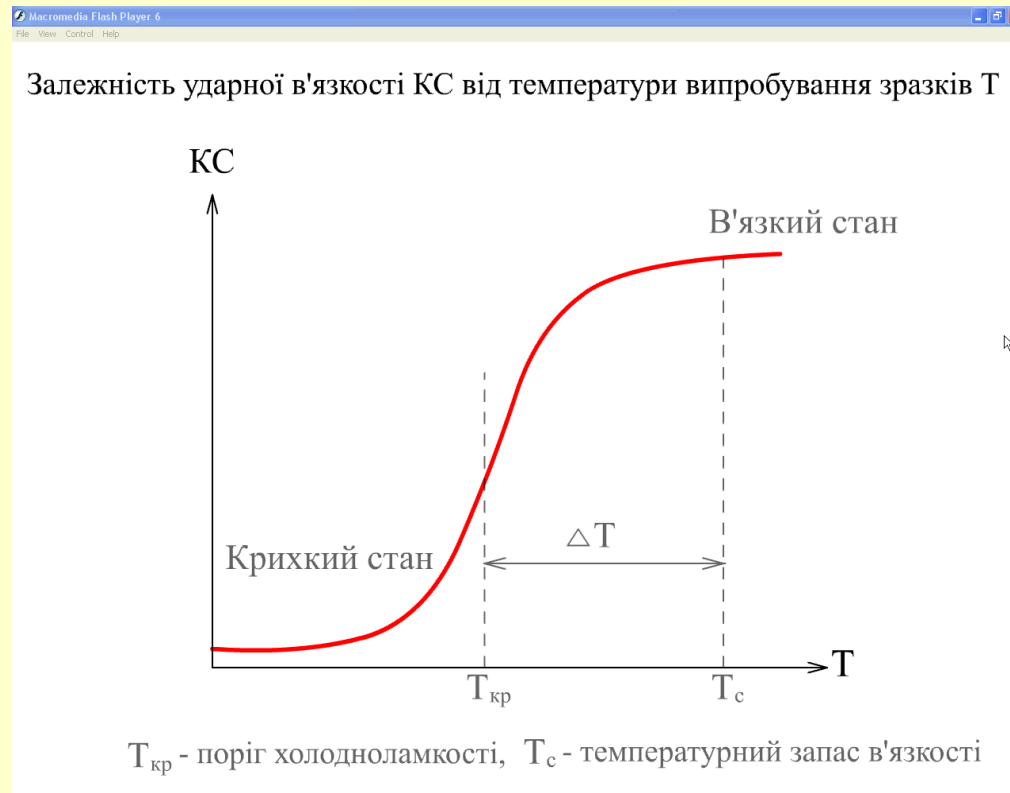


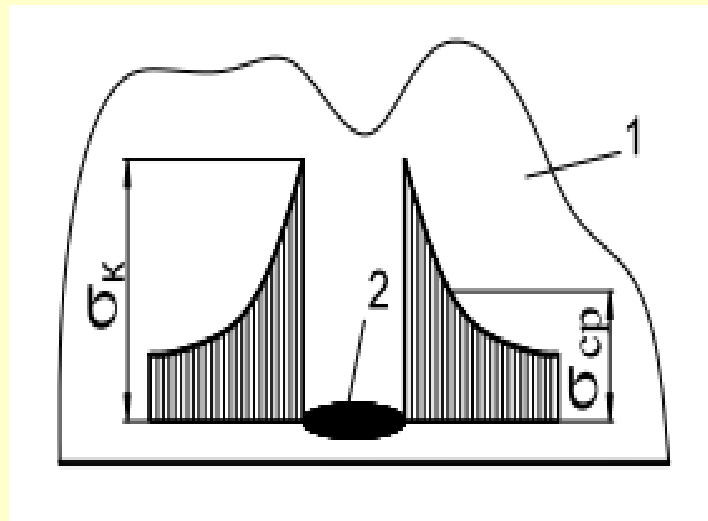
график2.exe

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 σ_k .



1 - металл; 2 - трещина; σ_{cp} – среднее номинальное напряжение; σ_k – напряжение у концов трещины.

σ_k вызывает дальнейшее распространение трещины.

