

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ

Методические указания к лабораторным работам
Части I и II

Составитель Т.Ю. Малеткина

Томск 2011

Сварочные напряжения и деформации: методические указания к лабораторным работам. Часть I и II / Сост. Т.Ю. Малеткина. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 26 с.

Рецензент доцент В.П. Першин
Редактор Е.Ю. Глотова

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине ОПД.Ф.5 «Технология конструкционных материалов» для студентов специальностей 270102, 270106, 270105, 270109, 270112, 270113, 270115 направления 270100 – «Строительство», 270201 – направления «Транспортное строительство», 190205 – направления «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы», 190601 – направления «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования», 150405 – направления «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения.

Печатаются по решению методического семинара кафедры общего материаловедения и технологии композиционных материалов № 8 от 23.11.2009.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе В. В. Дзюбо

с 01. 03. 2011
до 01. 03. 2016

Подписано в печать
Формат 60×84. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд. л. 1,31. Тираж 200 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г.Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться определять причины появления напряжений и деформаций в сварных конструкциях и правильно выбирать способы их предупреждения и устранения.

ВВЕДЕНИЕ

При сварке металлической конструкции в ней возникают внутренние напряжения и деформации. Под термином «сварочные деформации» понимаются перемещения различных точек свариваемого изделия, такие как укорочение, изгиб, поворот сечений, потеря устойчивости листовых элементов и др. (рис. 1). Таким образом, во время изготовления сварных конструкций искажаются проектные формы и размеры изделий, которые требуют для восстановления нежелательного внешнего силового воздействия (правки). В условиях эксплуатации остаточные напряжения и пластические деформации металла могут способствовать хрупкому и усталостному разрушению, уменьшению коррозионной стойкости, изменению жесткости или точности сварной конструкции. Между тем, правильное построение технологического процесса сборки и сварки, а также выбор рациональных режимов сварки, как правило, позволяют уменьшить уровень остаточных напряжений и деформаций.

Различают напряжения и деформации *временные и остаточные*. *Временные* напряжения и деформации возникают в конструкциях в момент сварки при изменении температуры. *Остаточные* напряжения и деформации остаются в сварной конструкции после окончания сварки и полного её остывания. К остаточным деформациям относятся, как правило, необратимые пластические деформации, возникающие в локальных участках напряжённой конструкции, когда величина напряжений в них превышает предел текучести материала конструкции. При этом

крайне нежелательными являются растягивающие остаточные напряжения.

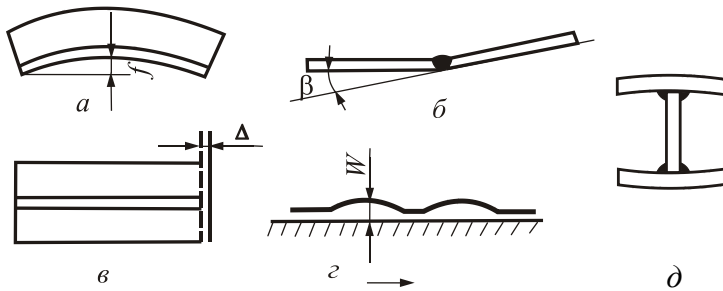


Рис. 1. Виды перемещений при деформации сварных конструкций: *a* – прогиб; *б* – угол поворота; *в* – укорочение; *г* – выход из плоскости равновесия; *д* – грибовидность полков

ЧАСТЬ I.

1. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СВАРКЕ

Основные причины возникновения внутренних напряжений и остаточных деформаций в сварных соединениях и конструкциях следующие:

1. Неравномерное нагревание металла. Все металлы при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Процессы сварки плавлением характеризуются местным нагревом металла и последующим охлаждением с образованием неравномерного температурного поля в сварном соединении. Следовательно, в свариваемой детали возникают сжимающие и (или) растягивающие термические внутренние напряжения. Их величина зависит от физических свойств металла, размеров нагретой зоны и градиента температуры. При сварке конструкции возможность её свободного перемещения в процессе нагрева и охлаждения ограничена, что увеличивает уровень термических напряжений, величина которых может значительно превышать

уровень напряжений, возникающих при нагревании свободно изменяющей размеры конструкции. При этом в процессе расширения нагреваемой жёстко закреплённой конструкции возникают сжимающие внутренние напряжения, при последующем охлаждении в процессе укорочения её возникают растягивающие напряжения. Если величина внутренних напряжений превысит предел текучести металла σ_T , в конструкции произойдет изменение формы, то есть появятся остаточные деформации.

Аналогичным образом возникают внутренние напряжения и деформации при наплавке, например, валика на кромку металлической пластины (рис. 2, а). Наплавленный валик и нагретая часть пластины будут расширяться и растягивать холодную часть, вызывая в ней деформацию растяжения с изгибом. Сам же валик и нагретая часть пластины будут сжаты, поскольку их тепловому расширению препятствует ее холодная часть. Характер распределения напряжений показан на рис. 2, б. Растягивающие напряжения принято обозначать знаком «+», а сжимающие – знаком «-».

