МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» дневной и заочной форм обучения

Часть 1

Могилев 2025

УДК 621.791
ББК 30.61
П80

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «24» января 2025 г., протокол № 7

Составитель ст. преподаватель И. И. Цыганков

Рецензент канд. техн. наук А. С. Федосенко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» дневной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Часть 1

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Заготовительные операции. Подготовка металла под сварку ……. 4

2 Лабораторная работа № 2. Изучение правил постановки прихваток при сборке, проведение экспериментов на примере сборки балок ……. 13

3 Лабораторная работа № 3. Подготовка металла под сварку, сборка и прихватка …….. 15

4 Лабораторная работа № 4. Деформации при сварке тавровых и двутавровых балок, их расчет и экспериментальное определение……. 21

5 Лабораторная работа № 5. Определение величины обратного выгиба балки и усилия для ее прижатия к приспособлению ……..…… 26

6 Лабораторная работа № 6. Исследование влияния отпуска на снятие остаточных деформаций и сварочных деформаций……. 29

Список литературы…….……. 31

1 Лабораторная работа № 1. Заготовительные операции. Подготовка металла под сварку

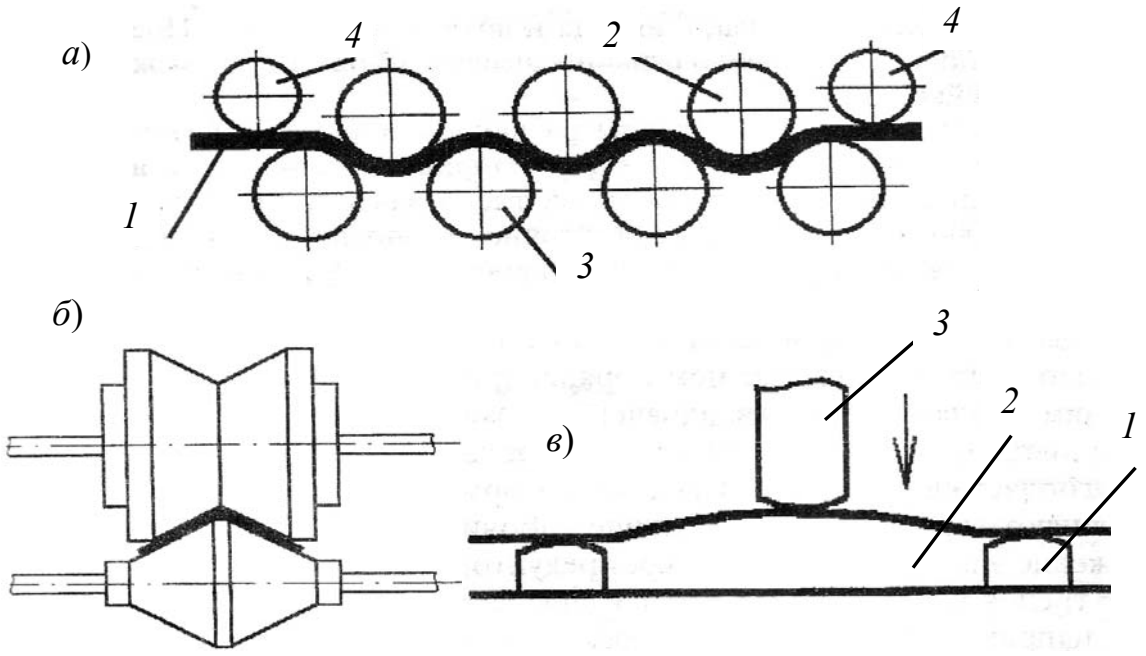
Цель работы: ознакомление с заготовительным оборудованием, видами и способами заготовительных операций и подготовкой металла под сварку.

1.1 Общие положения

Литые, кованые и штампованные заготовки обычно поступают на сварку в виде, не требующем дополнительных операций. После подбора металла по размерам и маркам стали для деталей, изготовленных из прокатных профилей, может потребоваться выполнить следующие операции: правку, разметку, резку, обработку кромок, гибку и очистку под сварку.

Листовой прокат требует правки в том случае, если его поставляют в неправленом виде, а также если деформации возникли при транспортировании. Наиболее часто встречающиеся виды деформаций листового проката: волнистость; серповидность в плоскости; местные выпучины; заломленные кромки; местная погнутость; волнистость поперек части листа.

Правка осуществляется созданием местной пластической деформации и обычно производится в холодном состоянии. Для устранения волнистости листов и полос толщиной от 0,5 до 50 мм широко используют многовалковые машины (число валков больше пяти). Исправление достигается многократным изгибом при пропускании листов между верхним и нижним рядами валков, расположенных в шахматном порядке (рисунок 1.1, *а*).



а – на листоправильных вальцах: *1* – листовой материал; *2*; *4* – верхние вальцы; *3* – нижние вальцы; *б* – в углоправильных вальцах; *в* – на прессе

Рисунок 1.1 – Схемы правки листовых и профильных элементов

Листы толщиной менее 0,5 мм правят растяжением с помощью приспособлений на прессах или на специальных растяжных машинах.

Серповидность листовой и широкополосной стали поддается правке в ограниченной степени. Ее выполняют на многовалковых листоправильных вальцах с применением прокладок, выкладываемых у вогнутой кромки.

Правку сортового, а также профильного проката производят на роликовых машинах (рисунок 1.1, *б*), работающих по той же схеме, что и листоправильные. Для двутавров и швеллеров такой способ используется только для исправления в плоскости наименьшего момента сопротивления. Исправление в другой плоскости осуществляют изгибом на правильно-гибочных прессах кулачкового типа (рисунок 1.1, *в*). При постоянном ходе толкателя *3* задаваемая деформация профиля *2* регулируется изменением расстояния между опорами *1*. На прессах правят и толстолистовой прокат с толщиной более 50 мм.

Холодная деформация сопровождается уменьшением пластичности металла. Поэтому относительное остаточное удлинение δ наиболее деформированных волокон необходимо ограничивать. Например, согласно СНиП 18–75, при холодной правке $\delta \leq 1$ %, при холодной гибке $\delta \leq 2$ %, что соответствует радиусу изгиба не менее 50 толщин листа при правке и не менее 25 толщин листа при гибке. Исходя из этого, устанавливают предельные значения искривлений, исправление которых еще допускается в холодном состоянии. Так, холодная правка серповидности широкополосной и универсальной стали на вальцах, а полос шириной до 200 мм на кулачковом прессе разрешается только при стреле серповидности $f \leq l^2/(800b)$, где l – длина полосы; b – ширина полосы.

В случае необходимости создания более значительных деформаций правка и гибка стали должны производиться после нагрева до 900 °С…1000 °С для стали классов до С 46/33 включительно и до 900 °С…950 °С для стали классов С 52/40 и С 60/46. Деформирование при высокой температуре сопровождается процессом рекристаллизации, и пластические свойства металла не снижаются.

Нередко правке в вальцах подвергают сварные заготовки из двух или нескольких листов, сваренных стыковыми швами. Для ограничения пластической деформации зоны сварного соединения усиление сварного шва должно быть минимальным. В ряде случаев усиление рекомендуется удалять.

Разметка. Индивидуальная разметка трудоемка. Наметка более производительна, однако изготовление специальных наметочных шаблонов не всегда экономически целесообразно. Оптический метод позволяет вести разметку без шаблона – по чертежу, проектируемому на размечаемую поверхность. Разметочно-маркировочные машины с пневмокернером производят разметку со скоростью до 8…10 м/мин при погрешности ±1 мм. В этих машинах применяют программное управление. Использование приспособлений для мерной резки проката, а также машин для тепловой резки с масштабной фотокопировальной или программной системой управления позволяет обходиться без разметки.

Резка и обработка кромок. Резка деталей с прямолинейными кромками из листов толщиной до 40 мм, как правило, производится на гильотинных ножницах (рисунок 1.2, *а*). Разрезаемый лист *2* заводится между нижним *1* и верхним *4* ножами до упора *5* и зажимается прижимом *3*. Верхний нож, нажимая на лист,

производит скалывание. Погрешность размера обычно составляет ±(2,0…3,0) мм при резке по разметке и ±(1,5…2,5) мм при резке по упору. Прямой рез со скосом кромки под сварку можно получить, используя специальные ножницы (рисунок 1.2, *б*). При включении гидроцилиндра *1* качающийся ножедержатель *3* поворачивается сначала вокруг оси *А*, производя прямой рез с помощью ножа *7*. Когда упор *2* ножедержателя *3* дойдет до выступа детали *4*, они поворачиваются совместно вокруг оси *Б*, отводя прижим *5* от регулируемого упора *6*. Нож *8* совершает рез на скос.

Дисковые ножницы (рисунок 1.2, *в*) позволяют осуществлять вырезку листовых деталей с непрямолинейными кромками толщиной s = 20…25 мм. Для получения листовой заготовки заданной ширины с параллельными кромками дисковые ножи целесообразно располагать попарно на заданном расстоянии друг от друга (см. рисунок 1.2, *в*, *г*).