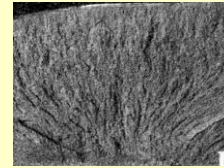
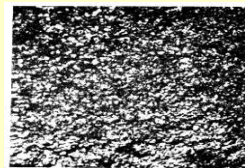
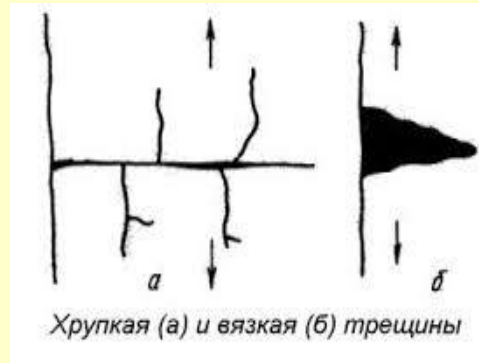
Промышленный металл всегда содержит макро-, микро- и субмикроструктурные дефекты (неметаллические включения, микротрещины, поры) – концентраторы напряжений.

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.

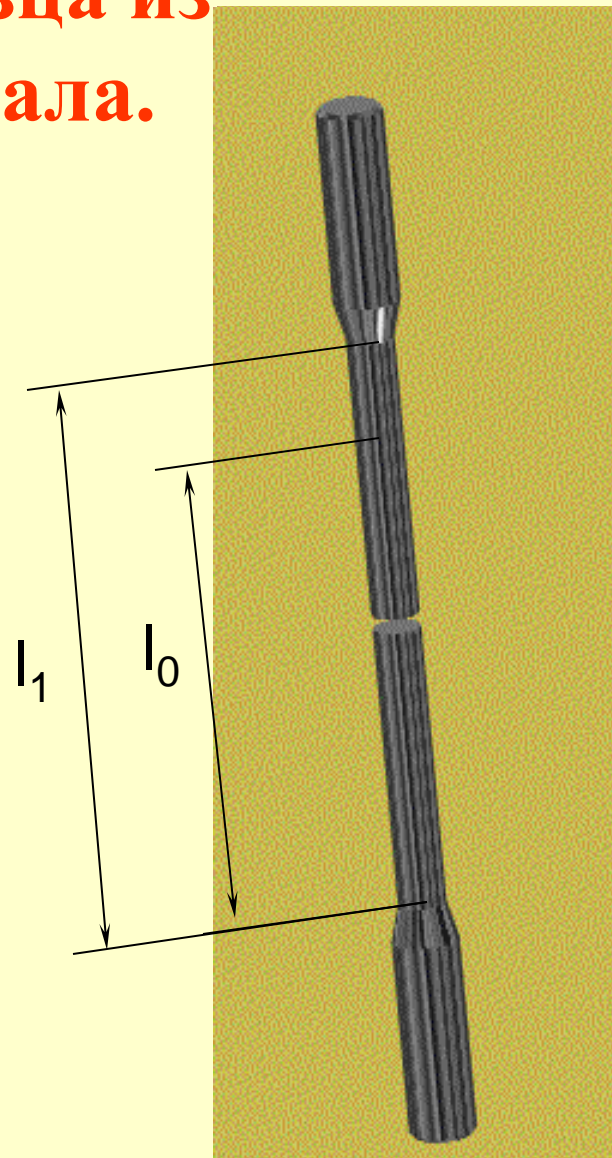
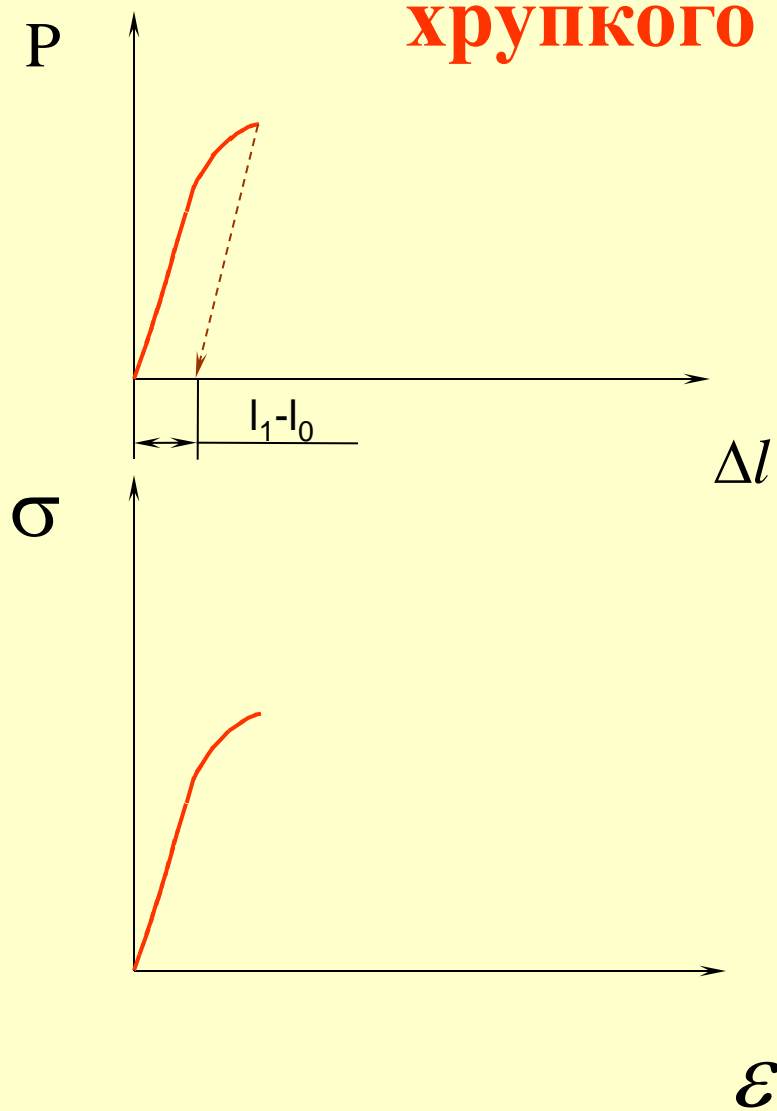


