

**Лекция №3. Расчет сварных конструкций
на усталостную прочность**

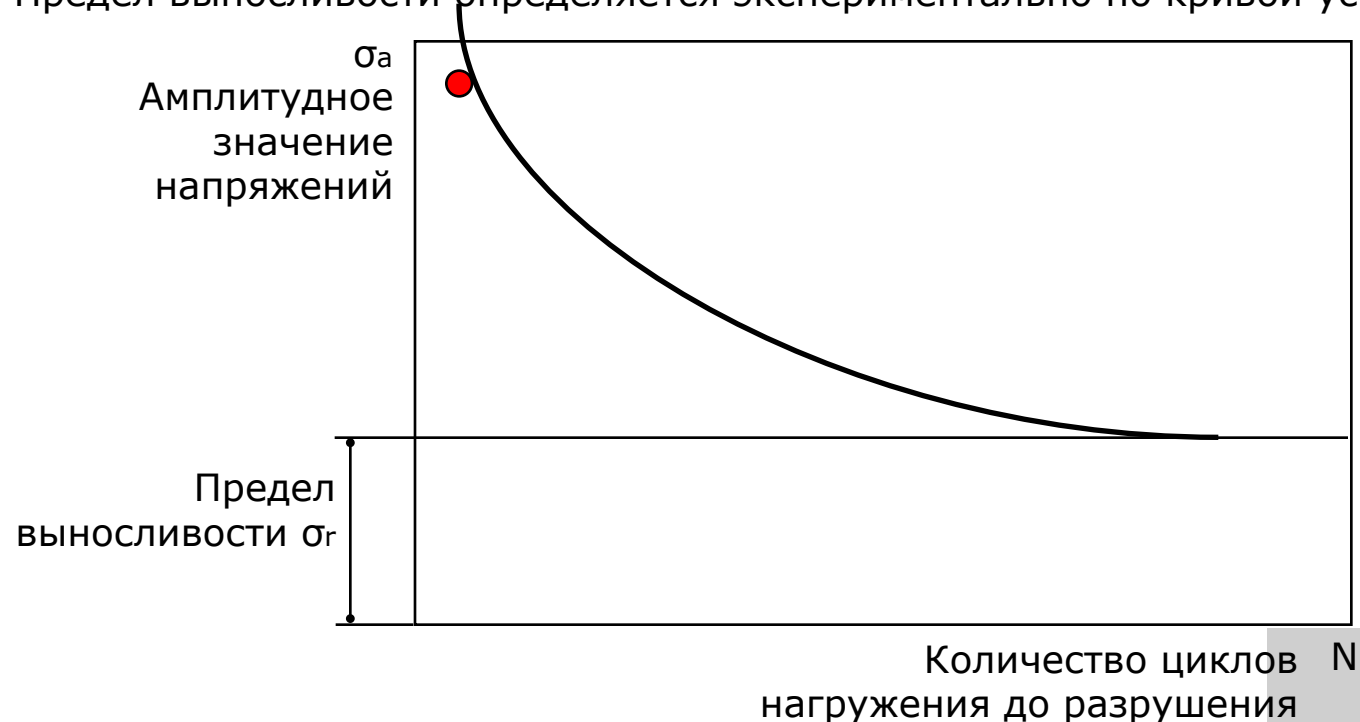
Усталостное разрушение

При переменных нагрузках в конструкциях возникают микропластические деформации, накопление которых приводит к разрушению. При этом величина напряжений, которые приводят в конечном итоге к разрушению, может быть ниже пределов прочности и текучести.

Усталостным разрушением называется разрушение металлов под действием повторных или знакопеременных нагрузок.

Характеристикой сопротивления усталостному разрушению является **предел выносливости** – наибольшее напряжение в цикле нагружения, которое выдерживает конструкция без разрушения при заданном количестве циклов нагружения.

