

Министерство образования и науки Самарской области
государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Самарской области «Профессиональное училище с. Домашка»

ДИСЦИПЛИНА: МДК 01.02 Технология производства сварных конструкций

Профессия 15.01.05. Сварщик(ручной и частично механизированной сварки (наплавки))

Преподаватель Шудров Сергей Александрович ru43domashka@mail.ru

Курс 1 группа 15

Тема: Последовательность наложения сварных швов для уменьшения сварочных деформаций

Цель: Изучение деформации и напряжения сварки.

Деформации и напряжения при сварке

Процесс, при котором в результате воздействия силы форма и размер твердого тела изменяют свою форму, называется деформацией. Различаются следующие ее виды:

– упругая, при которой тело восстанавливает исходную форму, как только действие силы прекращается. Такая деформация, как правило, бывает незначительной, например для низкоуглеродистых сталей она составляет не более 0,2 %.

– остаточная (пластическая), возникающая в том случае, если тело после устранения воздействия не возвращается в первоначальное состояние. Этот вид деформации характерен для пластичных тел, а также отмечается при приложении к телу очень значительной силы. Для пластической деформации нагретого металла, в отличие от холодного, требуется меньше нагрузки.

Степень деформации зависит от величины приложенной силы, т. е. между ними прослеживается прямо пропорциональная зависимость: чем больше сила, тем сильнее деформация.

Силы, которые действуют на изделие, делятся на:

– внешние, к которым относятся собственно вес изделия, давление газа на стенки сосуда и пр. Такие нагрузки могут быть статическими (не изменяющимися по величине и направлению), динамическими (переменными) или ударными;

– внутренние, возникающие в результате изменения структуры металла, которое возможно под воздействием внешней нагрузки или, например, сварки и др. Рассчитывая прочность изделия, внутреннюю силу обычно называют усилием.

Величину усилия характеризует и напряжение, которое возникает в теле в результате этого усилия. Таким образом, между напряжением и деформацией имеется тесная связь.

Относительно сечения металла действующие на него силы могут иметь разное направление. В соответствии с этим возникает напряжение растяжения, сжатия, кручения, среза или изгиба (рис. 3).

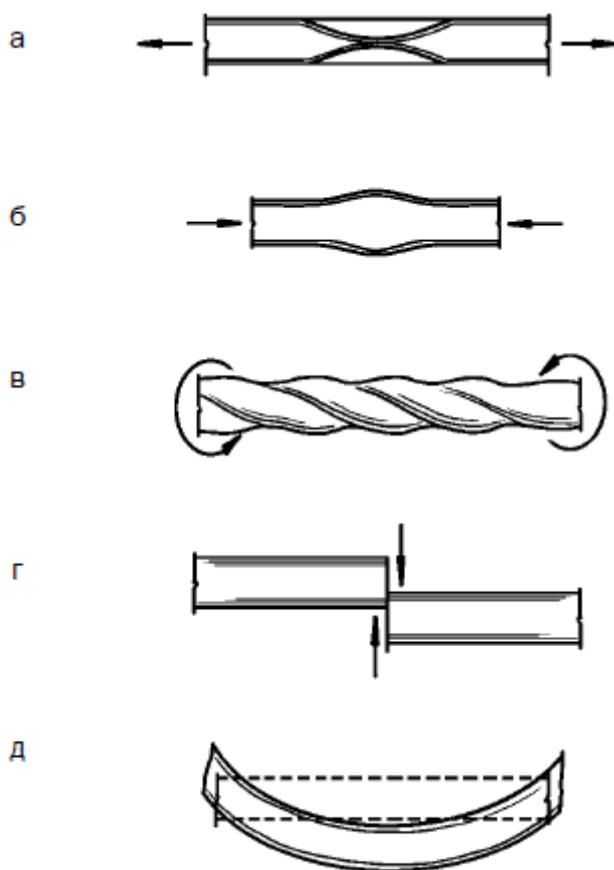


Рис. 3. Виды напряжения, изменяющие форму металла и сплава (стрелки указывают направление уравнивающих сил): а – растяжение; б – сжатие; в – кручение; г – срез; д – изгиб

Появление деформации в сварных конструкциях объясняется возникновением внутренних напряжений, причины которых могут быть разными и подразделяются на две группы.

