

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

В. А. Фруцкий

СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

Учебно-методический комплекс
для студентов специальности 1-70 05 01 «Проектирование, сооружение
и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ»

Новополоцк
ПГУ
2012

УДК 621.791:621.64(075.8)
ББК 30.61:39.7я73
Ф93

Рекомендовано к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета в качестве учебно-методического
комплекса (протокол № 7 от 17.07.2011)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

и. о. нач. Центра по нефтехимии (г. Новополоцк)
РНИ УП «Институт нефти и химии» В. И. СОРОГОВЕЦ;
канд. техн. наук, доц. каф. трубопроводного транспорта
и гидравлики А. Г. КУЛЬБЕЙ

Фруцкий, В. А.

Ф93 Сварка трубопроводов : учеб.-метод. комплекс для студентов специаль-
ности 1-70 05 01 / В. А. Фруцкий. – Новополоцк : ПГУ, 2012. – 124 с.
ISBN 978-985-531-249-0.

Дает общее представление о сварке как о прогрессивном высокопроизво-
дительном технологическом процессе в производстве и монтаже строительных
металлоконструкций, учит применять основные методы управления конструк-
ционной прочностью материалов при сварочных работах и проводить обосно-
ванный выбор материала для изделий с учетом условий их эксплуатации.

Предназначен для студентов вузов.

УДК 621.791:621.64(075.8)
ББК 30.61:39.7я73

ISBN 978-985-531-249-0

© Фруцкий В. А., 2012
© УО «Полоцкий государственный
университет», 2012

ВВЕДЕНИЕ

Сварка трубопроводов относится к числу основополагающих дисциплин для технологических специальностей. Это связано с тем, что получение, разработка новых материалов, способы их обработки являются основой современного производства и во многом определяют уровнем своего развития научно-технический и экономический потенциал страны. Проектирование рациональных, конкурентноспособных изделий, организация их производства невозможны без достаточного уровня знаний в области сварки.

Разнообразие свойств материалов является главным фактором, определяющим их широкое применение в строительстве трубопроводов. Материалы обладают отличающимися друг от друга свойствами, причем каждое зависит от особенностей внутреннего строения материала. В связи с этим сварка как наука занимается изучением строения материала в тесной связи с их свойствами. Основные свойства материалов можно подразделить на физические, механические, технологические и эксплуатационные.

От физических и механических свойств зависят технологические и эксплуатационные свойства материалов.

Среди механических свойств прочность занимает особое место, так как, прежде всего, от нее зависит неразрушаемость изделий под воздействием эксплуатационных нагрузок. Учение о прочности и разрушении является одной из важнейших составных частей знания металлов. Оно является теоретической основой для выбора подходящих конструкционных материалов для строительства трубопровода в различных условиях эксплуатации и поиска рациональных способов формирования в них требуемых прочностных свойств для обеспечения надежности и долговечности изделий.

Основными материалами, используемыми в трубостроении, являются и еще долго будут оставаться металлы и их сплавы. Поэтому основной частью сварки является металловедение, в развитии которого ведущую роль сыграли российские ученые, такие как Аносов П. П., Чернов Д. К., Курнаков Н. С., Гуляев А. П.

В учебно-методическом комплексе рассмотрены физические основы строения и свойств конструкционных материалов, приводятся широко используемые методы сварочных работ для сохранения механических свойств материалов при различных видах нагружения, излагаются основы сварочно-термической обработки деталей, даются характеристики основных видов сварки.

ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Сварка — получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

Свариваемость — свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Сварка на подъем — сварка плавлением в наклонном положении, при которой сварочная ванна перемещается снизу вверх.

Сварка на спуск — сварка плавлением в наклонном положении, при которой сварочная ванна перемещается сверху вниз.

Сварка неповоротных стыков — сварка по замкнутому контуру во всех пространственных положениях, при которых объект сварки неподвижен.

Сварное соединение — неразъемное соединение, выполненное сваркой.

Сварной шов — участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетанием кристаллизации и деформации.

Подварочный шов — меньшая часть двухстороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва.

Прихватка — короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей.

Валик — металл сварного шва, наплавленный или переплавленный в один проход.

Слой сварного металла — часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва.

Корень шва — часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности.

Термины, определяющие особенности сварного шва и его структуры.

