

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ
по дисциплине
**«Проектирование
сварных конструкций»**

лекция №5

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., ст. преп. кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

Тема 4. Распределение напряжений в швах и сопротивление усталости сварных соединений.

- Классификация собственных напряжений.
- Механизм образования временных и остаточных сварочных напряжений.
- Общие сведения о концентрации напряжений. Примеры распределения напряжений в различных сварных соединениях. Влияние концентрации напряжений на статическую и усталостную прочность сварных соединений.
- Эффективный коэффициент концентрации напряжений. Влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на сопротивление сварных соединений усталости.
- Несущая способность сварных соединений при переменных нагрузках.

Сварка, как и другие процессы тепловой обработки металла (прокатка, литье, нормализация, резка и другие), вызывает в соединениях **собственные напряжения, которые существуют в изделии без приложения внешних сил.**

В зависимости от направления действующих усилий могут возникать напряжения растяжения, сжатия, изгиба среза и кручения.

В зависимости от характера и объемов распределения напряжения различают **одноосные** (линейные), **двуосные** (плоскостные) и **трехосные** (объемные), а также напряжения **I рода** (в макрообъемах тела), **II рода** (в пределах кристаллических зерен металла) и **III рода** (в пределах кристаллической решетки).

В зависимости от продолжительности существования их разделяют на **временные**, существующие в период выполнения сварки, и **на остаточные**, устойчиво сохраняющиеся в течение длительного времени после сварки.

Деформацией называют изменение размеров или формы тела под действием приложенных к нему сил. Деформации могут быть упругими и пластическими. Если размеры и форма тела восстанавливаются после прекращения силового воздействия, то такая деформация является упругой. Деформацию, остающуюся после снятия нагрузки, называют пластической или остаточной. Сварочные деформации обычно характеризуют прогибами элементов, углами поворота, укорочениями, величинами выхода точек тела из плоскости равновесия. Деформации, приводящие к изменению размеров всего изделия, искривлению его геометрических осей, называют **общими**. А деформации, относящиеся к отдельным участкам его, называют **местными**.

Основными причинами возникновения собственных напряжений и деформаций в сварных соединениях и конструкциях являются:

Неравномерное нагревание металла при сварке . Все металлы при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Процессы сварки плавлением характеризуются местным нагревом металла с образованием неравномерного температурного поля в сварном соединении. При наличии непрерывной связи между нагретыми и холодными участками металла свариваемой детали в нем возникают сжимающие и растягивающие внутренние напряжения.

Литейная усадка наплавленного металла . При охлаждении и затвердевании жидкого металла сварочной ванны происходит его усадка. Явление усадки объясняется тем, что при затвердевании увеличивается плотность металла, в результате чего объем его уменьшается. Поскольку металл шва неразрывно связан с основным металлом, остающимся в неизменном объеме и противодействующим этой усадке, в сварном соединении возникают внутренние напряжения. При сварке происходит продольная и поперечная усадка расплавленного металла, в результате чего в шве образуются продольные и поперечные внутренние напряжения, вызывающие деформации сварных соединений. Металлы имеют разную усадку, измеряемую в процентах от первоначального размера: у стали низкоуглеродистой литой она 2,0 %; у чугуна серого литейного 0,7-0,8 %; у латуни 2,06 %; у меди 2,1 %; у бронзы 1,45-1,6 %; у алюминиевых сплавов 1,7-1,8 %.

Структурные и фазовые превращения в затвердевающем металле при охлаждении

Нагрев металла при сварке вызывает не только температурные объемные изменения, но и структурные превращения, приводящие к объемным изменениям и возникновению остаточных напряжений. При охлаждении распад аустенита может сопровождаться образованием мартенситной фазы, связанной с увеличением удельного объема. Расширению объемов с образовавшейся структурой мартенсита препятствуют другие участки; поэтому возникают остаточные напряжения в объемах со структурой мартенсита.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ ШВАХ ПРИ ПРИЛОЖЕНИИ РАБОЧИХ НАГРУЗОК

Распределение напряжений в сварных швах в большинстве случаев может быть неравномерным по сечению, т.е. иметь концентрацию.