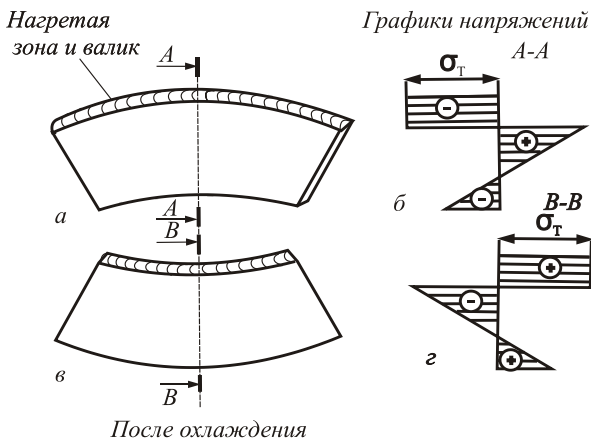


Рис. 2. Напряжения и деформации при наплавке валика на кромку полосы

В результате такого распределения напряжений пластина прогнется выпуклостью вверх. В процессе остывания наплавленный валик и нагретая часть полосы, претерпев пластическую деформацию, будут укорачиваться. Этому укорочению вновь будут препятствовать слои холодной части металла пластины. Теперь уже наплавленный металл и нагревшаяся часть пластины будут стягивать участки холодного металла. Они сожмутся, и пластина прогнется выпуклостью вниз (рис. 2, в), а остаточные напряжения в ней распределятся, как показано на рис. 2, г.

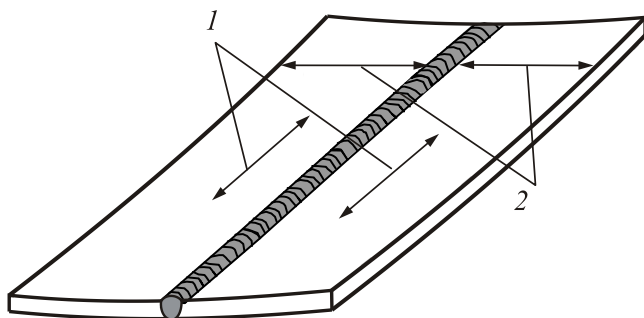


Рис. 3. Продольные (1) и поперечные (2) напряжения в сварном соединении

2. Литейная усадка наплавленного металла. При охлаждении и затвердевании жидкого металла сварочной ванны происходит его усадка, вследствие чего в основном металле, противодействующем этой усадке, возникают продольные и поперечные внутренние напряжения, вызывающие соответствующие деформации сварного соединения (рис. 3). За счет продольной усадки возникает деформация соединения в продольном направлении относительно оси шва (рис. 1, а и в), а поперечная, как правило, вызывает угловые деформации (рис. 1, б).

3. Напряжения от структурных превращений в металле. При сварке изделий из углеродистых и легированных сталей напряжения возникают при нагреве до критических температур, при которых происходят фазовые превращения с изменением

типа кристаллической решётки и образованием фазы, обладающей большим удельным объёмом и другим коэффициентом линейного расширения. Наибольшие напряжения могут возникнуть при сварке легированных сталей, склонных к закалке. В этих сталях при ускоренном охлаждении превращение структур нагрева идёт не с образованием исходной до нагрева структуры, а с формированием так называемых *закалочных* структур, обладающих большим удельным объёмом, более высокой твёрдостью, хрупкостью и пониженной пластичностью. Такие превращения сопровождаются возникновением структурных напряжений, которые в непластичных сплавах могут привести к образованию трещин. Поэтому сварочные напряжения в закалывающихся сталях более опасны. Для сварки таких материалов необходимо разрабатывать более сложный технологический процесс, регулируя условия предварительного нагрева и охлаждения после сварки.

2. СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СВАРКЕ

1. Рациональное конструирование сварных узлов

Рабочие чертежи сварных конструкций следует разрабатывать с учетом мероприятий по уменьшению сварочных напряжений и деформаций.

К таким мероприятиям относятся:

- 1) применение минимального количества швов с их минимальными размерами;
- 2) уменьшение пересекающихся швов и швов разной толщины;
- 3) избегание резких переходов сечений в сварных элементах;
- 4) минимизация объёма наплавленного металла. Например, при толщине металла более 12 мм и невозможности прова-

ра одностороннего шва следует применять двухсторонний шов с X- и К-образной разделкой кромок;

5) необходимо избегать расположения сварных швов в наиболее напряженных зонах при эксплуатации изделия;

6) добавление к номинальным размерам конструкции припуска на изменение размеров.

2. Рациональный выбор способа сборки и технологии сварки

Выбор способа сварки определяется свариваемостью материала конструкции, величиной погонной энергии сварки и режимом сварки. Режим сварки должен быть выбран таким, чтобы ширина активной зоны сварки была возможно меньше. Для этого следует повышать скорость сварки, увеличивая тепловую мощность. Для равномерного нагрева металла по толщине целесообразно повышать плотность тока, чтобы провар металла был глубоким. Глубокий провар поясных швов тавровых и стыковых соединений ведет к выравниванию поперечной усадки по толщине шва и уменьшению угловой деформации (рис. 1).

