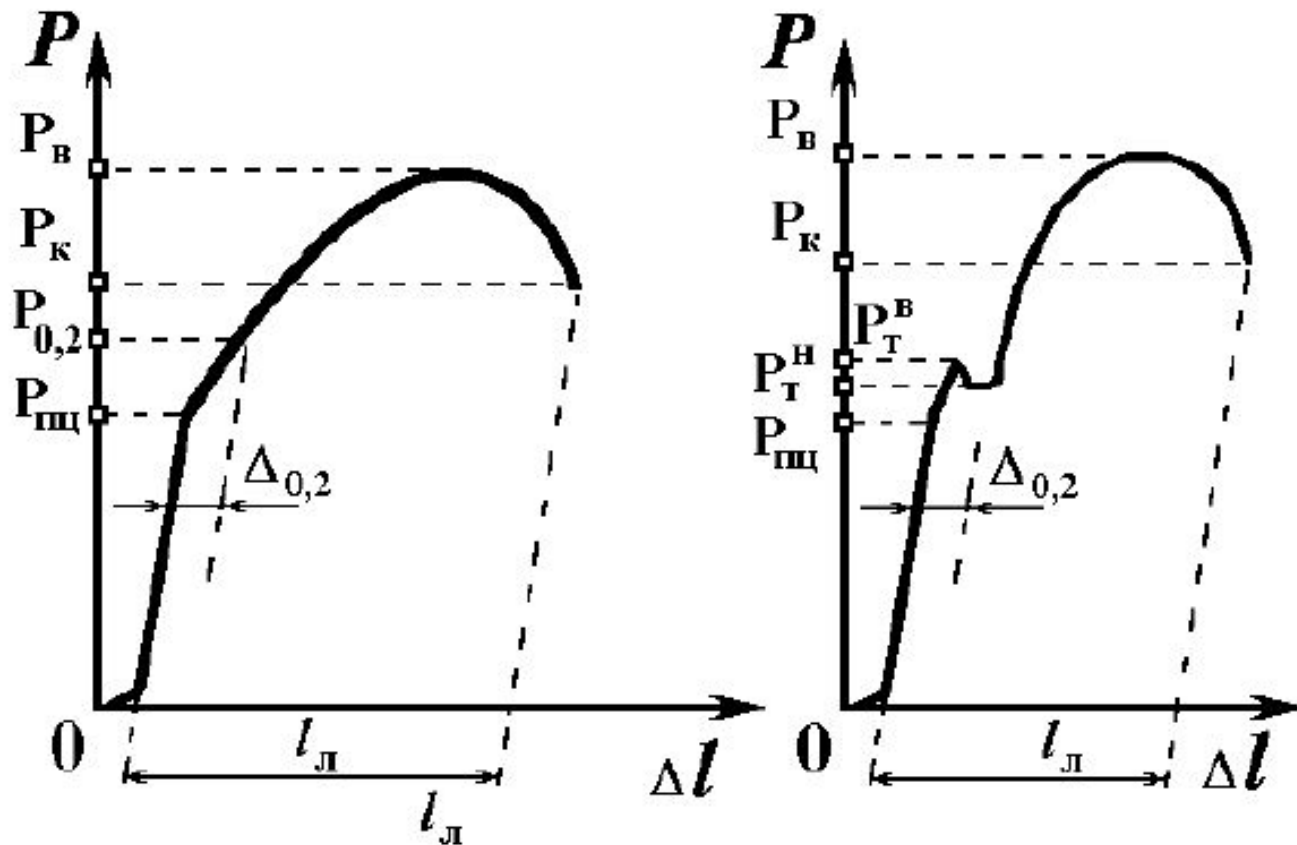


Типичные машинные диаграммы растяжения с примером графического определения механических характеристик



Характеристики пластичности

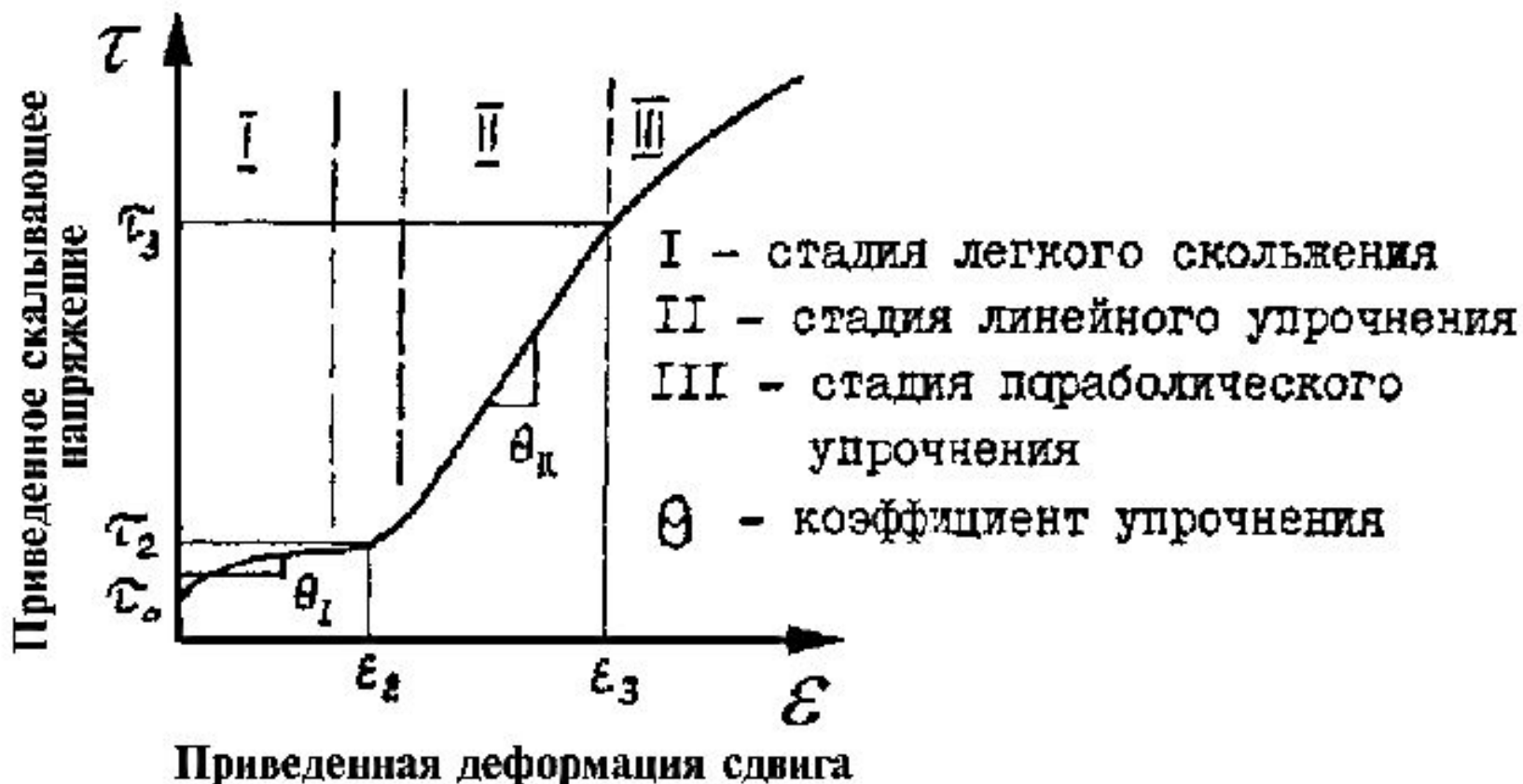
- **Относительное удлинение образца после разрыва δ [%]** - это отношение абсолютного удлинения рабочей части образца $(l_k - l_0)$ после разрушения к начальной расчетной длине l_0 .

