

## Памятка

Уважаемые студенты! Вам необходимо:

1. Внимательно прочитайте данную практическую;
2. Выполнить все требования;
3. ответить на контрольные вопросы письменно в рабочей тетради.
4. Выполненную работу - прислать фото отчет на электронную почту преподавателю, (с 22.05.2023 по 23.05.2023).
5. В дальнейшем по окончанию семестра принести для проверки.

**С уважением Андрощук Ольга Владимировна**, по вопросам к заданию, обращаться по номеру тел. +380721273299 или по электронной почте e-mail: [Olga8122@yandex.ru](mailto:Olga8122@yandex.ru)

### Практическая работа

**Тема:** Способ устранения деформаций, выполненных электросваркой на автоматических и полуавтоматических машинах

**Цель работы:** Приобрести практические навыки при изучении материала "Устранение деформаций сварки"

#### Ход выполнения работы:

1. Ознакомление с теоретическими сведениями
2. Начертить схемы изменение механических свойств стали от температуры и нагрузки
3. Начертить рисунки напряжений и деформаций при наплавке валика на кромку полосы
4. Начертить рисунки деформаций и напряжений, вызванных неправильной сваркой
5. Начертить рисунки чередования швов
6. Начертить рисунки предварительного обратного выгиба для предупреждения угловой деформации
7. Начертить рисунки механических исправлений деформаций
8. Начертить рисунки термических исправлений деформаций

#### Теоретические сведения

##### Напряжения и деформации при сварке

Нагрев и плавление металла при сварке создают внутренние напряжения в металле и его деформацию, вызываемые следующими причинами:

- неравномерным нагревом и распределением температур по сечению и длине сварного соединения;
- литейной усадкой наплавленного металла;
- структурными изменениями металла при охлаждении.

Эти сварочные напряжения и деформации являются собственными или остаточными напряжениями и деформациями металла, так как не зависят от приложения к нему внешних сил, а появляются в результате внутренних сил, возникших от сварки.

Изменение механических свойств низкоуглеродистой стали в зависимости от нагрева и диаграмма ее зависимости от напряжений показаны на *рис. 1*. Как видно из *рис. 1, а*,  $\sigma_B$  сперва растет от нагрева, а с увеличением температуры резко падает, падает также  $\sigma_T$  и модуль упругости  $E$ , растет относительное удлинение  $\sigma$ . На *рис. 1, б* видно, что с увеличением напряжения сталь деформируется незначительно (удлиняется до 0,2 %) до предела упругости  $\sigma_B$ . При нагрузке до предела упругости сталь деформируется упруго и со снятием нагрузки восстанавливает прежние размеры и форму. Если же нагрузка будет незначительно увеличена за предел текучести  $\sigma_T$ , сталь будет удлиняться даже без увеличения нагрузки до 2 %, и эта деформация от 0,2 до 2 % будет уже не упругой, а пластической и останется при снятии нагрузки. При дальнейшем увеличении нагрузки пластическая деформация стали будет возрастать вплоть до временного сопротивления  $\sigma_B$ , после чего сталь разрушится. Деформацию стали от 0,2 до 2,0 % называют площадкой текучести.

Из приведенных графиков видно, какое большое значение для работы сварного соединения имеют неравномерная температура нагрева при сварке и возникающие при этом нагрузки. Нагрев стали при сварке резко снижает предел текучести, увеличивает удлинение, что вызывает необратимые пластические деформации и, как следствие, растягивающие и сжимающие напряжения в сварном соединении. Процесс этот идет непрерывно до окончания сварки соединения. На *рис. 2* показаны характер деформаций стального листа при нагревании и охлаждении в процессе сварки и возникающие при этом продольные напряжения параллельно оси шва. При небольшой толщине стали 3—5 мм это сопровождается короблением листа, а при большей толщине коробление из плоскости постепенно уменьшается, но продольная (укорочение) шва и прилегающего металла остается. Наряду с продольными деформациями и напряжениями возникают поперечные, вызывающие поперечное укорочение деталей и угловую деформацию.