К первой относятся неизбежные причины, которые обязательно возникают в ходе обработки изделия. При сварке это:

1. Кристаллизационная усадка наплавленного металла. Когда он переходит из жидкого состояния в твердое, его плотность возрастает, поэтому изменяется и его объем (это и называется усадкой), например уменьшение объема олова в таком случае может достигать 26 %. Данный процесс сопровождается растягивающими напряжениями, которые развиваются в соседних участках и

влекут за собой соответствующие им напряжения и деформации. Усадка измеряется в процентах от первоначального линейного размера, а каждый металл или сплав имеет собственные показатели (табл. 1).

Таблица 1. ЛИНЕЙНАЯ УСАДКА НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Металл	Линейная усадка
Алюминий	1,7–1,8%
Бронза	1,45–1,6%
Латунь	2,06%
Медь	2,1%
Сталь (низкоуглеродистая)	2%
Чугун (серый литейный)	0,7–0,8%

Напряжения, причиной которых является усадка, увеличиваются до тех пор, пока не наступает момент перехода упругих деформаций в пластические. При низкой пластичности металла на наиболее слабом участке может образоваться трещина. Чаще всего таким местом бывает околошовная зона.

При сварке наблюдаются два вида усадки, которые вызывают соответствующие деформации:

а) продольная (рис. 4), которая приводит к уменьшению длины листов при выполнении продольных швов. При несовпадении центров тяжести поперечного сечения шва и сечения свариваемой детали усадка вызывает ее коробление;

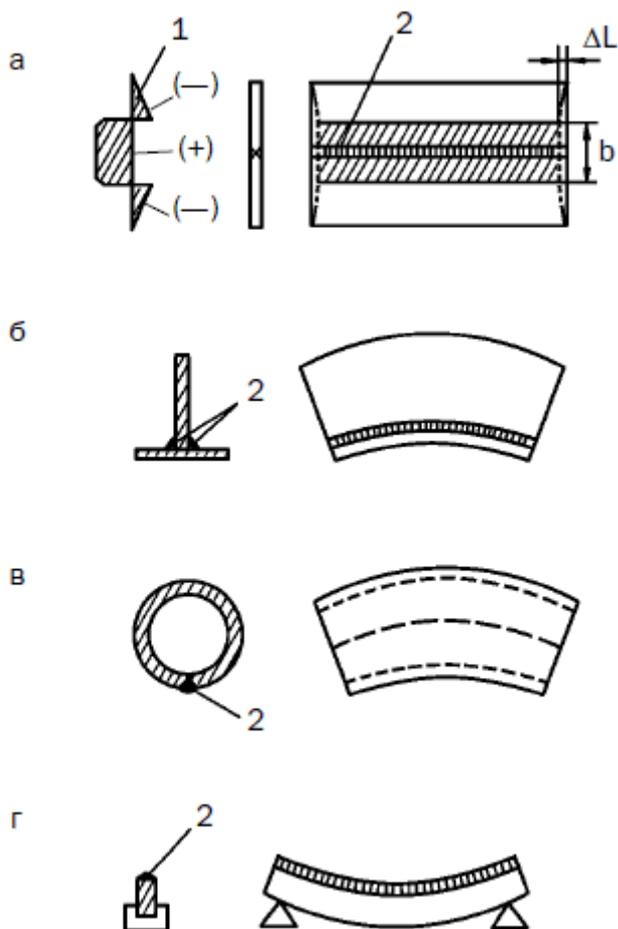


Рис. 4. Продольная усадка и деформации при различном расположении шва по отношению к центру тяжести сечения элемента: а – при симметричном; б, в – при несимметричном; 1 – график напряжений; 2 – шов; ΔL – деформация; b – ширина зоны нагрева; $-$ – напряжение сжатия; $+$ – напряжение растяжения; г – при несимметричном; 2 – шов

б) поперечная (рис. 5), следствием которой всегда является коробление листов в сторону более значительного объема наплавленного металла, т. е. листы коробятся вверх, в направлении утолщения шва. Фиксация детали воспрепятствует деформации от усадки, но станет причиной возникновения напряжений в закрепленных участках.

