

Факторы влияющие на прочность деталей

Основными факторами влияющими на прочность являются:

- Усталостное разрушение.
- Концентрация напряжений.
- Масштабный фактор.
- Качество поверхности.
- Внешняя среда.

Усталостное разрушение.

Многие детали машин и элементы сооружений в процессе эксплуатации подвергаются действию нагрузок, меняющихся во времени. Сопротивление материалов действию таких нагрузок существенно отличается от сопротивления действию статической нагрузки. При этом под действием переменных нагрузок элементы конструкций разрушаются при значительно меньших напряжениях, чем под действием статических нагрузок.

Практикой установлено, что если элемент конструкции многократно подвергать переменному нагружению определенного уровня, то после некоторого числа перемен напряжений в нем появится трещина, которая постепенно будет развиваться. В конце концов, деталь разрушится, не дав при этом заметных остаточных деформаций даже в том случае, когда ее материал высоко пластичен.



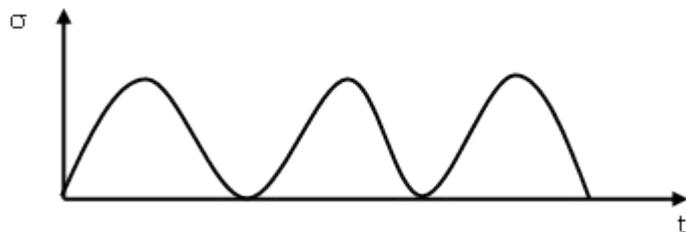
Число циклов до появления первой трещины и до полного разрушения стержня будет тем больше, чем меньше напряжение. Характерно, что разрушение материала под действием повторно-переменных нагрузок может произойти при напряжениях ниже предела текучести. Разрушение материала под действием повторно-переменных напряжений называется разрушением от усталости.

Вообще же **усталостью** материала называют явление разрушения в результате постепенного накопления в них повреждений, приводящих к возникновению усталостной трещины при многократном повторении нагружений.

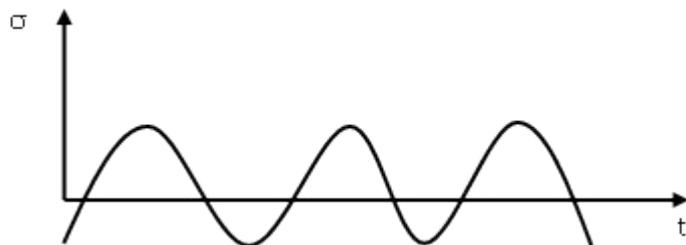
Способность материалов сопротивляться разрушению при действии повторно-переменных напряжений называется **выносливостью** материала.

Усталостное разрушение наблюдается при наличии одной из следующих особенностей приложения нагрузки:

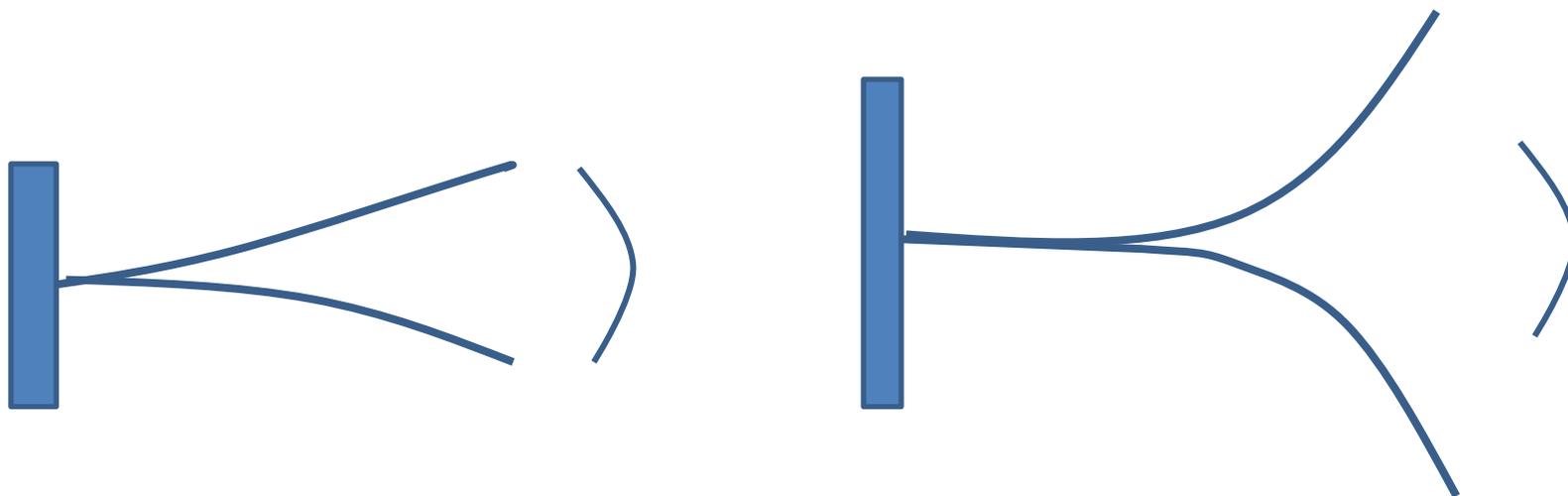
- многократное приложение нагрузки одного знака



- многократного повторения нагрузки, периодически изменяющейся не только по величине, но и по знаку



Для разрушения от усталости недостаточно переменности напряжений. Необходимо также, чтобы напряжения имели определенную величину.



Максимальное напряжение, при котором материал способен сопротивляться, не разрушаясь, при любом произвольно большом числе повторений переменных напряжений, называется **пределом выносливости**.

Излом детали от усталости имеет характерный вид. На нем почти всегда можно наблюдать две зоны. Одна из них гладкая, притертая, образованная вследствие постепенного развития трещины, другая – крупнозернистая, образовавшаяся при окончательном изломе ослабленного, развившейся трещиной, сечения детали.

