

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

лекция №5

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., ст. преп. кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

Тема 5. Деформации и перемещения в сварных конструкциях.

- Причины образования сварочных деформаций и их классификация.
- Перемещения при сварке стыковых и угловых соединений.
- Перемещения в конструкциях балочного типа.
- Процесс образования деформаций изгиба и потеря устойчивости.
- Изменение размеров элементов конструкций с течением времени, при механической обработке и при эксплуатации.

Сварка вызывает изменение размеров и формы элементов сварных конструкций (их укорочение, изгиб, потерю устойчивости, закручивание).

Сварочные **ПЕРЕМЕЩЕНИЯ** - смещения одних точек детали по отношению к другим, которые приводят к изменению ее формы и размеров.

Сварочные **ДЕФОРМАЦИИ** – изменение размеров деталей при сварке. Деформации и перемещения в зоне сварных соединений зависят от количества теплоты, вводимого при сварке, распределения температур, свойств свариваемого металла.

Можно выделить следующие виды деформаций металла:

1. **Температурные деформации ϵ_α** , вызванные изменением размера частиц тела при изменении температуры (деформации, возникающие в процессе структурных превращений, также относят к температурным).

Величина температурных деформаций зависит от коэффициента линейного расширения металла и изменения температуры.

$$\epsilon_\alpha = \alpha T,$$

2. **Наблюдаемые деформации ϵ_n** характеризуют изменения размеров тела, которые можно зарегистрировать измерительными приборами. В теории упругости и пластичности их называют деформациями, не присваивая им никакого индекса

3. **Собственные (внутренние) деформации** состоят из упругих $\epsilon_{упр}$ и пластических $\epsilon_{пл}$

Указанные виды деформаций связаны между собой соотношением

$$\epsilon_n = \epsilon_{упр} + \epsilon_{пл} + \epsilon_\alpha;$$

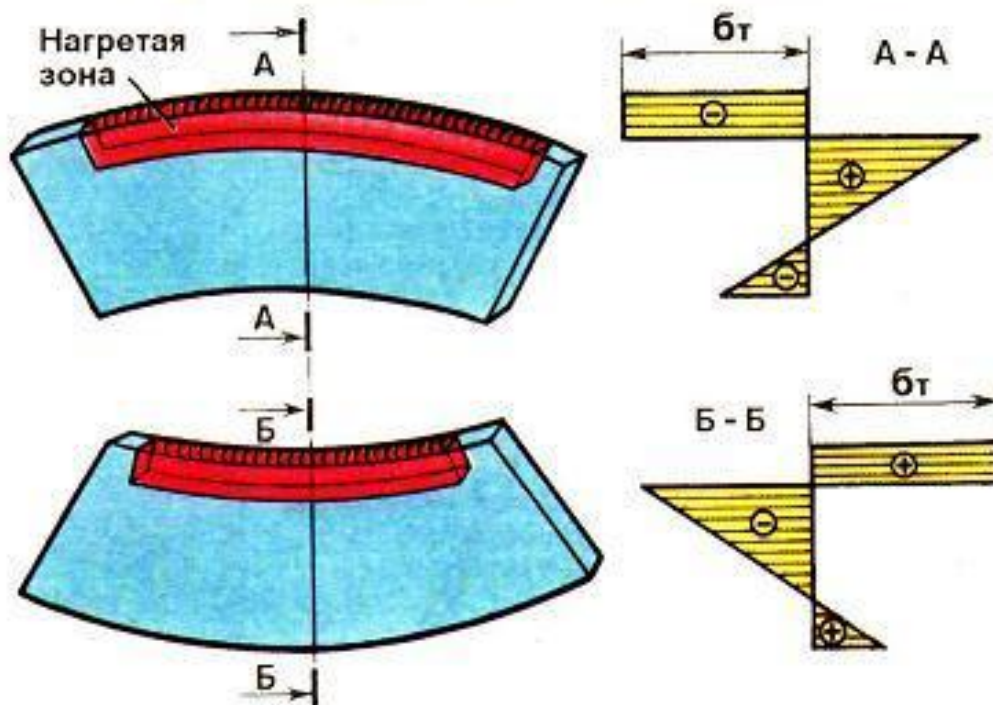
$$\gamma_n = \gamma_{упр} + \gamma_{пл}.$$