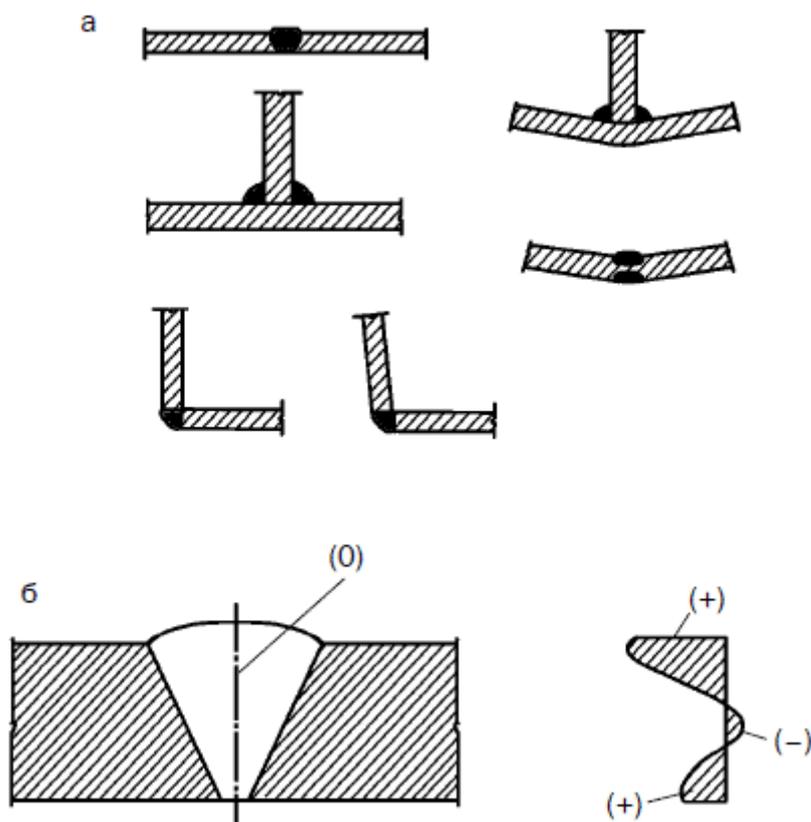


Рис. 5. Поперечная усадка и деформации: а – деформации до и после сварки; б – график распределения напряжения (О – центр тяжести поперечного сечения шва; напряжение сжатия; + – напряжение растяжения)

Величина деформаций при сварке зависит, во-первых, от размера зоны нагрева: чем больший объем металла подвергается нагреванию, тем значительнее деформации. Следует отметить, что для различных видов сварки характерны разные по размеру зоны нагрева и деформации, в частности при газовой сварке кислородно-ацетиленовым пламенем она больше, чем при дуговой сварке.

Во-вторых, имеют значение размер и положение сварного шва. Величина деформации тем существеннее, чем длиннее шов и больше его сечение, определенную роль играют также несимметричность шва и главной оси сечения свариваемого изделия.

В-третьих, если деталь сложна по своей форме, то швов на ней бывает больше, поэтому можно предположить, что напряжения и деформация обязательно проявятся.

2. Неравномерный нагрев свариваемых частей или деталей. Как известно, при нагревании тела расширяются, а при охлаждении – сужаются. При сварке используется сосредоточенный источник тепла, например сварочная дуга или сварочное пламя, который с определенной скоростью перемещается вдоль шва

и поэтому неравномерно нагревает его. Если свободному расширению или сокращению мешают какие-либо препятствия, то в изделии развиваются внутренние напряжения. Более холодные соседние участки и становятся такой помехой, поскольку их расширение выражено в меньшей степени, чем у нагретых участков. Поскольку термические напряжения, ставшие следствием неравномерного нагревания, развиваются без внешнего воздействия, то они называются внутренними, или собственными. Наиболее важными являются те из них, которые возникают при охлаждении изделия, причем напряжения, действующие вдоль шва, менее опасны, поскольку не меняют прочности сварного соединения, в отличие от напряжений, перпендикулярных шву, которые приводят к образованию трещин в околошовной зоне;

3. Структурные трансформации, которые развиваются в околошовной зоне или металле шва. В процессе нагревания и охлаждения металла размер и расположение зерен относительно друг друга изменяются, что отражается на объеме металла и становится причиной возникновения внутренних напряжений со всеми вытекающими последствиями, представленными в первом пункте. В наибольшей степени этому подвержены легированные и высокоуглеродистые стали, предрасположенные к закалке; низкоуглеродистые – в меньшей. В последнем случае при изготовлении сварных конструкций это явление может не приниматься в расчет.