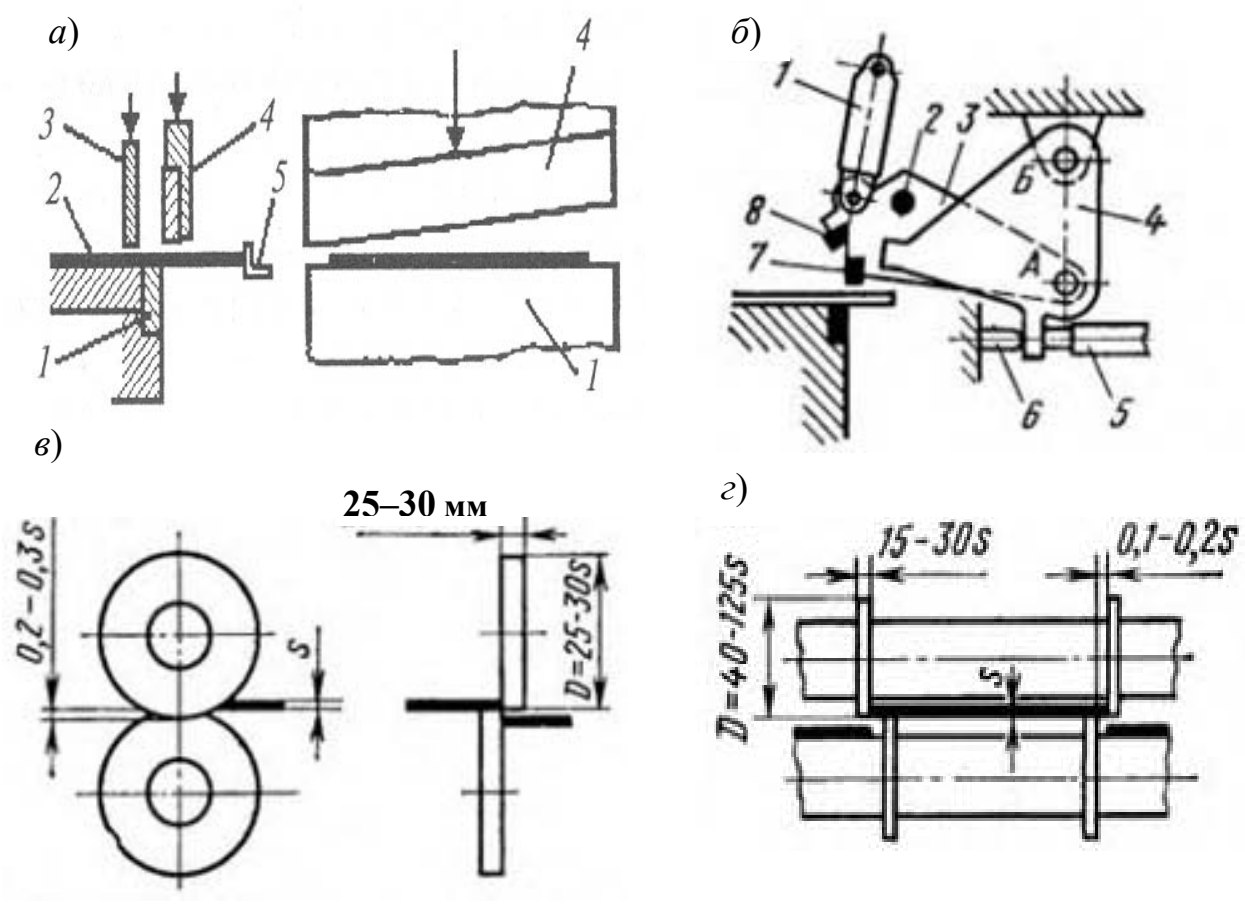


Рисунок 1.2 – Схема резки металла на ножницах различных типов

При резке на ножницах металл подвергается значительной пластической деформации. Если кромка реза в дальнейшем попадает в зону сварки и полностью переплавляется, то дополнительной обработки не требуется. Если же эта кромка остается свободной, а конструкция работает при переменных нагрузках, то слой пластически деформированного металла целесообразно удалить последующей механической обработкой.

Для поперечной резки фасонного проката применяют пресс-ножницы с

фасонными ножами или дисковые пилы. В некоторых случаях применяют резку гладким диском с помощью трения либо контактно-дуговым оплавлением.

Производительным является процесс вырубки в штампах. При номинальных размерах деталей 1…4 м погрешности могут составлять ±(1,0… 2,5) мм.

Разделительная термическая резка менее производительна, чем резка на ножницах, но более универсальна и применяется для получения стальных заготовок разных толщин как прямолинейного, так и криволинейного очертания. Наряду с газопламенной кислородной резкой, все шире применяют плазменно-дуговую резку, позволяющую обрабатывать практически любые металлы и сплавы. Использование в качестве плазмообразующего газа сжатого воздуха дает не только экономические, но и технические преимущества: высокое качество реза сочетается с большой скоростью резки, особенно сталей малой и средней толщины (до 60 мм). Недостатком воздушно-плазменной резки является насыщение поверхностного слоя кромок азотом, что способствует образованию пор при сварке. Поэтому кромки в большинстве случаев зачищают стальной щеткой или подвергают дополнительной механической обработке. Предотвращение пор в швах при сварке по кромкам, подготовленным воздушно-плазменной резкой, возможно и без зачистки кромок, однако в этом случае требуется четкое соблюдение технических рекомендаций. После кислородной резки зачистки кромок под сварку, как правило, не требуется.

Ручную и полуавтоматическую резку листов производят обычно по разметке, автоматическую – с помощью копирных устройств, по масштабному чертежу или на машинах с программным управлением. Масштабные чертежи содержат информацию только о траектории, поэтому переход от одного реза к другому при раскрое целого листа приходится осуществлять вручную. Использование машин с цифровым программным управлением позволяет автоматизировать процесс резки в пределах всего листа при одновременном повышении точности реза. При вырезке заготовок небольшой толщины в ряде случаев эффективно использование резки листов пакетом толщиной до 100 мм.

Термическую резку применяют и при создании скоса кромок. Если эта операция совмещается с разделительной резкой, то односторонний скос с притуплением получают, используя одновременно два резака, а двусторонний скос – три резака. После вырезки детали иногда приходится править.

Начинают применять лазерную резку. Ее преимущества – чрезвычайно малая ширина реза (доли миллиметра) и возможность резки материала малой толщины (от 0,05 мм).

Механическую обработку кромок на станках производят:

а) для обеспечения требуемой точности сборки;

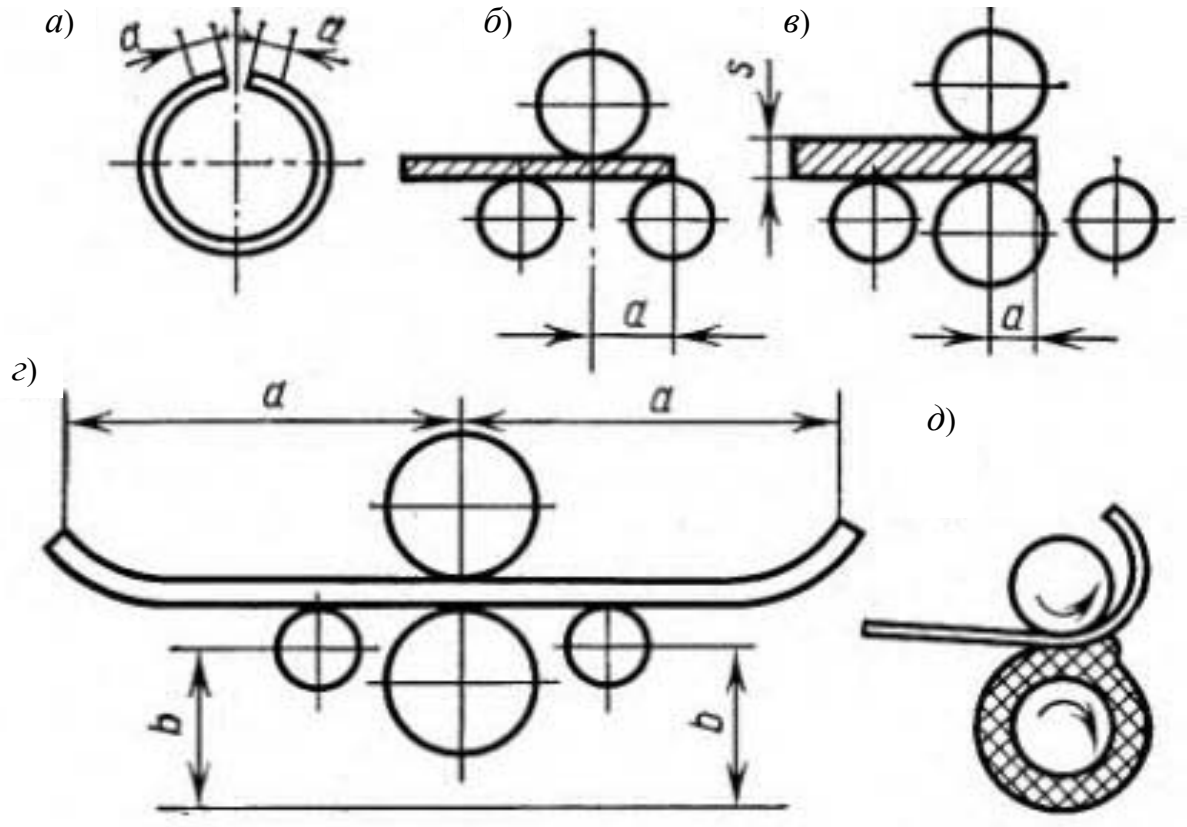
б) для обработки фасок сложного очертания;

в) для удаления металла кромок, обрезанных ножницами или с помощью термической резки, когда это считается необходимым.

При обработке длинных кромок применяют кромкострогальные станки, более коротких – торцефрезерные.

Гибка. Холодную гибку листовых элементов толщиной до 60 мм для получения деталей цилиндрической и конической формы осуществляют на

листогибочных вальцах с валками длиной до 13 м. При вальцовке в холодном состоянии отношение радиуса изгиба к толщине листа ограничивают допустимым значением создаваемой пластической деформации. При гибке в вальцах концевой участок листа размером *a* (рисунок 1.3, *а*) остается почти плоским. Ширина этого участка при использовании трехвалковых вальцов определяется расстояниями между осями валков *a* (рисунок 1.3, *б*). В четырехвалковых вальцах несвальцованным остается только участок шириной (1…2)*s*, где *s* – толщина листа (рисунок 1.3, *в*). Более правильное очертание концевого участка листа может быть получено либо калибровкой уже сваренной обечайки, либо предварительной подгибкой кромок под прессом или на листогибочных вальцах с толстым подкладным листом, согнутым по заданному радиусу. После подгибки кромок лист устанавливают в гибочные вальцы, выверяют параллельность оси вала и кромки листа и начинают гибку со средней части листа (рисунок 1.3, *г*). Использование двухвалковых гибочных вальцев с эластичным полиуретановым покрытием нижнего валка (рисунок 1.3, *д*) устраняет необходимость дополнительной подгибки кромок при вальцовке обечаек из листов толщиной до 6 мм. Упругое покрытие обжимает листовую заготовку вокруг жесткого верхнего валка и обеспечивает равномерный изгиб по всей длине.