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ

- неравномерный нагрев металла
- литейная усадка расплавленного металла
- изменения в структуре металла

При наплавке валика на кромку полосы валик и нагретая часть полосы расширяются и растягивают холодную часть полосы, создавая в ней растяжение с изгибом. Сам же валик и нагретая часть полосы будут сжаты, поскольку их тепловому расширению препятствует холодная часть полосы. Полоса прогнется выпуклостью вверх. При остывании валик и нагретая часть полосы, претерпев пластические деформации, будут укорачиваться, но этому снова воспрепятствуют слои холодного металла. Валик и нагретая часть полосы будут стягивать верхние волокна, и полоса прогнется выпуклостью вниз.

НЕРАВНОМЕРНЫЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛА



бт - напряжение текучести, **⊕** - растяжение, **⊖** - сжатие

Различают пять основных видов деформаций и перемещений в зоне сварных соединений.

1. Равномерные по толщине продольные остаточные пластические деформации $\epsilon_{x \text{ пл.ост.}}$, создающие так называемую усадочную силу P_{yc} . Чтобы установить зависимость между усадочной силой P_{yc} и $\epsilon_{x \text{ пл.ост.}}$, рассмотрим более подробно состояние сваренной пластины.

Если пластину с остаточными напряжениями шириной $2B$ разрезать на продольные полоски для освобождения ее от остаточных напряжений σ_x , то концы полос расположатся так, как показано на рис. 1, а. Полоски, находящиеся за пределами зоны пластических деформаций, будут иметь начальную длину L_0 . Полоски внутри этой зоны будут короче, потому что они имеют остаточную пластическую деформацию $\epsilon_{\text{пл.ост.}}$.

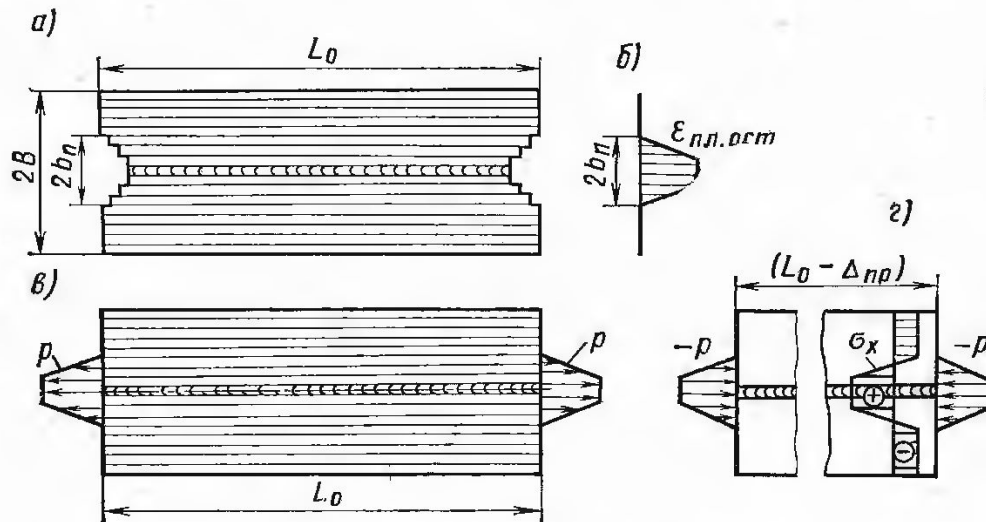
Для того, чтобы их вернуть на место («склеить» пластину обратно) к каждой полоске необходимо приложить фиктивную силу P_{yc} (усадочную силу).

где S – толщина пластины.

$$P_{yc} = \int_{-b_{\text{п}}}^{+b_{\text{п}}} \epsilon_{\text{пл.ост.}} E s dy,$$

P_{yc} создает сжимающие напряжения $\sigma_{сж}$ и вызывает по длине продольное укорочение пластины $\Delta_{пр}$:

$$\sigma_{сж} = P_{yc} / (2Bs) \quad \Delta_{пр} = P_{yc} L_0 / (2BsE).$$



P_{yc} часто определяют экспериментально. Для этого нужно измерить изменение длины пластины в результате сварки на какой-либо начальной базе L_0 , а затем воспользоваться формулой для вычисления P_{yc} :

$$\Delta_{пр} = P_{yc} L_0 / (2BsE).$$

Рис. 8.1. Сварная пластина с остаточными пластическими деформациями $\epsilon_{\text{пл.ост}}$

При сварке легированных сталей, испытывающих структурные превращения, в зоне пластических деформаций могут возникнуть и пластические деформации удлинения.