Вторую группу составляют сопутствующие причины, которые можно предупредить или устранить. К ним относятся:

- ошибочные конструктивные решения сварных швов, например небольшое расстояние между соседними швами, слишком частое пересечение сварных швов, ошибки в выборе типа соединения и др.;
- несоблюдение техники и технологии сварки, в частности плохая подготовка кромок металла, нарушение режима сварки, использование несоответствующего электрода и др.;
- низкая квалификация исполнителя.

Величина деформаций при сварке во многом определяется теплопроводностью металла. Между ними существует прямо пропорциональная зависимость: чем выше теплопроводность, тем более равномерно распространяется поток тепла по сечению металла, тем менее значительными будут деформации. Например, при сварке нержавеющей стали

как менее теплопроводной возникают большие деформации, чем при сварке низкоуглеродистых сталей.

Напряжения и деформации, которые имеют место исключительно в ходе сварки, а по ее окончании исчезают, называются временными; а если они сохраняются после охлаждения шва – остаточными. Практическое значение последних особенно велико, поскольку они могут сказываться на работе детали, изделия, всей конструкции. Если деформации носят локальный характер (например, на отдельных участках появляются выпучины, волнистость и др.), то они называются местными; если в результате деформации терпят изменения геометрические оси и размеры изделия или конструкции в целом – общими.

Кроме того, деформации могут возникать как в плоскости изделия, так и вне ее (рис. 6).

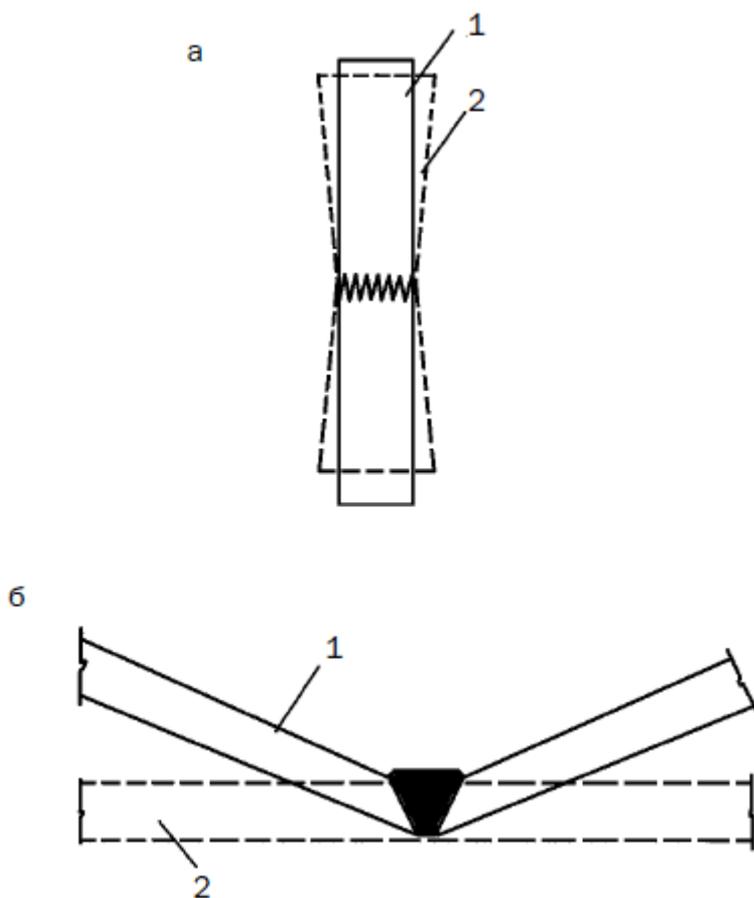


Рис. 6. Некоторые виды деформации: а – в плоскости сварного соединения; б – вне плоскости сварного соединения; 1 – форма изделия до сварки; 2 – форма изделия после сварки

Для уменьшения деформаций и напряжений при сварке придерживаются следующих конструктивных и технологических рекомендаций:

1. При подборе материала для сварных конструкций руководствуются правилом: использовать такие марки основного металла и электродов, которые либо не имеют склонности к закалке, либо подвержены ей в наименьшей степени и способны давать пластичный металл шва.
2. Избегают закладывать в конструкциях (особенно в ответственных), тем более рассчитанных на работу при ударах или вибрации, многочисленные сварные швы и их пересечения, а также использовать короткие швы замкнутого контура, поскольку в этих зонах, как правило, концентрируются собственные напряжения. Чтобы снизить тепловложения в изделие или конструкцию, оптимальная длина катетов швов должна быть не более 16 мм.
3. Стараются симметрично располагать ребра жесткости в конструкциях и сводят их количество к минимуму. Симметричность необходима и при расположении сварных швов, так как это уравнивает возникающие деформации (рис. 7), т. е. последующий слой должен вызывать деформации, противоположные тем, которые развились в предыдущем слое.