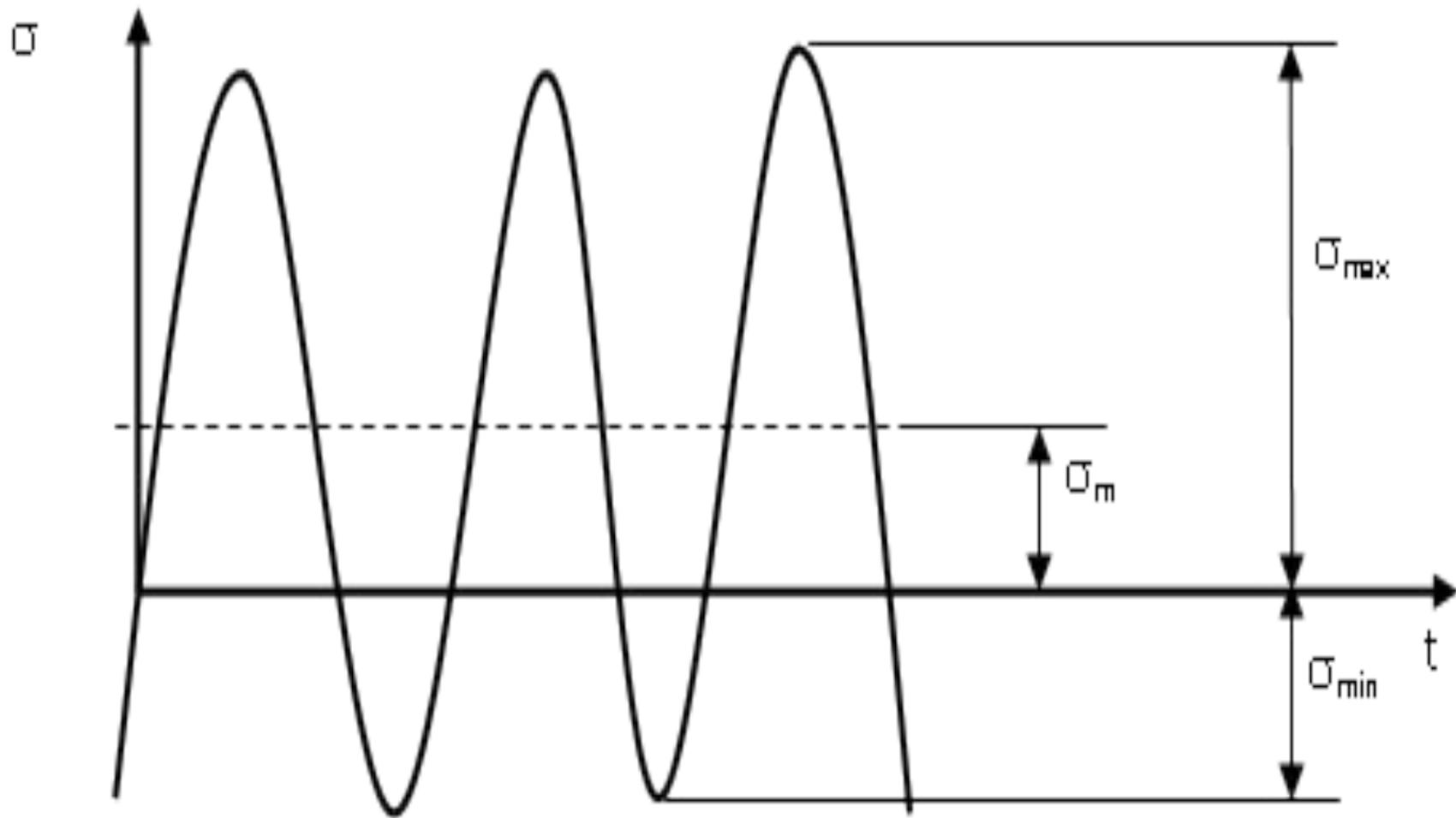


Характеристики циклов

При рассмотрении сопротивления материалов действию переменных напряжений в большинстве случаев инженерной практики предполагается, что эти напряжения представляют собой периодические функции во времени.

Совокупность всех значений напряжений за время одного периода называется **ЦИКЛОМ** напряжений.

На усталостную прочность в основном влияют максимальные σ_{\max} и минимальные σ_{\min} напряжения цикла. Кроме них существует понятие среднего напряжения цикла σ_m и амплитуды σ_a .



Среднее напряжение:

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$$

Амплитуда:

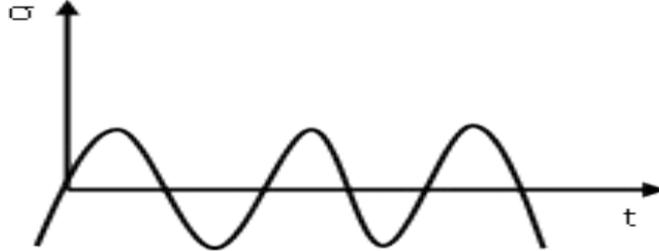
$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$$

Коэффициент асимметрии:

$$r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

Различным законам изменения напряжений соответствуют различные виды циклов:

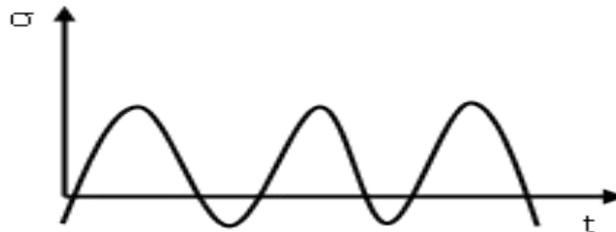
- симметричный ($\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$, $\sigma_m = 0$, $r = -1$);



- пульсационный или отнулевой ($\sigma_{\max} = 0$ или $\sigma_{\min} = 0$, $r = 0$);