К причинам возникновения концентрации напряжений в сварных швах можно отнести: технологические дефекты, нерациональные очертания швов, нерациональное конструктивное оформление сварных соединений.

Концентрация напряжений в зоне стыкового шва может быть связана с рядом причин:

- при наличии искривлений поверхности шва появляется неравномерность распределения (концентрация) напряжений, что связано с искривлением силовых линий. Зоны шва, граничащие с основным металлом, испытывают концентрацию напряжений;

- источником концентрации напряжений в стыковом шве может быть смещение кромок (депланация) стыкуемых элементов ;

- концентрация напряжений может быть вызвана местным изгибом стыкового соединения от неравномерной кристаллизации шва.

При качественном технологическом процессе и рациональном очертании стыкового шва концентрация напряжений является минимальной. В других типах сварных соединений этого достичь не удастся.

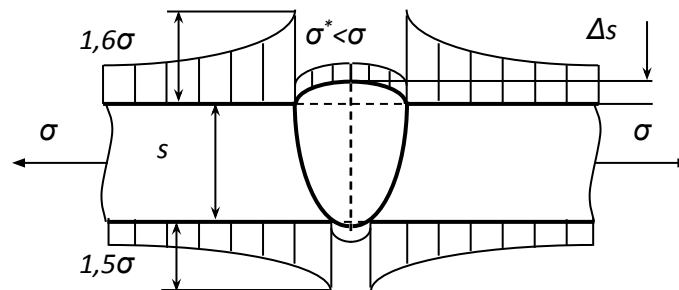


Рис. 3.1. Распределение напряжений в стыковом шве

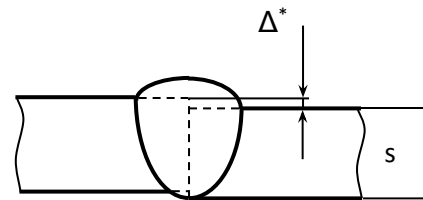


Рис. 3.2. Смещение кромок в стыковом соединении

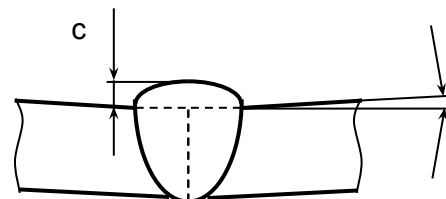


Рис. 3.3. Изгиб стыкового соединения

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛОБОВЫХ ШВАХ

В лобовых швах тавровых соединений (рис. 4) наблюдается значительная концентрация напряжений; большое влияние на распределение напряжений оказывает конфигурация поперечного сечения шва (глубина проплавления e , угол при вершине β_c , форма свободной поверхности).

Концентрация напряжений заметно снижается при увеличении глубины проплавления, увеличении угла при вершине, в случае действия усилия вдоль катета и введении плавных переходов от шва к поверхности соединяемых деталей.

Напряжения в лобовых швах концентрируются в плоскости AD, проходящей через корень шва (точка A), причем положение этой плоскости зависит от направления приложения нагрузки. Угол наклона плоскости AD по отношению к направлению приложенного усилия составляет, как правило, менее 30° , в дальнейшем по этой плоскости в большинстве случаев происходит разрушение сварного соединения. При одинаковых уровнях средних напряжений нагрузка, приложенная перпендикулярно плоскости непровара дает большую концентрацию напряжений, чем нагрузка, приложенная параллельно плоскости непровара.