$$\delta = \frac{(l_k - l_0)}{l_0} \cdot 100\%$$

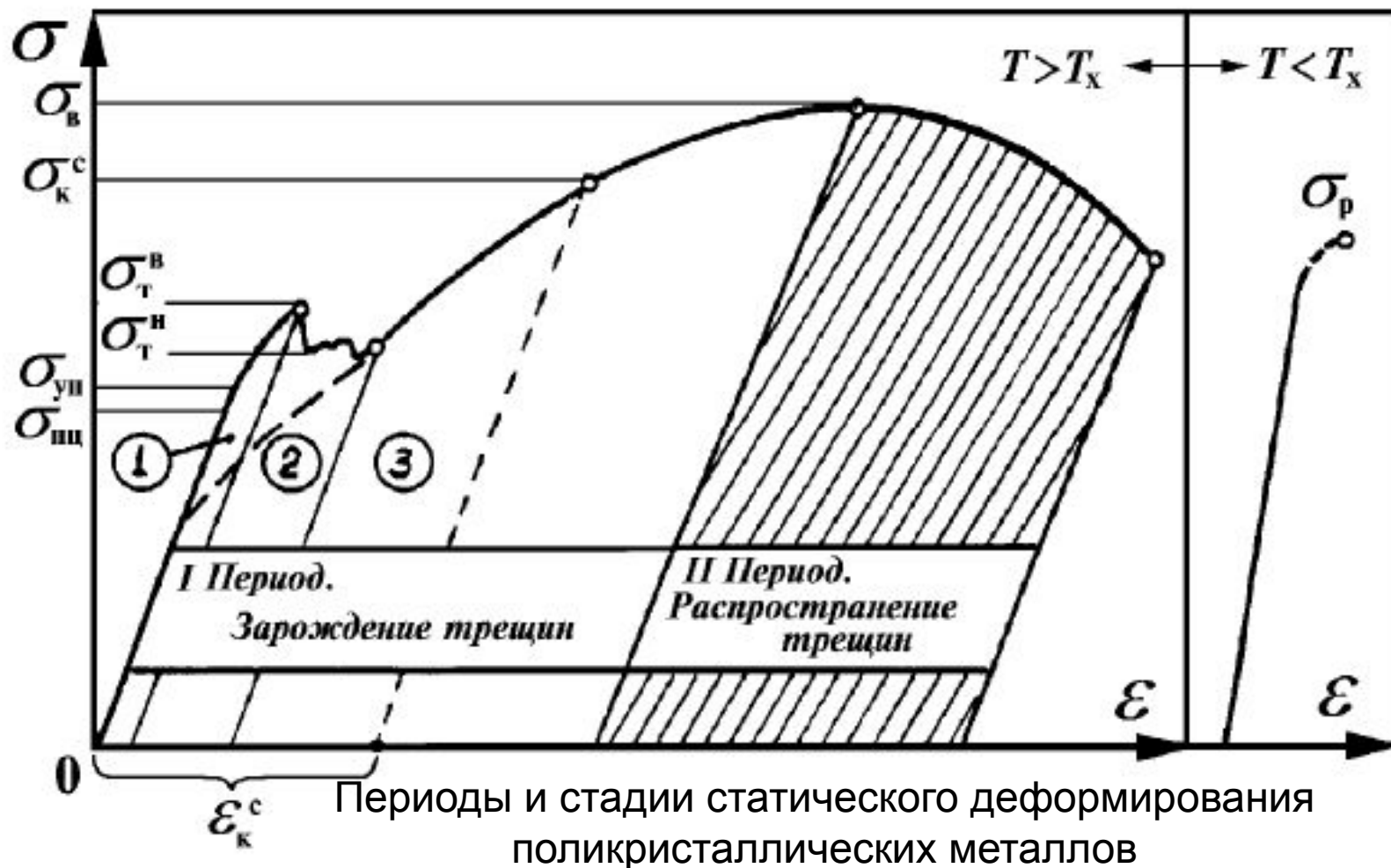
- **Относительное сужение поперечного сечения образца после разрыва ψ , [%]** - это отношение абсолютного уменьшения площади поперечного сечения рабочей части образца после разрыва к первоначальной площади поперечного сечения, выраженное в процентах.

$$\psi = \frac{(F_0 - F_k)}{F_0} \cdot 100\%$$

Основные стадии деформации и разрушения при статическом растяжении

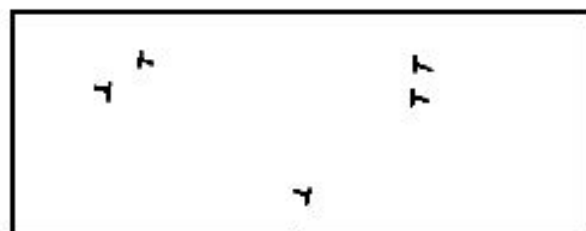


Типичная кривая напряжение—деформация для монокристалла с ГЦК-решеткой: τ_0 , τ_T и τ_3 — напряжения, соответствующие началу стадий I, II и III

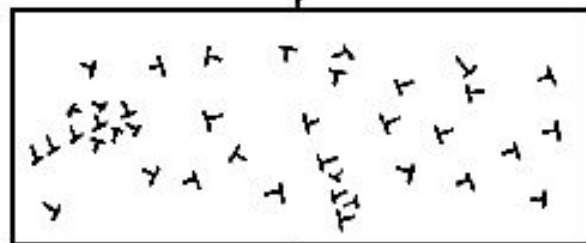


- Первая стадия - **стадия микротекучности**.
- Вторая стадия - **стадия текучести**, на которой наблюдается неомогенная деформация в виде прохождения по всей рабочей длине образца фронта Людерса – Чернова.
- Третья стадия - **стадия деформационного упрочнения**.

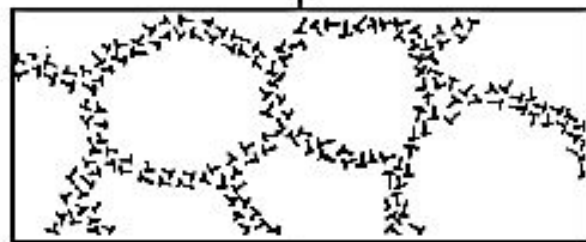
Схема эволюции дислокационной структуры металлического материала в процессе деформации:



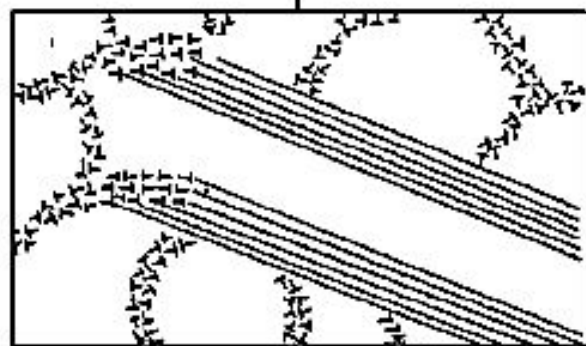
а)



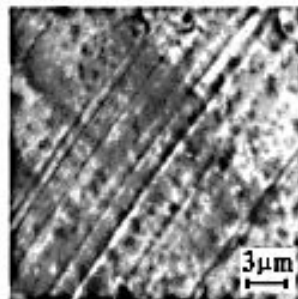
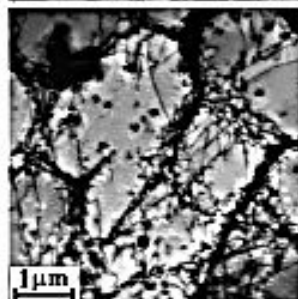
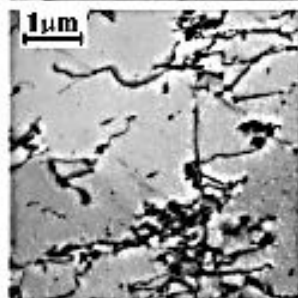
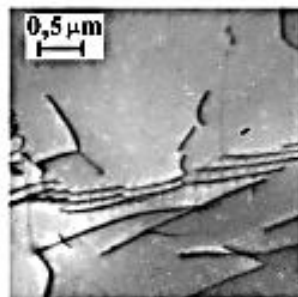
б)



в)



г)



а) стадия микротекучести,
б) стадия текучести.

в) стадия деформационного упрочнения (ячеистая дислокационная структура).
г) конец стадии деформационного упрочнения - начало стадии шейкообразования (формирование устойчивых полос скольжения).

Слева показаны схемы, справа приведены микрофотографии соответствующих дислокационных структур