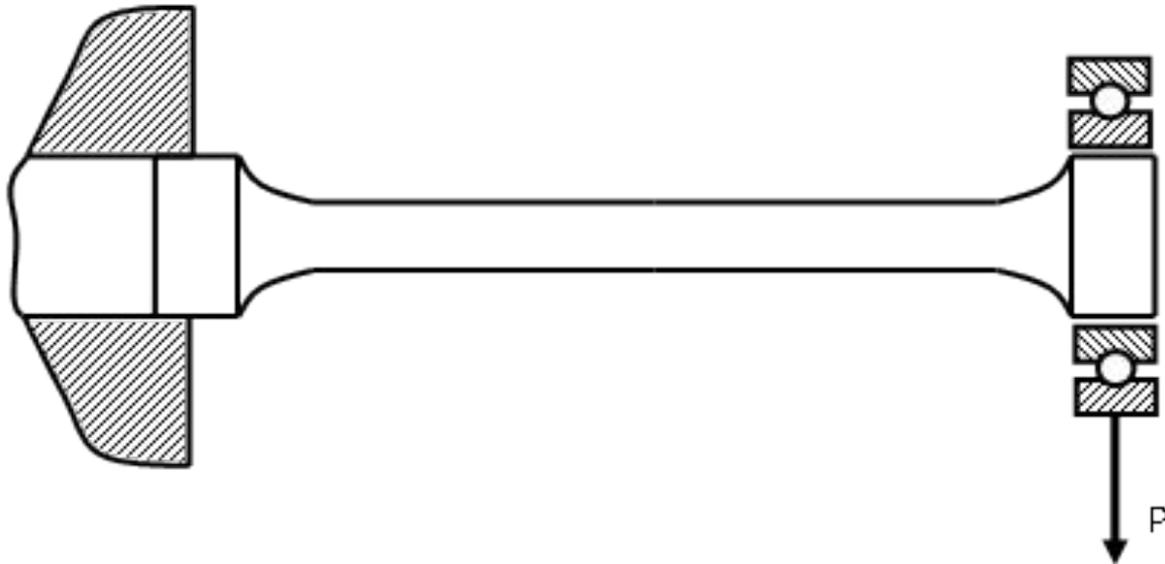
- асимметричный ($\sigma_{\max} \neq -\sigma_{\min}$, $\sigma_m \neq 0$).