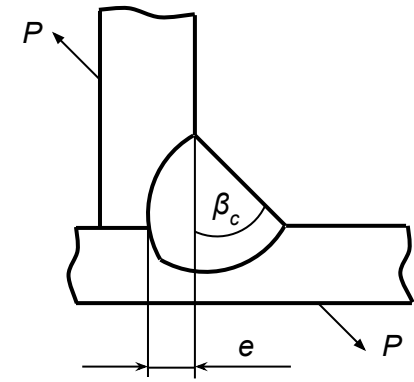
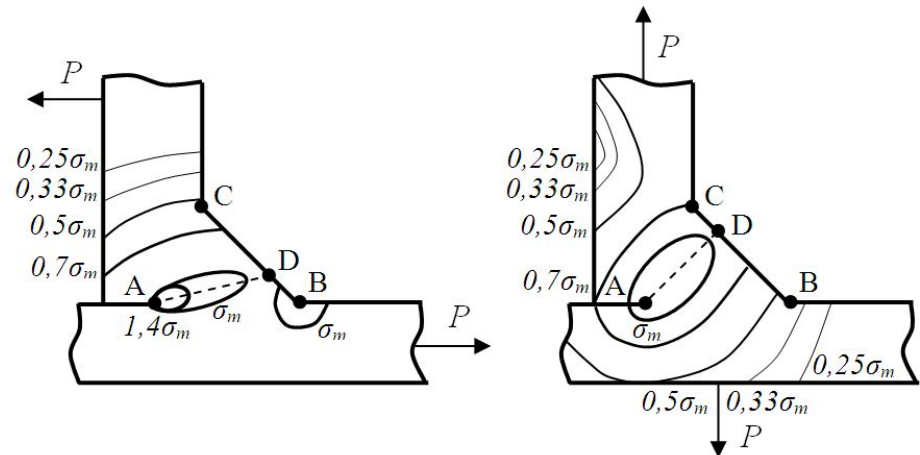


Рис. 3.4. Конфигурация сечения шва



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВО ФЛАНГОВЫХ ШВАХ

При соединении полос фланговыми швами касательные напряжения по длине швов распределены неравномерно.

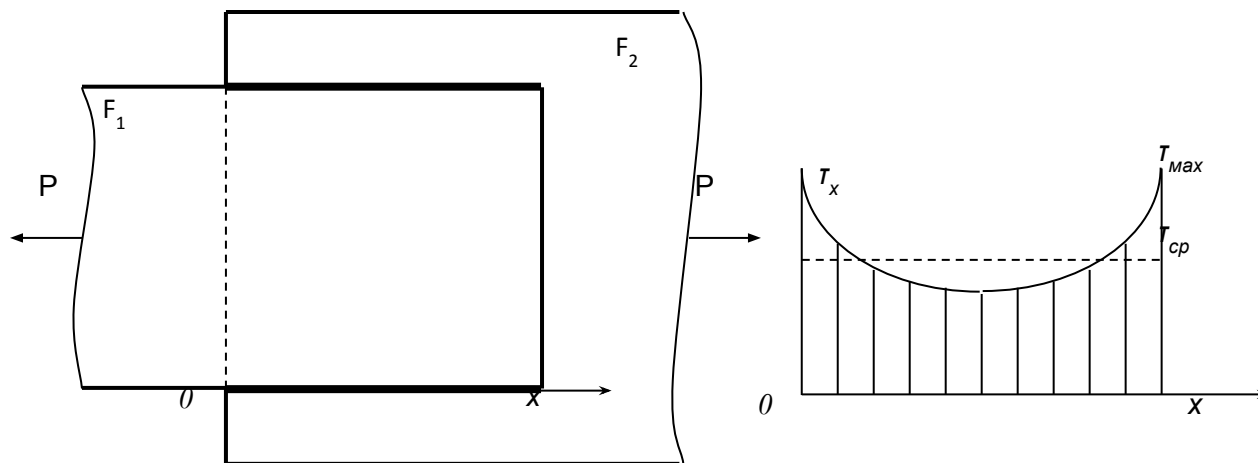


Рис. 3.10. Распределение касательных напряжений во фланговых швах соединения при $F_1 \approx F_2$

При условии, что фланговые швы имеют небольшую длину, касательные напряжения вдоль их линии можно считать приблизительно одинаковыми. При длине шва более $50K$, необходимо учитывать неравномерность распределения напряжений.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКОЙ

В результате сгущения силовых линий основной металл испытывает концентрацию напряжений в околоточечной зоне

В случае, если в одном ряду находится несколько точек, то передаваемое усилие P распределяется между ними неравномерно. Наиболее нагруженными оказываются крайние точки ряда, с увеличением числа точек такая диспропорция возрастает. В процессе растяжения точечного соединения, вследствие возникновения изгибающего момента появляется дополнительное напряжение ($\sigma_{изг}$), которое уменьшается с возрастанием нагрузки, так как уменьшается плечо приложения силы