Дислокационная сетка Франка

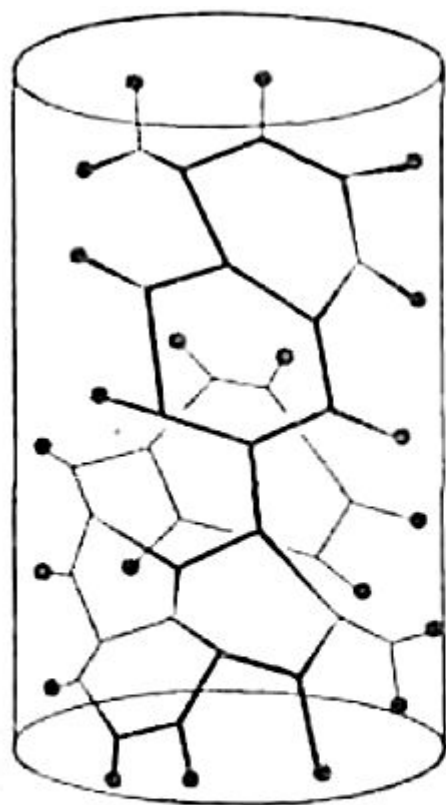


Рис. 105. Пространственная сетка дислокаций в отожженном кристалле

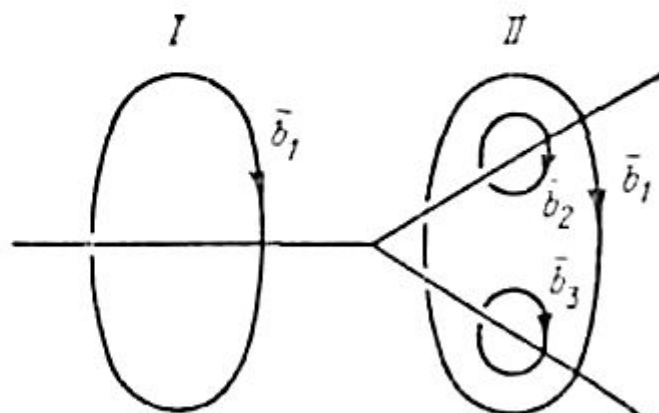
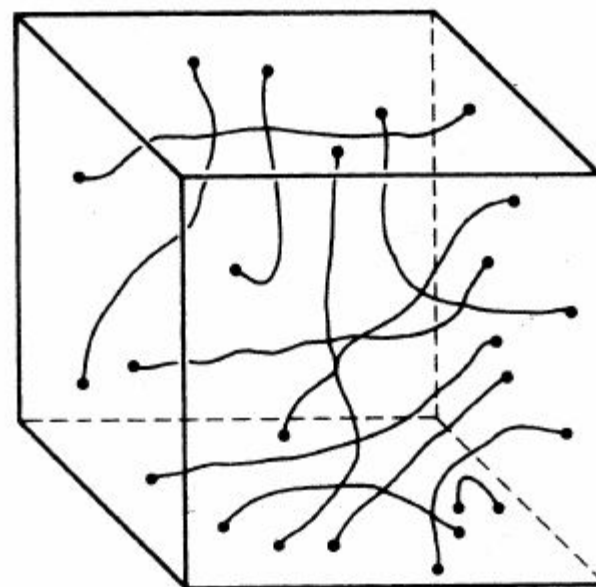
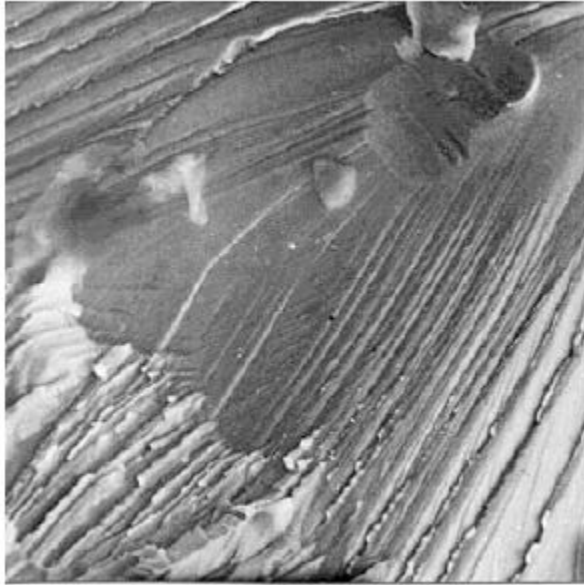
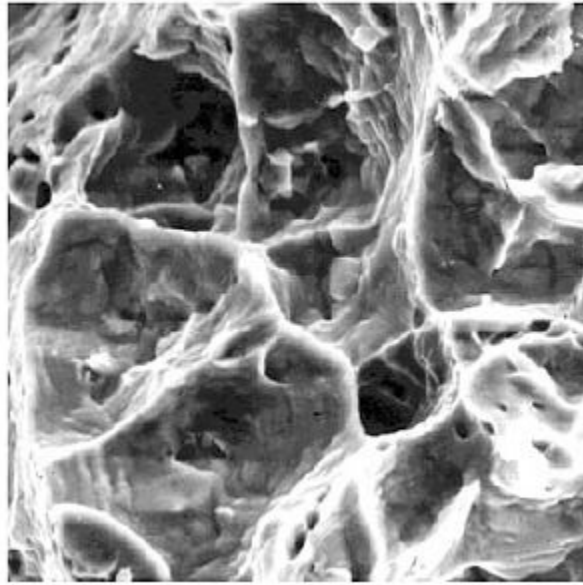


Рис. 106. Три дислокации, сходящиеся в одном узле ($\vec{b}_1 = \vec{b}_2 + \vec{b}_3$)

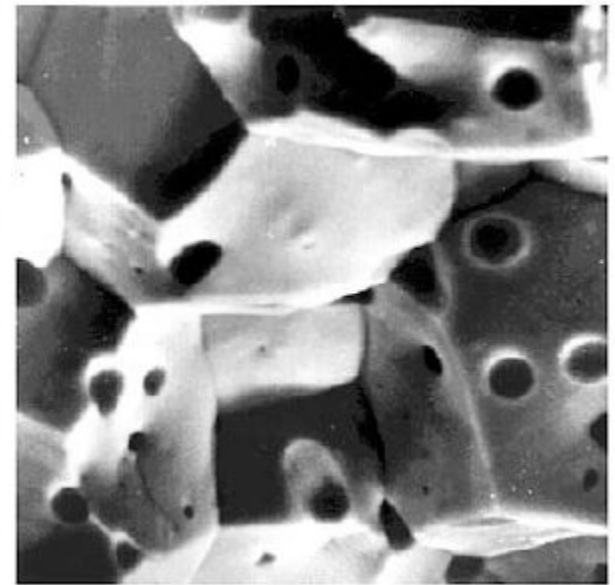
Вид поверхностей разрушения металлических материалов по механизмам (увеличение $\times 1000$)



а) скол



б) порообразование



в) смешанный –
межзеренное
порообразование +
межзеренное
хрупкое разрушение

Диаграммы, иллюстрирующие изменение предела текучести в зависимости от:

а) температуры T

б) скорости деформации $\dot{\epsilon}$

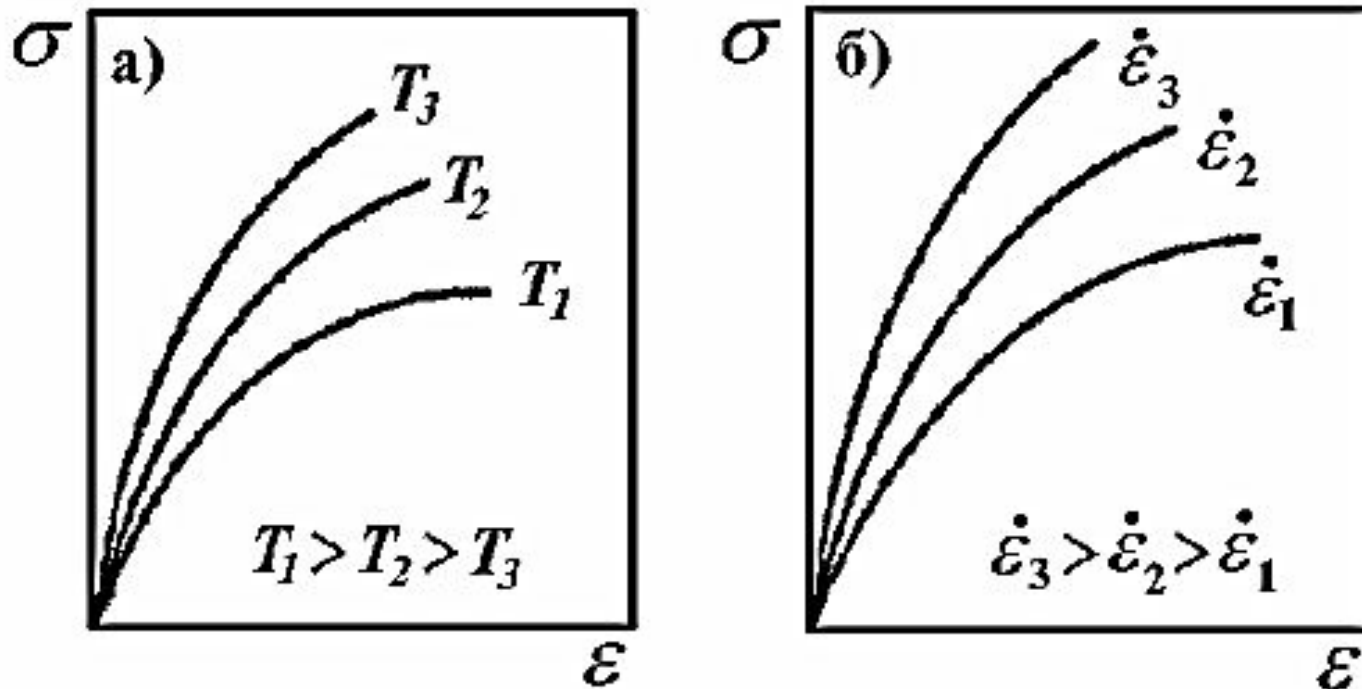
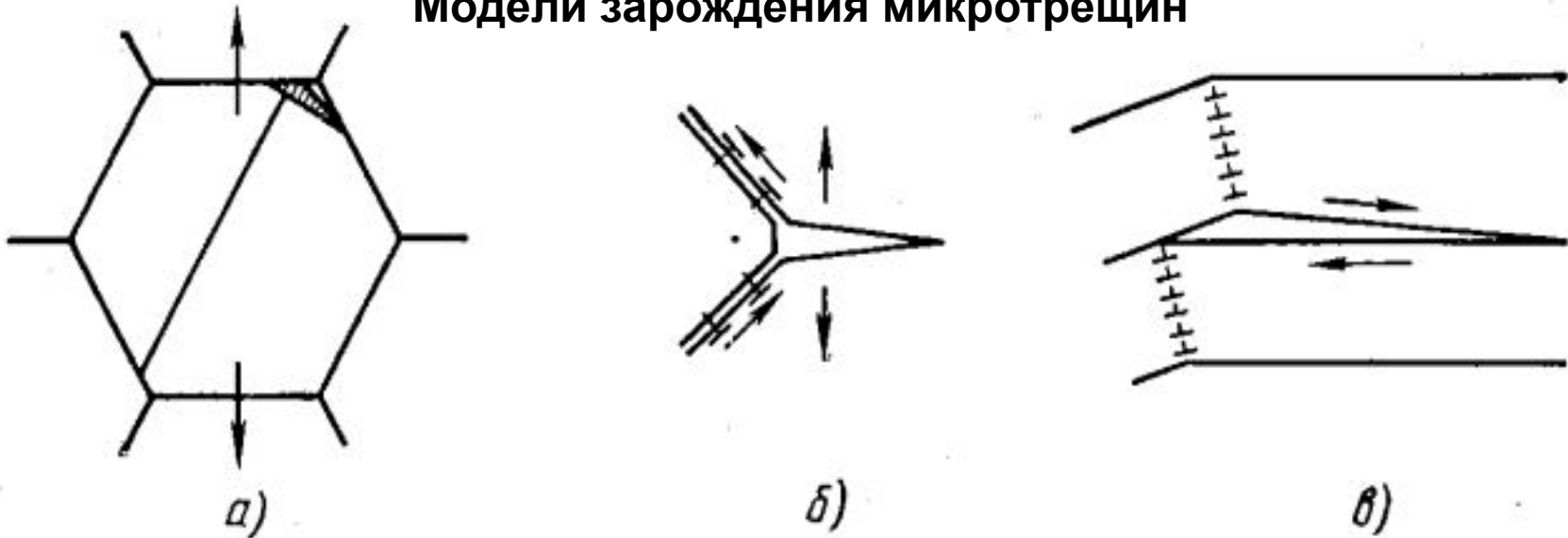


Рис. 2.13. Диаграммы, иллюстрирующие изменение предела текучести в зависимости от:
а) температуры T ; б) скорости деформации $\dot{\epsilon}$

Механизмы зарождения трещины

Зарождение микротрещин является коллективным эффектом в дислокационных структурах некоторых типов, их перестройкой с превращением запасенной в них энергии в поверхностную энергию микротрещин.

