

## Лабораторная работа № 8

### Изучение сварочных деформаций и напряжений

- *Цель работы:* ознакомиться с процессом возникновения сварочных деформаций и напряжений.
- *Содержание работы:* теоретическое изучение процесса возникновения сварочных деформаций и напряжений, экспериментальное определение величины продольной и поперечной усадки, расчет усадочной силы, прогнозирование деформации сварной детали.
- *Применяемое оборудование и материалы:* пост ручной дуговой сварки, электроды, сварочные щитки, брезентовые рукавицы и спецодежда, молоток, керн, щетка, щипцы, штангенциркуль, пластина-образец.

### Порядок выполнения работы

1. С помощью керна в углах пластины-образца нанести реперные точки и пронумеровать их.
2. Наметить мелом линию нанесения сварного шва.
3. С помощью штангенциркуля измерить расстояния между сварными точками вдоль и поперёк оси сварного шва. При оценке линейного размера вдоль оси шва поочередно определить расстояние между двумя точками, расположенными справа и слева от намеченной линии сварного шва и вычислить среднее арифметическое значение. Аналогично определить базовую длину поперек оси сварного шва. Записать результаты.
4. Нанести сварной шов на пластину.
5. После охлаждения пластины сбить слой шлака и повторить замеры базовых длин вдоль и поперёк сварного шва.
6. Определить величину сварочных деформаций вдоль и поперек шва по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\ell_0 - \ell_1}{\ell_0} \cdot 100 \%,$$

где  $\ell_0$  – базовая длина пластины-образца до нанесения сварного шва;  $\ell_1$  – базовая длина пластины-образца после нанесения сварного шва.

7. Рассчитать величину усадочной силы, действующей вдоль сварного шва по формуле:

$$P_{\text{ус}} = \frac{\ell_0 - \ell_1}{\ell_0} \cdot E \cdot F,$$

где  $P_{\text{ус}}$  – усадочная сила, МН;  $\ell_0$  – базовая длина пластины-образца до нанесения сварного шва вдоль его оси, мм;  $\ell_1$  – базовая длина пластины-образца после нанесения сварного шва вдоль его оси, мм;  $E$  – модуль упругости (для стали – 200000 МПа);  $F$  – площадь поперечного сечения пластины, мм<sup>2</sup>.

## Теоретические аспекты процесса возникновения сварочных деформаций и напряжений

Термин «деформация» определяется как изменение формы и геометрических размеров тела под действием приложенных сил. В большинстве случаев тела подвергаются воздействию внешних сил. В тоже время в деталях, подвергнутых сварке, возникают внутренние силы и соответственно напряжения.

Для пояснения процессов, возникающих при нанесении сварного шва и его последующего охлаждения, рассмотрим схему на рис. 8.1.