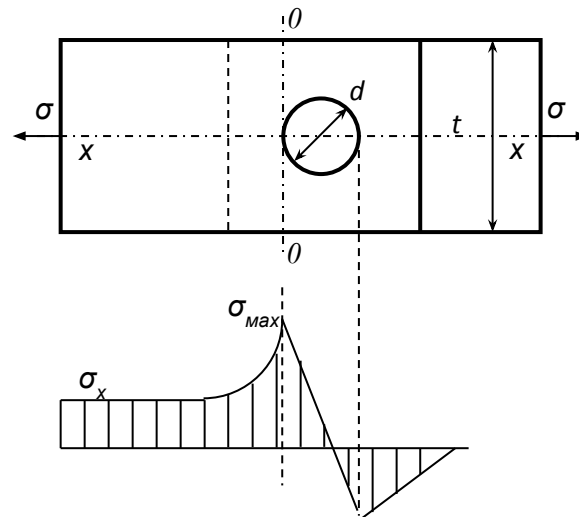


Рис. 3.14. Распределение напряжений в точечном соединении

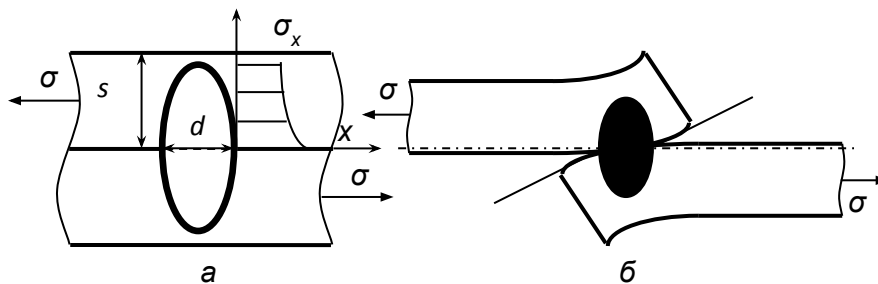
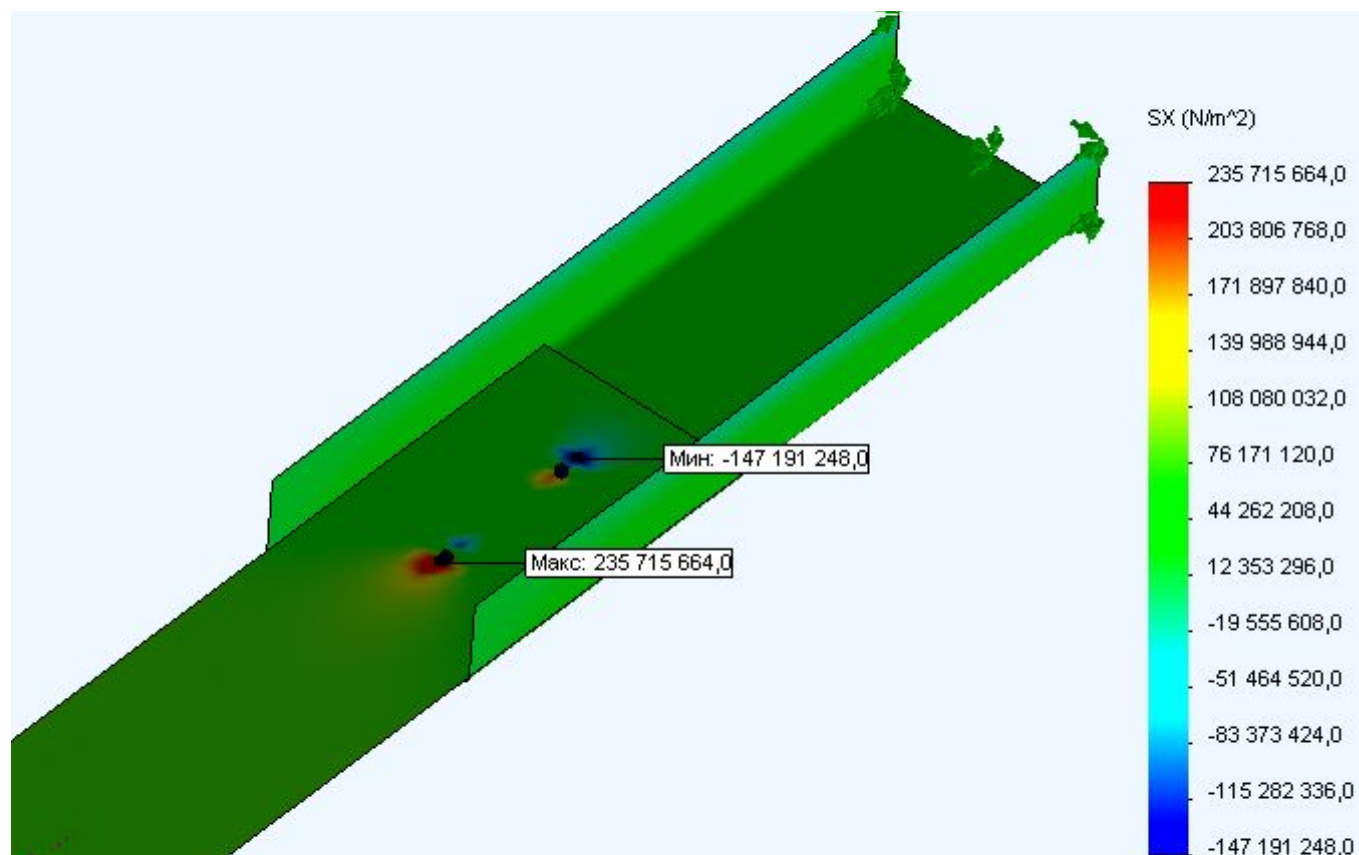