Модели зарождения микротрещин



а – накопление дислокаций в полосе скольжения; б – пересечение полос скольжения; в – разрыв малоугловой границы

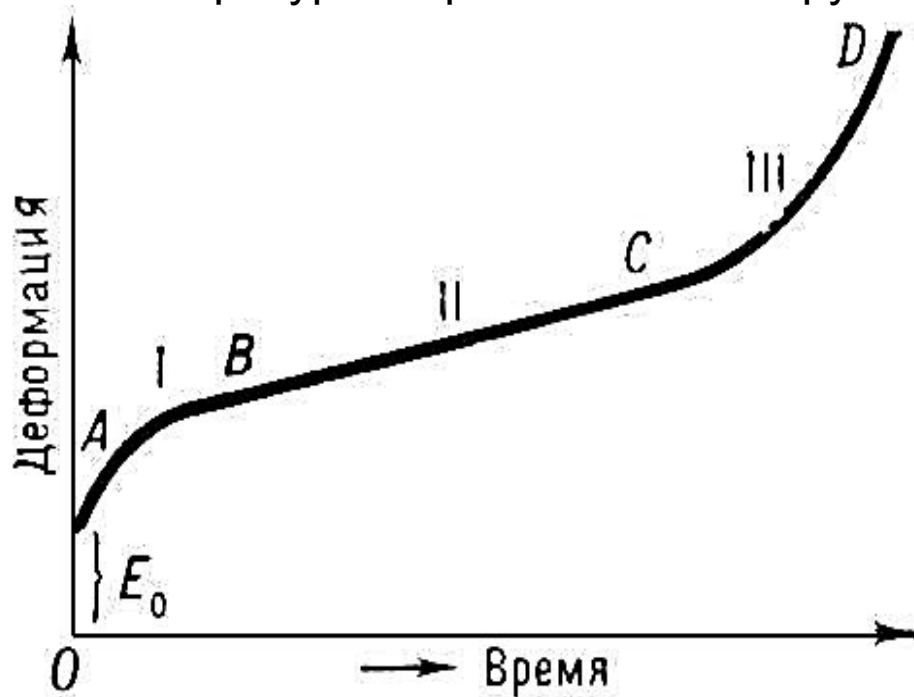
Ползучесть

Явление непрерывной деформации под действием постоянного напряжения называется **ползучестью**.

Различают три основных вида ползучести:

- низкотемпературную $T < 0,5 \cdot T_{\text{плав}}$,
- высокотемпературную $T > 0,5 \cdot T_{\text{плав}}$,
- диффузионную: зернограничную ($T \gg 0,5 \cdot T_{\text{плав}}$) и внутризеренную ($T > 0,7 \cdot T_{\text{плав}}$).

Ползучесть описывается так называемой **кривой ползучести**, которая представляет собой зависимость деформации от времени при постоянных температуре и приложенной нагрузке (или напряжении).



AB - участок неустановившейся (или затухающей) ползучести (**стадия I**),

BC - участок установившейся ползучести - деформации, идущей с постоянной скоростью (**стадия II**),

CD - участок ускоренной ползучести (**стадия III**),

E_0 - деформация в момент приложения нагрузки,

точка D - момент разрушения.

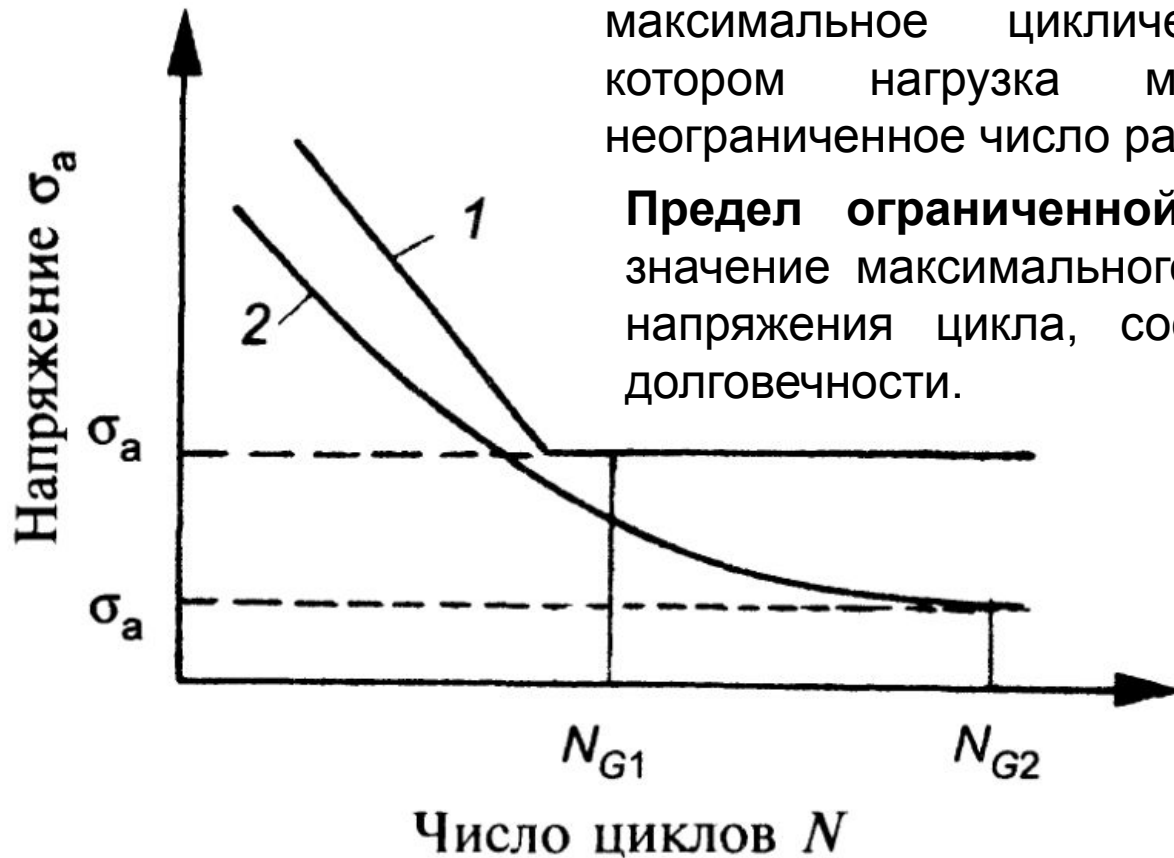
Лекция 10

Усталостное разрушение

Кривая Велера (кривая усталости) – зависимость амплитуд напряжения σ_a от числа циклов нагружения N до разрушения.

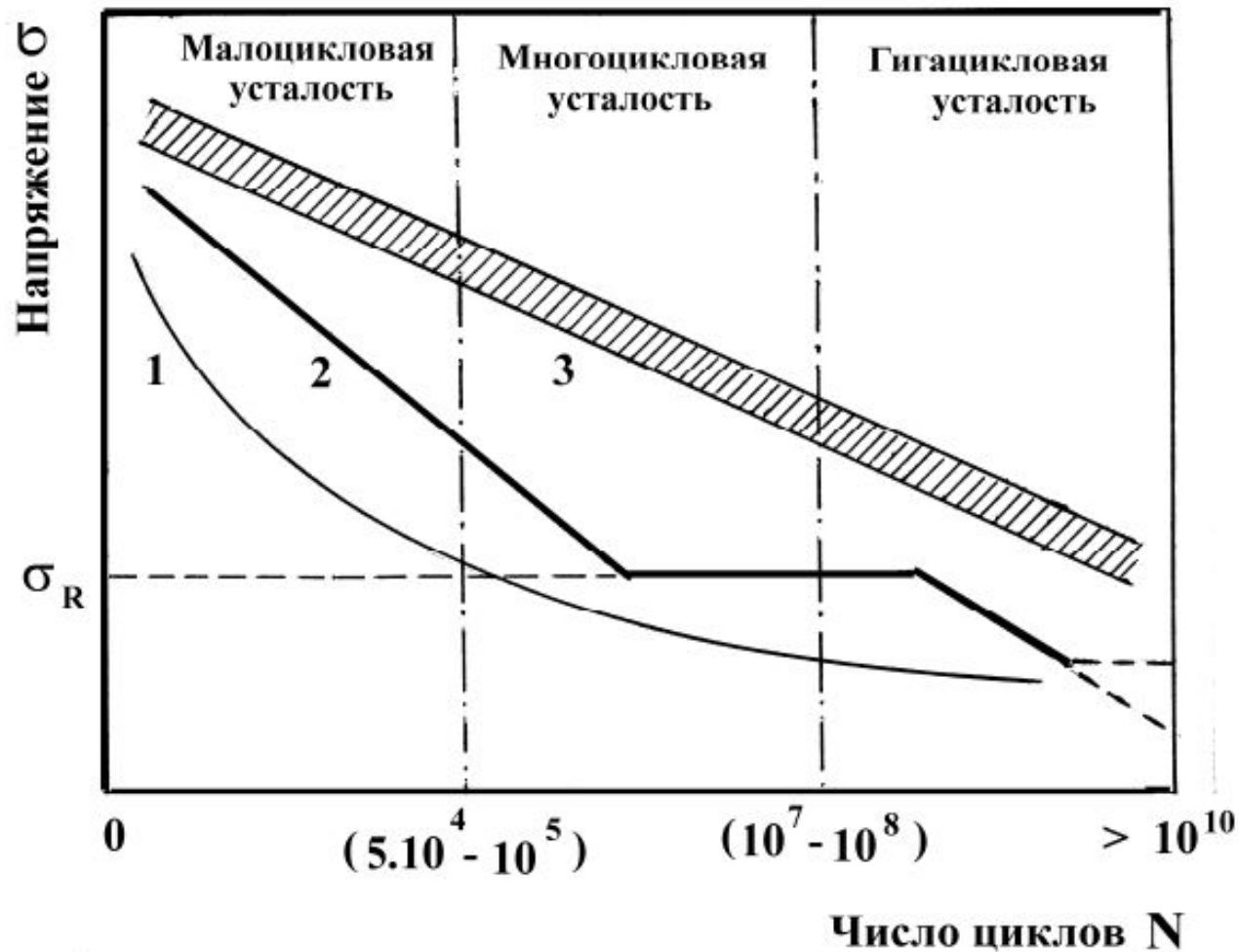
Физический предел выносливости σ_R — максимальное циклическое напряжение, при котором нагрузка может быть приложена неограниченное число раз, не вызывая разрушения.