При вязком разрушении скорость развития трещины мала – до $0,15V_{зв}$ при работе разрушения более 20 Дж. Пластическая деформация выше 15%. Трещина тупая. Излом волокнистый, вязкий, матовый.

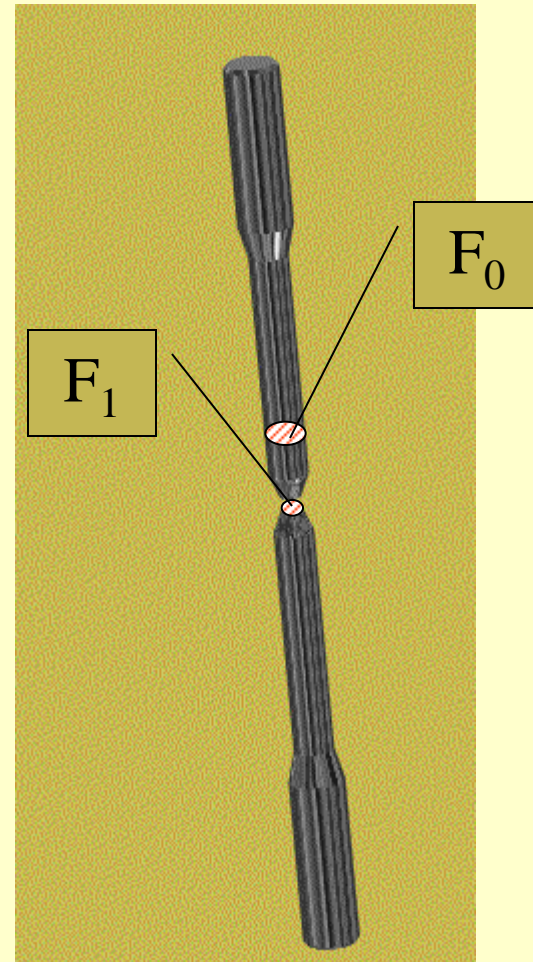
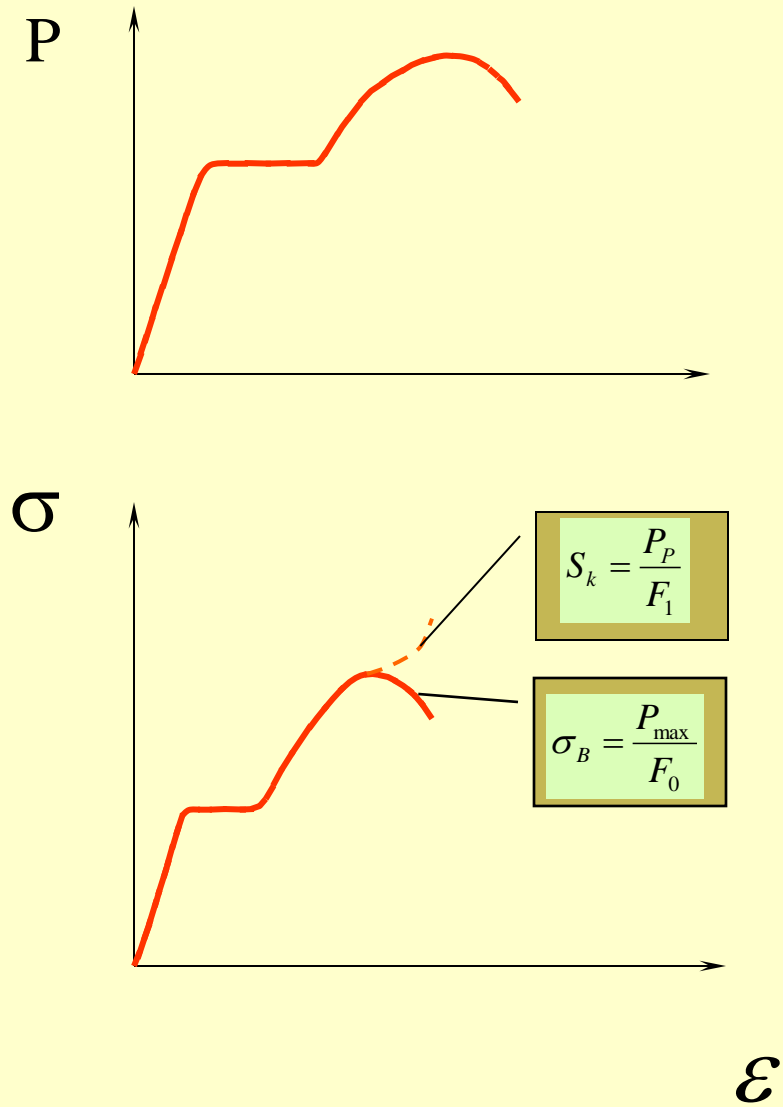