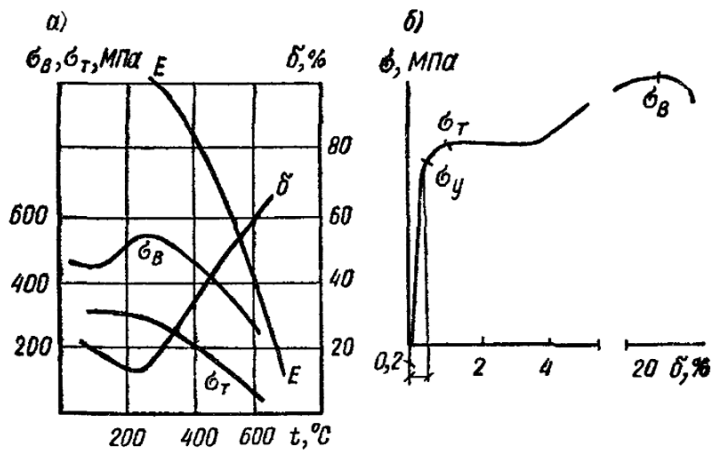


Рис. 1. Изменение механических свойств стали от температуры (а), от нагрузки (б).

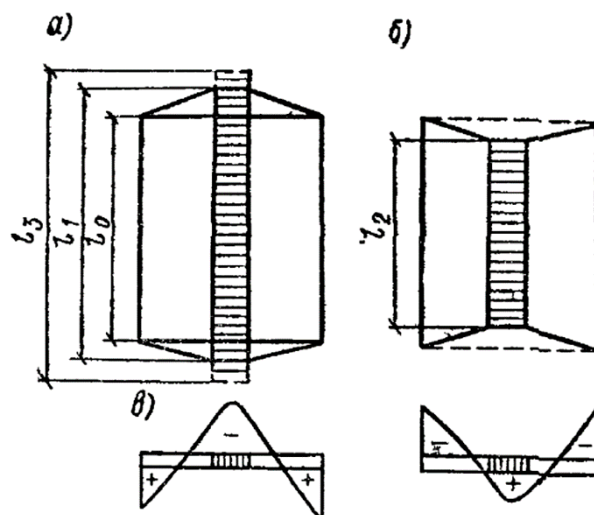


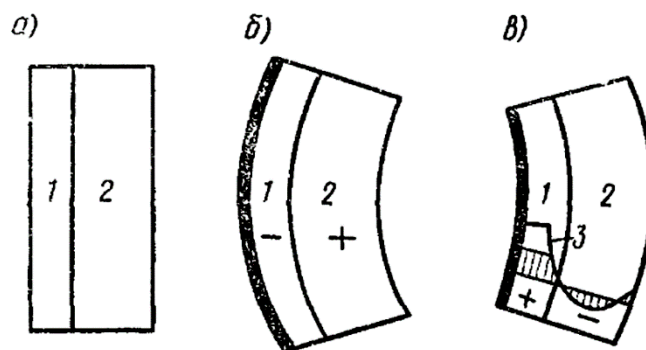
Рис. 2. Характер деформации стального листа при сварке стыкового шва: а — удлинение  $l_3$ , вызванное нагревом при сварке; б — укорочение  $l_2$  после остывания; в — эпюры напряжений при сварке и после охлаждения;  $l_0$  — первоначальный размер листа;  $l_3$  — размер после нагрева.

Возникновению остаточных напряжений и деформаций способствует термическая усадка — уменьшение объема металла шва при его остывании и затвердевании. Усадка измеряется в процентах первоначального объема или линейных размеров: для низкоуглеродистой стали она составляет **2%**; для алюминия **1,8%**.

Значительную роль в образовании напряжений в металле играют структурные превращения, происходящие при нагреве и затем при остывании металла шва и околошовной зоны. Эти превращения у низкоуглеродистой стали происходят при температуре *выше*  $600^\circ\text{C}$ , т.е. выше

температуры предела упругости. Вследствие этого они не сопровождаются образованием напряжений, так как металл находится в пластическом состоянии и при изменении объема пластически деформируется. Возникновение напряжений при охлаждении наблюдается у легированных закаливающихся сталей, ввиду того что распад аустенита с образованием закалочных структур (мартенсита) у них происходит при более низких температурах ( $200—350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), когда металл находится в упругом состоянии. Превращение в мартенсит сопровождается увеличением объема; прилегающий к нему металл будет испытывать растягивающие напряжения, а участки со структурой мартенсита — сжимающие. Если сталь недостаточно пластична, в приграничных между этими участками районах могут образовываться трещины, и для предупреждения их появления потребуются дополнительные технологические меры.