У отдельных сталей сила P_{yc} может оказаться растягивающей. В этом случае пластина после сварки удлиняется, а не укорачивается. Однако у подавляющего большинства металлов сила P_{yc} сжимающая.

Для разных сталей и сплавов получены эмпирические формулы для вычисления P_{yc} в зависимости от условий сварки.

Для стыковых соединений из низкоуглеродистых и низколегированных сталей , а также тавровых соединений с односторонним швом

$$P_{yc} = 1,7 \frac{q}{Vc} \quad \text{где } q \text{ — эффективная мощность, Дж/с; } v_c \text{ — скорость сварки, см/с;}$$

Для тавровых соединений с двухсторонним швом $P_{yc} = 1,7 \frac{q}{Vc} \cdot 1,15$

2. Равномерные по толщине поперечные остаточные пластические деформации $\epsilon_{y \text{ пл.ост.}}$, создающие поперечную усадочную силу и вызывающие поперечное укорочение конструкции.

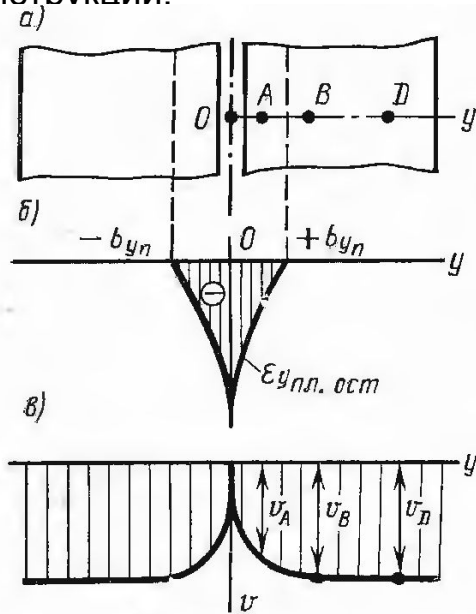


Рис. 8.4. Распределение $\epsilon_{y \text{ пл.ост.}}$ и v в пластине

В зависимости от условий сварки $\Delta_{\text{поп}}$ имеет разные значения:

$$\Delta_{\text{поп}} = A \frac{\alpha}{c\gamma} \frac{q}{v_c s},$$

где A – эмпирический коэффициент, A = 1-1,2 при дуговой сварке с полным проплавлением;
 $c\gamma$ – объемная теплоемкость металла;

Абсолютное значение $\Delta_{\text{поп}}$ изменяется в широких пределах в зависимости от вводимой при сварке энергии. При дуговой однопроходной сварке стыкового соединения металлов толщиной до 3—5 мм $\Delta_{\text{поп}}$ составляет обычно десятые доли миллиметра, до 5—20 мм $\Delta_{\text{поп}} = 0,5 \div 1,5$ мм, при э.

3. Неравномерные по толщине поперечные пластические деформации, образующие угловое перемещение β в зоне сварного соединения. Неравномерные по толщине поперечные пластические деформации вызывают поворот одной части пластины относительно другой на угол β .

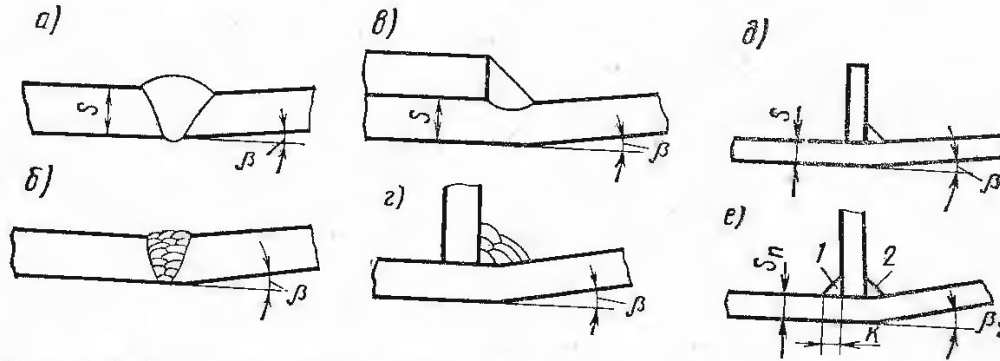
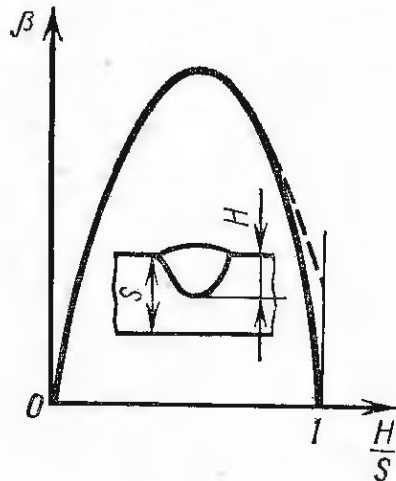