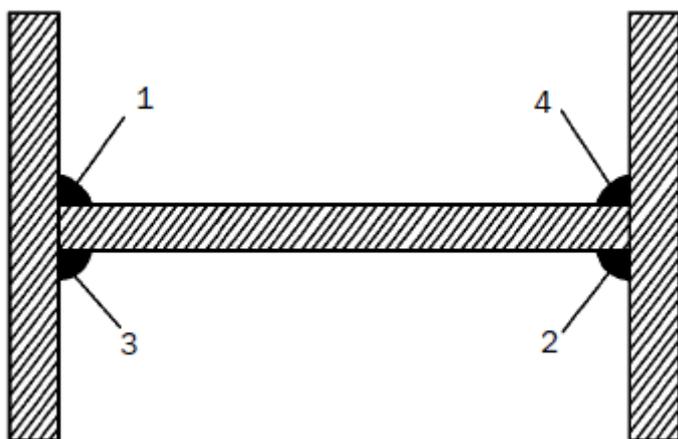


Рис. 7. Последовательность наложения сварных швов для уравнивания деформаций

Эффективен и способ обратных деформаций (рис. 8). Перед сваркой в конструкции (как правило, швы в ней должны располагаться с одной стороны относительно оси либо на различных расстояниях от нее) вызывают деформацию, обратную той, что возникнет в ней при сварке.

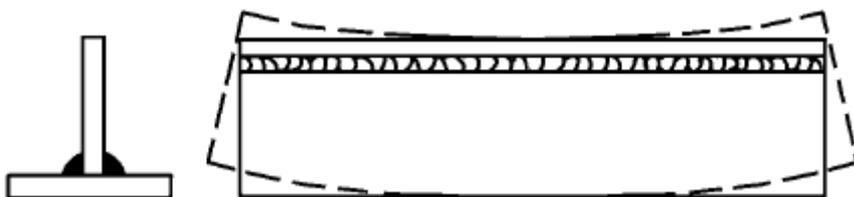


Рис. 8. Сваривание гнутых профилей как пример применения обратной деформации

4. Ограничивают применение таких способов соединения, как косынки, накладки и др.
5. По возможности отдают предпочтение стыковым швам, для которых концентрация напряжений не столь характерна.
6. Предполагают минимальные зазоры на разных участках сварки.
7. В сопряжениях деталей предусматривают возможность свободной усадки металла шва при охлаждении в отсутствие жестких заделок.
8. Практикуют изготовление конструкций по секциям, чтобы потом сваривать готовые узлы. Если последние имеют сложную конфигурацию, то заготавливают литые и штампованные детали, чтобы снизить неблагоприятное воздействие жестких связей, которые дают сварные швы.
9. Выбирают технологически обоснованную последовательность (рис. 9) выполнения сварных швов, при которой допускается свободная деформация свариваемых деталей. Если, например, требуется соединить листы, то в первую очередь выполняют поперечные швы, в результате чего получают полосы, которые потом сваривают продольными швами. Такая очередность исключает жесткую фиксацию соединяемых частей листов и позволяет им свободно деформироваться при сварке.

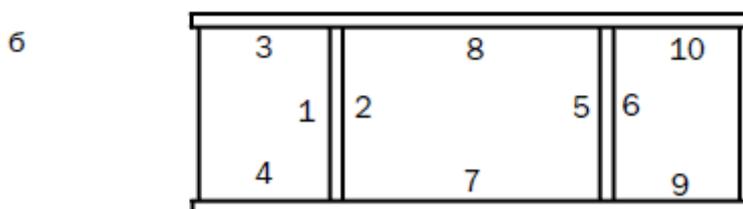
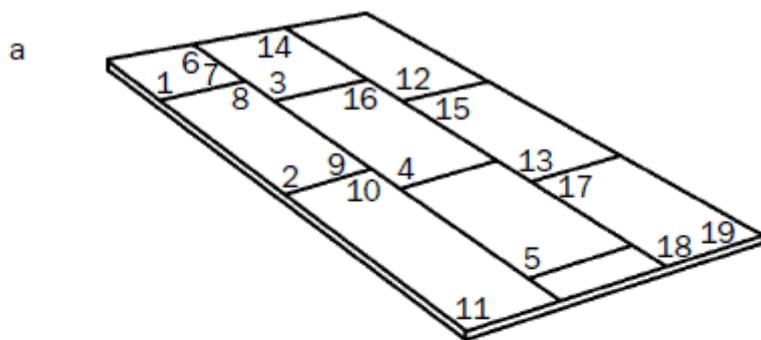