Чтобы уменьшить остаточные деформации и напряжения конструкций и изделий *при сборке* следует придерживаться следующих требований:

1) по возможности не допускать скрепления узлов и деталей прихватками, которые создают жесткое закрепление;

2) для обеспечения подвижного состояния закрепленных деталей необходимо использовать зажимы, клиновые центrovочные и другие сборочные приспособления (прил. 1). Причем характер их действия должен обеспечивать свободное перемещение деталей в их плоскости по направлению поперечной усадки и задерживать повороты деталей, т. е. препятствовать угловой деформации;

3) для уменьшения деформаций в стыковых швах можно заготовки перед сваркой располагать так, чтобы при сварке и

последующем охлаждении создать деформацию, обратную по знаку по отношению к той, которая может возникнуть при сварке (рис. 4, а).

4) Для уменьшения перегрева металла и величины термических напряжений применять предварительный подогрев всего свариваемого изделия.

При выборе технологии сварки необходимо учитывать, что величина остаточных деформаций и напряжений зависит и от порядка и способа наложения швов по длине и сечению, при этом увеличение сечения шва, как правило, способствует росту деформаций.

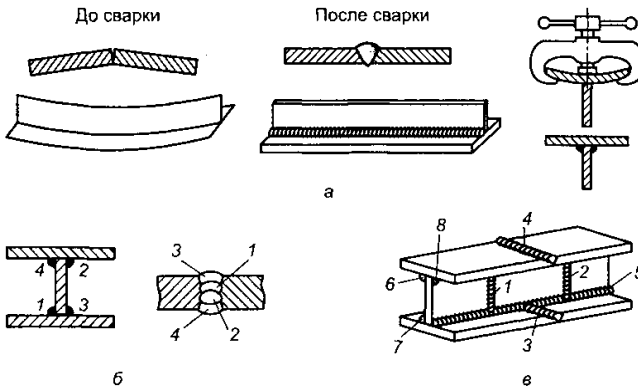


Рис. 4. Методы уменьшения сварочных напряжений и деформаций: а – сборка деталей с учетом возможных деформаций; б и в – рациональная последовательность наложения швов



Рис. 5. Сварка в поворотном стыке труб корневого шва в два поворота двумя сварщиками: 1–4 – последовательность выполнения шва

Для уменьшения остаточных деформаций и напряжений в сварных конструкциях необходимо использовать следующие приёмы:

1) устанавливать такую последовательность наложения швов, при которой происходит уравнивание напряжений и деформаций (рис. 4 и 5);

2) применять такие *способы и последовательность наложения сварных швов*, которые не приводили бы к значительному перегреву и усадке металла и уравнивали внутренние напряжения относительно центра тяжести свариваемой конструкции (рис. 6–8). Например, сварка «напроход» рекомендуется только для *коротких* швов длиной до 250 мм. Для *швов длиной более 250 мм* рекомендуются швы от середины к краям, обратноступенчатым способом либо их сочетанием. При этом сварка параллельных швов в конструкции должна осуществляться в одном направлении, а стыковые швы должны выполняться в первую очередь, а угловые – во вторую. При сварке *длинных и многослойных швов* (рис. 6) рекомендуется применение способов сварки двойным слоем, блоками, горкой либо каскадом (рис. 8). Каждый последующий валик при многослойной сварке рекомендуется выполнять в направлении, обратном предыдущему;

3) укладывать швы так, чтобы обеспечивалась возможно большая свобода перемещения свариваемых элементов в процессе сварки. Например, при сварке двутавровых балок вначале выполняют сварку стенок и полок, а затем сварку поясов угловыми швами (рис. 4, в);

4) для уменьшения деформации возможно применение проковки в процессе сварки. Проковка деформирует шов путем расплющивания остывающего слоя наплавки и в результате уменьшает действие усадки шва. Последний облицовочный слой шва проковывать не рекомендуется, чтобы не вызвать появления трещин на поверхности шва.

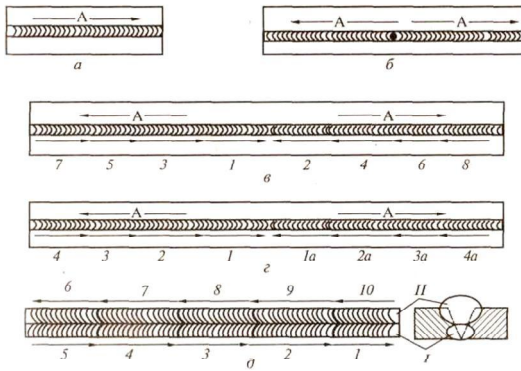


Рис. 6. Способы выполнения швов:

a – сварка «напроход»; *б* – от середины к краям; *в–д* – сварка длинных швов обратноступенчатым способом; *1–10* – порядок и направление сварки участков шва; *A* – общее направление сварки; *I, II* – слои шва