Напряжения и деформации, возникающие от нагрева и остывания стального листа, наглядно можно показать при наплавке с большой скоростью валика на кромку полосы (*рис. 3*). На *рис. 3, б* видно, как деформировалась полоса непосредственно после наплавки валика еще до его остывания. Под влиянием тепла дуги и наплавки валика кромка удлинилась вместе с прилегающим металлом и заставила удлиниться и изогнуться остальную часть полосы 2, что вызвало в ней напряжения растяжения, а в полосе 1 напряжения сжатия. Эти напряжения вызовут в полосе 1 пластические деформации — после остывания она станет толше и короче первоначальных размеров. Пластические деформации в полосе 1 неизбежны, так как температура ее нагрева более  $600^{\circ}\text{C}$ , следовательно выше предела текучести. По мере охлаждения полосы 1 и валика полоса будет сокращаться, и ей в этом будет препятствовать полоса 2. В результате в полосе 2 возникнут напряжения сжатия, а в полосе 1 напряжения растяжения. На эпюре напряжений они заштрихованы. Незаштрихованная часть эпюры характеризует деформацию полосы 1 в пластическом состоянии. Общий вид полосы с наплавленным валиком на кромке показывает остаточные напряжения и деформации, вызванные сваркой. Напряжения в ней уравновешены, сумма напряжений растяжений (-) и сжатий (+) равна нулю.

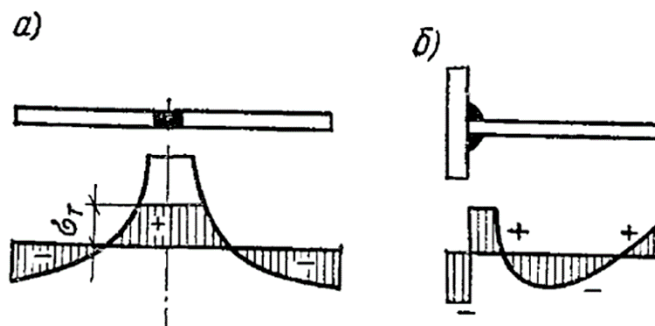


**Рис. 3. Напряжение и деформации при наплавке валика на кромку полосы: а — полоса;**

*б* - полоса после наплавки валика до остывания; *в* - полоса после остывания с эпюрой напряжений;

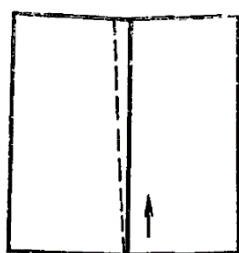
*1* - часть полосы нагретая до температуры более 600; *2* - остальная часть полосы;

*3* - характер остаточных пластических деформации.

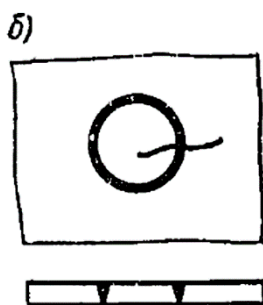
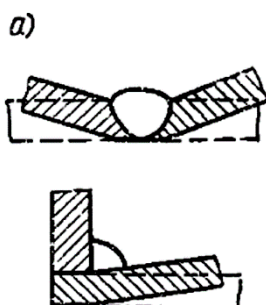


**Рис. 4. Остаточные продольные напряжения при сварке двух полос (а), при сварке тавра (б).**

Приведенный пример образования деформаций и напряжений при наплавке валика на кромку полосы характерен и для других конструкций. Если соединить две полосы стыковым швом (*рис. 4, а*), то в каждой полосе характер напряжений от сварки будет с некоторым допущением такой же, как при наплавке на ее кромку валика (*рис. 3, в*). Общая эпюра напряжений, приведенная на *рис. 4, а*, показывает, что в шве и прилегающем металле будут напряжения растяжения, равные пределу текучести, и пластические деформации растяжений, а в основном металле полос, не подвергавшемся нагреву выше 600 °С (температуры предела текучести) — только напряжения сжатия. Распределение напряжений зависит от ширины полос.



**Рис. 5. Деформация стыка: из-за неправильной сварки на проход.**



**Рис. 6. Деформации и напряжения, вызванные неправильной сваркой:**  
*а* - угловые деформации;  
*б* — трещина в замкнутом контуре сварки.