Рис. 9. Оптимальная последовательность выполнения сварных швов при сварке листов: а – настила; б – двутавровой балки

Направление ведения сварного шва также имеет значение. Если вести его на проход либо от центра к концам, то в середине шва разовьются поперечные напряжения сжатия; если двигаться от краев к центру, то в середине шва не избежать появления поперечных напряжений растяжения, следствием которых будут трещины в околошовной зоне или самом шве (рис. 10).

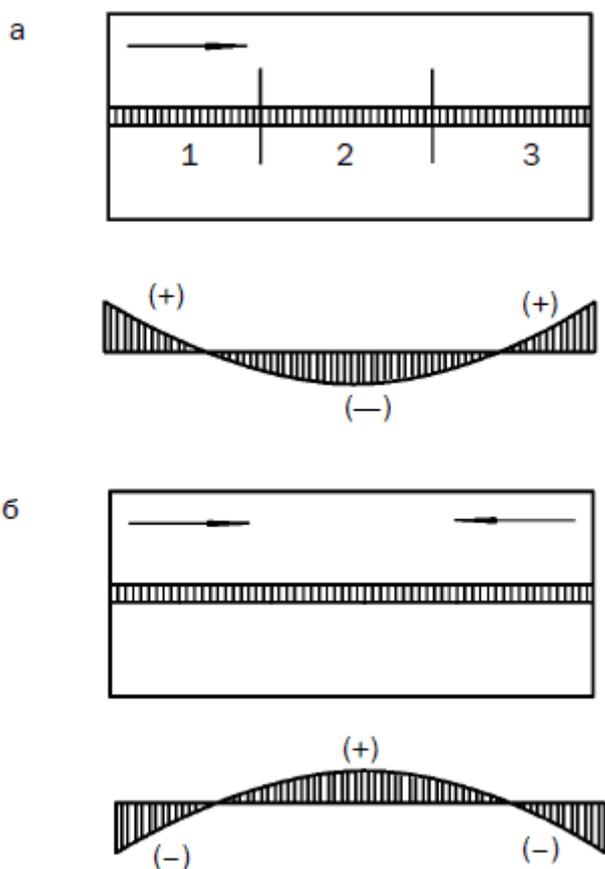


Рис. 10. Напряжение в продольном сечении шва при сварке (– – напряжение сжатия; + – напряжение растяжения): а – на проход; б – от концов к центру

10. При соединении частей из металла значительной толщины (более 20–25 мм) применяют многослойную дуговую сварку, выполняя швы горкой или каскадом (рис. 11). Шов горкой накладывается следующим образом: первый слой имеет длину примерно 200–300 мм, второй длиннее первого в 2 раза, третий длиннее второго на 200–300 мм и т. д. Достигнув «горки», сварку продолжают в обе стороны от нее короткими валиками. Такой способ способствует поддержанию участка сварки в нагретом состоянии. В результате тепло распространяется по металлу более равномерно, что снижает напряжения.