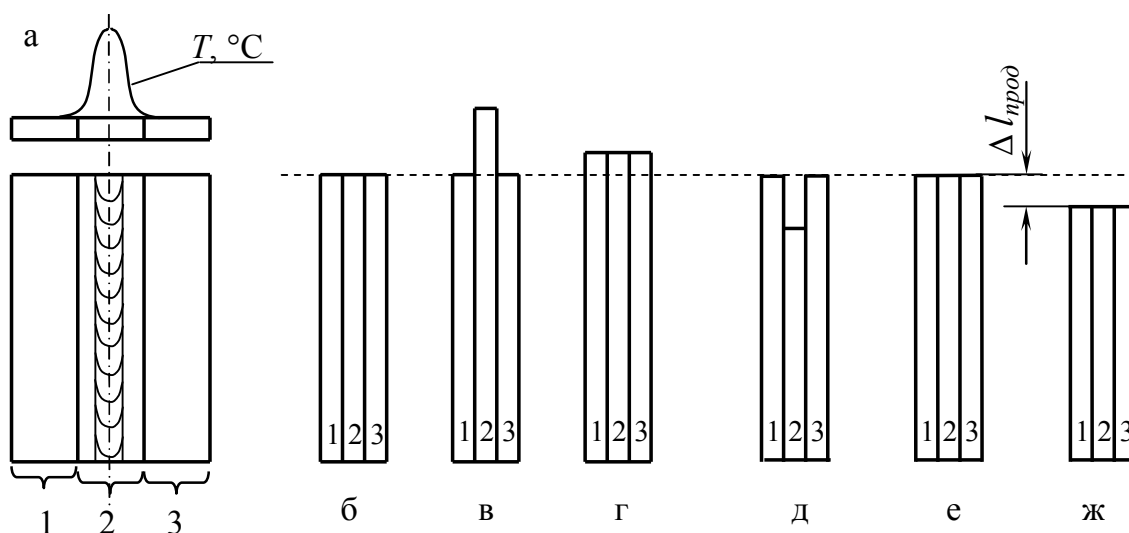


Рис. 8.1. Схема возникновения деформаций  
в сварном стыковом соединении

При соединении двух заготовок, как показано на рис. 8.1а, выделяющееся тепло локализуется в сварном шве и околошовной зоне (слой 2). Периферийные слои пластины (1 и 3) не подвергаются нагреву до высоких температур. Допустим, что центральный слой 2 не связан с крайними слоями 1 и 3. Тогда в результате термического расширения он значительно удлинится по отношению к соседним слоям (рис. 8.1в) и по сравнению с первоначальной длиной пластины (рис. 8.1б). Его относительная деформация может быть описана законом термического расширения твердых тел.

В действительности центральный слой 2 связан с остальной частью пластины и деформируется вместе с ней в соответствии с соблюдением закона плоских сечений. Вся пластина равномерно удлиняется (рис. 8.1г). При этом термическое расширение центрального слоя (околошовной зоны) вызывает возникновение растягивающих механических напряжений в крайних слоях (1 и 3) и их упругую деформацию. В соответствии с третьим законом Ньютона со стороны крайних слоев пластины возникает реакция, препятствующая удлинению центрального слоя 2. В нем возникают напряжения сжатия.

При охлаждении сформированного сварного шва металл слоя 2 испытывает потребность в термической усадке. Если бы силы сцепления между слоями отсутствовали, то центральный слой, представляющий в данный момент сформированный сварной шов и околошовную зону, значительно сократил бы свои линейные размеры (рис. 8.1д). Но поскольку центральный слой связан с

периферийными частями пластины, его деформация вместе со слоями 1 и 3 подчиняется закону плоских сечений. Поэтому в начальный момент остывания вся пластина приобретает первоначальную длину (рис. 8.1e). Затем проявляется усадка металла сварного шва, который в момент сварки находился в жидком состоянии и не оказывал механического воздействия на околошовную зону. Этот слой металла остывает с максимально высокой температуры и, следовательно, испытывает наибольшую потребность в усадке. В результате вся пластина сокращает свои размеры на величину продольной усадки  $\ell_{\text{прод}}$ . Усадка центрального слоя 2 вызывает возникновение сжимающих механических напряжений в крайних слоях (1 и 3) и их упругую деформацию. В соответствии с третьим законом Ньютона со стороны крайних слоев пластины возникает реакция, препятствующая укорочению центрального слоя 2. В нем возникают напряжения растяжения.