Деформации и напряжения при сварке тавра (*рис. 4,б*) по своему характеру похожи на деформации и напряжения при наплавке валика на кромку полосы. Однако, так же, как у стыковых соединений, они зависят от толщины и размеров соединяемых элементов, от последовательности и режимов сварки, качества металла и других причин. На эпюре показаны продольные напряжения в тавровом соединении, вызвавшие его изгиб. Неправильная последовательность сварки также может вызвать непоправимые деформации (*рис. 5*). В результате сварки на проход свариваемые кромки сомкнулись и даже перекрыли одна другую. Большие угловые деформации могут быть вызваны поперечной усадкой стыкового или углового шва (*рис. 6, а*). Жесткое закрепление свариваемых деталей и образование замкнутого контура является причиной трещин в шве и зоне термического влияния (*рис. 6,б*). При сварке листовых конструкций, например резервуаров с плоскими днищами, большим дефектом являются «хлопуны» — местные вогнутые и или выпуклости, достигающие иногда значительных размеров. Они появляются вследствие неправильной последовательности сварки швов, слишком большого тепловложения (чрезмерной погонной энергии) и могут быть причиной разрушения конструкции.

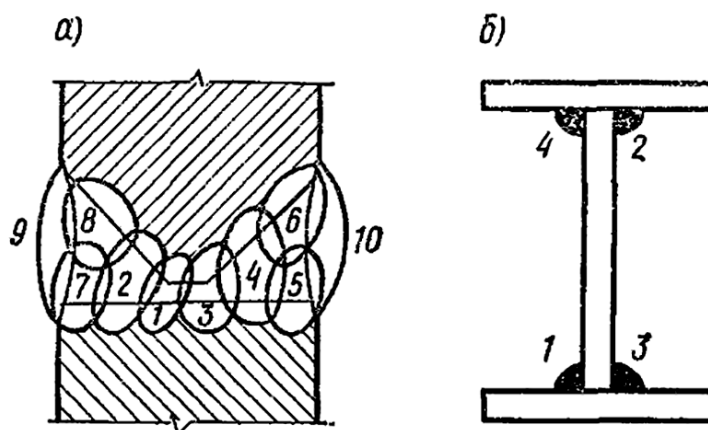
### **Меры борьбы с деформациями и напряжениями**

Для борьбы с остаточными деформациями и напряжениями следует соблюдать следующие правила.

При сборке конструкций применять по возможности сборочные приспособления (стяжные планки, клинья и т.п.), обеспечивающие свободное перемещение свариваемых конструкций от усадки швов. Прихватки можно применять только для стыков деталей из тонкого металла (3—5 мм) и в нахлесточных соединениях. Следует строго соблюдать размеры притуплений, зазоров и соосность элементов.

Выполнять необходимую последовательность сварки швов; чередование слоев двухстороннего шва (*рис. 7,а*); чередование сварки поясных швов балок (*рис. 7,б*); строго выполнять последовательность и порядок сварки швов, указанные в типовой технологии или проекте производства сварочных работ.

Не допускать превышения величины тепловложения в шов (увеличения силы сварочного тока по сравнению с рекомендуемой для электродов применяемого типа и диаметра).



**Рис. 7. Чередование швов: а — при сварке двустороннего шва; б - при сварке поясных швов балки; 1-10- последовательность швов.**

Использовать жесткое закрепление деталей перед сваркой для уменьшения их деформаций (если это предусмотрено технологической запиской или инструкцией) с помощью прихваток или приспособлений; использовать вибрацию конструкций в процессе сварки для уменьшения деформаций и напряжений.

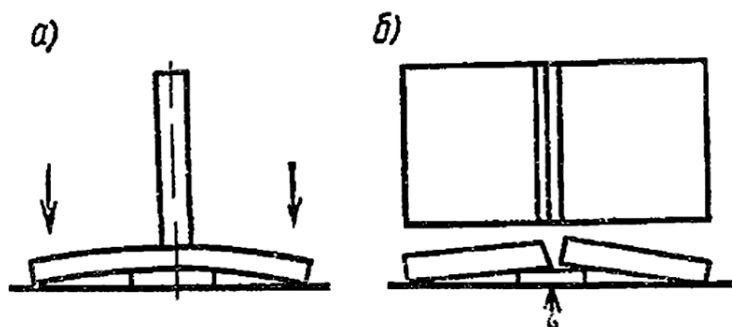
При сварке пластических сталей и металлов использовать проковку слоев шва непосредственно за сваркой (если это предусмотрено технологической запиской).