Основной металл — металл, подвергающийся сварке и принадлежащий соединяемым частям.

Присадочный металл — металл для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу.

Наплавленный металл — переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл.

Металл шва — сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлом или только переплавленным основным металлом.

Сварочная ванна — часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии.

Глубина проплавления — наибольшая глубина расплавления основного металла в сечении шва или наплавленного валика.

Провар — сплошная металлическая связь между свариваемыми поверхностями основного металла, слоями и валиками сварного шва.

Зона сплавления при сварке — зона частично оплавившихся зерен на границе основного металла и металла шва.

Зона термического влияния (околошовная зона) при сварке — участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке.

Угар при сварке — потери металла на испарение и окисление при сварке.

Большинство терминов, приведенных выше, взято из ГОСТ 2601 «Сварка, пайка и термическая резка металлов».

Виды сварки.

Ручная дуговая сварка — сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение производятся вручную.

Ручная сварка — сварка, выполняемая человеком с помощью инструмента, получающего энергию от специального источника.

Механизованная дуговая сварка — сварка, при которой подача плавящегося электрода или присадочного металла или относительное перемещение дуги и изделия выполняются с помощью механизмов.

Механизованная (полуавтоматическая) сварка — сварка, выполняемая с применением машин и механизмов, управляемых человеком.

Автоматическая дуговая сварка — сварка, при которой возбуждение дуги, подача плавящегося электрода или присадочного металла и относительное перемещение дуги и изделия осуществляются механизмом без участия человека.

Автоматическая сварка — сварка, выполняемая машиной, действующей по заданной программе без непосредственного участия человека.

При сварке трубопроводов (магистральных и промысловых) используют:

- ручную электродугую сварку плавящимся электродом и порошковой проволокой;
- автоматическую сварку под флюсом;
- автоматическую и полуавтоматическую сварку в среде защитных газов;
- стыковую сварку оплавлением (контактную);
- газокислородную резку и сварку.

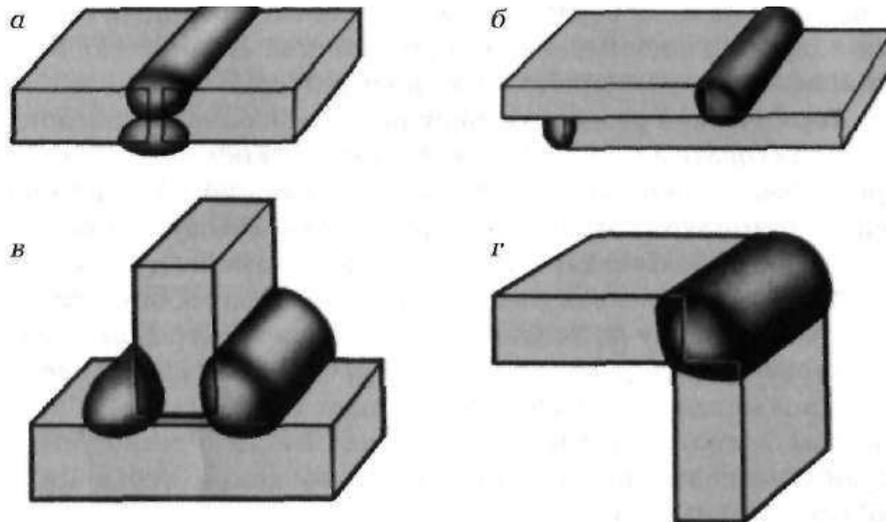


Рисунок 1.1 – Типы сварных швов:
a – стыковой; *б* – нахлесточный; *в* – тавровый; *г* – угловой

Сварные швы подразделяют по форме сечения (рис. 1.1) на стыковые, угловые, нахлесточные, тавровые. Стыковые и угловые швы могут быть односторонними (рис. 1.2, *a*, *e*) и двухсторонними (рис. 1.2, *б*, *ж*); выполняться с разделкой (рис. 1.2, *г*, *д*, *з*) и без разделки кромок (рис. 1.2, *б*, *в*, *e*). Прорезные швы могут выполняться с проплавлением верхнего листа или с предварительным его сверлением.