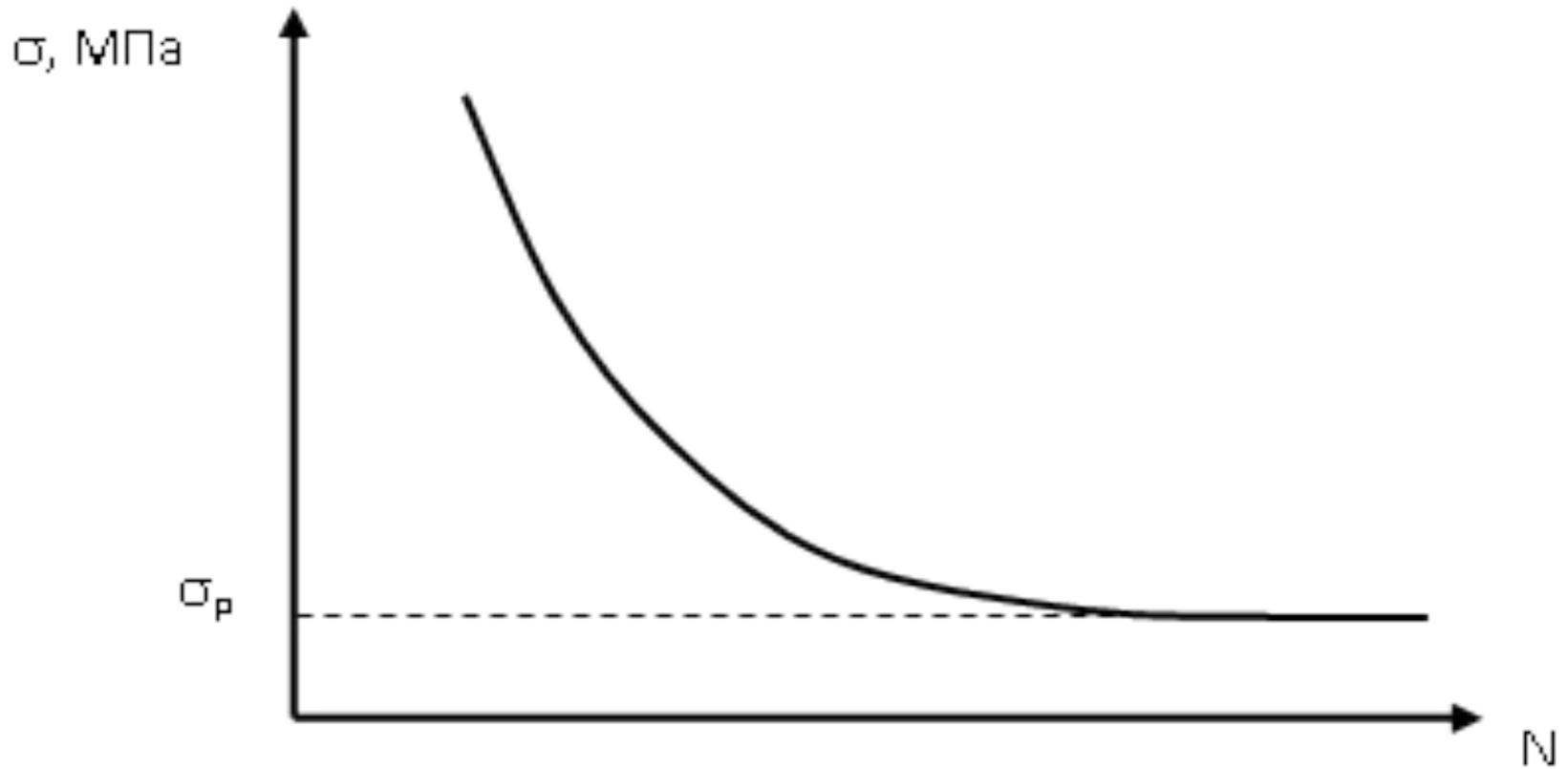
Кривые усталости.

Предел выносливости.

Принципиальная схема простейшей машины, предназначенной для проведения испытаний на усталость при изгибе с вращением.



Обработка полученных экспериментальных данных сопровождается построением кривой усталости (кривой Веллера).