Предел выносливости определяется экспериментально по кривой усталости



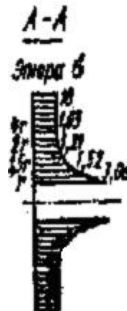
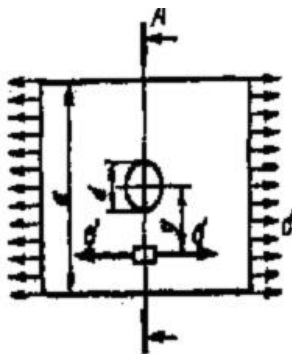
Факторы, влияющие на предел выносливости

Предел выносливости материала зависит от:

- формы и размеров испытываемых образцов;
- структурного состояния материала;
- состояния поверхности образцов;
- вида нагружения (изгиб, кручение);
- свойств среды, в которой производится испытание (воздух, вода и т. п.).

Предел выносливости сварных конструкций зависит от предела выносливости материала, из которого сделана конструкция, а также **от формы и размеров самого соединения**. Это связано с тем, что любое сварное соединение является **концентратором напряжений**.

Концентрация напряжений – это образование значительных напряжений на участках малой протяженности, вызванное изменением формы образца.



Эпюра напряжений – около отверстия напряжения более чем в 3 раза больше, чем у края полосы.

Полоса с отверстием
(отверстие – концентратор напряжений)

Концентрация напряжений

Концентрация напряжений оценивается коэффициентом концентрации напряжений, который показывает, насколько увеличиваются напряжения.

$$K_T = \frac{\sigma_0}{\sigma_k}$$

где σ_0 – напряжение в конструкции без концентрации напряжений, σ_k – напряжение в конструкции с концентрацией напряжений.

Причины возникновения концентрации напряжений в сварных соединениях.

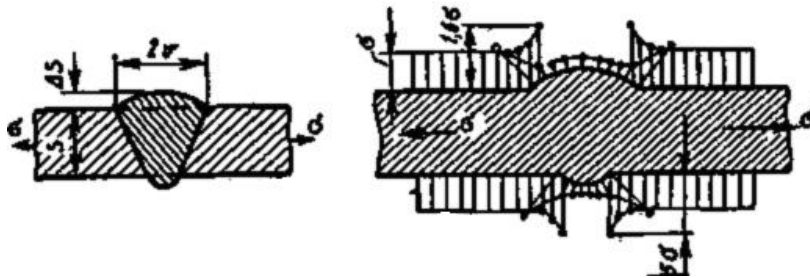
Технологические дефекты шва — газовые пузыри, шлаковые включения и особенно трещины и непровары. Возле этих дефектов при нагружении силовые линии искривляются, в результате чего образуется концентрация напряжений. Коэффициенты концентрации напряжений около указанных дефектов значительны, но при их небольшом числе и размерах прочность сварных соединений остается удовлетворительной.

Нерациональные очертания швов. На основании данных теории упругости установлено, что очертание швов оказывает большое влияние на распределение в них внутренних сил.

Нерациональные конструкции соединений.

Концентрация напряжений в стыковых соединениях

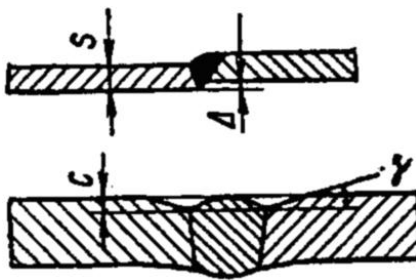
В случае наличия усиления шва распределение напряжений по сечению становится неравномерным.



Концентрация напряжений возникает в зоне шва, сопрягаемой с основным металлом. Средние напряжения на оси шва несколько меньше напряжения в основном металле вне соединения.

Концентрация напряжений образуется также в корне шва при его непроваре.

Еще одним источником концентрации может служить смещение одного элемента относительно другого в результате возникновения сварочных деформаций.