Предел ограниченной выносливости σ_{RN} — значение максимального по абсолютной величине напряжения цикла, соответствующее задаваемой долговечности.



1 – материал с физическим пределом выносливости,
2 – материал без физического предела выносливости; N_{G1} , N_{G2} — базовые числа циклов нагружения

Виды кривых усталости и основные области усталостного разрушения металлических материалов (схема)



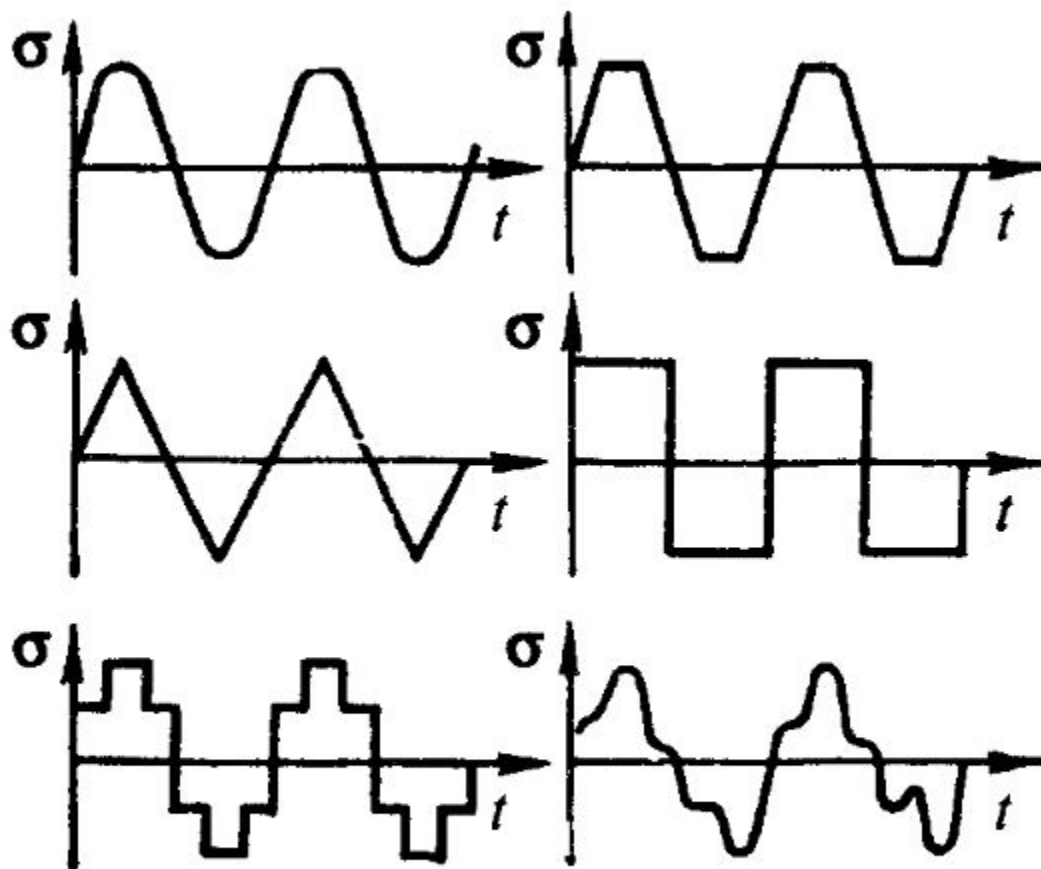
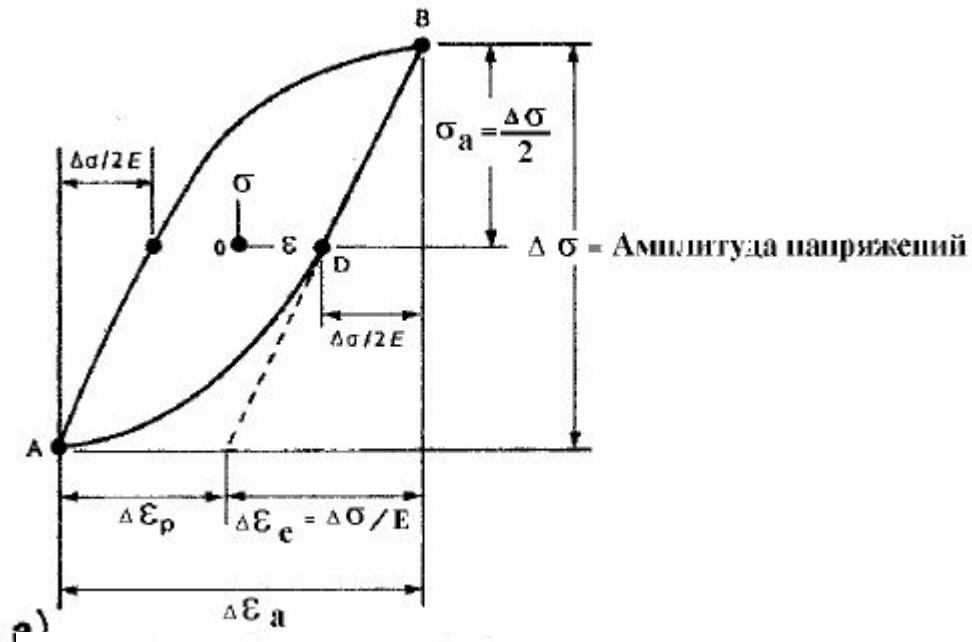


Рис 1.2. Различные формы циклов напряжений

При испытаниях на усталость, а также во время эксплуатации могут применяться два существенно различающихся вида нагружения:
с заданным размахом нагрузки — **мягкое нагружение**,
с заданным размахом деформации — **жесткое нагружение**.

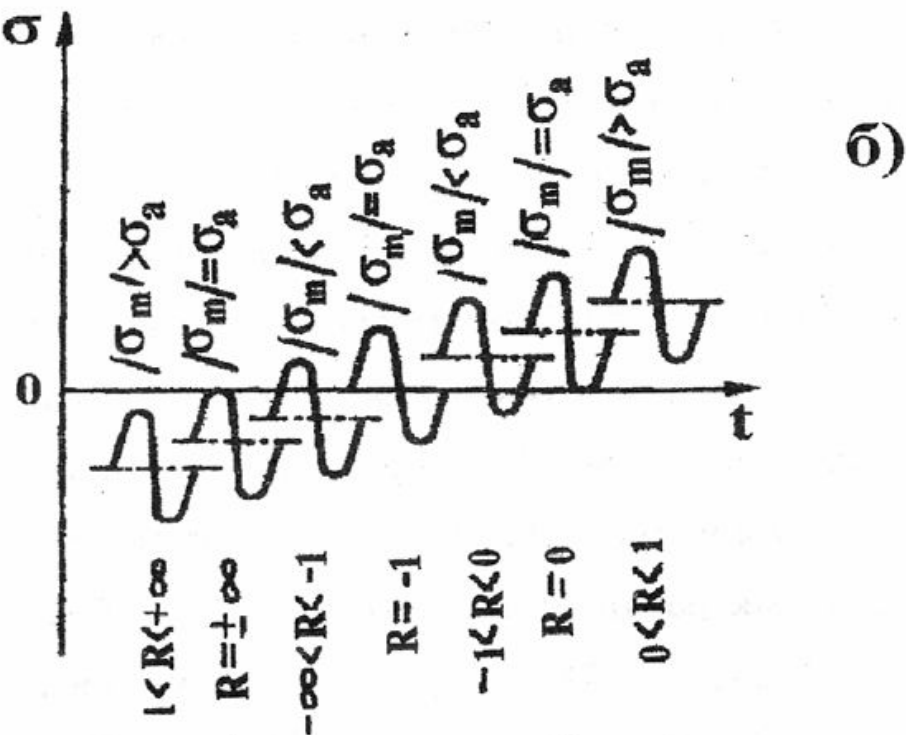
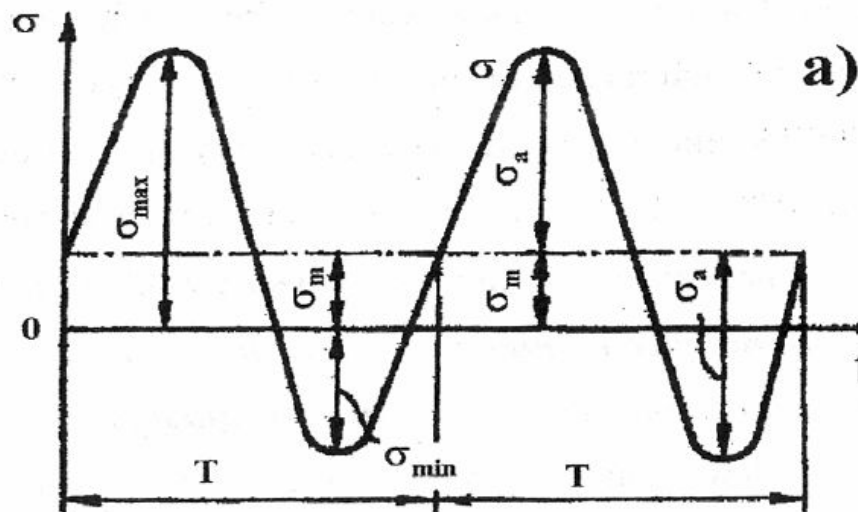
Параметры петли механического гистерезиса