а – обечайка с необвальцованными кромками; *б*, *в* – установка листа в трех- и четырехвалковых вальцах; *г* – положение листа в начале гибки в вальцах; *д* – гибка листа в двухвалковых вальцах

Рисунок 1.3 – Схемы вальцовки обечаек

Листовые элементы с поверхностью пространственной кривизны получают на специальных вальцах с валками переменного диаметра. Для формообразования элементов оболочек больших размеров применяют штамповку взрывом. При серийном и массовом производстве для получения элементов с поверхностью сложного очертания широко используют холодную штамповку из листового материала толщиной до 10 мм. Высокая производительность, точность размеров и формы получаемых заготовок, их низкая себестоимость обеспечивают создание весьма технологичных штампосварных изделий.

При холодной гибке профильного проката и труб используют роликогибочные машины и трубогибочные станки. Когда возникают трудности, связанные с нарушением формы поперечного сечения, целесообразно использовать специальные гибочные станки с индукционным нагревом непрерывно перемещаемой и изгибаемой заготовки. Деформируемый участок, нагретый до температуры 950 °С …1000 °С, имеет небольшую протяженность, обладает малым сопротивлением пластической деформации и повышенной устойчивостью, что предотвращает образование гофров в зоне сжатия.

Для получения деталей из толстого листового металла применяют горячую гибку. Ее осуществляют на гибочных вальцах и на прессах.

В сварных конструкциях зачастую используют гнутые профильные элементы, поперечные сечения которых не входят в сортамент, выпускаемый металлургическими заводами. Небольшие партии таких деталей можно изготовлять на кромкогибочных станках и прессах.

Гофрирование (рисунок 1.4) повышает жесткость листов.

Его предпочтительно производить штамповкой, а не гибкой, чтобы поперечные кромки листов оставались плоскими.

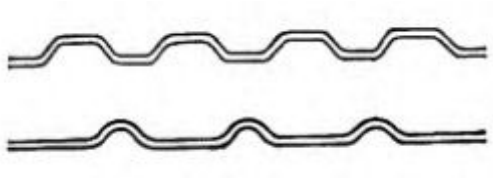


Рисунок 1.4 – Гофрированные листы

Очистка. Для очистки проката, деталей и сварных узлов применяют механические и химические методы. Удаление загрязнения, ржавчины и окалины производят с помощью дробеструйных и дробеметных аппаратов, а также используют зачистные станки, рабочим органом которых являются металлические щетки, иглофрезы, шлифовальные круги и ленты. При дробеструйной и дробеметной очистке применяют чугунную или стальную дробь размером от 0,7 до 4 мм в зависимости от толщины металла. В дробеструйных аппаратах дробь выбрасывается на очищаемую поверхность через сопло сжатым воздухом. В дробеметных аппаратах дробь выбрасывается лопатками ротора (производительность выше и очистка обходится дешевле), однако происходит быстрый износ лопаток. Дробеструйную и дробеметную очистку обычно осуществляют в камерах. Беспыльные дробеструйные аппараты позволяют обхо-

диться без камер, но они менее производительны – их применяют в мелкосерийном производстве, а также для очистки крупногабаритных сварных узлов, которые не помещаются в камере.

Химическими методами проводят обезжиривание и травление поверхности. Различают ванный и струйный методы. В первом случае детали последовательно опускают в ванны с различными растворами и выдерживают в каждом из них определенное время. Во втором случае последовательная подача растворов различного состава на поверхность деталей производится струйным методом, что позволяет осуществлять непрерывный процесс очистки. Химический способ очистки эффективен, однако в производстве сварных конструкций его применение ограничено высокой стоимостью оборудования для очистки сточных вод. Для предохранения металла от коррозии, кроме очистки, обычно проводят пассивирование или грунтовку поверхности, позволяющие осуществлять сварку без удаления защитного покрытия.

Несмотря на широкое использование машин и механизмов, эффективность их использования в условиях индивидуального и мелкосерийного производства на заготовительном участке нередко оказывается низкой. Это объясняется большими затратами ручного труда при выполнении транспортных и установочных операций. Поэтому весьма важно обеспечить здесь комплексное использование механизмов, позволяющее снизить затраты ручного труда до минимума.

В серийном производстве операции очистки металла, грунтовки, сушки, маркировки, разметки и резки выполняют на автоматизированных поточных линиях. При резке по упору партии одинаковых деталей процесс может быть полностью автоматизирован.

Если металл, идущий на изготовление сварных конструкций, загрязнен или деформирован, то его нужно предварительно очистить и выправить. Очистка может производиться ручными и механическими проволочными щетками, пескоструем, пламенем специальной горелки, промывкой горячей водой или раствором щелочи, травлением в растворах различных кислот и другими способами.

Перед сваркой кромки деталей, если это является необходимым, подвергают обрезке, скосу и очистке. Скос кромок выполняется в соответствии с типом сварного соединения. Для получения ровной и чистой поверхности кромок их простругивают на кромкострогальных станках, длина строгания на которых достигает нескольких метров.

На многих заводах громоздкие и дорогие кромкострогальные станки заменяют специальными машинами для кислородной резки, обеспечивающими чистую поверхность разреза, необходимую точность и высокую производительность резки. Машинная кислородная резка является распространенным способом подготовки кромок листов под сварку, особенно при большой толщине свариваемого металла (деталей станин, листов, котельных барабанов и др.). Машинная кислородная резка должна применяться во всех случаях, когда это допустимо по техническим условиям на изготовление данного изделия. Для ускорения процесс резки и скоса кромок выполняют одновременно

несколькими резаками, установленными на одной машине под соответствующими углами наклона.

Нельзя сваривать детали, кромки которых покрыты ржавчиной, маслом, краской и другими загрязнениями. Это ухудшает условия горения дуги, вызывает пористость наплавленного металла и понижает прочность сварного соединения.

От загрязнений кромки очищают проволочными щетками, наждачным камнем, пескоструйной обработкой, травлением. Для механической очистки применяют ручные переносные машинки с гибким валом, на конце которого укрепляется проволочная щетка или наждачный камень. На кромках не должно быть зарезов глубиной более 1,5 мм. Прямолинейность кромок должна быть проверена с помощью рейки и измерительной линейки, а углы скоса кромок – шаблонами.

Литые заготовки перед сваркой должны быть тщательно очищены от остатков формовочной земли, а имеющаяся на поверхности литейная корка снята наждачным камнем в тех местах, где будут накладываться сварные швы.

При изготовлении различных резервуаров, котлов и сосудов из листового металла последний подвергается вальцовке и штамповке. Для вальцовки применяются гибочные вальцы, а для штамповки – механические и гидравлические прессы. Гибке и вальцовке может подвергаться также и профильный прокат: полосы, уголки, швеллеры, двутавры и трубы. В зависимости от толщины и требуемой формы заготовки вальцовка и гибка металла производятся в холодном или горячем состоянии.

1.2 Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с общими положениями работы.

2 Ознакомиться с работой заготовительного оборудования.

3 По заданию преподавателя провести выбор заготовительного оборудования, вида и способа заготовительных операций и подготовки кромок под сварку согласно вариантам (таблица 1.1).

1.3 Содержание отчета

1 Краткое описание заготовительных операций и подготовки кромок.

2 Краткое описание заготовительного оборудования.

3 Индивидуальное задание по выбору заготовительного оборудования, вида и способа заготовительных операций и подготовки кромок под сварку.

Таблица 1.1 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Марка материала	Толщина материала, мм	Объем выпуска изделия, шт.	Габаритные размеры (для трубы диаметр), мм
1	Сталь 20	2	20	100 × 100
2	Сталь 3	3	100	20
3	Сталь 45	4	25	20 × 20
4	Сталь12Г	5	300	50 × 50
5	Сталь 15Х	6	1000	219
6	09Г2С	7	5000	40 × 100
7	10Г2С1	8	25000	20 × 60
8	16ГС	10	90	50 × 100
9	15ХСНД	12	15	70 × 150
10	15ГС	15	26	40 × 40
11	14Г2	20	280	200 × 200
12	20ХГСА	18	247	150 × 400
13	25ХГСА	16	600	105 × 105
14	30ХГСА	5	5	40 × 150
15	06Г2СЮ	8	5740	90 × 90
16	09Г2С	6	100	150 × 200
17	10ХСНД	10	5000	15 × 400
18	16ГС	12	500	15 × 25
19	20ГС	25	80	45 × 65
20	09Г2СД	30	400	400 × 400
21	10ГС2	10	200	350 × 200
22	14Г2	60	2000	300 × 500
23	08Г2С	40	700	200 × 400
24	25ГС	8	50	100 × 500
25	35ГС	4	4000	600 × 200
26	30ХС2	15	260	50 × 200
27	20ХГ2Т	20	10	25 × 100
28	14ХГС	2	800	100 × 800
29	18Г2С	5	100000	80 × 80
30	17ГС	10	20	100 × 80

Контрольные вопросы

1 Какие существуют виды заготовительных операций в машиностроительном производстве?

2 Какие существуют виды гибки?

3 Какие существуют разновидности способов резки металлов?

2 Лабораторная работа № 2. Изучение правил постановки прихваток при сборке, проведение экспериментов на примере сборки балок

Цель работы: изучение правил постановки прихваток при сборке; определение их размера при различных способах сварки.