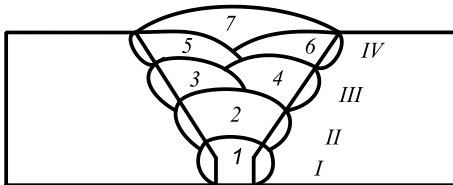


Рис. 7. Многослойный сварной шов: *1–7* – последовательность выполнения переходов; *I–IV* – слои; *1* – корневой шов; *7* – облицовочный шов

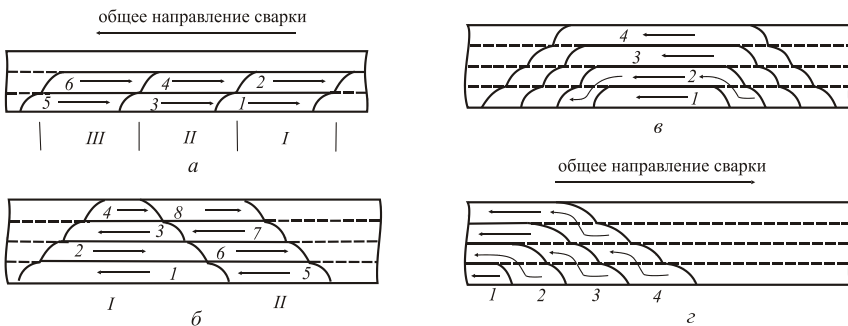


Рис. 8. Сварка металла большой толщины:

a – двойным слоем; *б* – блоками; *в* – горкой; *г* – каскадом; *I–III* – участки; *1–8* – последовательность сварки

ЧАСТЬ II.

1. СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Снижение остаточных сварочных напряжений выполняют несколькими способами:

1. Термическая обработка – отжиг

Отжиг после сварки, который иногда неправильно называют отпуском, является наиболее эффективным способом уменьшения остаточных напряжений и одновременно позволяет улучшить пластические свойства и выровнять структуру металла в различных зонах сварных соединений. Отжиг может быть общим, при котором нагревается все изделие, и местным, когда нагреву подвергают лишь часть его в зоне сварного соединения. Наиболее часто применяют отжиг при температуре нагрева 550–680 °С без зажимных приспособлений. Операция отжига выполняется в три стадии (рис. 9): *нагрев – выдержка при температуре отжига – охлаждение*. После выдержки производится естественное охлаждение на воздухе.

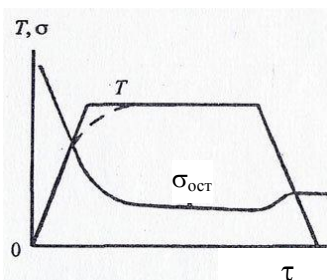


Рис. 9. Влияние температуры (T) и длительности отжига (τ) на изменение остаточных напряжений ($\sigma_{ост}$)

Отжиг целесообразен, когда изготовление сварной конструкции связано с последующей обработкой резанием, повышенными требованиями к точности, стабильности формы и геометрических размеров при эксплуатационных нагрузениях,

а также в тех случаях, когда необходимо повысить сопротивляемость хрупким разрушениям при низких температурах. Бывают случаи, когда отжиг нецелесообразен. Прежде всего это относится к конструкциям, изготовленным из разнородных материалов, когда в результате отжига снижения остаточных напряжений не происходит. Неэффективен отжиг и в тех случаях, когда жёсткость частей конструкции сильно отличается.

2. Механические способы обработки

Для снятия остаточных напряжений после сварки используют проковку, прокатку (прил. 2), вибрацию, обработку взрывом и другие способы, основанные на создании пластической деформации противоположного знака, приводящей к снижению или полному устранению растягивающих остаточных напряжений в сварной конструкции.

Поверхностную пластическую деформацию выполняют на коротких участках шва и околошовной зоны (150–200 мм) сразу же после сварки или после подогрева его до 150–200°C. При этом в интервале 400–200 °С металл обладает пониженной пластичностью, и во избежание надрывов обработку пластическим деформированием не производят.

Проковку производят пневматическим молотком с закругленным бойком и массой 0,6–1,2 кг. При многослойной сварке после выполнения корневого шва проковывают все последующие слои.

Виброобработке подвергают металлоконструкции из углеродистых сталей, чугунов, алюминиевых и титановых сплавов. Сущность метода заключается в том, что используя вибровозбудитель, определяют резонансные частоты системы «сварная конструкция – вибровозбудитель». Затем производят виброобработку на выбранных резонансных частотах (в диапазоне 10–120 Гц). Длительность обработки, необходимая для снятия напряжений, составляет несколько минут. Схема обработки представлена в прил. 2.

2. СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Изменение размеров и формы сварной конструкции в некоторых случаях снижает ее работоспособность и портит ее внешний вид. Если остаточные деформации достигают заметной величины, они могут привести к неисправимому браку.