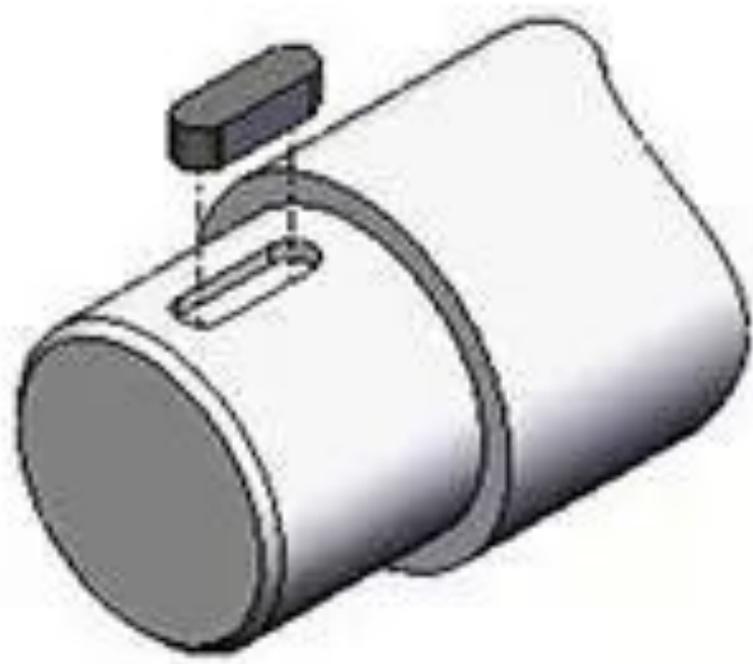
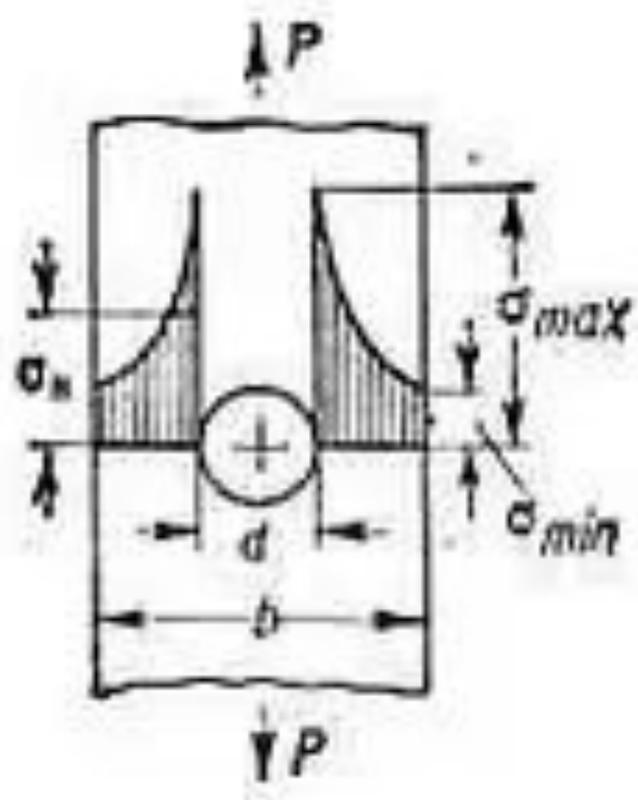


В процессе длительных испытаний было установлено, что образцы материалов, кривая усталости которых имеет горизонтальный участок, не разрушившиеся при $N=10^7$ циклах, не разрушаются и при большем числе циклов. Поэтому испытания таких образцов прекращают при $N=10^7$ циклах и в том случае, если они не разрушились.

Для цветных материалов и легированных сталей кривая усталости не имеет горизонтального участка, т.е. для них не удастся установить такое число циклов, после которого образец не разрушился бы в дальнейшем. В подобных случаях база испытаний принимается $N=10^8$ циклов. В этом случае под пределом выносливости понимается то наименьшее значение максимального напряжения цикла, при котором происходит разрушение образца при базовом числе циклов, и обозначается этот предел σ_{-1N} .

Концентрация напряжений.

Наиболее важным фактором, снижающим предел выносливости, является концентрация напряжений, вызванная резким изменением сечения детали. Концентраторами напряжений на практике являются шпоночные канавки, отверстия в детали, малые радиусы закруглений в местах резкого изменения размеров сечений и т.п. Концентрация напряжений, как правило, содействует зарождению усталостной трещины, которая, развиваясь, приводит, в конце концов, к разрушению детали.



Для учета влияния концентрации напряжений на предел выносливости вводится эффективный коэффициент концентрации напряжений, равный отношению предела выносливости «гладкого» образца $\sigma_{\text{р}}$ и образца с концентратором напряжений $\sigma_{\text{рк}}$, т.е.