Необходимое оборудование

1 Сварочный пост для ручной сварки.
2 Сварочный пост для сварки в защитных газах.
3 Машина для точечной сварки.

Необходимые материалы

1 Пластины из стали размером 50 × 1000 × 3 мм.
2 Пластины из стали размером 50 × 1000 × 1 мм.

2.1 Общие положения

В процессе или после сборки сварной конструкции сопрягаемые детали в большинстве случаев подвергаются фиксации между собой прихватками. Прихватки позволяют создать необходимую жесткость конструкции и сохранить неразъемность и расположение деталей относительно друг друга в процессе транспортировки, кантовки и сварки. Для сохранения заданных размеров сварного соединения и снижения коробления прихватку наиболее рационально выполнять при общем закреплении деталей в приспособлениях.

Выбор способа прихватки определяется конструкцией соединения, маркой материала и его толщиной, последующим способом сварки. Наиболее часто применяется прихватка дуговой и точечной контактной сваркой, реже – прихватка газовой сваркой. При этом в зависимости от конкретных конструктивных и технологических особенностей изделия выбирают шаг прихватки. Чем больше толщина и общая жесткость деталей (особое внимание обращают на жесткость и устойчивость свариваемых кромок) и чем меньше зазоры между деталями, тем шаг прихватки должен быть больше.

В крупногабаритных конструкциях для деталей и листов и профилей толщиной 0,5...4 мм при сварке плавлением шаг прихваток 30…60 мм длиной 10...20 мм; при точечной контактной сварке шаг прихваток 50…150 мм.

Прихватки на толстолистовом материале имеют размер в сечении 25…30 мм, длину 20…120 мм с расстоянием между ними 300…800 мм.

Количество прихваток, как правило, не должно быть меньше трех.

В ряде случаев, особенно при сварке жестких и крупногабаритных узлов, прихватки заменяют сплошным швом небольшого сечения «беглым швом».

Прихватки и «беглый шов» рекомендуется выполнять в первую очередь со стороны, обратной наложению первого рабочего шва или слоя.

Разрешается наложение прихваток вне мест расположения швов для временного скрепления деталей. Эти прихватки после выполнения своего назначения рекомендуется удалять, а место их расположения зачищать.

Размер прихватки или «беглого шва» в поперечном сечении должен составлять 2/3 от номинального размера шва. При прихватке важно соблюдать заданные технические условия на сборку изделия. Поэтому в каждом конкретном случае необходим тщательный анализ поведения конструкции при выполнении этой операции, в связи с чем выбирают соответствующий порядок наложения прихваток, последовательность и направление их постановки, интервал между ними и места их расположения, что обязательно должно быть отмечено в технологической документации. Прихватку точечной сваркой в зависимости от габаритов изделия и используемых приспособлений можно осуществлять в различных вариантах. Детали мелких изделий при наличии легких переносных приспособлений прихватываются сразу на стационарных точечных машинах. Крупногабаритные изделия, когда имеется возможность двухстороннего подхода к местам соединений, собирают в стационарных сборочных приспособлениях, а для прихватки используются подвесные машины или клещи. Однако при изготовлении изделий из легких сплавов этот способ применять нецелесообразно из-за большой массы подвесных машин. В изделиях, не имеющих двухстороннего подхода к местам соединений, прихватку в приспособлении производят сварочными пистолетами.

При прихватке точечной сваркой диаметр точки выбирается равным проставляемым в дальнейшем диаметрам точек. В случае последующей дуговой сварки диаметр точек выбирается в зависимости от марки и толщины металла.

Режимы прихватки перед точечной сваркой совпадают с режимами самой сварки, перед шовной сваркой сварочный ток уменьшается на 15 %...20 %.

В некоторых случаях для устранения образующихся после прихватки короблений и восстановления заданных зазоров и размеров изделий используют правку.

2.2 Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с общими положениями работы.

2 Осуществить сборку двух пластин в тавр или внахлестку (способ сварки указывает преподаватель).

3 Выбрать размер прихваток.

4 Произвести прихватку пластин.

5 Предъявить собранный узел преподавателю.

2.3 Охрана труда при выполнении работы

1 Изучить правила безопасности труда при ручной дуговой и контактной сварке.

2 Изучить правила безопасности труда при сварке в защитных газах.

Контрольные вопросы

1 Чем определяется размер прихватки при дуговой и контактной сварке?
2 Как определить шаг прихваток?
3 Какое влияние оказывает масса собираемого узла на размер прихваток?

3 Лабораторная работа № 3. Подготовка металла под сварку, сборка и прихватка

Цель работы: ознакомление на практике со способами подготовки металла под сварку, операциями сборки и прихватки.

3.1 Общие положения

Подготовка конструкций к сварке разделяется на три этапа:

1) обработка кромок, подлежащих сварке;
2) сборка элементов конструкции под сварку;
3) дополнительная очистка, если она требуется, собранных под сварку соединений.

Обработка кромок конструкций, подлежащих сварке, производится в соответствии с чертежами конструкций и согласно требованиям ГОСТ 5264–80 и других стандартов на основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений. Кромки соединений под сварку обрабатывают на кромкострогальных или фрезерных станках, а также путем кислородной и плазменной резки на специальных станках. Размеры элементов кромок должны соответствовать требованиям ГОСТа.

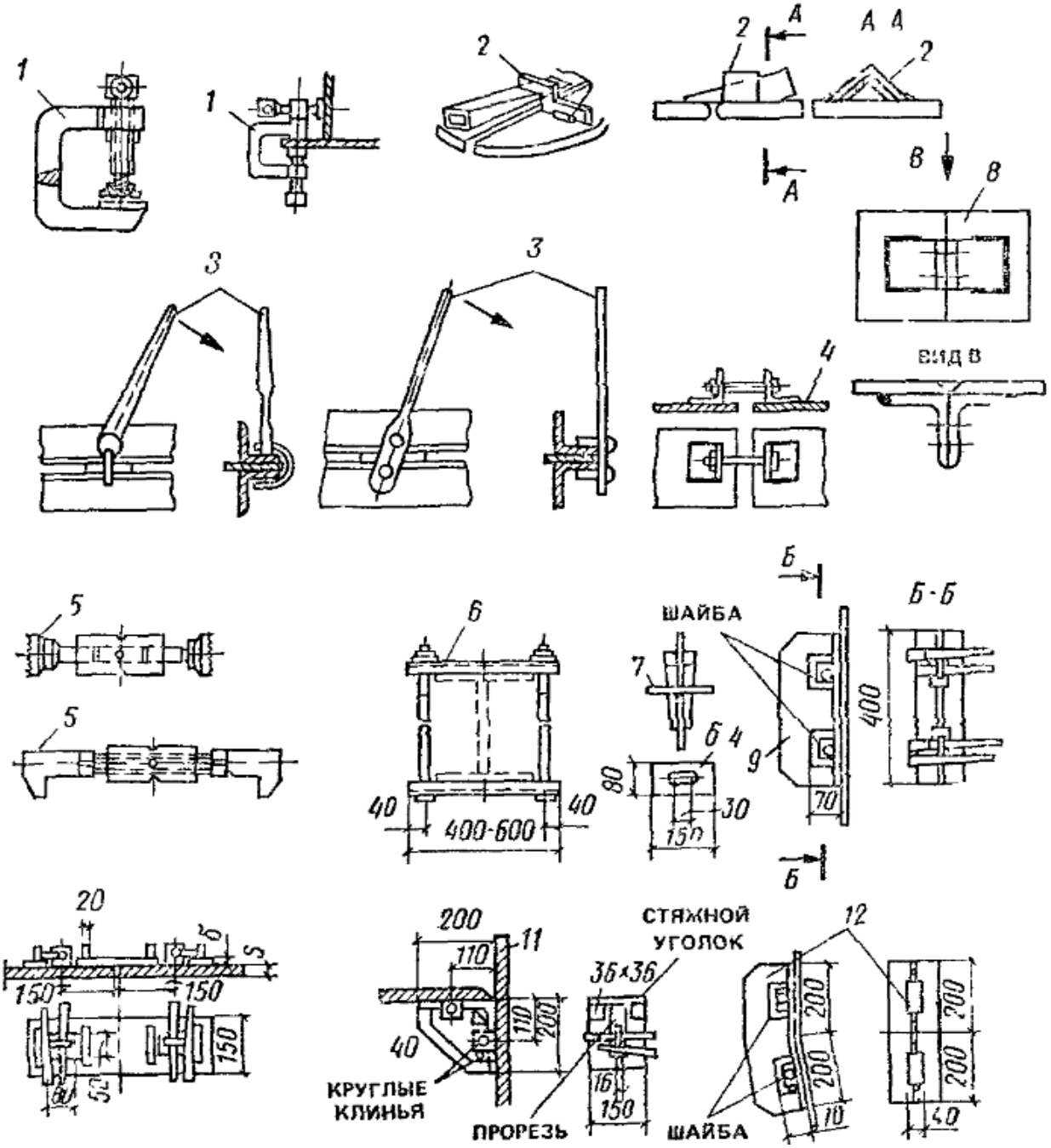
Важным этапом подготовки конструкции к сварке является сборка под сварку. Под ручную дуговую сварку конструкции собирают при помощи сборочных приспособлений или прихваток.

На рисунке 3.1 приведены некоторые типы сборочных приспособлений: струбцины *1* выполняют разнообразные операции по сборке углового металла, балок, полос и т. п.; клинья *2* используют для сборки листовых конструкций; рычаги *3* – для сборки углового металла и других конструкций; стяжные уголки *4* и угловые фиксаторы *8* – для сборки листовых конструкций; домкраты *5* – для стягивания обечаек, балок и других конструкций; прокладки с клиньями *7* – для сборки листовых конструкций с соблюдением величины зазора; стяжные планки *10* и угольники *11* – для сборки листовых конструкций под сварку без прихваток. Применяют и другие типы приспособлений.

На рисунке 3.2 приведено устройство некоторых прижимов рычажного и пневматического типов, используемых при изготовлении конструкций в цеховых условиях. К ним относятся быстродействующие откидные и пневматические прижимы.