Деформации, приводящие к изменению размеров всего изделия, искривлению его геометрических осей, называют *общими*. А деформации, относящиеся к отдельным участкам его, называют *местными*.

В зависимости от характера, формы и размеров свариваемых деталей различают деформацию в плоскости, которая проявляется в уменьшении размеров конструкции (рис. 1, *в*), и деформацию из плоскости соединяемых элементов (угловая деформация), которая проявляется в образовании выпучин («хлопунов»), местном изгибе листов (рис. 1, *г*), в так называемом грибовидном изгибе пояса при сварке элементов тавровых и двутавровых сечений (рис. 1, *а* и *б*), а также в других изменениях формы изделий.

Для устранения деформаций применяют различные способы правки путём приложения статического силового либо динамического ударного воздействия. *Правка* конструкции является весьма трудоемкой операцией, требует высокой квалификации рабочих, и ее так же, как и снятие сварочных напряжений, следует проводить *только в случае действительной необходимости*, когда остаточные деформации выходят за пределы допустимых. Любая правка снижает надёжность сварной конструкции.

В зависимости от конструкции изделия, величины деформации, типа материала и его термического состояния используют три основных вида правки:

1. Термическая правка с местным нагревом

Она основана на развитии пластического деформирования сжатием растянутых участков конструкции. При правке этим методом обычно нагревают растянутую часть деформированной детали. Нагрев производят в отдельных участках (рис. 12). При этом расширению металла препятствуют окружающие его холодные части детали. В этих участках металл испытывает пластическую деформацию сжатия и укорочения растянутых волокон металла. При последующем охлаждении эти участки, сокращаясь, выпрямляют изделие.

Термическую правку применяют в основном для устранения деформаций коробления листовых конструкций и ликвидации изгиба балочных конструкций. При правке выпучин листовых деталей нагревают выпуклую часть в отдельных точках в шахматном порядке. Каждый нагретый участок стремится расшириться, но за счет противодействия со стороны окружающего холодного металла в нем возникают пластические деформации сжатия.

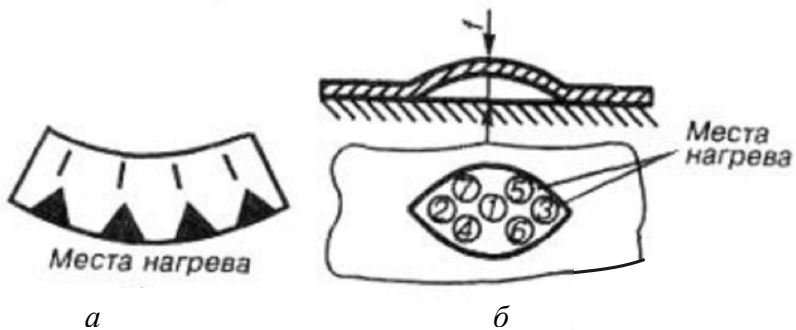


Рис. 12. Правка местным нагревом: *а* – по ребру, *б* – по плоскости

После охлаждения диаметр нагреваемой окружности уменьшается, что и приводит к исчезновению выпучины. Нагрев можно производить газовой горелкой, электрической дугой, угольным электродом, на машинах для точечной сварки.

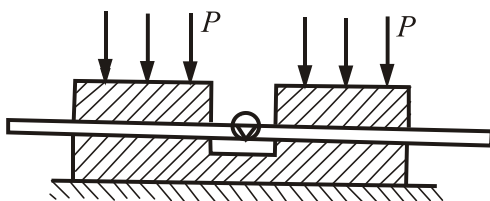
Правка убыстряется при сочетании местного нагрева с приложением статических нагрузок при использовании специальных правочных приспособлений.

Схемы правки определённых конструкций представлены в прил. 2.

2. Термическая правка с общим нагревом (отжиг)

Её производят также в специальных правочных приспособлениях, в которых конструкция фиксируется в нужном положении с предварительным натягом в жёстком приспособлении (рис. 13). Затем приспособление с изделием загружается в печь и подвергается общему нагреву. Нагретый металл пластически деформируется в приспособлении и при последующем охлаждении сохраняет приданную ему форму. Такую правку можно сочетать с операцией общей термической обработки конструкции. Режимы термообработки для сталей приведены в таблице прил. 3. Однако этот метод требует применения дорогостоящих приспособлений из дефицитных материалов, поэтому применяется, как правило, в тех случаях, когда изделие сварено из высокопрочного материала, избавиться от деформаций очень трудно.