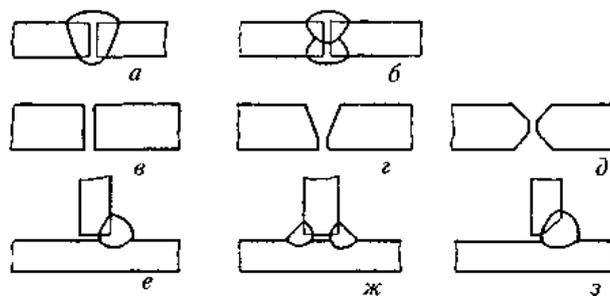


Рисунок 1.2 – Форма разделки кромок

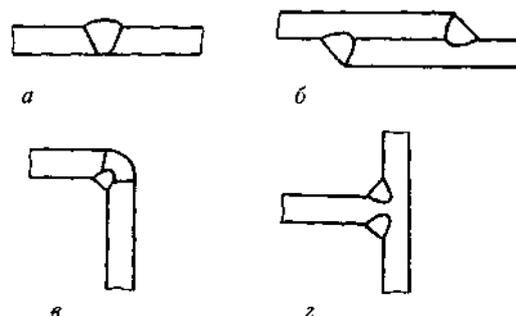


Рисунок 1.3 – Типы сварных соединений

Сварные соединения (рис. 1.3) в зависимости от характера сопряжения свариваемых деталей могут быть стыковыми (рис. 1.3, а), нахлесточными (рис. 1.3, б), угловыми (рис. 1.3, в), тавровыми (рис. 1.3, г). Например, на рисунке 1.3, б изображено нахлесточное соединение, но сварные швы в нем угловые.

Характер сварного соединения, его размеры, подготовка кромок регламентируются соответствующими стандартами. В сварочном производстве наиболее распространенными являются следующие стандарты:

СТБ 1016–96 Соединения сварные Общие технические условия;

ГОСТ 5264–80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 8713–79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 14771–76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

ГОСТ 11534–75 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острым и тупым углом;

ГОСТ 11533–75 Сварка под флюсом. Соединения сварные под острым и тупым углом;

ГОСТ 23518–79 Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острым и тупым углом;

ГОСТ 14806–80 Дуговая сварка алюминия в инертных газах;

ГОСТ 15164–78 Электрошлаковая сварка. Соединения сварные;

ГОСТ 16037–80 Соединения сварные стальных трубопроводов;

ГОСТ 16098–80 Соединения сварные из двухслойных коррозионно-стойких сталей.

ГОСТ 14098–91 Сварка арматуры и закладных деталей.

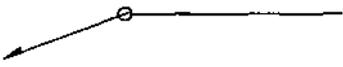
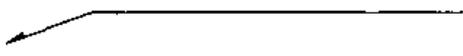
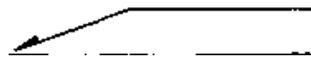
Приведенные стандарты используются для обозначения сварных соединений на чертежах.

Тип сварного соединения обозначается буквами: С — стыковое; Н — нахлесточное, У — угловое, Т — тавровое. Цифра после этой буквы уточняет тип подготовки кромок.

В таблице 1.1 представлены примеры обозначения сварных швов на чертежах.

Таблица 1.1 – Примеры обозначения сварных швов на чертежах

Тип соединения	Обозначение на чертежах
Стыковое сварное соединение с V-образной разделкой кромок, выполненное ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, усиление шва снято	ГОСТ 5264-80-С17 

Тип соединения	Обозначение на чертежах
Стыковое соединение, сваренное автоматом двухсторонним швом без разделки кромок плавящимся электродом в среде углекислого газа	ГОСТ 14771-76-С7-УП-А 
Тавровое соединение, сваренное на монтаже односторонним прерывистым швом катетом 5 мм (длина участка шва – 100 мм, шаг наложения швов – 200 мм) в углекислом газе, плавящимся электродом, полуавтоматом	ГОСТ 14771-76 Т1-УП-П- Δ5-100/200 
Стыковое соединение с отбортовкой, сваренное по замкнутому контуру неплавящимся электродом в среде инертных газов без присадки	ГОСТ 14771-76С1-ИН 
Тавровое соединение, сваренное двухсторонним прерывистым швом, участки которого расположены в шахматном порядке Катет шва – 5 мм, сварка механизированная под флюсом	ГОСТ 8713-79-ТЗ-МФ-Δ5-100Z200 
Упрощенное обозначение одинаковых швов при условии полного обозначения одного из них под № 1. Упрощенное обозначение одинаковых швов при расшифровке полностью обозначается в технических условиях	№ 1 