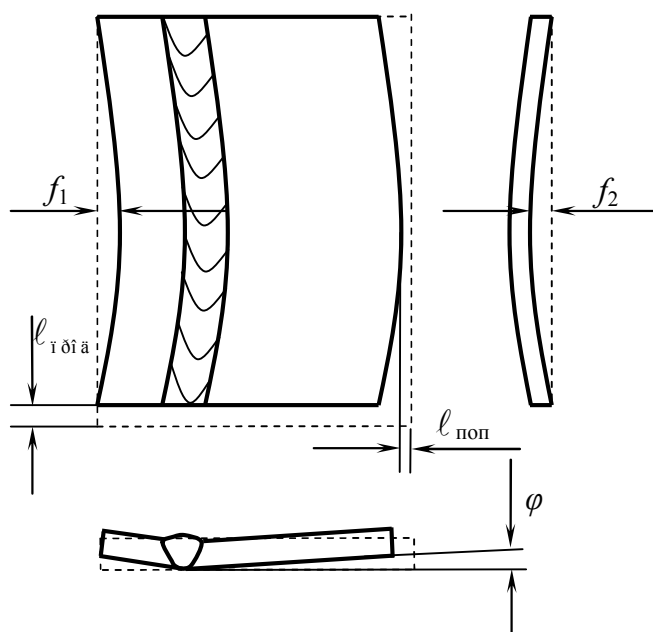


Рис. 8.2. Виды деформаций

Кроме продольной  $\ell_{\text{прод}}$  усадки в рассматриваемой пластине могут возникнуть: поперечная  $\ell_{\text{поп}}$  усадка; изгиб в плоскости пластины ( $f_1$ ); коробление ( $f_2$ ); угловая деформация  $\varphi$  (рис. 8.2).

Причиной возникновения поперечной деформации  $\ell_{\text{поп}}$  является усадка сварного шва в поперечном направлении. Изгиб пластины ( $f_1$ ) возникает в случае несимметричного расположения сварного шва. Боковые слои пластины имеют различную толщину и соответственно с разной реакцией противодействуют усадке шва. Коробление ( $f_2$ ) и угловая деформация  $\varphi$  возникают вследствие неодинакового разогрева поверхностей пластины. Так со стороны сварного шва температура металла достигает температуры плавления и более, в то время как с обратной стороны металл не плавится и температура его несколько меньше. В результате на поверхности пластины с стороны сварного шва усадка имеет большую величину, чем с обратной стороны.

Снижение внутренних напряжений и деформаций – один из путей предупреждения трещин. Для этого необходимо уменьшить реакцию основного металла на разогреваемые до высоких температур шов и зону термического влияния. Следует уменьшить геометрическую жесткость свариваемых заготовок, исключить их закрепление при сварке, а также применить предварительный подогрев для выравнивания температур по объему заготовки. Сварочные напряжения снимаются также немедленным после сварки высоким отпуском. В тоже время методы снижения внутренних деформаций и напряжений (кроме отпуска) приводят к увеличению внешних деформаций сварной заготовки. Для устранения последних, наоборот, необходимо увеличение жесткости заготовок (постановка ребер, мембран и т. п.) или закрепление их при сварке. Выбор условий сварки определяется тем, что в данном случае опасней – трещины или коробление заготовки.

### **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Перечень возможных видов деформации пластин при сварке встык с описанием условий, при которых эти деформации достигают заметных величин.
3. Описание порядка выполнения работы (экспериментального определения усадочной силы, расчета продольной усадки заданной детали, измерения всех видов деформации образца).
4. Прогноз вероятности различных видов деформации детали с изображением их на эскизе детали (деформации показать штриховыми линиями).

### **Контрольные вопросы**

1. Виды деформаций, возникающих в результате сварки.
2. Механизм образования остаточных деформаций и напряжений.
3. Факторы, влияющие на величину усадочной силы.
4. Условия, при которых наблюдается коробление, изгиб и угловая деформация.
5. Влияние остаточных напряжений на несущую способность сварных деталей.
6. Влияние временных напряжений на качество сварных швов и остаточных напряжений на работоспособность.
7. Какие мероприятия применяются для уменьшения сварочных напряжений и деформаций?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов / под общ. ред. А.М.Дальского. – Москва: Машиностроение, 1985. - 448 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя / Косилова А.Г. [и др.] ; под ред А.Г.Косиловой. - 1 том, 1986. - 655 с., 2 том, 1985. - 495 с.
3. Федин А.П. Сварка, наплавка и резка металла.- Мн.: Высш. школа,1972.