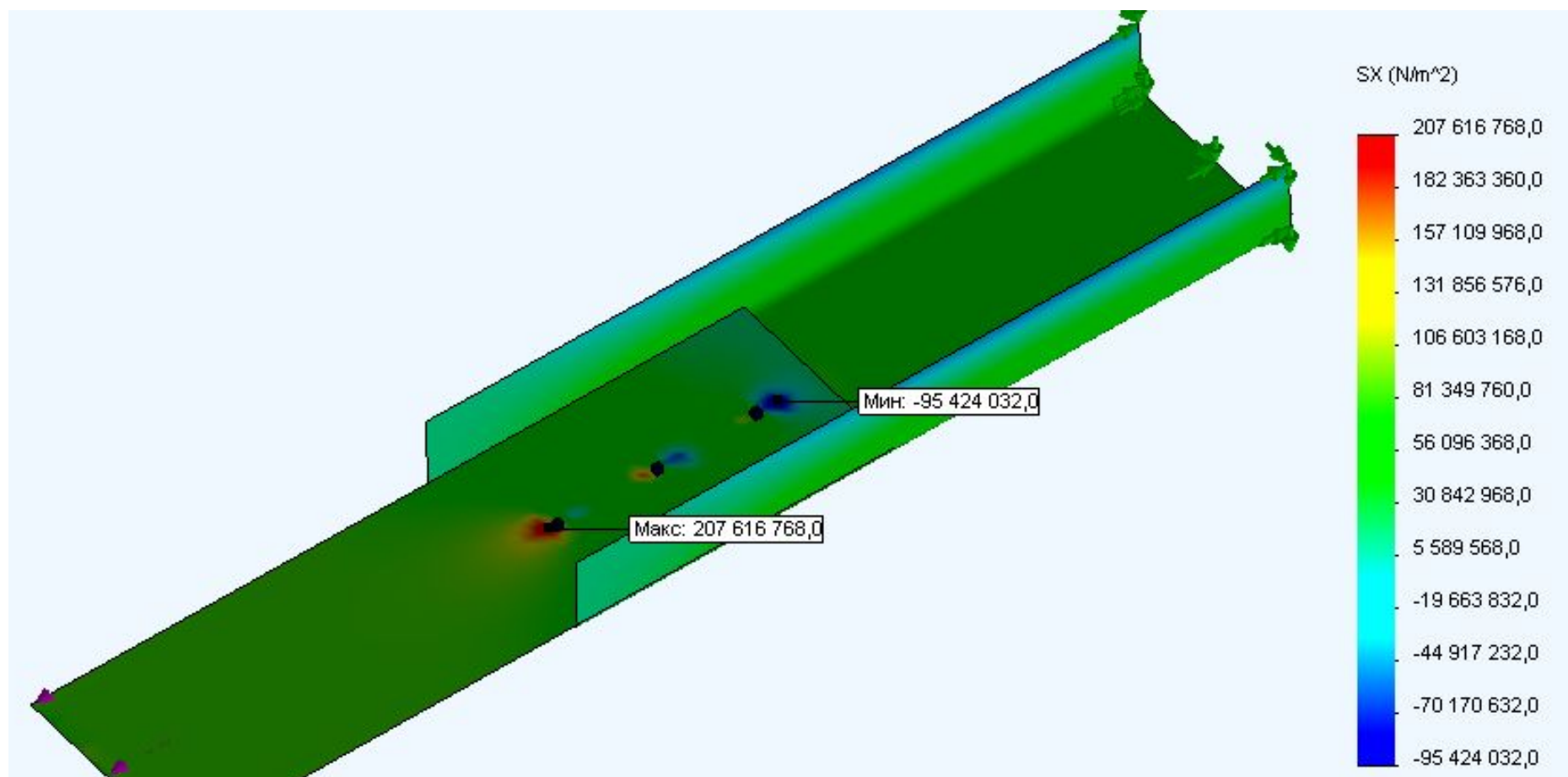
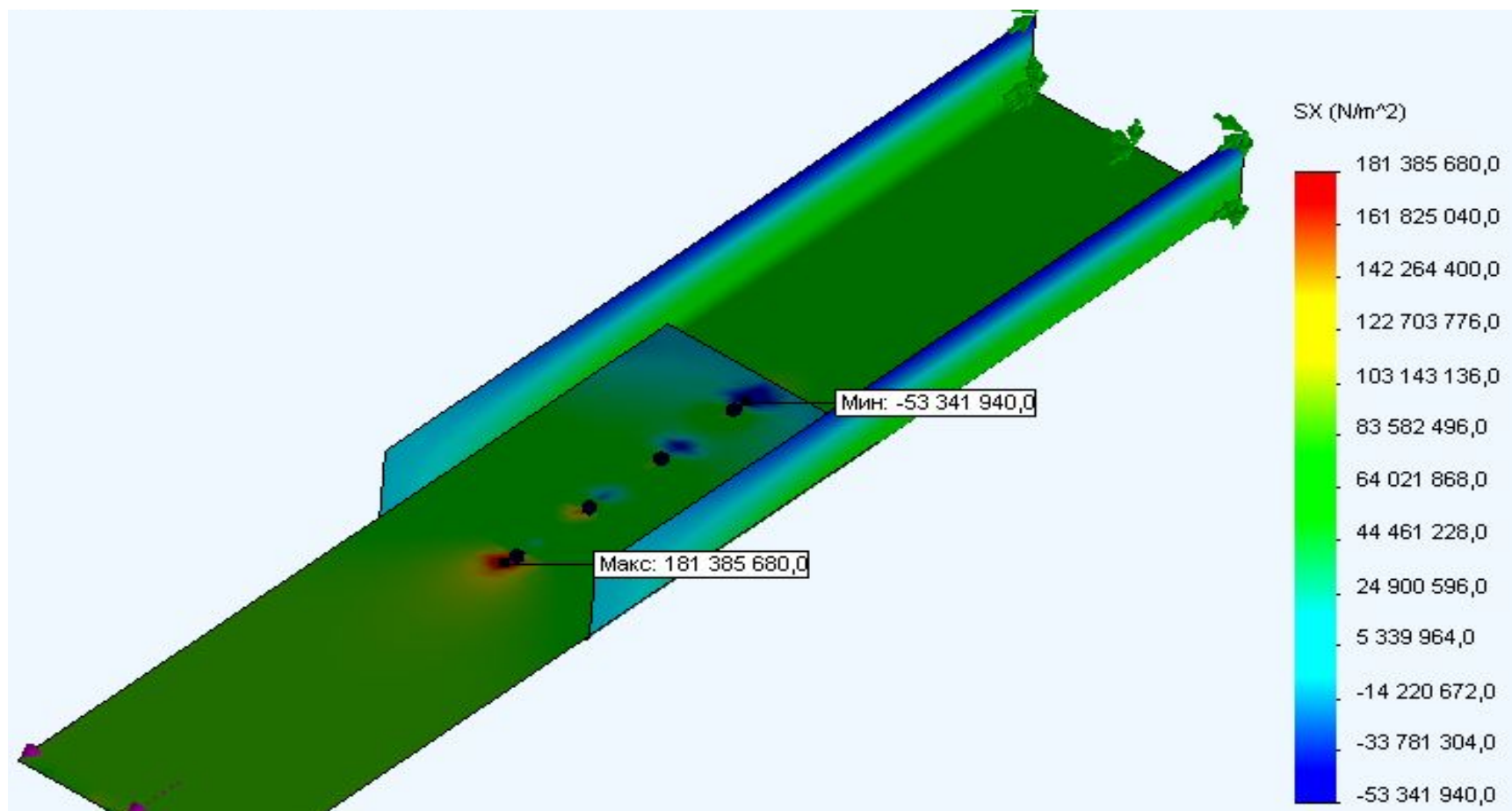