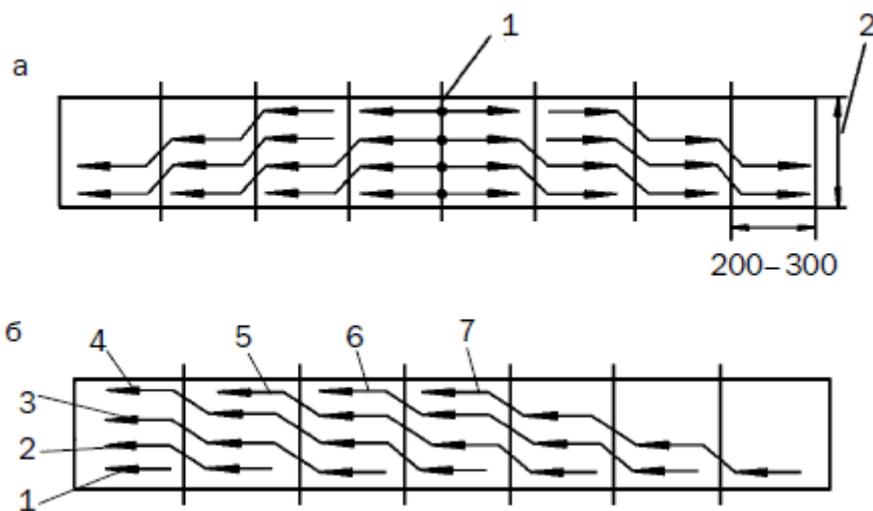


Рис. 11. Очередность наложения швов при многослойной дуговой сварке (размеры указаны в миллиметрах): а – горкой; 1 – ось «горки»; 2 – толщина металла; б – каскадом

11. Помогает снизить коробление швов соединяемых конструкций и деталей выполнение швов в обратноступенчатом порядке (рис. 12). Для этого протяженные швы делят на части длиной 150–200 мм и сваривают их, ведя каждый последующий слой в направлении, обратном предыдущему слою, причем стыки следует размещать вразбежку. Причина таких действий заключается в том, что деформации в соседних участках будут противоположно направленными по отношению друг к другу и равномерными, поскольку металл будет прогреваться равномерно.

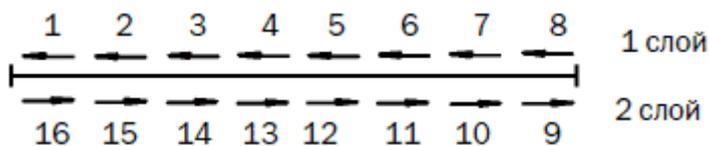


Рис. 12. Последовательность наложения обратнo поступательного шва

12. Рассчитывают адекватный тепловой режим сварки. Если при работе есть возможность перемещать изделие (деталь) или если основной металл предрасположен к закалке, тогда используют более сильный тепловой режим, благодаря чему объем разогреваемого материала возрастает, а сам он остывает медленнее. В определенных ситуациях (если сварка проводится при пониженной температуре воздуха, металл имеет большую толщину или является сталью, склонной к закалке, и др.) помогают предварительный или сопровождающий подогрев либо околошовной зоны, либо всего изделия. Температура, до которой следует довести металл, зависит от его свойств и составляет 300–400 °С для бронзы, 250–270 °С для алюминия, 500–600 °С для стали, 700–800 °С для чугуна и т. д.

Если сваривают жестко зафиксированные детали или конструкции, тогда применяют менее интенсивный тепловой режим и варят электродами, способными давать пластичный металл шва.

13. Осуществляют отжиг и нормализацию изделия или конструкции после окончания сварки (последнее полностью ликвидирует напряжения). При отжиге температуру стального изделия доводят до 820–930 °С, выдерживают (общее время составляет примерно 30 минут, длительная выдержка нежелательна, поскольку приводит к росту зерен) и постепенно охлаждают (на 50–75 °С в час), доводя температуру до 300 °С. Это дает ряд преимуществ: во-первых, шов приобретает мелкозернистую структуру с улучшенным сцеплением зерен, благодаря которой металл шва и околошовной зоны становится более пластичным, во-вторых, металл шва получается менее твердым, что имеет большое значение для последующей обработки резанием или давлением; в-третьих, это полностью снимает внутренние напряжения в изделии.

Основные отличия нормализации от полного отжига – более высокая скорость охлаждения, для чего температура, до которой нагревают изделие, на 20–30 °С превышает критическую, и то, что выдержка и охлаждение проводятся на воздухе.

14. Избегают планировать в изделиях и конструкциях сварные швы, неудобные для выполнения, например вертикальные, потолочные.

15. Обеспечивают минимальную погонную энергию, достижимую при высокой скорости сварки в сочетании с наименьшими поперечными сечениями швов.

16. Уменьшают число прихваток и их сечения.

17. Проковывают швы в холодном или горячем состоянии, что уменьшает внутренние напряжения и увеличивает прочность конструкции.

Контрольные вопросы:

1. Температурный режим при отжиге стальных изделий.
2. Разберите последовательность наложения обратно поступательного шва.
3. Что требуется для уменьшения деформаций и напряжений при сварке.