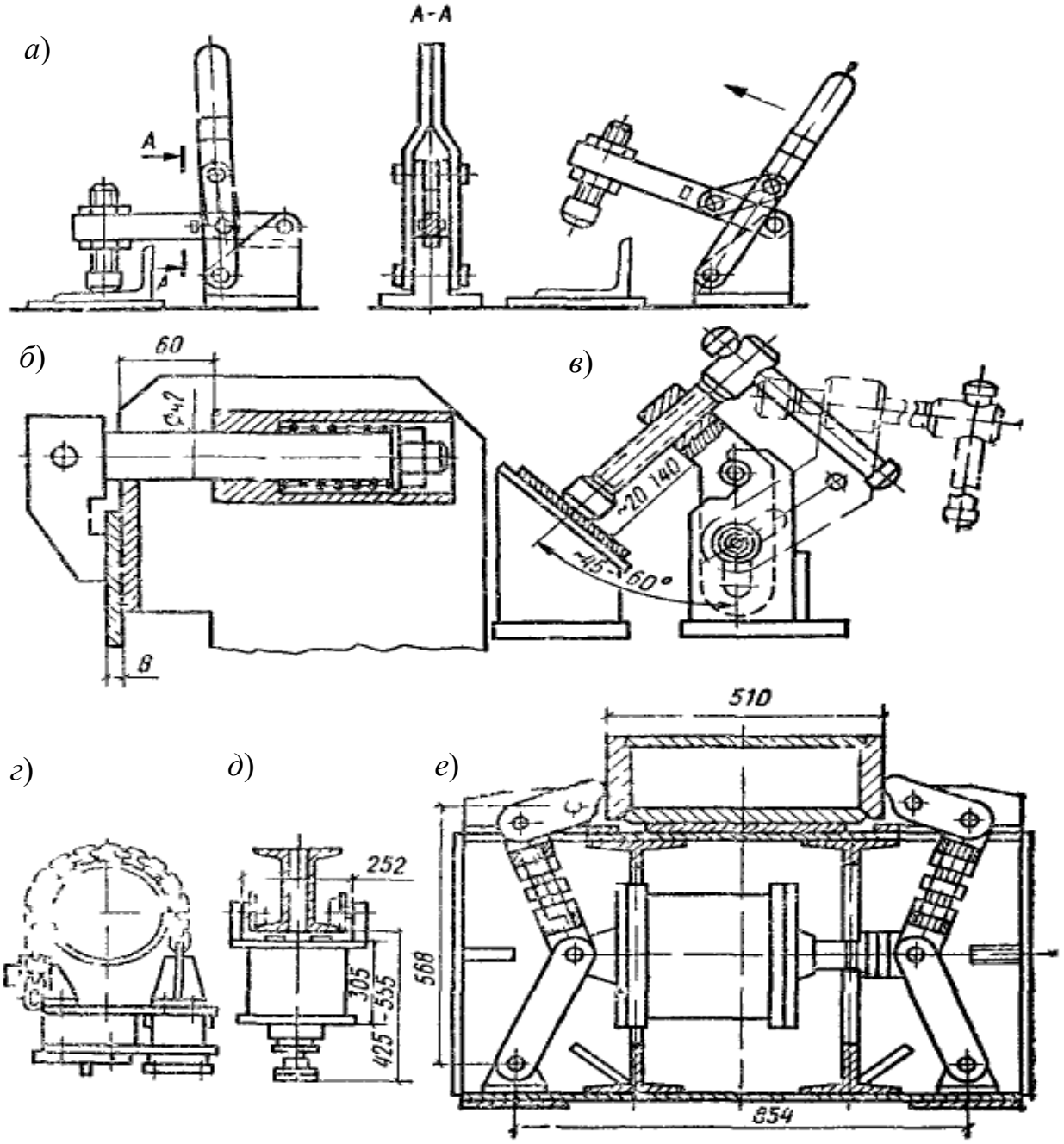
Перед сборкой обработанные элементы конструкций должны быть изме-

рены, осмотрены их кромки, а также прилегающий к ним металл, тщательно очищены от ржавчины, масла, краски, грязи, льда, снега, влаги и окалины. В цеховых условиях элементы конструкций собирают на стеллажах – плитах, имеющих пазы для установки в них приспособлений (болтов, стяжек, штырей и т. п.), крепящих собираемые элементы по размерам, предусмотренным в чертежах.



1 – струбцины; *2* – клинья; *3* – рычаги; *4* – стяжные уголки; *5* – домкраты; *6* – стяжная рамка; *7* – прокладка с клиньями; *8* – уголковый фиксатор; *9*, *12* – стяжные тавры; *10* – стяжная планка; *11* – стяжной угольник

Рисунок 3.1 – Сборочные приспособления



а – рычажный; *б* – винтовой; *в* – рычажно-винтовой с пневмоцилиндрами; *г* – цепной; *д* – передвижной; *е* – зажимной

Рисунок 3.2 – Прижимы

Используются также простейшие стеллажи из горизонтальных балок, установленных на стойках высотой 200…400 мм. На рисунке 3.3 показан пример сборки листовых конструкций с помощью простейших приспособлений и сборки конструкций из профильного металла – углового, двутаврового. Кромки собранных конструкций, подлежащие сварке, по своей форме и размерам должны соответствовать чертежам и стандартам.

Стыки конструкций по мере сборки закрепляют прихватками – короткими сварными швами для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке

деталей. Прихватки размещают в местах расположения сварных швов, за исключением мест их пересечения.

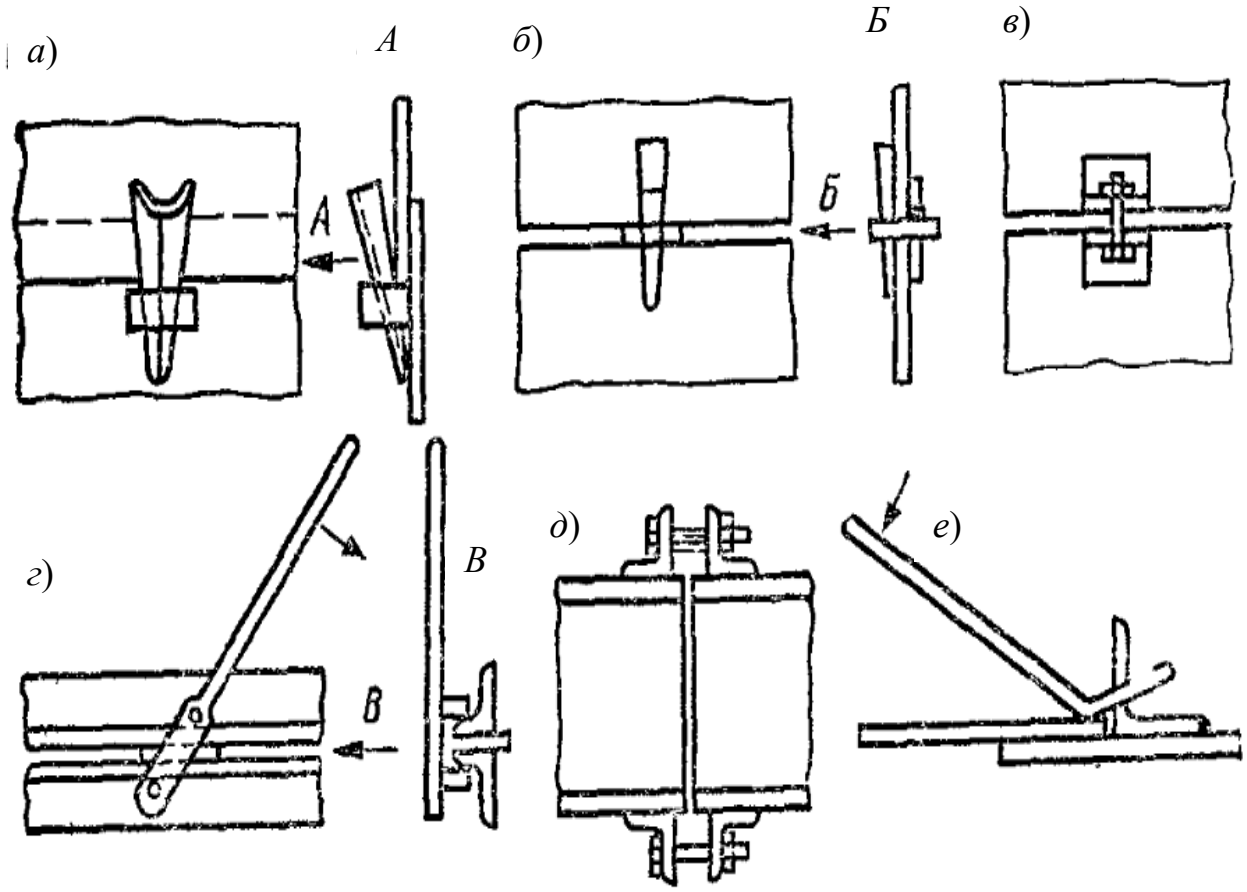


Рисунок 3.3 – Сборка конструкций листовых (*а–в*), из профильного металла (*г–е*)

Прихватки придают жесткость конструкции и препятствуют перемещению деталей от усадки при сварке, что может привести к образованию трещин, особенно в элементах большой толщины. Поэтому сборку на прихватках применяют при толщине металлов 6…10 мм, а при большей толщине используют сборочные приспособления, фиксирующие форму и размеры конструкций, однако допускающие ее незначительное перемещение от сварочной усадки. Такими приспособлениями являются клиновые стяжки (см. рисунок 3.1).

Непосредственно перед сваркой собранные стыки подлежат обязательному осмотру и при необходимости дополнительному исправлению дефектов сборки и очистке.