Рис. 3.15. Распределение напряжений по толщине сварочной точки (а), изгиб точечного соединения при растяжении (б)







Влияние концентрации напряжений на статическую и усталостную прочность сварных соединений

Концентрация напряжений проявляется в том, что при приложении рабочих нагрузок (напряжений) в районах геометрических неоднородностей (концентраторов) наблюдается увеличение напряжений по сравнению с их средним уровнем. Такого рода увеличение напряжений может ослабить несущую способность сварной конструкции.

На усталостную прочность концентрация напряжений влияет следующим образом: в месте расположения концентратора от цикла к циклу накапливается микропластическая деформация, что обуславливает зарождение и дальнейшее развитие усталостной трещины.

В случае неизменных во времени нагрузок возможны 2 варианта:

- 1) Металл сварного соединения обладает достаточным запасом пластичности. Максимальное значение напряжений будет оставаться равным пределу текучести, будут расширяться зоны пластической деформации, пока текучесть не распространиться на все сечение. Т.е. в этом случае концентрация напряжений не оказывает отрицательного влияния на прочность.
- 2) Металл сварного соединения не обладает достаточным запасом пластичности. В этом случае максимальные напряжения в вершине концентратора достигнут предела прочности и произойдет хрупкое разрушение.

Теоретический коэффициент концентрации напряжений

Для описания уровня концентрации напряжений было введено понятие теоретического коэффициента концентрации напряжений, который представляет собой отношение напряжения в районе концентратора (σ) к среднему напряжению (σ_0).

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

Распределение напряжений вблизи концентратора и на удалении оценивается соответствующими зависимостями. Так, например, для полосы, нагруженной напряжением σ_0 и имеющей посредине отверстие диаметром d (рис. 2.1) для значения $y=d/2$, т.е. для двух точек на краю отверстия $\alpha_{\sigma} = 3$