Рис. 8.6. Угловое перемещение при сварке стыковых (а, б), нахлесточных (в), тавровых (г — е) соединений



При проплавлении целой пластины или выполнении углового шва угол β зависит от отношения H/s (глубины провара к толщине пластины, формы провара и его ширины). Характер зависимости H/s показан на рис.

При малой глубине провара непроваренная часть сопротивляется усадке проваренной части. При большой глубине провара эпюра β достаточно равномерна по толщине

При $K \leq 0,5s_n$, угол β в радианах для сталей можно приближенно вычислить по формуле

$$\beta_{\Sigma}^{-1} = 0,1 (K/s_n - 0,1).$$

4. Перемещения в зоне шва в направлении перпендикуляра к поверхности свариваемых листов (потеря устойчивости)

Такие перемещения возникают чаще всего при сварке металла небольшой толщины. В тонком (до 1 мм) металле может возникнуть потеря устойчивости — одна кромка смещается относительно другой, и это положение фиксируется швом.

5. Сдвиговые деформации. При сварке в зоне нагрева точки свариваемых пластин перемещаются в направлении оси x . Впереди источника нагрева они движутся в одном направлении с ним, а позади него — в противоположном. Максимальные перемещения различны — наибольшие у кромок, они убывают с увеличением координаты y . Возникают сдвиговые упругие и пластические деформации.

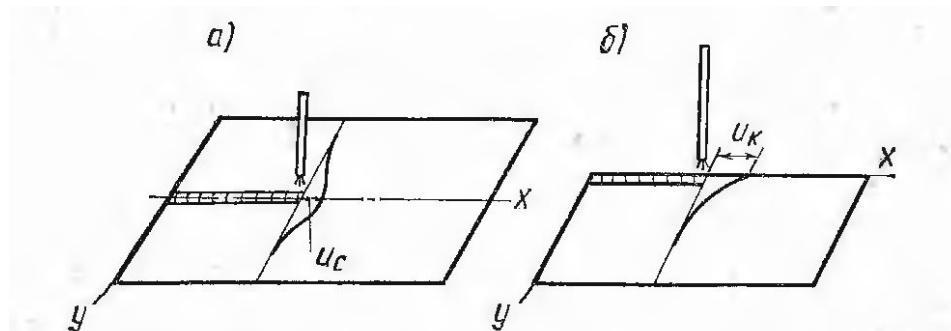


Рис. 8.11. Перемещения u впереди источника теплоты при его движении по середине пластины (а) или краю (б)

Перемещения при сварке стыковых соединений

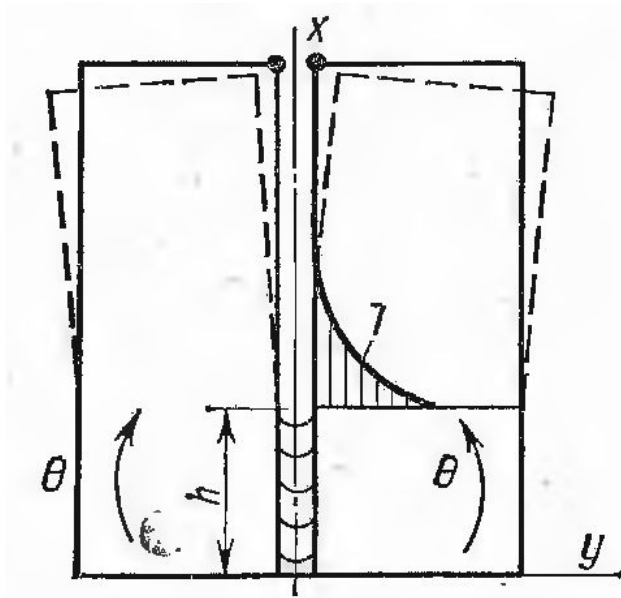


Рис. 8.13. Перемещения при сварке пластин

Сварка стыкового соединения может производиться без прихваток как с зазором между пластинами, так и без него.