Основные параметры цикла при испытании на усталость:

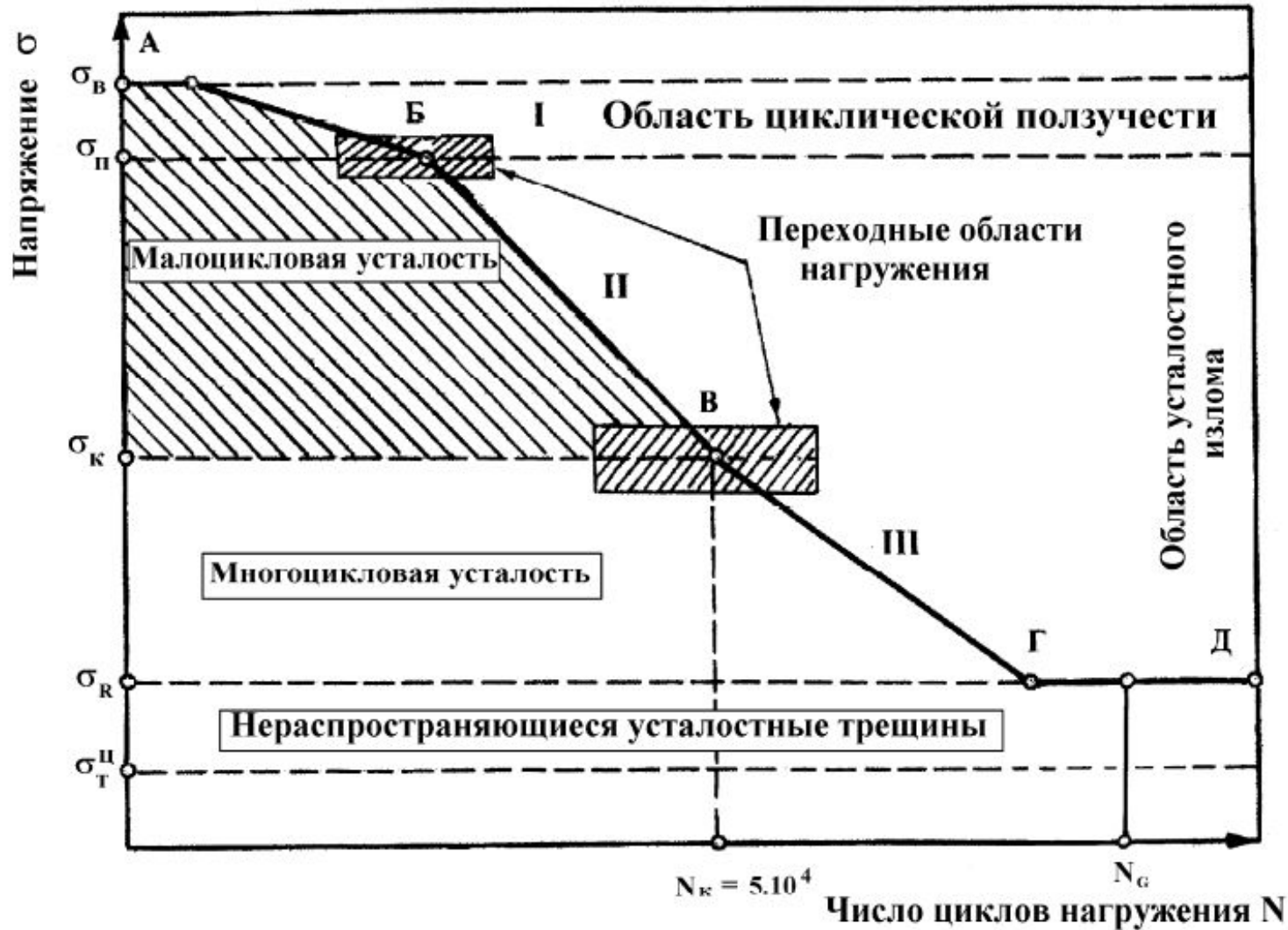
а – схема цикла напряжений;

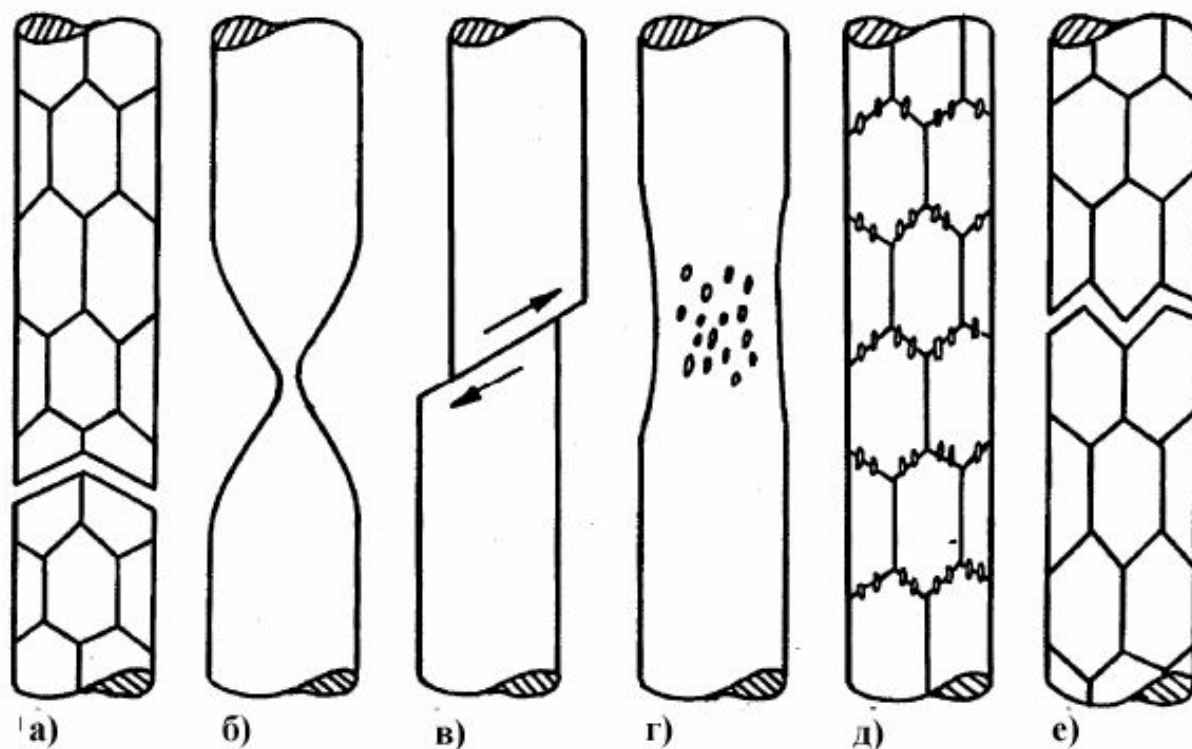
б – циклы напряжений и соответствующие им значения коэффициентов асимметрии цикла



Полная кривая усталости

Цель большинства усталостных испытаний – определение долговечности при напряжениях меньших статического предела текучести.





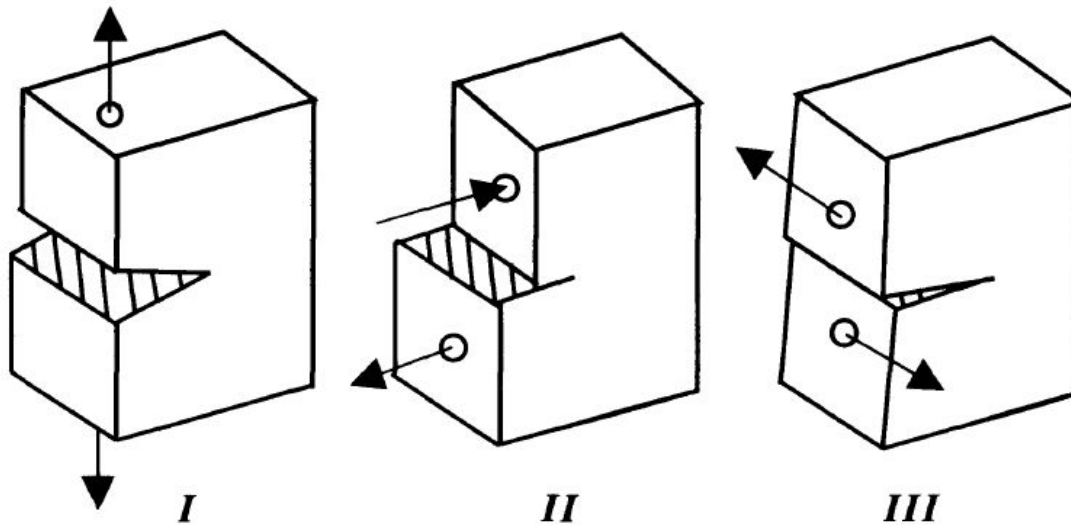
Схемы основных механизмов разрушения (1 – 6) и фрактографическая картина