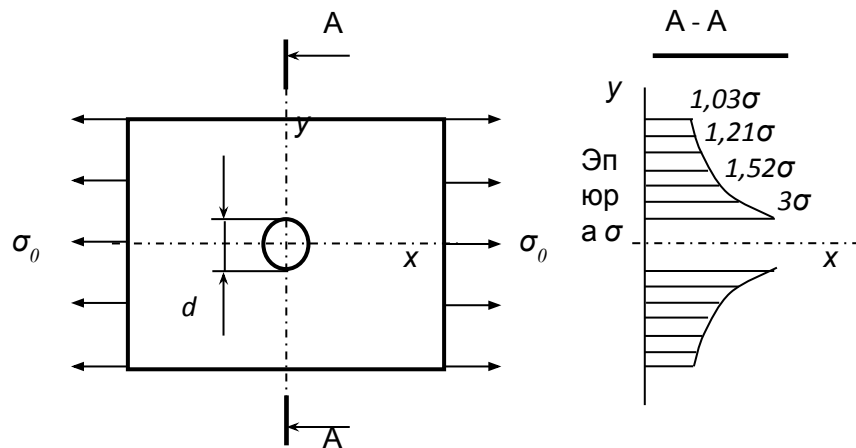


Рис. 2.1. Эпюра напряжений в полосе с концентратором

Характеристики сопротивляемости разрушению в присутствии концентратора

Теория концентрации напряжений рассматривает 2 типа надрезов. Если $h \gg t$, то изменение h при $t = \text{const}$ мало влияет на коэффициент концентрации напряжений, такие надрезы называют *мелкими*. Коэффициент концентрации напряжений в них зависит от изменения величины t .

Чем больше величина t , тем выше коэффициент концентрации напряжений.

Если $t \gg h$, то коэффициент концентрации напряжений в основном зависит от h и слабо зависит от величины t , такие надрезы называют *глубокими*. В них чем больше h , тем выше коэффициент концентрации напряжений.

Чем меньше радиус концентратора ρ и угол α между его плоскостями, тем выше коэффициент концентрации напряжений.

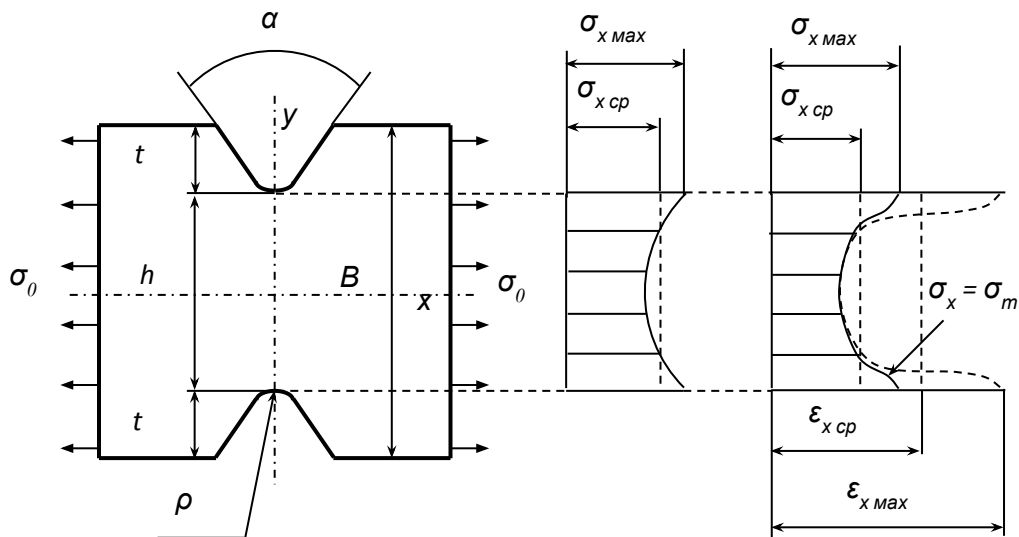


Рис. 2.6. Эпюры напряжений и деформаций в пластине с V-образными надрезами

Характеристики сопротивляемости разрушению в присутствии концентратора

В случае наличия в пластине концентратора напряжений в виде трещины, т. е. $\rho=0$ (рис. 2.7), оценку прочности металла производят на основе положений линейной механики. Для оценки поля напряжений вблизи концентратора используется понятие *коэффициента интенсивности напряжений* (K_c) в вершине трещины при упругих деформациях и понятие *интенсивности освобождения энергии деформации* (G).

Для трещины длиной l в бесконечной пластине формула коэффициента интенсивности напряжений имеет вид

$$K_c = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma_0 \sqrt{l}$$

Для интенсивности освобождения энергии

$$G = \frac{\pi \sigma_0^2 l}{2E}$$

Величина K_c характеризует распределение напряжений у конца трещины и выражается в $\text{Н/м}^{3/2}$, а величина G – это энергия, освобождающаяся в растянутой пластине при возможном подрастании трещины на единицу площади, выражаемая в Дж/м^2 .

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ
КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?