Подготовка труб к сборке и сварке. Перед сборкой и сваркой все трубы должны быть очищены, осмотрены и отсортированы. Наружная поверхность труб должна быть очищена от грязи, масла. После очистки необходимо произвести осмотр наружной и, при доступности, внутренней поверхностей для выявления трещин, раковин, глубоких рисок и коррозии. Перед сборкой стыков труб должна быть проверена перпендикулярность торцов труб.

Отклонения геометрических параметров стыкуемых элементов должны соответствовать указанным в нормативных документах.

Требования к прихватке и сварке. Количество прихваток и размеры прихваток должны быть минимально необходимыми и обеспечивать их расплавление при наложении швов заданного сечения. Прихватки необходимо выполнять с полным проваром.

Комплексная механизация сварочных работ предусматривает замену физического труда рабочего при выполнении не только собственно сварочных, но и вспомогательных работ, связанных с изготовлением сварных конструкций, требующих значительных затрат ручного труда.

Зазоры в стыковых соединениях должны быть равномерными и не превышать 2 мм. В соединениях внахлестку и в тавр элементы должны плотно прилегать друг к другу. Зазоры в таких соединениях допускаются в зависимости от толщины свариваемых элементов. Не допускается сборка деталей под напряжением с помощью хомутов или других способов стягивания соединяемых элементов, создающих в них остаточные напряжения.

Приспособления, применяемые при изготовлении сварных изделий, различают по назначению для сборки под сварку, либо для сварки уже собранных деталей, либо для сборки и сварки деталей (так называемые комбинированные сборочно-сварочные приспособления). Комбинированные приспособления должны быть достаточно прочными и жесткими, чтобы сохранить свои формы и размеры при воздействии усилий, возникающих в конструкции при нагреве в процессе сварки и при усадке сварных швов.

Подготовка и сборка элементов конструкции под сварку во многом предопределяют качество сварных соединений и их надежность. Вместе с тем не следует предъявлять излишних требований к подготовке и сборке деталей под сварку. Рациональной технологией сборки является такая технология сборки деталей, которая обеспечивает необходимое качество сварного соединения и шва при минимальных требованиях к сборке.

С увеличением толщины свариваемых кромок увеличиваются высота, длина и шаг прихваток. Поперечное сечение прихватки не должно превышать 1/8 сечения полного шва. В местах резких переходов, в острых углах, на окружностях с малым радиусом и в других местах концентрации напряжений установка прихваток не разрешается. Прихватки также не следует устанавливать вблизи отверстий, на расстоянии менее 10 мм от отверстия или от края детали.

При прихватке фланцев, цилиндров, шайб, трубчатых соединений и т. п. прихватки следует располагать симметрично. В случае двусторонней прихватки деталей прихватки следует располагать в шахматном порядке. Прихватки следует ставить в такой последовательности, которая исключает или сводит до минимума коробление листов. Прихватку длинных листов начинают с постановки прихваток на одном, а затем на другом концах соединений. Третью прихватку ставят в середине. Остальные прихватки ставят между ними.

Прихватку длинных листовых соединений в тавр начинают с середины соединения. Когда первая прихватка поставлена, последующие прихватки

ставят вначале от середины к одному концу, а затем от середины к другому концу. Стойки и раскосы прихватывают поочередно вначале к одному поясу, а затем между собой. Если между поясами несколько узлов, то сборку и прихватку начинают со среднего узла.

Сварочный ток при прихватке должен быть на 20 %…30 % меньше сварочного тока, необходимого для сварки тех же материалов. Прихватку следует выполнять электродами меньшего диаметра, чем для сварки той же детали; длина дуги при прихватке должна быть короткой, не более диаметра электрода; дугу следует отрывать не в момент образования кратера, а после полного его заполнения. После выполнения прихватки электродами остатки шлака следует полностью удалить с помощью зубила, молотка и металлической щетки.

В случаях если в прихватке обнаружена трещина, то после полного охлаждения прихватки с трещиной в непосредственной от нее близости устанавливают новую прихватку, а прихватку с трещиной убирают.

3.2 Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с общими положениями работы.

2 Ознакомиться с работой оборудования и приспособлений для сборки, сварки и прихватки.

3 По заданию преподавателя построить схему базирования деталей, выбрать параметры и места прихваток, описать технологию сборки и сварки.

3.3 Содержание отчета

1 Краткое описание операций подготовки металла под сварку, сборки и прихватки.

2 Краткое описание оборудования и приспособлений для сборки, сварки и прихватки.

3 Индивидуальное задание по построению схемы базирования деталей, выбору параметров и мест прихваток, описанию технологии сборки и сварки.

Контрольные вопросы

1 На какие этапы подразделяется подготовка конструкций к сварке?

2 Какие существуют требования к постановке прихваток для сварки?

3 Перечислите основные типы сборочных приспособлений.

4 Лабораторная работа № 4. Деформации при сварке тавровых и двутавровых балок, их расчет и экспериментальное определение

Цель работы: расчетно-экспериментальное исследование деформаций, возникающих при сварке таврового и двутаврового профилей; исправление этой деформации термической правкой; учет величины деформации при изготовлении конструкций.

Необходимые материалы

1 По одной пластине из малоуглеродистой стали размером 1000 × 80 × 3 и 1000 × 80 × 3 мм.
2 Электроды типов Э-42, Э-46 диаметром 4 мм.
3 Электродная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2 мм и баллон с CO_2.

Необходимое оборудование

1 Сварочный пост для ручной сварки.
2 Сварочный пост для сварки в среде CO_2.
3 Металлическая линейка длиной 500 мм.
4 Штангенциркуль.
5 Приспособление с призмами.
6 Сборочная плита.

4.1 Общие положения

В балках наиболее существенны в практическом отношении следующие виды перемещений: изгиб, закручивание, грибовидность полос и потеря устойчивости. Изгиб балок возникает от продольных и поперечных швов.

Прогибы от продольных швов возможно определить, используя величины фиктивных усадочных сил. Величину усадочной силы в зависимости от количества швов и конструкции балки (тавр, двутавр) можно определить по следующим формулам:

$$P_{1,2} = 1{,}7\frac{q}{v_{св}}; \tag{4.1}$$

или

$$P_{1,2} = 1{,}7DK^2; \tag{4.2}$$

$$P_{3,4} = (1{,}15...1{,}17)P_{1,2}; \tag{4.3}$$

$$P_{5,6} = 2\,P_{3,4}; \tag{4.4}$$

где K – катет шва, см;

D – коэффициент, при ручной сварке D = 40000, при автоматической D = 30000;

q – мощность дуги, $q = 0{,}24IU$;

$V_{СВ}$ – скорость сварки, см/с;

I – сварочный ток, А;

U – напряжение при сварке, В.

При сварке прерывистым швом усадочная сила от каждого участка шва

$$P_{УЧ.ПРЕР} = P_{1,2} \cdot \frac{t_ш}{t} \quad , \tag{4.5}$$

где $t_ш$ – длина участка шва;

t – шаг прерывистого шва.

Общая усадочная сила от прерывистого шва

$$P_{УЧ.ОБЩ} = P_{УЧ.ПРЕР} \cdot n \ , \tag{4.6}$$

где n – количество участков прерывистого шва.

Величина укорочения балки после сварки

$$\Delta_T = \frac{P_{УЧ} \cdot L}{E \cdot F} \quad , \tag{4.7}$$

где F – площадь сечения, мм^2;

E – модуль упругости, $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа;

L – длина шва, мм.

В формуле (4.5) $P_{УЧ}$ определяется по формуле (4.1) или (4.2) после наложения первого шва в тавровом соединении и по формуле (4.3) или (4.4) после наложения двух швов.

В формуле (4.6) $P_{УЧ}$ соответствует величинам $P_{1,2}$ $P_{3,4}$, отражающим порядок и количество наложения швов. Индексы указывают, по какой из формул определяется усадочная сила.

При сварке двутавровой балки играет роль последовательность сборки и сварки поясных швов. Если балка собирается сразу (стенка и две полки) и производится прихватка, то в формуле (4.7) за площадь сечения принимаются все сечения, а усадочная сила берется $P_{5,6}$. Если же собирается тавр и осуществляется сварка двух швов, то сначала рассчитывают укорочения от двух швов (площадь сечения F соответствует сечению тавра), затем рассчитывается укорочение от двух других швов (усадочная сила $P_{3,4}$), а за площадь сечения принимают все сечения двутавра. Сумма двух расчетов составит общее укорочение балки.

При сварке балки происходит продольный изгиб.

Для балки таврового сечения продольный изгиб

$$\gamma_{ПР} = \frac{P_{уч} \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot J}\ , \qquad (4.8)$$

где $P_{уч}$ – усадочная сила, рассчитывается по формулам, приведенным выше, с индексом 1 или 2 при наложении одного шва и индексом 3 или 4 после наложения двух швов;

L – длина шва;

J – момент инерции, см^4;

e – расстояние от центра тяжести сечения до центра тяжести швов.

После сварки двутавровой балки общий прогиб при последовательной сборке и сварке

$$\gamma_{об} = \gamma_1 - \gamma_2,$$

где γ_1 – прогиб балки от первого и второго швов (усадочная сила $P_{1,2}$), площадь сечения равна сечению тавра;

γ_2 – прогиб балки от третьего и четвертого швов (усадочная сила $P_{3,4}$), площадь сечения всего двутавра.

Для определения момента инерции требуется знать место положения центра тяжести сечения. Для двутавровой балки центр сечения находится в центре сечения балки.