$$\beta = \sigma_{\text{р}} / \sigma_{\text{рк}}$$

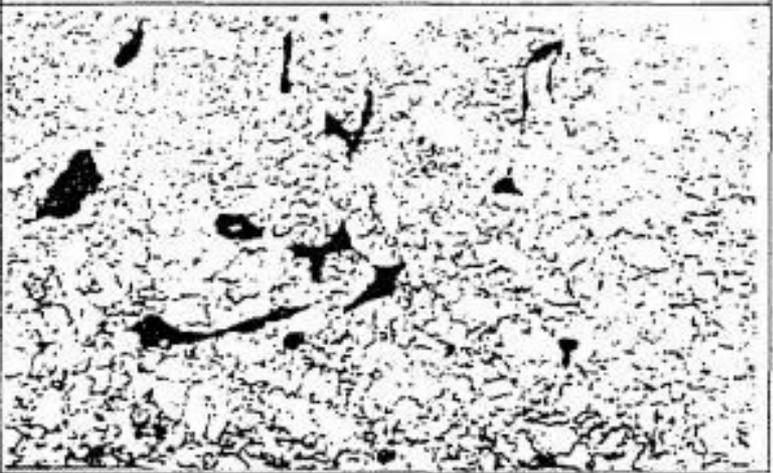
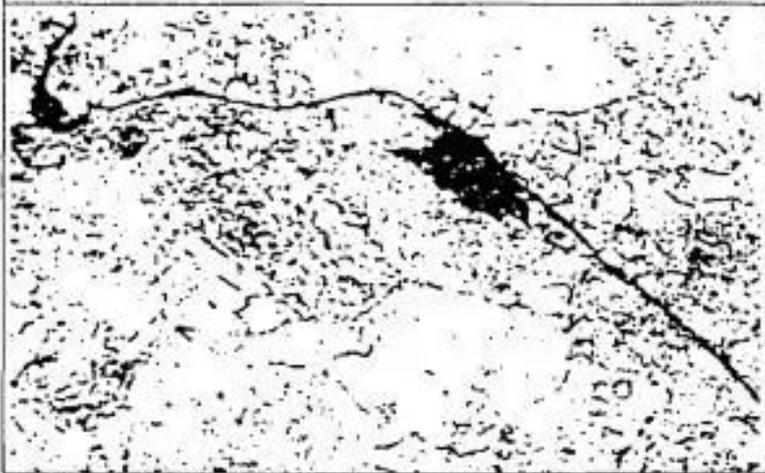
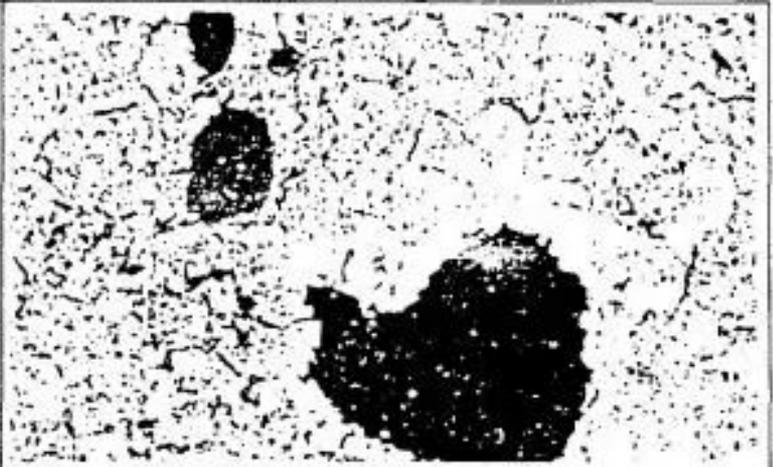
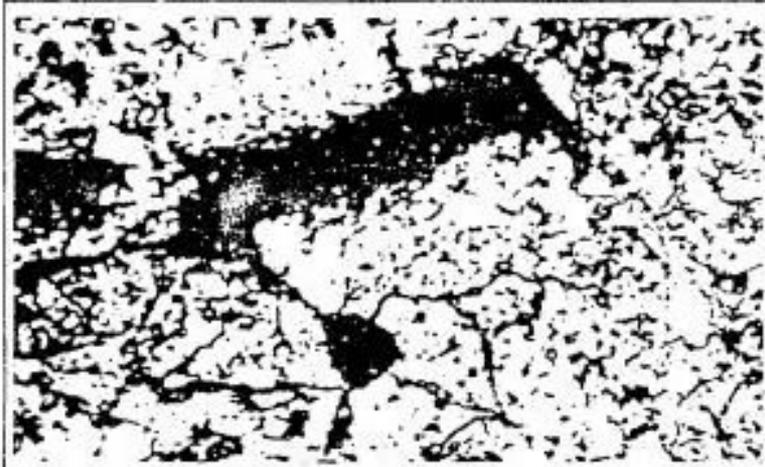
Экспериментально установлено, что коэффициент β уменьшается с увеличением коэффициента асимметрии цикла, т.е. по мере приближения нагружения к статическому, поскольку местные напряжения оказывают малое влияние на статическую прочность материала.