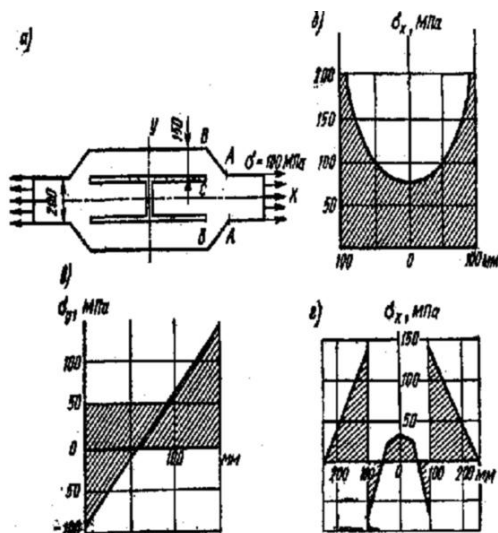


Концентрация напряжений, вызванная очертанием шва, имеет место в зоне сопряжения шва с основным металлом, зависит от степени утолщения шва и радиуса перехода и резко возрастает при уменьшении радиуса до долей миллиметра.

Для стыковых соединений коэффициент концентрации напряжений может быть сведен до значений, близких к единице. В других типах соединений такой результат получить практически невозможно.

Концентрация напряжений в лобовых соединениях

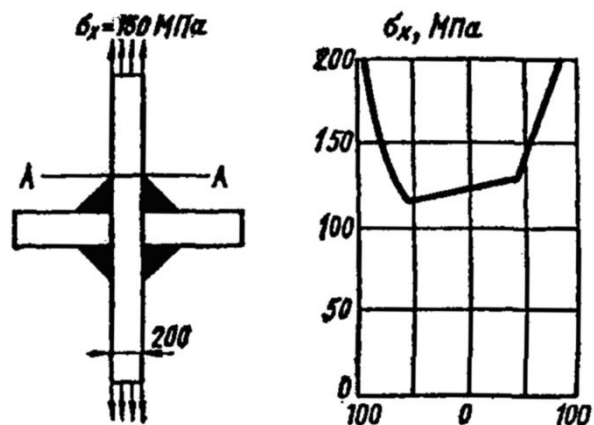
Лобовые соединения вызывают значительную концентрацию напряжений.



Концентрация напряжений в лобовых соединениях заметно снижается при увеличении глубины проплавления и введении плавных переходов от шва к поверхности соединяемых деталей.

Коэффициент концентрации достигает 2.

Концентрация напряжений имеет место также в лобовых швах тавровых соединений.

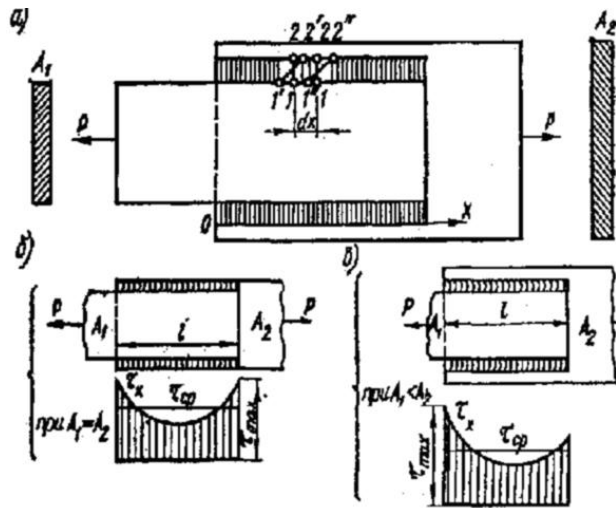


Возле ребер жесткости, приваренных к растягиваемому элементу, образуется концентрация напряжений по сечению А-А.

Коэффициент концентрации напряжений в шве таврового соединения зависит от его очертания и от формы сопряжения с основным металлом.

Концентрация напряжений во фланговых соединениях

В соединениях с фланговыми швами имеет место концентрация напряжений в швах и в основном металле полос между швами.