В общем случае в процессе сварки пластин с зазором возникает одновременно несколько видов перемещений:

- 1) Изгиб полос от неравномерного нагрева их по ширине. Изгиб приводит к раскрытию сварочного зазора.
- 2) Перемещения, вызываемые остыванием пластин в заваренной части шва. Сокращение зоны термического влияния в поперечном направлении приводит к поступательному сближению пластин а главное, к их повороту, который вызывает закрытие зазора
- 3) Перемещения, вызываемые изменением объема металла при его структурных превращениях в процессе сварки. Они могут как открывать, так и закрывать зазор при сварке.

Сочетание трех перечисленных выше видов перемещений может создавать самые разнообразные изменения зазора в процессе сварки.

Перемещения в конструкциях балочного типа

Характерными особенностями сварных конструкций балочного типа являются их относительно большая длина по сравнению с высотой и шириной, поясные швы вдоль всей длины, наличие поперечных швов, прикрепляющих ребра, диафрагмы и вспомогательные элементы. Если в балках имеются несимметрично расположенные продольные и поперечные швы, то из-за большой длины балок в них возникают значительные прогибы.

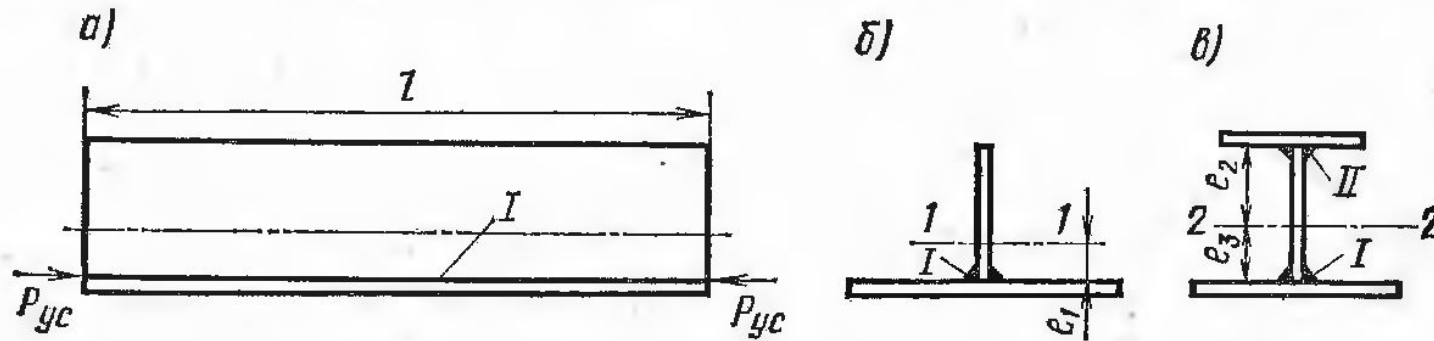


Рис. 8.16. Сварная балка с продольными швами

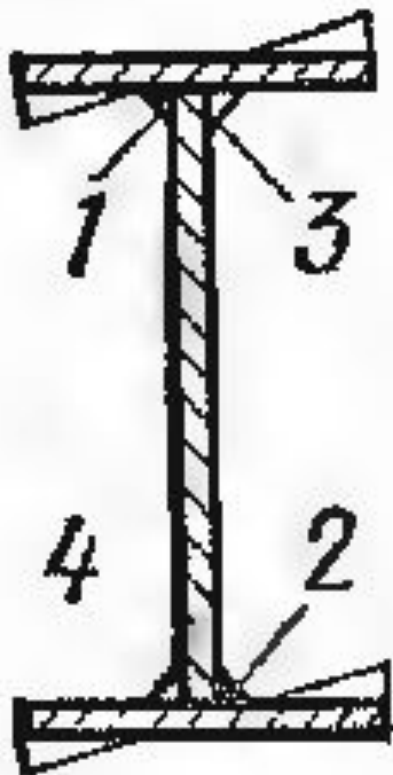
После сварки продольного шва / (рис) возникают усадочная сила P_{yc} которая создает укорочение балки и момент от силы P_{yc} на плече e_1 , относительно центра тяжести сечения, который вызывает изгиб балки.