При квазихрупком (смешанном) разрушении скорость развития трещины ~ $0,4V_{зв}$, работа разрушения 5-20 Дж. Пластическая деформация не выше 15 %. Излом смешанный с областями хрупкой и вязкой составляющих.

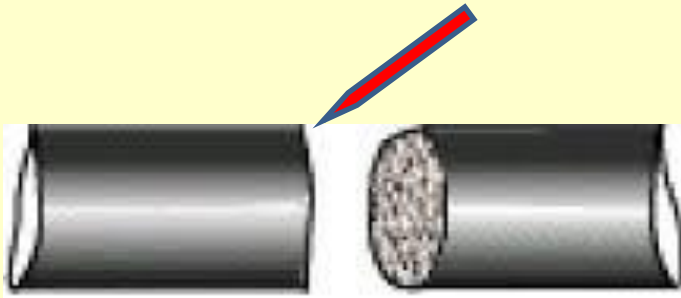
Разрушение образца из хрупкого материала.



Растяжение образца из пластичного материала.



Хрупкое разрушение

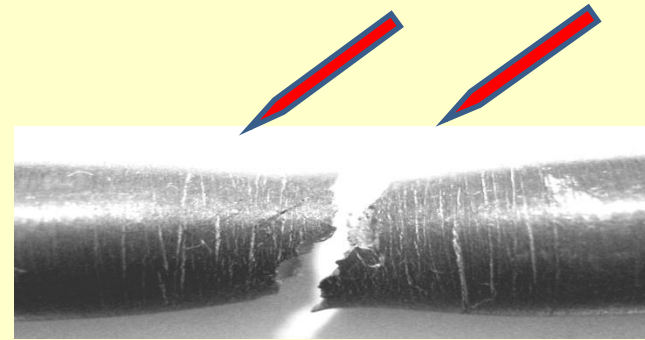


Разрушение отрывом, **без**
видимой деформации.