Рис. 13. Схема жёсткого закрепления листов



3. Холодная механическая правка

Её производят с приложением статических, безударных нагрузок. Для этой же цели используют ручные прессы, специальные правочные приспособления, стальные пуансоны для обжатия на механизированных прессах, а также прокатку на трехвалковых станах или растяжение на специальных станках (рис. 14). Для правки крупногабаритных сварных узлов приме-

няют гидравлические правильные прессы и специализированные правильные машины. Так, грибовидность сварных двутавровых балок (рис. 1, *д*) – деформацию полок, образующуюся вследствие усадки сварных швов, выправляют на специализированной машине по схеме, приведенной на рис. 14, *а*. Ролики 1 и 3 служат для подачи балки в процессе правки, нажимной ролик 2 совершает возвратно-поступательное движение.

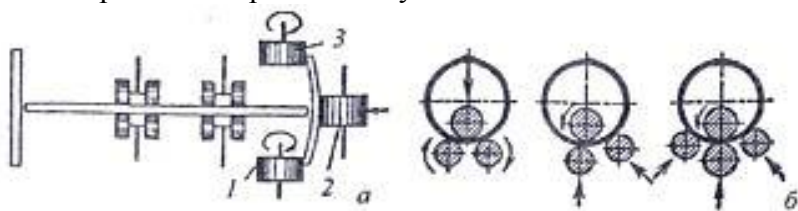


Рис. 14. Схемы механической правки сварных двутавровых балок (*а*) и цилиндрических оболочек (*б*)

Сварные цилиндрические оболочки правят на трёх- и четырёхвалковых листогибочных машинах (рис. 14, *б*).

Для тонкостенных сосудов применяют прокатку и проковку сварных швов на специализированных станках. Прокатка осуществляется роликами, а проковка – высокоскоростным ударным пневматическим устройством. При этом металл шва осаживается по толщине, в результате чего происходит его задача в продольном и поперечном направлениях. Это приводит к небольшому устранению поперечной усадки и существенному или полному устранению продольных деформаций укорочения зоны сварки (рис. 15). Таким же образом удаётся устранять выпучины в листовых деталях, производя проковку с краев детали и перемещаясь к ее центру.

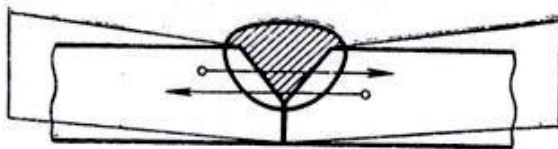


Рис. 15. Устранение угловых деформаций прокаткой и проковкой

4. Термомеханическая правка

Она заключается в сочетании местного нагрева с приложением статической нагрузки, изгибающей исправляемый элемент конструкции в нужном направлении. Эта нагрузка может создаваться домкратами, прессами или другими устройствами (рис. 14). Применение дополнительного нагрева способствует снижению усилий, необходимых для устранения деформаций. Такой способ правки обычно применяют для жёстких сварных узлов.

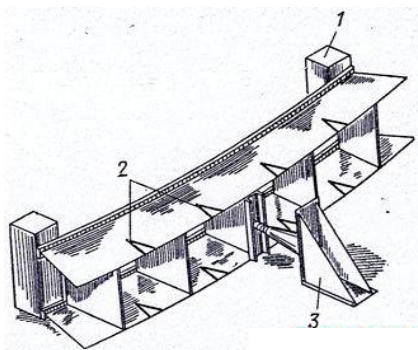


Рис. 14. Термомеханическая правка сварного фундамента с применением домкрата (цифрами показана последовательность мест нагрева): 1 – опоры; 2 – места нагрева; 3 – домкрат

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ЧАСТЬ I

1. Изучить содержание методического указания части I.
2. На образце сварного соединения определить сварочные деформации и причины их появления. Перечислить их в отчёте.
3. Зарисовать схематично образец и показать на схеме предполагаемые порядок и направление наложения сварных швов, которые привели к деформациям образца.
4. Перечислить конструктивные и технологические мероприятия для уменьшения напряжений при ручной дуговой сварке данного образца сварной конструкции.

5. Зарисовать схематично образец и показать на схеме порядок и направление наложения сварных швов, места воздействия для снятия сварочных напряжений и устранения деформаций.

ЧАСТЬ II

1. Изучить содержание методического указания части II.
2. Определить способы устранения сварочных напряжений для данного образца сварной конструкции и записать их.
3. Определить способы устранения сварочных деформаций для данного образца и записать их.
4. Зарисовать схематично образец и показать на схеме места воздействия на металл для устранения сварочных деформаций.

Отчёт должен быть оформлен в тетради к лабораторным работам и содержать: цель работы, краткое изложение теоретического материала, ответы на задания к практической части лабораторных работ с указанием необходимых схем образца сварного соединения и выводы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Сварка. Введение в специальность / В.А. Фролов, В.В. Пешков, А.Б. Коломенский [и др.]. – М., 2004. – 230 с.
2. Чернышов, Г.Г. Сварочное дело. Сварка и резка металлов / Г.Г. Чернышов. – М.: ИРПО; ПрофОбрИздат, 2002. – 496 с.
3. Оботуров, В.И. Сварочные работы в строительстве: учебное пособие для вузов / В.И. Оботуров. – М.: АСВ, 2006. – 224 с.
4. Виноградов, В.М. Основы сварочного производства: учебное пособие для вузов / В.М. Виноградов, А.А. Черепяхин, Н.Ф. Шпунькин. – М.: Академия, 2008. – 270 с.