Хотя коэффициент должен определяться для каждого значения коэффициента асимметрии цикла, вследствие недостаточности экспериментальных данных в расчетах обычно используются числовые значения эффективного коэффициента концентрации напряжений для симметричного цикла.

Замечено, что усталостное разрушение в значительной степени зависит от интенсивности уменьшения напряжений в области очага концентрации напряжений. Если местные напряжения убывают достаточно резко, то число зерен материала в зоне высоких напряжений относительно невелико и вероятность зарождения усталостной трещины также относительно невелика.

Масштабный фактор.

Многочисленными испытаниями установлено, что усталостная прочность образцов при всех прочих равных условиях снижается с увеличением их площади поперечного сечения. Как правило, зависимость между пределом выносливости материала и размерами поперечного сечения имеет асимптотический характер, из чего следует, что для очень больших образцов предел выносливости оказывается неизменным. На сопротивление усталости оказывает влияние также длина образцов, хотя оно менее ярко проявляется по сравнению с влиянием размеров поперечного сечения.



В качестве причин появления масштабного фактора можно указать следующие:

- статистический фактор – большая вероятность появления дефектов и перенапряженных зерен материала, что приводит к увеличению вероятности разрушения;
- технологический фактор – влияние способа обработки детали в процессе ее изготовления;
- производственный фактор – ухудшение качества материала с увеличением объема детали, поковки и т.п.

Для неоднородных материалов, имеющих большое число дефектов, влияние масштабного фактора на предел выносливости выражено сильнее, чем для однородных материалов с существенно меньшим числом дефектов.

Влияние абсолютных размеров детали на предел выносливости учитывается с помощью коэффициента масштабного фактора.

Качество поверхности.

Результаты испытаний образцов, поверхность которых имеет разную степень чистоты обработки, свидетельствуют о том, что предел выносливости, полученный для образцов с полированной поверхностью, выше, чем для образцов со шлифованной поверхностью, а последних выше, чем образцов с поверхностью, обработанной резцом, и т.п.

Это объясняется тем, что после обработки резцом на поверхности образца остаются надрезы, царапины и т.п., которые при действии переменных во времени нагрузок провоцируют зарождение и последующее развитие трещин.

- Литая деталь



- Деталь, полученная при помощи резца



- Полированная деталь



Для повышения усталостной прочности деталей используются технологические методы упрочнения их поверхности, такие, как наклеп поверхностного слоя путем обдувки дробью или ультразвуком, закалка токами высокой частоты и др.

Положительное влияние указанных способов на усталостную прочность детали объясняется тем, что в поверхностном слое материала создаются сжимающие напряжения, которые затрудняют развитие усталостных трещин. Кроме того, вследствие наклепа повышается прочность материала в поверхностном слое.

Влияние технологических факторов на усталостную прочность оценивается коэффициентом поверхностного упрочнения.

Внешняя среда.

Резкое снижение предела выносливости вызывает коррозия металлов. При этом в поверхностных слоях возникают трещины коррозионной усталости, в основном внутрикристаллические. Около небольших местных коррозионных повреждений возникает концентрация напряжений, причем на дне коррозионной полости появляются максимальные напряжения. Это приводит к более интенсивному развитию коррозии и к постепенному углублению трещин усталости. Снижение предела выносливости вследствие коррозии более существенно для высокопрочных сталей. В целях защиты конструкций от коррозии применяют различные (антикоррозионные) покрытия поверхностей, например их окраску.