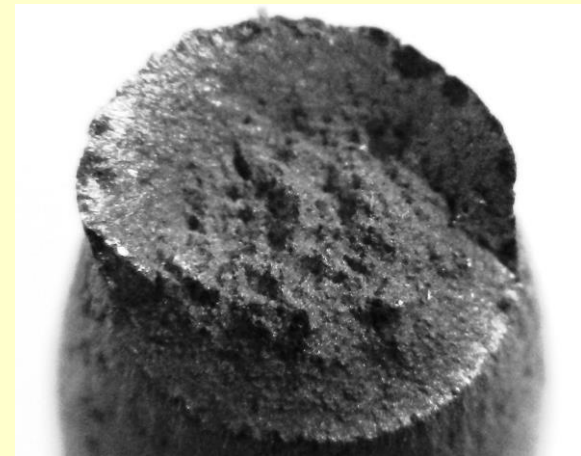


Излом кристаллический,
блестящий.

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.

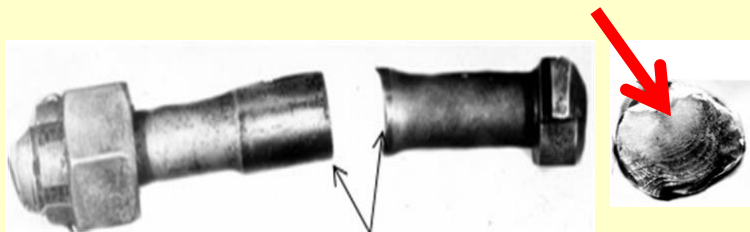
Соотношение хрупкой и вязкой составляющих в изломе является показателем склонности материала к хрупкому разрушению, т.е. косвенной оценкой его надежности.

Усталостное разрушение.

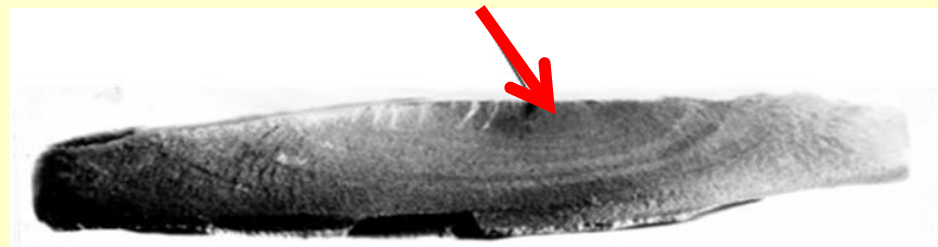
Имеет место при циклическом нагружении.

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

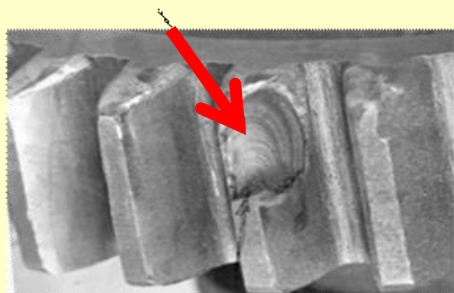
Усталостные изломы деталей автомобиля.



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 σ

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


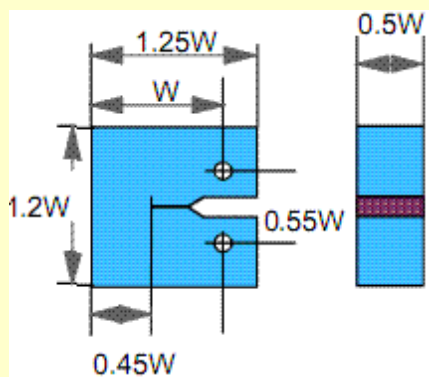
E – модуль упругости;