некоторых видов поверхностей разрушения (а – г):

1 – скол; 2 – отрыв; 3 – сдвиг; 4 – порообразование; 5 – межзеренное порообразование; 6 – межзеренное хрупкое разрушение;

а) скол; б) отрыв; в) скол и межзеренное разрушение; г) межзеренное разрушение пористого материала

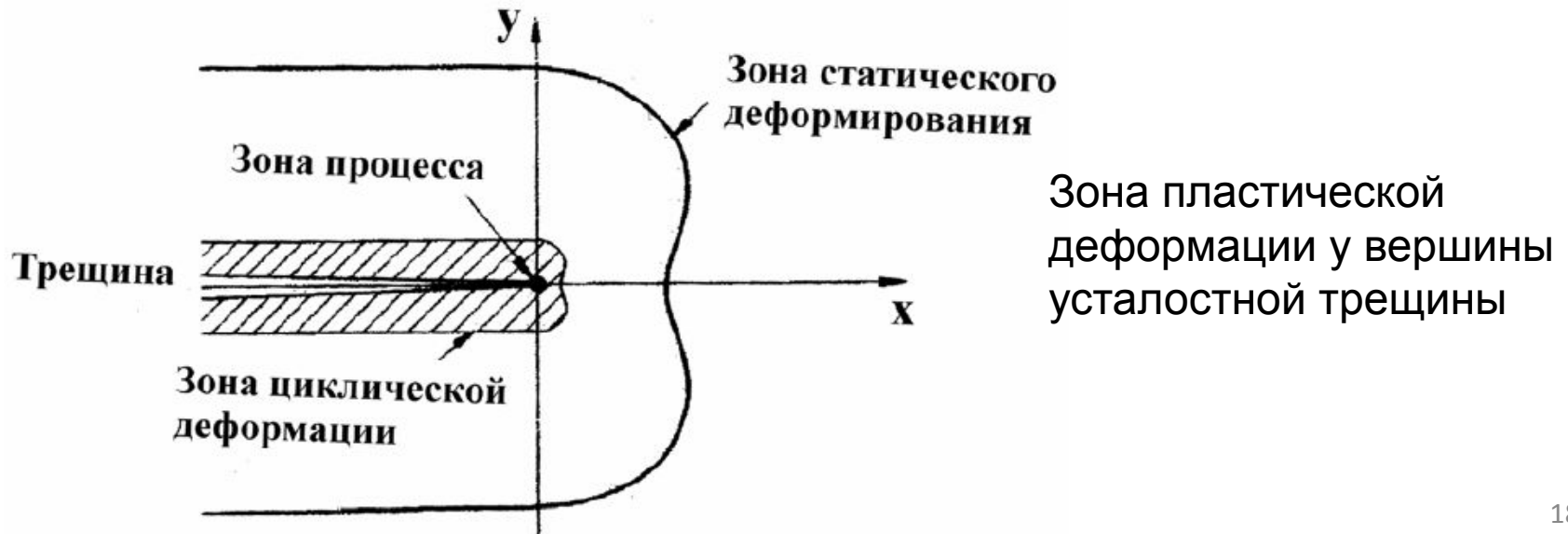
Основные типы (моды) раскрытия трещины



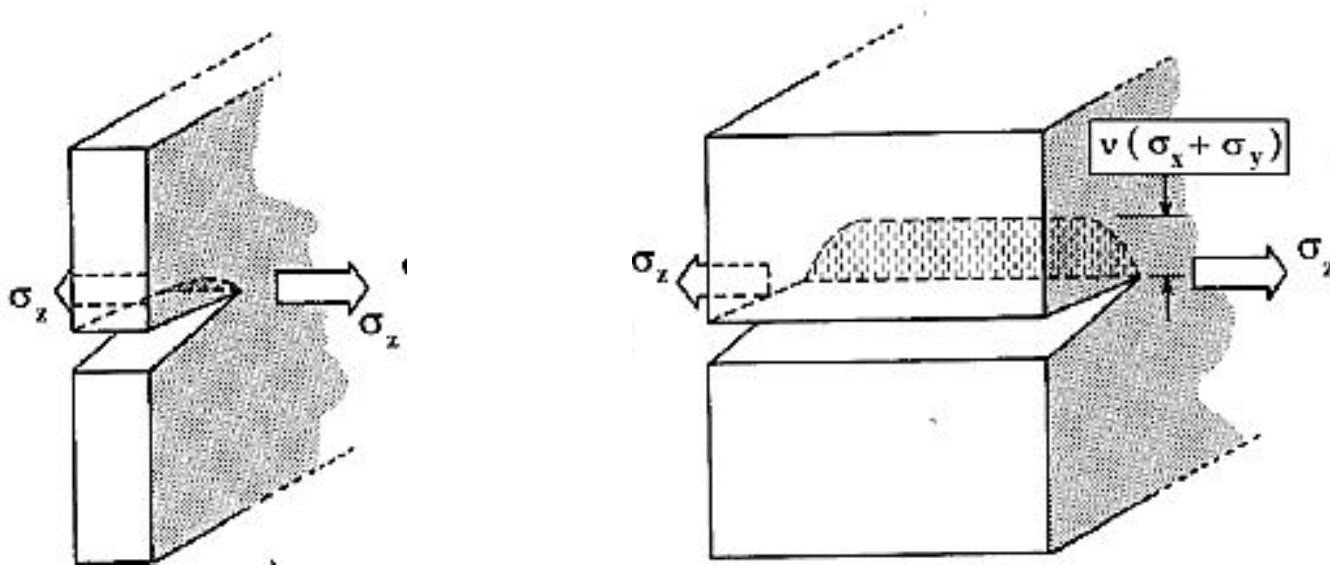
I
Отрыв

II
Сдвиг

III
Антиплоский сдвиг



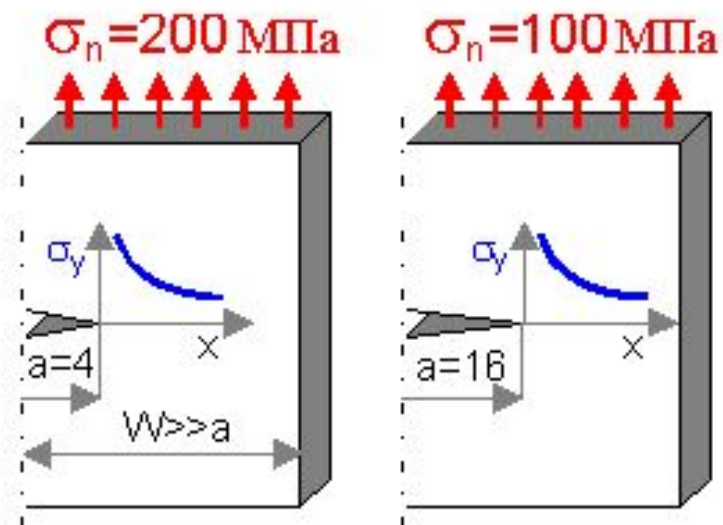
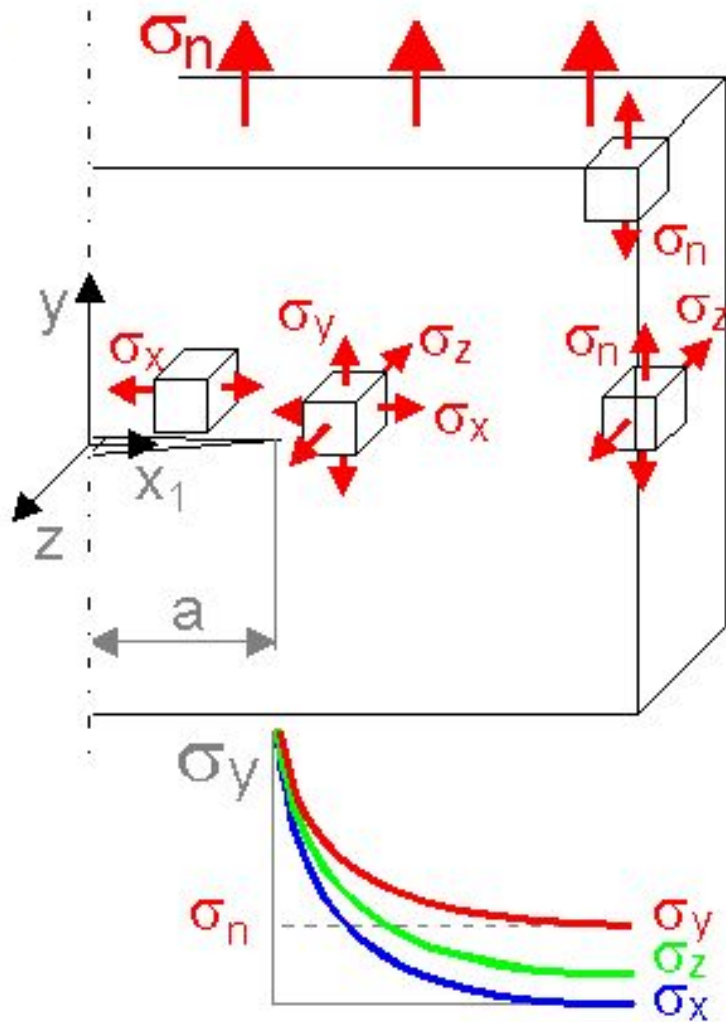
Распределение напряжений у вершины трещины



а - плоское напряженное состояние; б - плоская деформация

В реальных материалах при высоких уровнях напряжений появляются пластические деформации. В вершине трещины формируется зона пластичности. Размеры и форма пластической зоны в вершине трещины зависят от материала, толщины пластины.