Контрольные вопросы

1. Что такое сварка (определение)?
2. Что такое свариваемость (определение)?
3. Что такое сварное соединение (определение)?
4. Что такое сварной шов (определение)?
5. Что такое подварочный шов (определение)?
6. Что такое прихватка (определение)?
7. Что такое корень шва (определение)?
8. Что такое валик (определение)?
9. Что такое основной металл (определение)?
10. Что такое присадочный металл (определение)?
11. Что такое зона термического воздействия (ЗТВ) (определение)?
12. Виды сварки.
13. Типы сварных соединений.

ТЕМА 2. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ, СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ

Классификация способов сварки. Для получения неразъемного соединения свариваемые детали необходимо сблизить на расстояние ($A \sim 4 \cdot 10^{-10}$ м), при котором между ними произойдет преодоление энергетического барьера потенциальной энергии системы атомов поверхностных слоев и образуются общие межатомные, межионные и металлические связи. Сближению деталей до нужного расстояния препятствуют неровности поверхности, а также находящиеся на ней загрязнения и оксидные пленки. Для преодоления их влияния необходимо затратить энергию, которая при сварке передается свариваемым поверхностям двумя физическими процессами: нагревом и давлением. На рисунке 2.1. приведен график, характеризующий соотношения между температурой и давлением, при которых возможно образование сварного соединения (конкретные численные значения зависят от характеристик свариваемого металла).

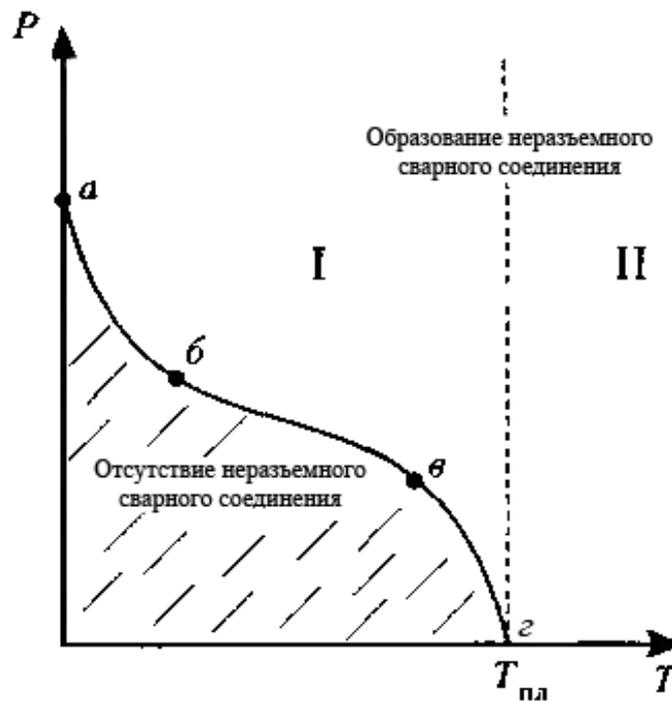


Рисунок 2.1 – Возможность образования сварного изделия

Диапазон соотношений достаточно велик. Можно вообще не нагревать металл извне, а создать в зоне сварки высокое давление (точка a). При этом активация поверхностей свариваемых деталей и образование сварного соединения происходят за счет значительных пластических деформаций.

По этой схеме образуются соединения при холодной сварке, сварке взрывом. Если металл нагреть до определенной температуры, то для образования сварного соединения можно использовать меньшее давление (точка б). Этой точке, например, соответствует сварка трением, при которой тепло выделяется за счет трения при вращении одной из деталей и одновременном сдавливании обеих деталей. При дальнейшем увеличении температуры усилие сжатия деталей, необходимое для сварки, продолжает уменьшаться. Например, при относительно невысоких давлениях и температуре нагрева $T_n = 0,7T_{пл}$ осуществляется диффузионная сварка (точка в). При нагреве металла до температуры плавления (точка г) для получения сварного соединения применять давление нет необходимости. Расплавленный жидкий металл растекается по активированной нагревом поверхности твердого металла, смачивает ее и приближается на расстояние, достаточное для установления общих связей. После охлаждения образуется неразъемное соединение. Таким образом, все способы сварки делятся на две группы: сварка давлением и сварка плавлением. Для сварки давлением (см. рис. 2.1, область I) характерно наличие усилия сжатия свариваемых деталей, которое обеспечивает пластическое деформирование металла в зоне сварки.