μ – коэффициент Пуассона

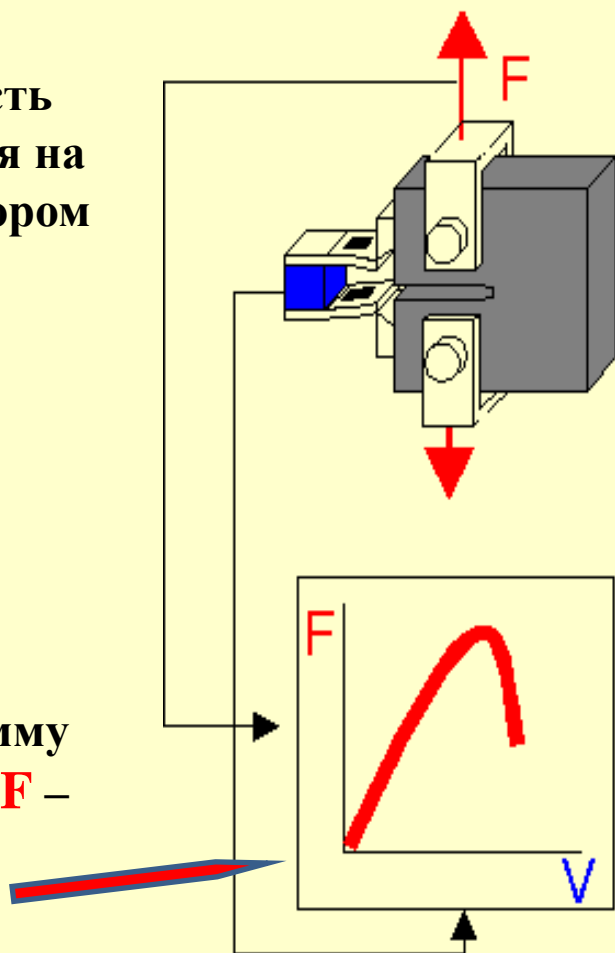
Показатели трещиностойкости позволяют определить критическую длину трещины $l_{кр}$, которая приведет к разрушению при действующем напряжении σ , или критическое максимальное напряжение $\sigma_{кр}$, которое выдержит изделие без разрушения при данной длине трещины.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ.

Испытания на вязкость разрушения проводятся на образцах с концентратором напряжений



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

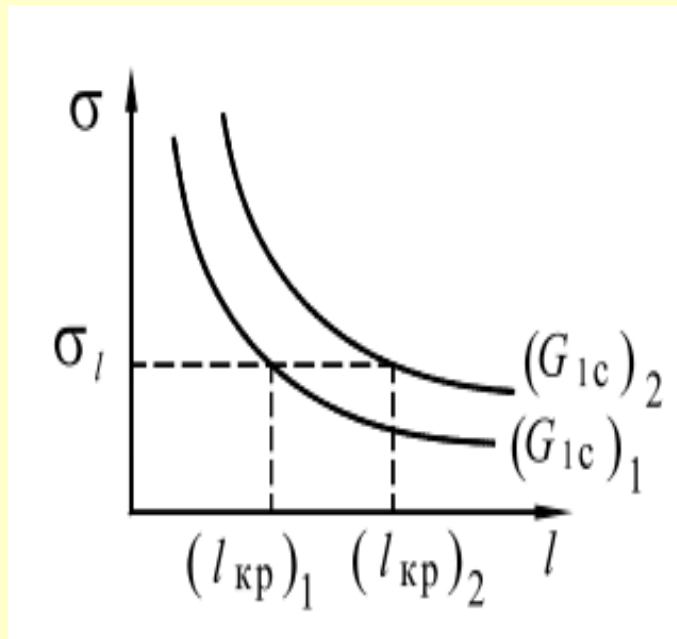


Трещиностойкость определяют для ответственных конструкций, работающих в сложно-напряженном состоянии под высокими ударными и циклическими нагрузками. Так как испытания сложные, то оценку работоспособности изделий производят по значениям K_{Cp} .

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 σ_1 трещина достигает длины $l_{кр1}$.