Дополнительная литература

5. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3 / под общ. ред. В.В. Кузнецова. – М. : АСВ, 1999. – 528 с.

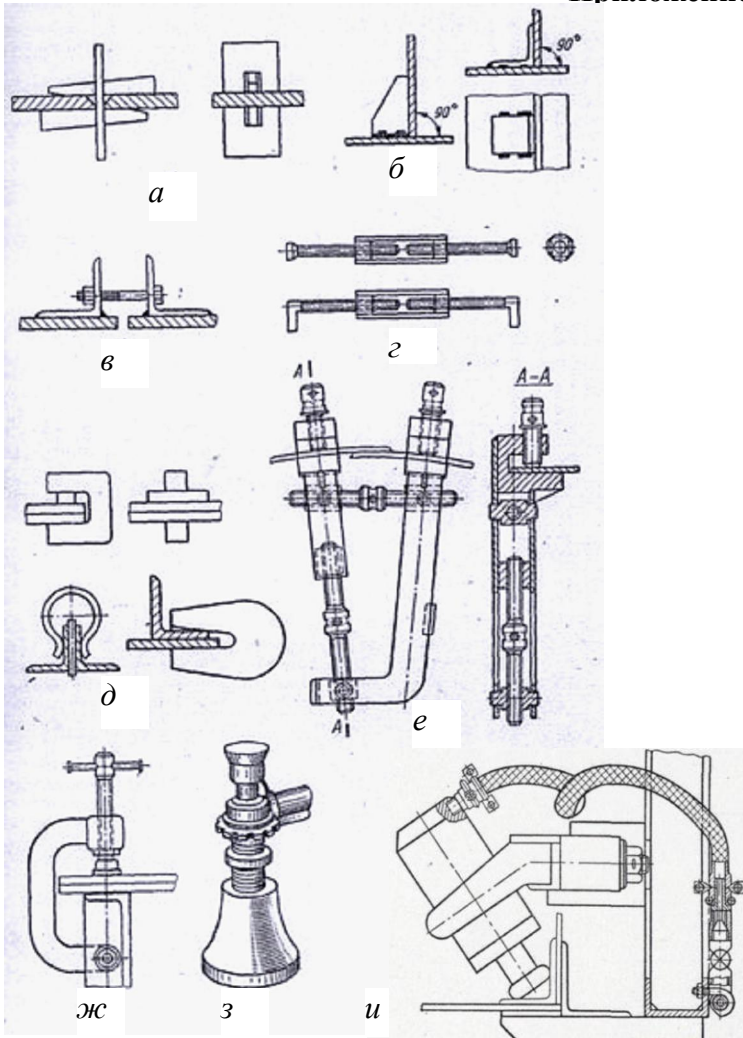
6. Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов. Руководящий документ РД 34 15.132-96 / под ред. В. Г. Щербакова. – М.: ПИО ОБТ, 1998. – 133 с.

7. Сварка и резка в промышленном строительстве: справочник монтажника / под ред. Б.Д. Малышева. – М. : Стройиздат, 1980. – 782 с.

8. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974.– 300 с.

9. Болдырев, А.М. Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов: учебник / А.М. Болдырев, А.С. Орлов. – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 432 с.

Приложение 1



Универсальные сборочные приспособления:
а – клинья; *б* – упоры из листов и угловых профилей;
в – угловая сталь на прихватках с болтом; *г* – стяжка винтовая;
д – скобы; *е* – рычажно-винтовая стяжка; *ж* – струбцина
откидная; *з* – домкрат; *и* – пневматический прижим

Приложение 2

Схемы исправления деформированных сварных изделий и приспособления для правки

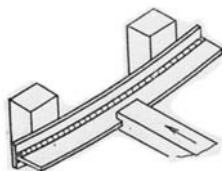


Схема исправления сварной тавровой балки путем приложения статической нагрузки

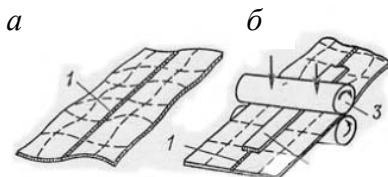
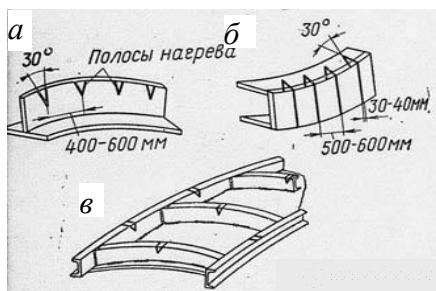


Схема исправления деформированных изделий из тонколистового металла
а – листы после сварки до прокатки, *б* – схема процесса прокатки, *1* – сварной шов, *2* – накладка, *3* – прокатные валки