Для тавровой балки при расположении осей координат, как указано на рисунке 4.1,

$$y_c = \frac{S_x}{F},$$

где F – площадь всего сечения тавра, см^2;

S_x – статический момент, см^3;

$$S_x = b \cdot \delta_1 \cdot \left(\frac{b}{2} + \delta_2 \right) + a \cdot \delta_2 \cdot \frac{\delta_2}{2}.$$

Момент инерции сечения тавровой балки

$$J = \frac{\delta_1 \cdot b^3}{12} + \delta_1 \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + \delta_2 - y_c \right)^2 + \frac{a \cdot \delta_2^3}{12} + \delta_2 \cdot a \cdot \left(y_c - \frac{\delta_2}{2} \right)^2.$$

Расстояние от центра тяжести сечения до центра тяжести шва в грубых расчетах может быть принято

$$e = y_c - \delta_2 - \frac{K}{2}.$$

При наплавке шва на кромку полки прогиб балки осуществляется в обратную сторону. В формулу (4.8) необходимо подставить значение e_1:

$$e_1 = b + \delta_2 - y_c.$$

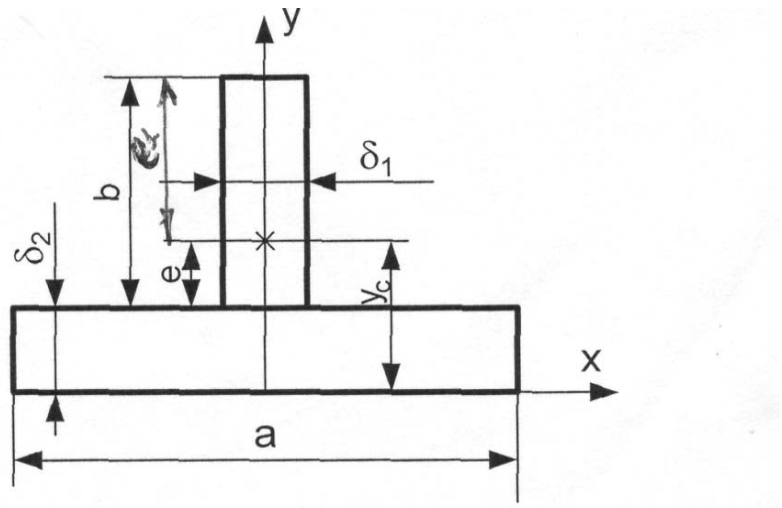


Рисунок 4.1 – Геометрические характеристики тавровой балки

Суммарный прогиб от наложения двух поясных швов на кромку стенки составит разность прогибов от поясных швов минус прогиб от шва, наплавленного на кромку стенки.

При сварке тавровых и двутавровых балок возникают поперечная и угловая деформации (грибовидности полок). В данной лабораторной работе не ставится задача их расчета и определения, поэтому эти виды деформации не рассматриваются.

4.2 Порядок выполнения работы

1 Установить полку на сборочную плиту.

2 Разместить место под установку стенки.

3 Установить стенку на полку, выверить угольником и прихватить.

4 Установить собранный тавр на призмы приспособления (рисунок 4.2).

5 На середину полки ребром установить линейку (рисунок 4.3) и с помощью штангенциркуля по всей длине через 50 мм произвести замеры размера A. В каждой точке измерения произвести трижды, а данные занести в таблицу 4.1 (усредненные).

6 Рассчитать прогиб или укорочение балки по указанию преподавателя.

7 Установить тавр в положение «в лодочку» и выполнить сварку первого шва.

8 После полного остывания повторить указанное в пп. 1–5.

9 Определить прогиб тавра ($A_1 - A_0$).

10 Установить тавр в положение «в лодочку» и выполнить сварку второго шва.

11 Повторить измерения по пп. 4 и 5, а расчеты − п. 9.

12 Выбрать один из вариантов правки сварной конструкции (наплавки на ребро балки прерывистого или сплошного шва).

Таблица 4.1 – Результаты замеров

Размер	Измеряемые величины в точках замера				
	0	1	2	3	…
A_0 до сварки					
A_1 после сварки первого шва					
$A_1–A_0$					
A_2 после сварки второго шва					
$A_2–A_0$					
A_3 после наплавки прерывистого шва					
$A_2–A_3$					
A_4 после наплавки всего шва на полку					
$A_2–A_4$					

13 Разметить стенки тавра согласно рекомендациям на рисунке 4.3.

Рисунок 4.2 – Приспособления для измерений

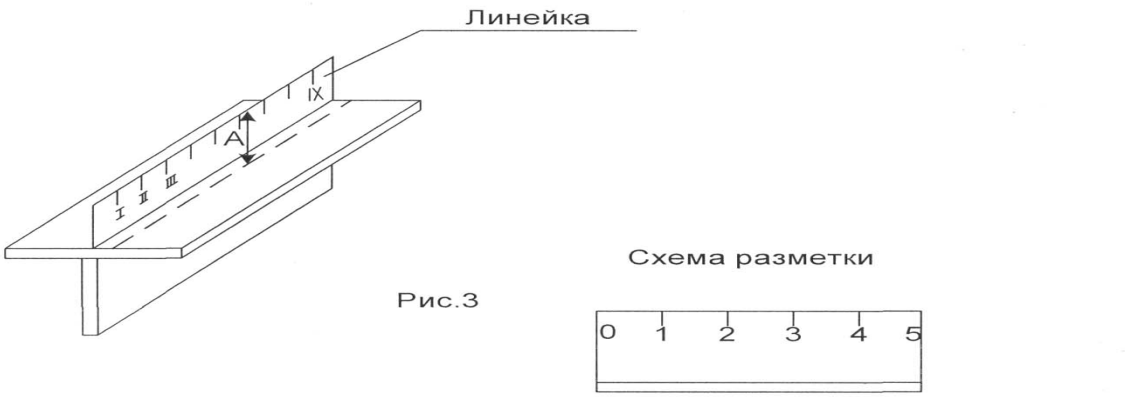


Рисунок 4.3 – Схема измерения и разметки

14 Произвести правку конструкции в зависимости от выбранной схемы.

15 Произвести замеры и расчеты, указанные в п. 4, 5, 9.

16 Построить графики, определяющие деформацию изгиба балки по длине после наложения первого, второго сварных швов и после правки, согласно выбранной схеме.

4.3 Охрана труда при выполнении работы

1 Использовать средства индивидуальной защиты при выполнении работ.

2 Изучить правила безопасной работы с баллонами для хранения газов и редукторами.

4.4 Содержание отчета

1 Описание методики выполнения работы с указанием способа прихватки и сварки, режимов.

2 Результаты опытов в виде таблицы и графиков.

3 Выводы по выполненной работе.

Контрольные вопросы

1 Почему при сварке балок возникают деформации изгиба, грибовидности и поперечной усадки?

2 Какие имеются способы устранения грибовидности полок после сварки?

3 Какие меры можно применять для уменьшения деформации при изготовлении балок?

5 Лабораторная работа № 5. Определение величины обратного выгиба балки и усилия для ее прижатия к приспособлению

Цель работы: изучение метода расчета прогиба балки перед сваркой для получения готового изделия с деформацией изгиба в пределах допуска; определение усилий прижатия балки к приспособлению.

5.1 Общие положения

Данная работа является продолжением лабораторной работы № 4 «Деформации при сварке тавровых и двутавровых балок, их расчет и экспериментальное определение», в которой определяют и рассчитывают прогибы балки при наложении различного количества сварных швов.

При расчете необходимого обратного выгиба или усилия прижатия балки принимают нагрузку q на кромку балки как равномерно распределенную согласно рисунку 5.1.

При этом прогиб балки под действием такой нагрузки

$$f_1 = \frac{q \cdot L^4}{E \cdot J} \cdot \frac{5}{384},$$

где L – длина балки, мм;

E – модуль упругости материала балки, МПа;
J – момент инерции сечения балки, мм^4.

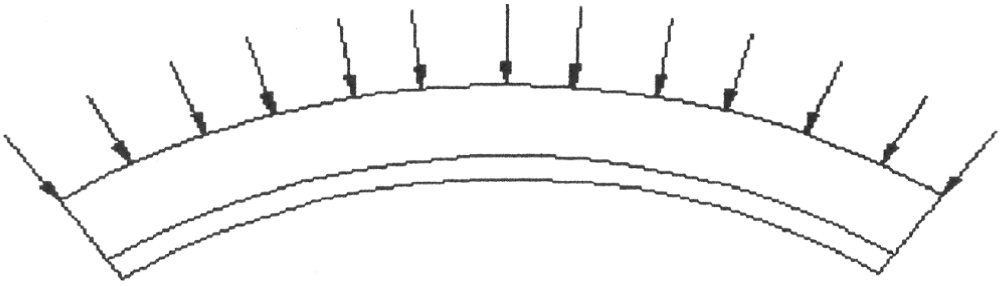


Рисунок 5.1 – Схема нагружения балки

Прогиб балки от усадочной силы, как указано в лабораторной работе № 4,

$$f_2 = \frac{P_{yc} \cdot e_0 \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot J}.$$

Для предотвращения деформации изгиба прогибы балки от действия усадочной силы и внешней нагрузки должны быть равны:

$$f_1 = f_2.$$

Тогда

$$q = 9{,}6 \cdot \frac{P_{yc} \cdot e}{L^2}.$$

Полная нагрузка на балку

$$Q = q \cdot L = \frac{9{,}6 \cdot P_{yc} \cdot e}{L}.$$

Для случая создания обратного выгиба необходимое усилие (для схемы на рисунке 5.2)

$$Q_1 = \frac{48 \cdot f \cdot E \cdot J}{L}.$$

Если в месте приложения силы Q_1 (по схеме на рисунке 5.2) в пределах балки установить упор, то по концам балки для создания требуемого выгиба балки следует приложить усилие.

$$R_A = R_B = \frac{Q_1}{2}.$$

Для схемы на рисунке 5.3, аналогично, если в месте приложения Q_2 и Q_3 установить упор, то можно определить необходимые значения R_A и R_B.