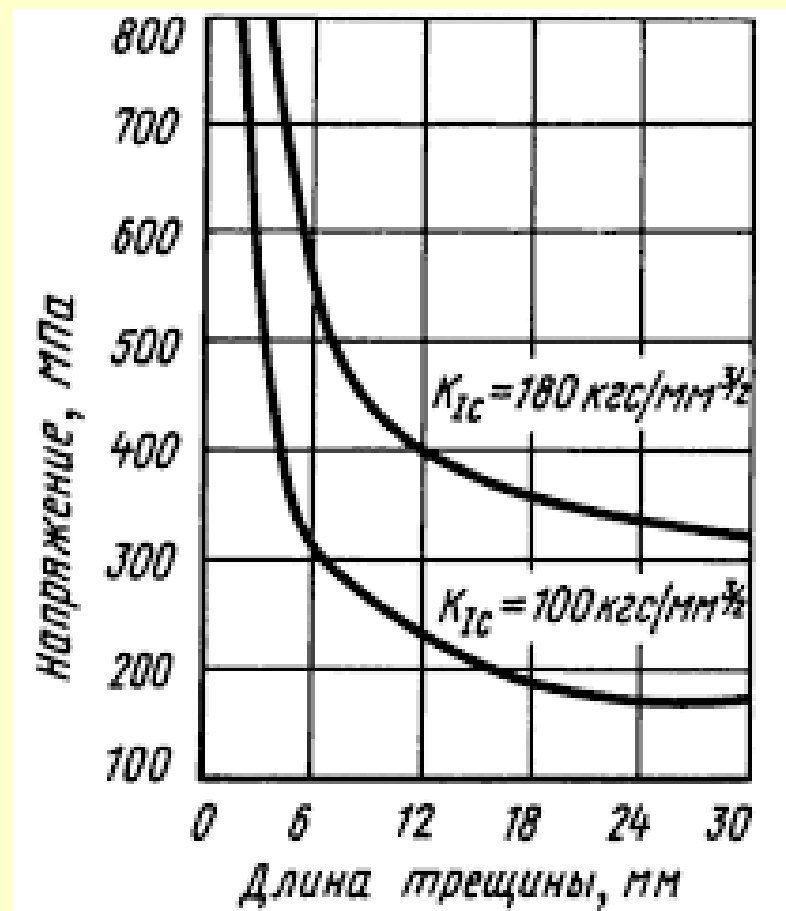
Второй материал имеет вязкость разрушения G_{IC2} и при напряжении σ_1 трещина достигает длины $l_{кр2}$.

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^{3/2} может эксплуатироваться до длины трещины не более 4 мм, а с $K_{1c} = 180$ кгс/мм^{3/2} – 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.

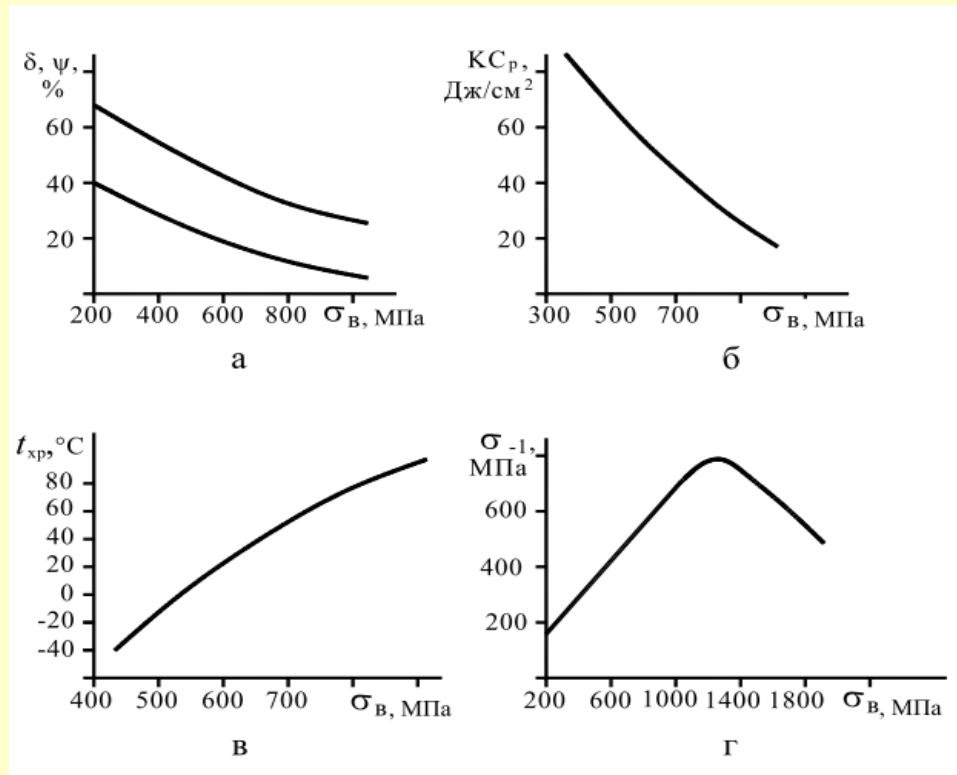
Конструкционная прочность – комплекс показателей, определяющих работоспособность материала конкретного изделия в данных условиях эксплуатации.

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

Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