Расположение участков нагрева при термической правке
а – тавровой балки,
б – балки швеллерного сечения, *в* – рамы из швеллеров

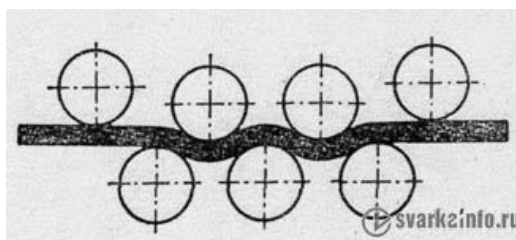
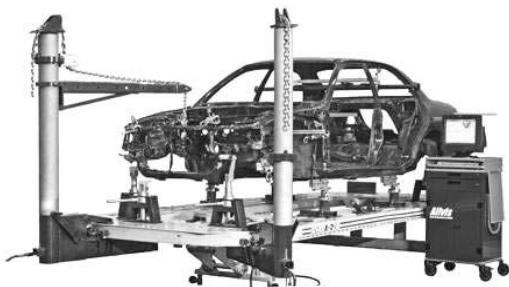


Схема правки листовой стали



Станция для правки кузова с платформой и автоподъемом



Правка диска после аргоно-дуговой сварки

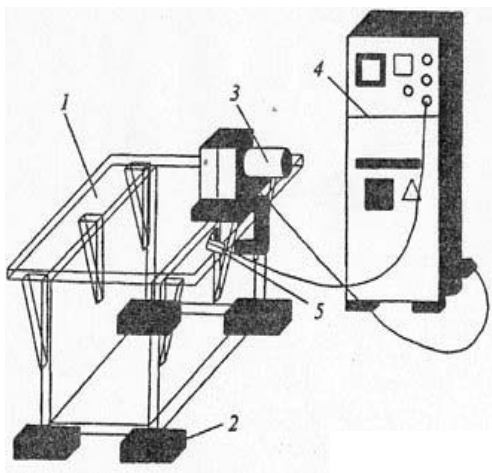
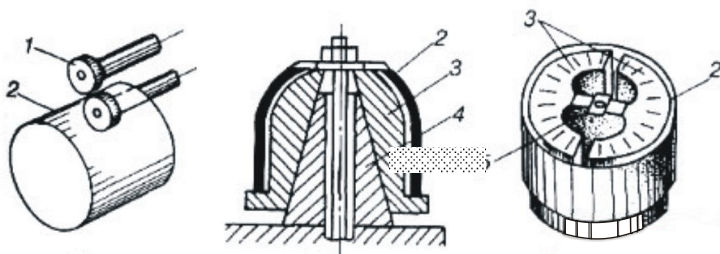


Схема вибраторной обработки сварных конструкций



a

б

в

Механизированная правка деталей типа тел вращения: *a* – прокатка стальными роликами, *б* – на распорном приспособлении, *в* – на раздвижном пуансоне: 1 – стальной ролик, 2 – сварная деталь, 3 – раздвижной пуансон, 4 – клин, 5 – винтовой распор

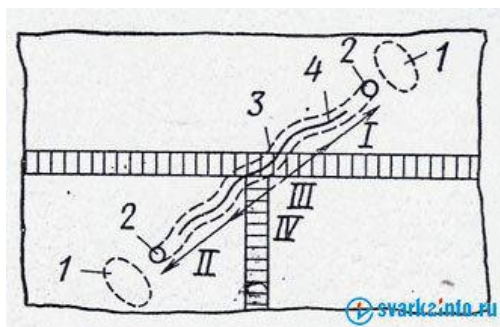


Схема исправления сварного соединения с трещиной: 1 – места подогрева; 2 – засверленные отверстия; 3 – разделка кромок трещины; 4 – трещина; I, II, III, IV – последовательность заварки

Приложение 3

Рекомендуемые режимы термообработки сталей после сварки

Сталь	Ориентировочный режим термообработки, °С
<p>Углеродистая</p> <p>Низколегированная повышенной прочности</p> <p>Легированная конструкционная</p> <p>Теплоустойчивая: 15ХМ, 12ХМФ, 20Х3МВФ</p>	<p>Отжиг при 650 – 670 °С для снятия сварочных напряжений, выравнивания структуры и механических свойств</p> <p>Отжиг при 670 – 700 °С (с той же целью)</p> <p>Отжиг или закалка с отпуском в зависимости от требований, предъявляемых к сварной конструкции</p> <p>При толщине стенки более 10 мм проводится отжиг при 700 – 730 °С, а при толщине 3,5 мм – отжиг при 720 – 740 °С</p>

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Часть I. 1. Причины возникновения напряжений и деформаций при сварке.....	4
2. Способы предупреждения напряжений и деформаций при сварке	7
Часть II. 3. Способы устранения сварочных напряжений....	12
4. Способы устранения сварочных деформаций	14
5. Порядок выполнения работы.....	19
Список использованной и рекомендуемой литературы	19
Приложение 1.....	21
Приложение 2.....	22
Приложение 3.....	25