Продольное укорочение

$$\Delta_{пр} = P_{yc}l / (EF).$$

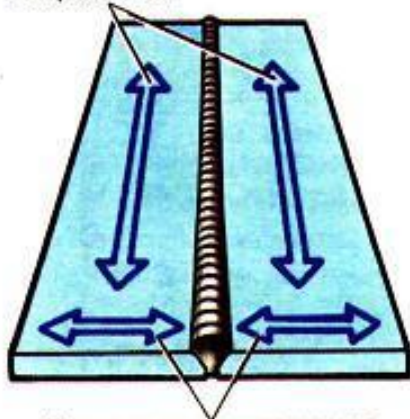
Стрела прогиба

$$f = P_{yc}e_1l^2 / (8EI_1) = Ml^2 / (8EI_1),$$



Если швы **1** и **4** и швы **2** и **3** сварены в разных направлениях, то угол закручивания будет в четыре раза больше, чем при сварке одного шва. Закручивание возникает вследствие неодновременной поперечной усадки углового шва по его длине. Например, шов **1** по мере его заварки закручивает верхний пояс, а шов **2**—нижний, так как швов **3** и **4** пока нет, а есть лишь прихватка. Швы **3** и **4** не могут вызвать такое же противоположное закручивание в противоположном направлении из-за жесткости швов **1** и **2**. Сварка в кондукторах или жесткие прихватки устраняют этот дефект. Значительное кручение может возникать у тонкостенных открытых профилей при укладке продольных швов, расположенных вне осей симметрии

Продольные
напряжения



Поперечные напряжения

Усадка происходит при остывании металла. Металл становится более плотным, его объем уменьшается, и в сварном соединении возникают внутренние напряжения. Из-за продольных напряжений изделие коробится в продольном направлении, а поперечные приводят, как правило, к угловым деформациям-короблению в сторону большего объема расплавленного металла

ДЕФОРМАЦИИ ОТ ПОПЕРЕЧНОЙ УСАДКИ

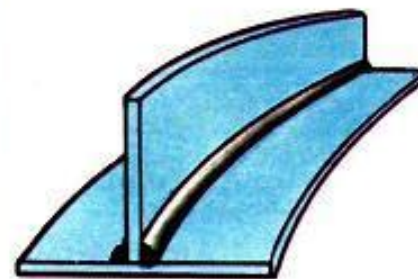
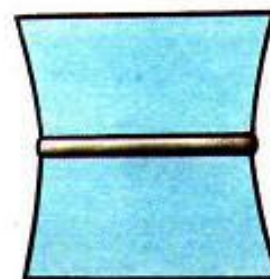
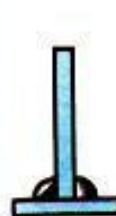
ДО СВАРКИ