Сварка плавлением (см. рис. 2.1, область II) производится без давления, а температура нагрева металла выше температуры его плавления.

Сваркой давлением могут соединяться металлы, пластмассы, стекло, керамика (например, диффузионной сваркой).

Сварка плавлением обычно используется для соединения металлов. Способы сварки плавлением обычно классифицируются по трем признакам: источнику нагрева металла, способу защиты расплавленного металла от окружающей атмосферы, степени механизации процесса сварки.

В зависимости от источника нагрева металла способы сварки плавлением делятся на следующие:

- дуговая (источник нагрева металла — свободно горящая между электродом и изделием электрическая дуга);
- плазменная (источник нагрева металла — сжатая электрическая дуга, через которую со сверхзвуковой скоростью продувается газ, приобретающий свойства плазмы);
- электрошлаковая (источник нагрева металла — расплавленный флюс (шлак), по которому протекает электрический ток);
- электронно-лучевая (источник нагрева металла — кинетическая энергия электронов, движущихся в вакууме под действием мощного электрического поля);

- лазерная (источник нагрева металла — луч оптического квантового генератора (лазера) в световом или инфракрасном диапазоне);
- газовая (источник нагрева металла — высокотемпературное пламя, образующееся при сгорании газа в смеси с кислородом).

Первые пять способов иногда называют способами электрической сварки плавлением. Последний относят к газопламенной обработке металлов, поскольку электрическая энергия для его осуществления не используется. Наиболее распространенной среди способов сварки плавлением является дуговая сварка.

Для получения качественного сварного соединения расплавленный металл в процессе сварки необходимо защищать от окружающей атмосферы. В зависимости от применяемой защиты различают следующие способы сварки:

- покрытыми электродами (роль защиты выполняет покрытие электрода, разлагающееся при нагреве);
- под флюсом (защита осуществляется с помощью специального порошка (флюса), который подается в зону сварки из бункера);
- в защитных газах (защита осуществляется с помощью газа, который, как правило, подается через сопло сварочной горелки);
- порошковой проволокой (функцию защиты выполняет предварительно засыпанный в трубчатую сварочную проволоку порошок, который при нагреве разлагается с образованием газа и шлака);
- в вакууме (расплавленный металл изолирован от окружающей атмосферы вакуумом, который создается в камере, где осуществляется сварка).

Для каждого способа сварки в классификации по источнику нагрева применяется тот или иной способ защиты. Для дуговой сварки могут применяться все пять способов защиты расплавленного металла от атмосферы. Электронно-лучевая сварка выполняется только в вакууме, электрошлаковая — только под флюсом, плазменная — только в защитных газах.

Еще одним признаком классификации, который чаще всего используется применительно к дуговой сварке, является степень механизации процесса. В процессе сварки к основным операциям относятся подача электрода или проволоки в зону сварки и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок. Если обе операции выполняются сварщиком вручную, сварка называется *ручной*. Если механизирована подача проволоки, сварку называют *механизированной* (иногда *полуавтоматической*). Если механизированы обе операции — подача проволоки и перемещение дуги — сварку называют *автоматической*. По форме энергии, используемой для образования сварного соединения, все сварочные процессы подразделяются на три класса: термический, термомеханический и механический.

Термический класс. К нему относятся процессы сварки, осуществляемые с использованием только тепловой энергии. Сварка происходит с обязательным местным расплавлением соединяемых деталей.

Термомеханический класс. К классу относятся процессы сварки, выполняемые с использованием тепловой энергии и давления. При сварке соединяемые детали нагреваются, как правило, до весьма высоких температур; некоторые способы сварки проходят с нагревом металла до температуры плавления.