Различают **плоское напряженное состояние** при $\sigma_z = 0$ (рис. а) и **плоскую деформацию** (рис. б) при $\sigma_z = v(\sigma_x + \sigma_y)$, где v - коэффициент Пуассона, а σ_z - напряжение в направлении толщины пластины.



Коэффициент интенсивности напряжений (КИН) является показателем интенсивности напряжений в вершине трещины. Наличие более высокого коэффициента интенсивности напряжений говорит о более высоких напряжениях на линии продолжения трещины (ось X).

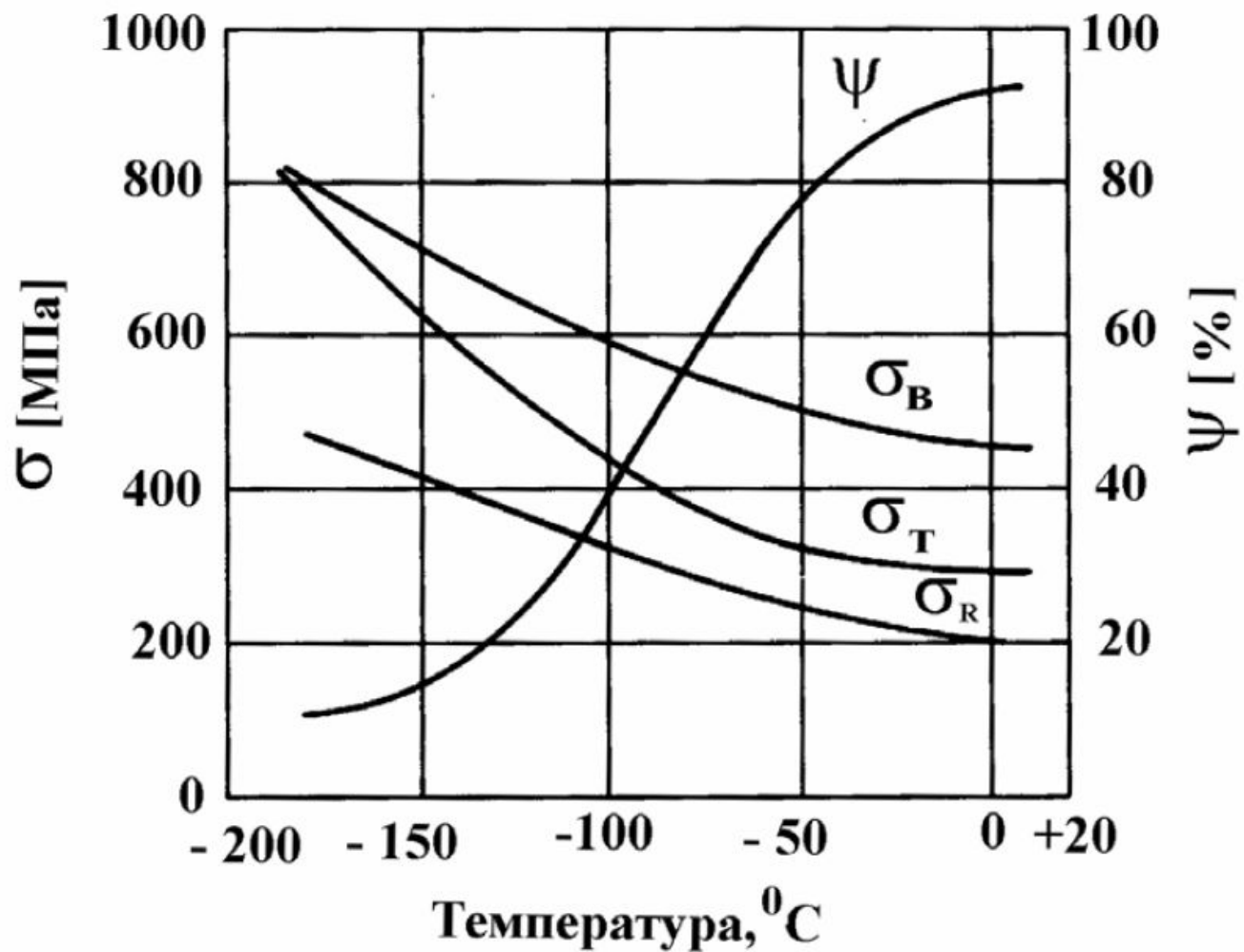


Рис. 5.34. Предел выносливости, предел текучести, предел прочности и относительное сужение в зависимости от температуры испытания для образцов из низкоуглеродистой стали с 0,13%С

Лекция 11

Повреждение материалов в конструкциях

Деградация — явление, наблюдающееся в материалах с течением длительного времени и выражающееся в соответствующем снижении способности конструкции сопротивляться воздействию на нее различных нагрузок и, соответственно, снижающее остаточный ресурс оборудования.

В нефте- и газодобывающей и перерабатывающей промышленности выделяют следующие **деградационные процессы, приводящие к потере работоспособности технологического оборудования:**

- изменение геометрии конструкции или отдельных ее элементов;
- поверхностное изнашивание или коррозионное повреждение;
- образование и развитие макродефектности;
- деградация (старение) механических свойств материалов.

В зависимости от действующего механизма деградационного процесса различают следующие **виды предельных состояний:**

- вязкое, усталостное или кратковременное хрупкое разрушение элемента или всей конструкции;
- предельная пластическая деформация металлоконструкции, обусловленная прогибом или нарушением устойчивости несущих элементов, образованием «пластических шарниров» или явлениями ползучести, определяющая необходимость прекращения ее эксплуатации;
- разгерметизация или течь конструкции.

Определяющими параметрами, приводящими к перечисленным видам предельных состояний, являются напряженно-деформированное состояние элементов конструкции, механические свойства конструкционных материалов, степень поражения коррозией, количество и размеры повреждений и дефектов.

Деградация (старение) материалов, включая и конструкционные стали, с течением времени проявляется в ухудшении механических свойств, определяющихся в первую очередь их химическим составом и микроструктурой, и обусловлена термодинамической неравновесностью исходного состояния материала и постепенным приближением его структуры к равновесному состоянию в условиях диффузной подвижности атомов.

Анализ эксплуатационных факторов, действующих на металл, позволяет выделить следующие процессы, приводящие его к старению:

- **разупрочнение** — проявляется в том, что прочностные характеристики металла (временное сопротивление или условный предел текучести) отличаются от исходных (нормативных) более чем на 5 % в меньшую сторону. Может быть следствием длительного пребывания металла при высокой температуре, например во время пожара;
- **циклическое воздействие нагрузок** — вызывает микропластические деформации в зонах концентрации напряжений в результате накопления дислокаций, ускоряющих развитие повреждаемости металла;
- **охрупчивание** — является наиболее опасным следствием изменения физико-механических свойств материала (применительно к сталям, имеющим объемно-центрированную кубическую решетку: углеродистым и малолегированным).

Колонный аппарат



- **Коррозия.**
- Одним из наиболее опасных видов отказов колонных аппаратов является **хрупкое разрушение**, протекающее без заметных пластических деформаций и при относительно небольших затратах энергии на развитие трещины.
- При превышении температурой порогового значения (первой критической температуры) металл переходит в **вязкое состояние**.
- Для многих колонных аппаратов характерен периодический режим нагружения. В этом случае одной из основных причин неисправностей и отказов колонны является **усталостное разрушение**.
- **Термическое повреждение** на макроскопическом уровне проявляется в изменении механических свойств материала - временного сопротивления, предела текучести, характеристик

Коррозия



Вид поверхности трубы со сплошной коррозией



Точечная коррозия (питтинг)



Язвенная коррозия



Вид излома с трещиной КРН в основном металле трубы

Реакторы



Реакционные аппараты термодеструктивных процессов во время эксплуатации подвергаются значительным тепловым, деформационным и другим нагрузкам.

Типичные дефекты реакторов коксования:

- трещины в сварных швах глубиной до 20 мм и длиной до 1.5 мм;
- сетка мелких трещин в сварных швах;
- трещины в шве приварки опоры к корпусу реактора;
- трещины в оболочке внутренние и наружные;
- трещины в опоре;
- выпучивание обечайки в зоне приварки опоры и на уровне заполнения реактора коксующейся массой - отслоение плакирующего металла ;
- отклонение реактора от вертикального положения в результате пластических деформаций и при оседании в опоре;
- разгерметизация фланцевых соединений из-за вытяжки крепежных деталей или коробления присоединительных поверхностей;
- гофрообразование в опоре;
- скручивание оболочки реактора.

Трещины, особенно сквозные, наиболее катастрофический отказ оболочки реактора. Их появление может привести к трагическим последствиям. Принимая во внимание цикличность нагрузок, можно констатировать усталостную природу трещин.

Печи



Повреждение печных змеевиков

- 1) износ труб на внутренней поверхности;
- 2) хрупкое разрушение труб;
- 3) местная деформация труб с образованием пластически деформированных зон (отдулин) вследствие локальных перегревов;
- 4) наружное обгорание труб, высокотемпературная коррозия;
- 5) образование сквозных свищей и прогаров.

Прогар труб происходит в результате утонения стенки.

Образование сквозных трещин (свищей) и последующих прогаров в печных трубах возможно и под влиянием других факторов:

- 1) из-за дефектов изготовления;
- 2) из-за низкого качества металла труб;
- 3) из-за механических повреждений;
- 4) из-за износа труб выше допустимого;
- 5) из-за неправильной эксплуатации труб, особенно при паровоздушном способе удаления кокса.



а) фрагмент труб в зоне сварного шва с трещиной.



б) необратимая пластическая деформация формы трубы



в) труба с отдулиной



г) пластически деформированная труба
с трещиной в сварном шве



д) пластически деформированная труба с продольной трещиной