ПОСЛЕ СВАРКИ



ДЕФОРМАЦИИ ОТ ПРОДОЛЬНОЙ УСАДКИ



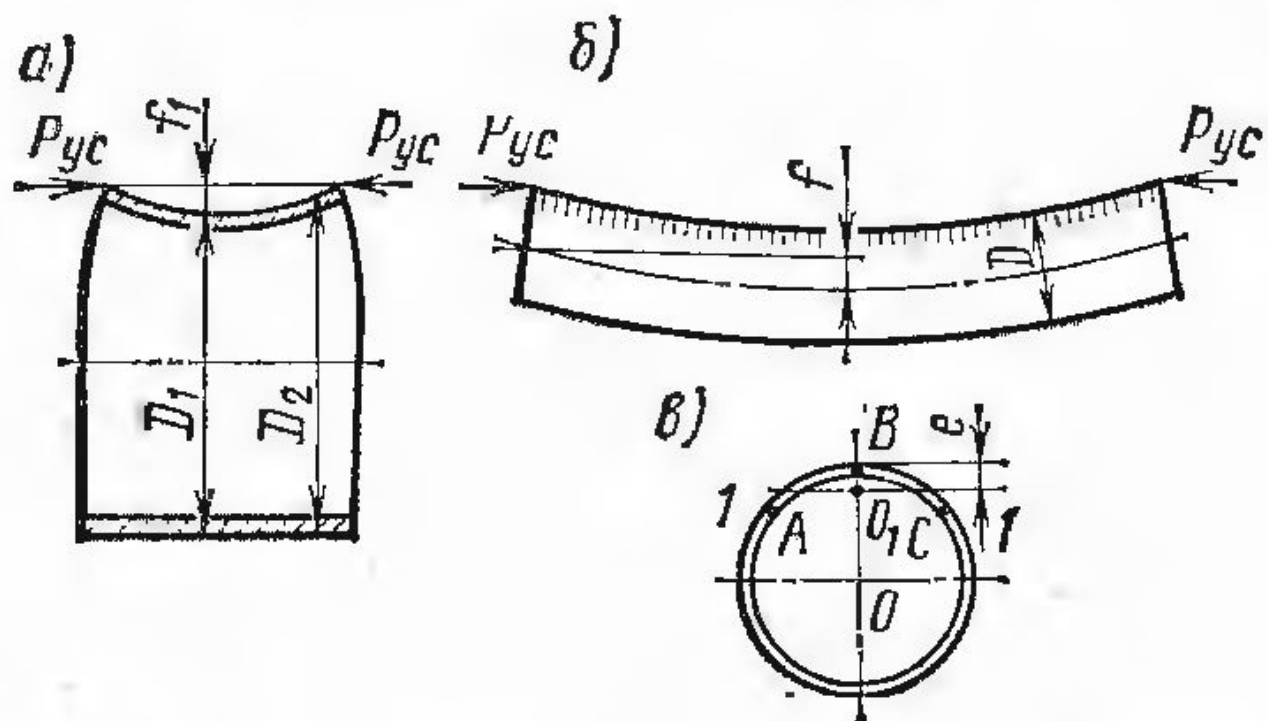


Рис. 8.20. Перемещения в цилиндрических оболочках от продольных швов

Изменение размеров элементов конструкций с течением времени, при механической обработке и при эксплуатации.

Размеры сварных конструкций при эксплуатации не должны выходить за пределы установленных допусков. Потеря необходимой точности может возникнуть в процессе эксплуатации.

Размеры термически необработанных сварных конструкций могут самопроизвольно изменяться во времени при отсутствии каких-либо дополнительных силовых воздействий на них. Однако, эти изменения размеров имеют значения лишь для конструкций высокой точности.

Изменение размеров происходит по двум причинам:

- 1) вследствие пластических деформаций в металле из-за наличия в нем остаточных напряжений
- 2) вследствие изменения объема металла при медленном протекании структурных превращений в зонах со структурной нестабильностью, возникшей в процессе сварки.

Изменение остаточных напряжений во времени может усиливаться от естественного колебания температуры окружающей среды. При более высоких температурах процессы релаксации интенсифицируются. Возможно колебание уровня собственных напряжений из-за разных коэффициентов линейного расширения шва и основного металла в сварных соединениях, что также способствует усилению релаксации.

Изменение размеров элементов конструкций с течением времени, при механической обработке и при эксплуатации.

Структурная нестабильность является одной из основных и в ряде случаев существенных причин изменения размеров во времени. Аустенитные стали в процессе сварки не испытывают структурных превращений; низкоуглеродистые стали Ст3, 20 и им подобные слабо реагируют на изменение скорости остывания и завершают структурные превращения $\gamma \rightarrow \alpha$ при высоких температурах. В этих металлах структурная нестабильность не возникает.

Среднеуглеродистые и низколегированные стали 35, 4Х13, 25ХГС, 30ХГСА, 12Х5МА и другие могут иметь в зоне структурных превращений, нагреваемой при сварке выше температуры 800—850 °С, **остаточный аустенит, распад которого во времени увеличивает объем металла**. Если при сварке в результате очень быстрого переохлаждения аустенит практически полностью превращается в **мартенсит** (стали 35, 4Х13), то с течением времени идет процесс **отпуска мартенсита закалки и объем металла уменьшается**. Таким образом, при том или ином виде структурного превращения усадочная сила будет уменьшаться (при распаде остаточного аустенита) или увеличиваться (при отпуске мартенсита закалки).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?