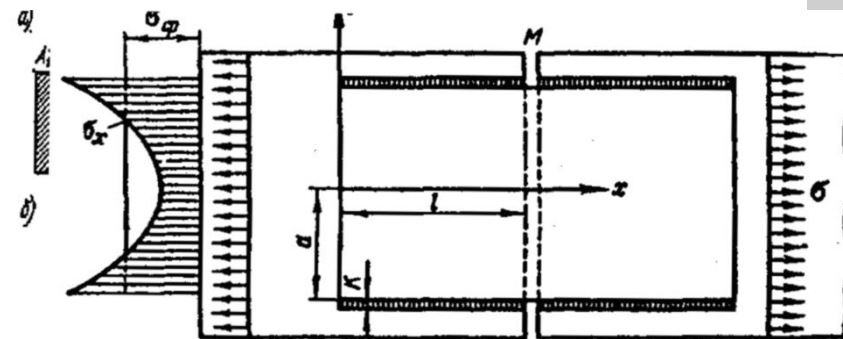
Основные элементы под действием растягивающих усилий удлиняются и перемещаются, во фланговых швах образуются сдвиговые деформации.

Точки 1 и 2 перемещаются неравномерно.

В случае, если площади поперечного сечения элементов различны, концентрация напряжений выше (в), чем для одинаковых площадей поперечного сечения (б).

В соединениях с длинными фланговыми швами при небольшом расстоянии между ними концентрация образуется главным образом в концах фланговых швов (концентрация касательных напряжений).

В соединениях с короткими фланговыми швами при относительно большом расстоянии между ними концентрация возникает преимущественно в основном металле на участке между швами (концентрация нормальных напряжений).

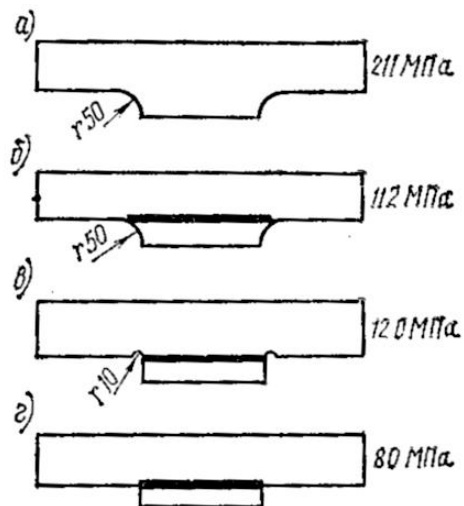


Коэффициент концентрации может достигать 6 и более.

Принципы проектирования сварных конструкций

Принципы проектирования сварных конструкций, работающих при знакопеременных нагрузках.

1. Сварные соединения должны вызывать минимальную концентрацию напряжений. Для этого предусматривают оптимальную форму очертания шва, введением механической обработки швов для обеспечения плавного перехода от шва к основному металлу.
2. Необходимо учитывать термические превращения в стали при сварке, в результате которых основной металл при переменных нагрузках приобретает пониженную прочность в зоне отпуска. Аналогичное понижение предела выносливости в зоне отпуска наблюдается в сварных соединениях цветных сплавов. Разрушение происходит на небольшом расстоянии от границы шва.



Влияние конструкции на усталостную прочность:

- а — выкружка в целом элементе полосы;
б — выкружка в приваренном элементе;
в — деконцентратор; г — швы без обработки

3. В процессе сварки в металле возникают остаточные напряжения, которые могут влиять на усталостную прочность конструкций. Остаточные напряжения растяжения понижают предел выносливости, а остаточные напряжения сжатия — повышают его.

Расчет сварных конструкций на усталостную прочность

Расчет на усталостную прочность строительных конструкций

Основное внимание уделяется расчету предела прочности основного металла в зоне сварных швов.

Расчет предельно допустимого напряжения проводят по расчетным сопротивлениям, которые определяют в зависимости от типа сварного соединения и концентрации напряжений.

Максимальное расчетное сопротивление по усталости имеет стыковое соединение (минимальная концентрация напряжений), минимальное расчетное сопротивление – для нахлесточного соединения только с фланговыми швами (максимальная концентрация напряжений).

$$\sigma_{\max} = \alpha R_T \gamma$$

где α – коэффициент, учитывающий ожидаемое количество циклов нагружения;
 γ – коэффициент асимметрии цикла.

Расчет на усталостную прочность деталей машин

Для деталей машин допускаемое напряжение определяется по формуле

$$[\sigma] = \frac{\sigma_r}{n K_\sigma}$$

где n – коэффициент запаса, принимаемый в пределах 1,4...1,6;
 K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений для рассматриваемого типа соединений.