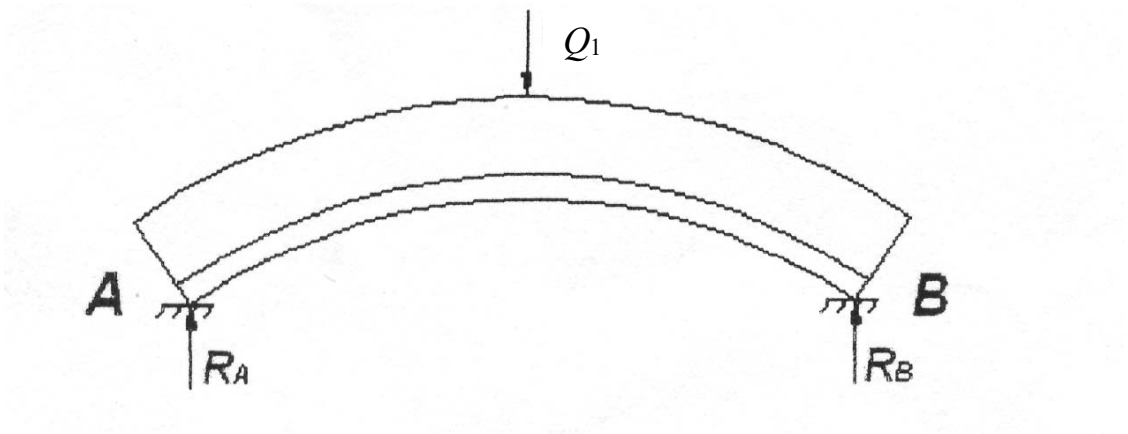


Рисунок 5.2 – Расчетная схема балки

Полученные значения сил R_A, R_B, Q_2, Q_3 могут быть основой для расчета прижимов сборочно-сварочных приспособлений.

$$Q_2 = Q_3 = \frac{3P_{yc}eL^2}{c(3L^2 - 4c^2)}.$$

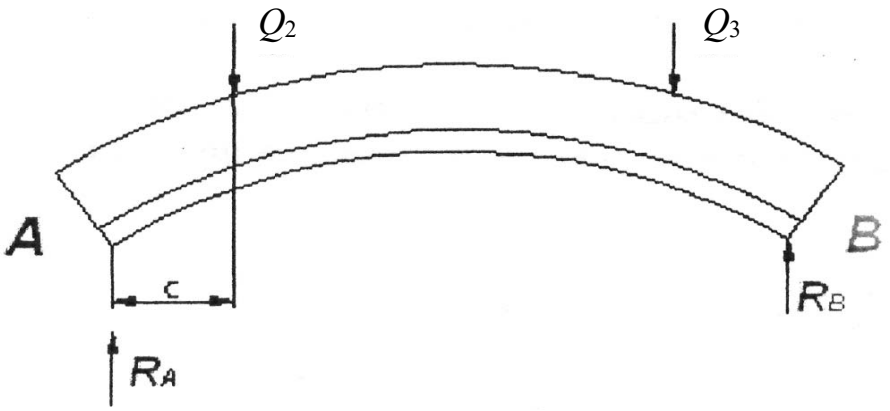


Рисунок 5.3 – Расчетная схема балки

2 Провести расчеты согласно п. 1, для случая схем на рисунках 5.1−5.3 (значения величин L, e, P_{yc} принять по данным лабораторной работы № 4, а величину c принять равной 100 мм).

3 Проведенные расчеты занести в отчет по форме (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Расчетные и экспериментальные данные

Порядковый номер	Длина L, мм	Прогиб f, мм	Q_1, кН	Q_2 , Q_3, кН	R_A, кН	R_B, кН

5.2 Охрана труда при выполнении работы

1 Использовать средства индивидуальной защиты при выполнении работ.
2 Изучить правила безопасной работы с баллонами для хранения газов и редукторами.

5.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать описание методики выполнения работы с указанием способа прихватки и сварки, режимов, а также результаты опытов в виде таблицы 5.1 и выводы по выполненной работе.

Контрольные вопросы

1 Какими способами можно обеспечить создание обратного выгиба балки?
2 С какой целью определяют усилие прижатия к приспособлению?
3 Какие меры можно применять для уменьшения деформации при изготовлении балок?

6 Лабораторная работа № 6. Исследование влияния отпуска на снятие остаточных напряжений и сварочных деформаций

Цель работы: определение эффективности высокотемпературного отпуска для снятия остаточных напряжений и сварочных деформаций.

Необходимое оборудование

1 Сварочный пост для ручной дуговой сварки (для сварки в защитных газах, машина для точечной или шовной сварки).
2 Печь для проведения термообработки.
3 Приспособление для зажатия пластин.
4 Штангенциркуль.

Необходимые материалы

Пластины из стали.

6.1 Общие положения

Наиболее распространенным способом снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях является высокотемпературный отпуск. Снятие напряжений основано на том явлении, что при нагреве и в процессе выдержки возникают пластические деформации металла (ползучесть), приводящие к снижению остаточных напряжений (рисунок 6.1).

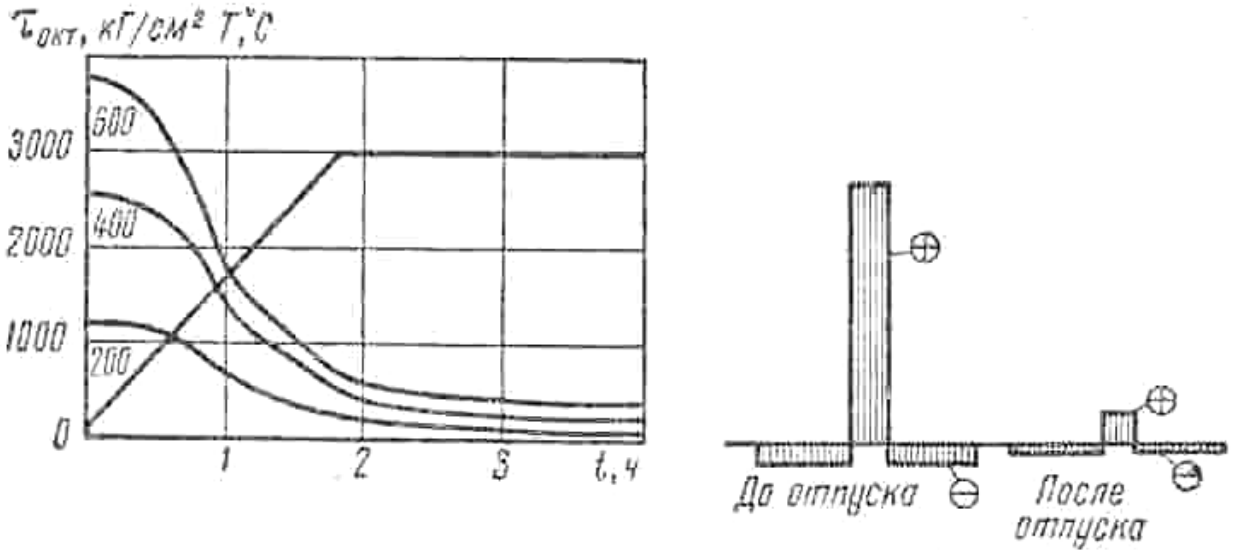


Рисунок 6.1 – Снятие напряжений при отпуске

Для конструкций их малоуглеродистых сталей температура отпуска составляет 600 °С…700 °С. Так как снятие напряжений при высоком отпуске происходит как в области растягивающих, так и в области сжимающих напряжений, то отпуск почти не устраняет сварочных деформаций.

В некоторых случаях, когда другие способы устранения деформаций являются неэффективными, применяют отпуск в зажимных приспособлениях, которые придают изделию необходимую форму. Изделие, прошедшее отпуск в зажимном приспособлении, сохраняет после отпуска форму, которую оно имело, будучи зажатым в приспособлении.

Измерение деформаций производится на двух тонких (1…1,5 мм) пластинах, проваренных на шовной машине (или другим способом сварки) и имеющих остаточные деформации.

6.2 Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с общими положениями работы.

2 Осуществить сварку двух пластин (способ сварки и тип соединения указывает преподаватель).

3 Замерить в четырех углах величину выхода из плоскости двух свободно лежащих сварных пластин (данные занести в таблицу 6.1).

4 Зажать в зажимном приспособлении одну пластину.

5 Загрузить в печь пластину в зажимном приспособлении и пластину в свободном состоянии. Закрыть печь.

6 По достижении в печи $T = 650$ °С выдержать образцы в течение 40 мин.

7 Выключить печь и выгрузить все образцы на металлическую пластину. Выдержать до полного остывания.

8 Вынуть пластину из приспособления и сравнить ее с пластиной, проходившей отпуск в свободном состоянии. Замерить вторично величину выхода пластин из плоскости (данные занести в таблицу 6.1).

9 Сделать выводы по работе.

6.3 Содержание отчета

1 Название работы.
2 Цель работы.
3 Результаты экспериментов (см. таблицу 6.1).
4 Выводы по работе.

Таблица 6.1 – Результаты экспериментов

Наименование	Свободная пластина				Зажатая пластина			
Номер угла пластины	1	2	3	4	1	2	3	4
Результат измерений до отпуска								
Результат измерений после отпуска								

6.4 Охрана труда при выполнении работы

1 Изучить правила безопасности труда при ручной дуговой, контактной сварке и сварке в защитных газах.

2 Изучить правила безопасности труда при работе с печью для термообработки.

Контрольные вопросы

1 С какой целью производится отпуск сварных конструкций?
2 Какие известны способы устранения напряжений и деформаций?

Список литературы

1 **Николаев, Г. А.** Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г. А. Николаев, В. А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.

2 **Куркин, С. А.** Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: атлас / С. А. Куркин, В. М. Ховов, А. М. Рыбачук. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

3 **Белоконь, В. М.** Производство сварных конструкций: учеб. пособие / В. М. Белоконь. – Могилев: ММИ, 1998. – 139 с.

4 **Красовский, А. И.** Основы проектирования сварочных цехов / А. И. Красовский. – М.: Машиностроение, 1965. – 392 с.

5 **Куликов, В. П**. Технология сварки плавлением и термической резки: учебник / В. П. Куликов. – Вологда: Инфра-инженерия, 2021. – 388 с.