Использовать предварительный обратный выгиб листовых деталей (стенок и полок балок, листов корпуса резервуаров и др.) для предупреждения угловой деформации (*рис. 8*).

При сварке листовых резервуарных конструкций (днищ и корпусов) сперва сваривать стыки между листами, а потом стыки между полосами или поясами, при обратном порядке не исключены появление трещин в местах пересечений швов, а также увеличение коробления конструкций.

В необходимых случаях применять предварительный и сопутствующий подогревы.

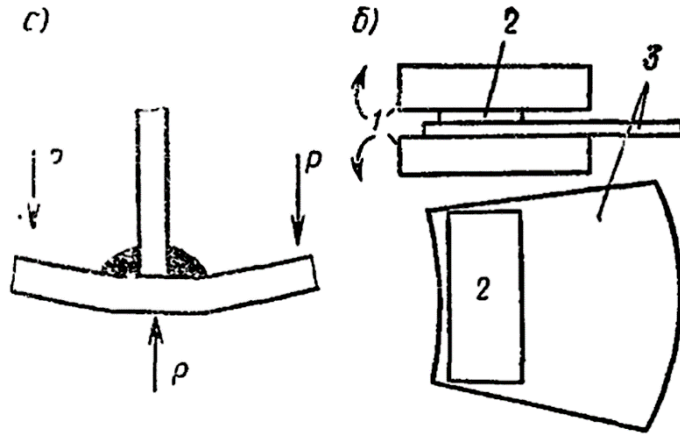
Применять в необходимых случаях общую или местную термическую обработку сварных соединений.



**Рис. 8. Предварительный обратный выгиб для предупреждения угловой деформации:**

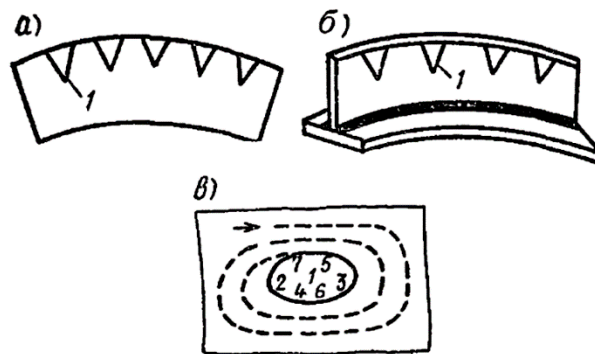
**а — полка балок, б — листов резервуара.**

Правка деформированных после сварки конструкций широко применяется на заводах и мастерских при недопустимом искажении формы и размеров конструкций. Различают три метода правки: механическую, термическую и термомеханическую. Механическая правка основана на образовании пластических удлинений в зоне сварных соединений, вследствие чего устраняются деформации.



**Рис. 9. Механическое исправление деформации: а — грибовидности балки; б — серповидности листа; 1 — валки вальцов; 2 — подкладной лист; 3 — исправляемый лист; P — усилие.**

Примерами механической правки могут быть: устранение «грибовидности» сварных балок, образовавшейся после сварки поясных швов (рис. 9, а), путем изгиба полок специальным приспособлением; устранение серповидного изгиба листа после термической резки одной его кромки, что вызвало деформацию, путем прокатки листа на вальцах с подкладкой полосы на поверхность листа для пластической деформации укороченной после резки зоны (рис. 9, б). Может быть много примеров механической правки с использованием проковки, осадки под прессом, изгиба и т. п. с целью вызвать деформации, противоположные сварочным.



**Рис. 10. Термическое исправление деформации: а — серповидность листа; б — изгиба сварного тавра; в — хлопуна**



Термическую правку производят путем местного нагрева тех зон, усадка которых устраняет остаточные сварочные деформации. Таким образом может быть устранена серповидность листа (*рис. 10, а*) или остаточная деформация изгиба сварного тавра (*рис. 10,б*).

Иногда применяют комбинированный термомеханический метод для ликвидации выпучины («хлопуна») в тонколистовой стали (*рис. 10, в*). Для этого нагревают до температуры **700—800 °С** по окружности эту выпучину, а затем простукивают ее равномерно деревянным молотком, подложив с другой стороны плиту или какую-нибудь другую поддержку, что облегчит пластическую деформацию металла и устранение выпучины.