Механический класс. К классу относятся процессы сварки, осуществляемые с использованием только механической энергии, например, давления. В свою очередь, каждый класс подразделяется на виды сварки, физическими признаками которых служат виды конкретных источников энергии, непосредственно используемых для образования сварного соединения (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Основные виды сварки

Класс сварки	Вид сварки	Источник энергии
Термический	Дуговая	Электрическая дуга. Используется тепло электрической дуги
	Электрошлаковая	Электрорасплав. Используется тепло, выделяемое при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный шлак
	Электронно-лучевая	Электронный луч. Используется тепло, выделяемое при бомбардировке места сварки направленным электронным потоком
	Плазменная	Плазменный луч. Используется тепло сжатой электрической дуги
	Газовая	Газовое пламя. Используется тепло пламени смеси газов, сжигаемой с помощью горелки
	Термитная	Реакция термита. Используется тепло, выделяемое при горении термитной смеси (смеси алюминия и окислов железа)
	Световая	Фотонный луч. Используется тепло сфокусированного луча светового потока
Термомеханический	Контактная	Электрический контакт. Используется тепло, выделяемое в контакте свариваемых деталей при прохождении через них электрического тока. Сварка осуществляется с применением давления
	Газопрессовая	Газовое пламя. Используется тепло пламени смеси газов, сжигаемых с помощью специальных горелок. Сварка осуществляется с применением давления

Класс сварки	Вид сварки	Источник энергии
Термомеханический	Диффузионная	Токи высокой частоты, электронный луч, электрический контакт и т. п. Используется тепло, выделяемое этими источниками энергии. Сварка осуществляется с применением низкого удельного давления
	Печная	Печной нагрев. Сварка осуществляется с применением давления
Механический	Холодная	Прессовый контакт, создаваемый гидравлической, пневматической и механической системами сжатия
	Взрывом	Ударный контакт, создаваемый взрывом
	Ультразвуковая	Вибрирующий контакт с использованием ультразвуковых колебаний и системы сжатия
	Трением	Трущийся контакт, создаваемый системой сжатия и вращением. Сварка осуществляется с использованием выделяемого в трущемся контакте тепла

Контрольные вопросы

1. Условия образования сварного соединения.
2. Группы сварки.
3. Классификация по признакам сварки плавлением.
4. Классификация сварочных процессов по форме энергии.
5. Какие виды сварки относятся к термическому классу?
6. Какие виды сварки относятся к термомеханическому классу?
7. Какие виды сварки относятся к механическому классу?

ТЕМА 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

Основные металлургические процессы, происходящие при сварке:

1) под действием дуги происходит расплавление:

- кромок свариваемого изделия;
- электродного (или присадочного) металла;
- обмазки электрода или флюса;

2) образуется сварочная ванна расплавленного металла, окруженная «оболочкой» холодного металла и покрытая слоем расплавленного шлака;

3) при сварке происходят взаимодействия:

- металл \leftrightarrow шлак;
- металл \leftrightarrow газы + воздух.

Начало — с момента образования капле металла электрода. Конец — полное охлаждение наплавленного металла.

Факторы, определяющие особенности металлургических процессов, протекающих в металле при сварке:

1) высокая температура процесса (700–1500°C и выше);

2) небольшой объем ванны расплавляемого металла (0,5–1,5 см³ — для ручной дуговой сварки);

3) большие скорости нагрева и охлаждения металла;

4) отвод тепла в окружающий основной металл (высок зимой);

5) интенсивное взаимодействие расплавленного металла с газами и шлаками в зоне дуги.

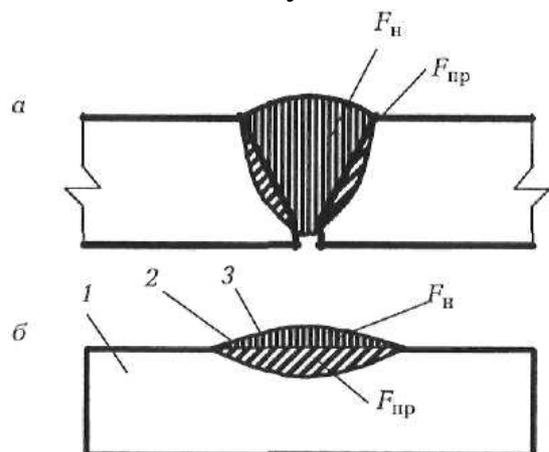


Рисунок 3.1 – Поперечное сечение шва:

а – стыковое соединение; *б* – наплавка:

- 1 — основной металл; 2 — проплавленный (основной) металл; 3 — наплавленный (присадочный) металл

ния (с разделкой, без разделки), вида и режима сварки и может быть определена по отношению площади, занятой основным металлом в поперечном

Химический состав металла. Химический состав металла шва и его свойства зависят от состава и доли участия в формировании шва основного и электродного (присадочного) металла, реакций взаимодействия расплавляемого металла с газами атмосферы и защитными средствами. Металл шва в общем случае при сварке плавящимся электродом или применении металлических присадок (проволоки, порошка и т. п.) образуется в результате перемешивания в ванне основного и электродного (присадочного) металла. Доля основного металла в шве зависит от вида соединения

сечении шва, ко всей его площади (рис. 3.1): F_{np} , F_n — площади, занятые основным и электродным (присадочным) металлом соответственно.

При ручной дуговой сварке покрытым электродом доля основного металла в шве составляет 0,15–0,40 при наплавке валиков; 0,25–0,50 — при сварке корневых швов; 0,25–0,60 — при сварке под флюсом. При отсутствии химических реакций в зоне сварки содержание любого элемента в металле шва ($C_{ш}$) может быть найдено по формуле

$$C_{ш} = C_0 \sqrt[0]{0} + C_э(1 - \sqrt[0]{0}),$$

где C_0 , $C_э$ — исходное содержание элемента в основном и электродном металле;

$\sqrt[0]{0}$ — доля основного металла.

Например, определим содержание никеля в металле шва при дуговой сварке стали, содержащей 1,2% никеля, с использованием электродной проволоки с содержанием никеля 1,5% (сварка встык без разделки). Принимая среднее значение $\sqrt[0]{0} = 0,3$, получаем

$$C_{ш} (\text{Ni } \%) = 1,2 * 0,3 + 1,5(1 - 0,3) = 1,41\%.$$

В случае химических реакций расплавленного металла с газами, покрытиями, шлаковой ванной состав металла шва определяют с учетом коэффициентов перехода, показывающих, какая доля металла, содержащегося в электродной проволоке, переходит в металл шва:

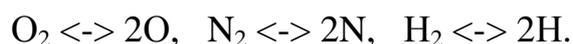
$$C_{ш} = C_0 \sqrt[1]{0} + \gamma C_э(\sqrt[1]{0} - \sqrt[1]{0}),$$

где γ — коэффициент перехода; он изменяется в широких пределах (0,3–0,95) в зависимости от химической активности элемента, вида сварки, технологии сварки и др.

Металлургические реакции при сварке. При сварке без защиты расплавляемый металл интенсивно поглощает газы атмосферы, поэтому сварные швы обладают низкими механическими свойствами. Для изоляции металла от воздуха в процессе сварки применяют различные средства защиты: электродные покрытия, флюсы, защитные газы, вакуум. Однако полностью изолировать металл от воздуха обычно не удается. Сами средства защиты также взаимодействуют с металлом, даже инертный газ и вакуум содержат некоторое количество примесей. Химические реакции взаимодействия расплавленного металла с газами и средствами защиты называются сварочными металлургическими реакциями. Выделяют две основные зоны или стадии взаимодействия расплавленного металла с газами и шлаком: торец электрода с образующимися на нем каплями и сварочную ванну. Полнота протекания металлургических реакций зависит от температуры, времени взаимодействия, поверхности и концентрации

реагирующих веществ. Характерные условия металлургических реакций при сварке, как и при кристаллизации, — высокая температура нагрева, относительно малый объем расплавляемого металла, кратковременность процесса. Средняя температура каплевого электрода, поступающего в ванну, возрастает с увеличением плотности тока и составляет при сварке сталей от 2200 до 2700 °С, т. е. характеризуется значительным перегревом. Температура сварочной ванны при дуговой сварке также характеризуется значительным превышением над точкой плавления, перегрев составляет 100–500 °С. Высокая температура способствует высокой скорости протекания реакций, однако из-за больших скоростей охлаждения реакции при сварке обычно не успевают завершиться полностью. Металлургические реакции при сварке одновременно протекают в газовой, шлаковой и металлической фазах.

Взаимодействие металла с газами. При дуговой сварке газовая фаза зоны дуги, контактирующая с расплавленным металлом, состоит из смеси N₂, O₂, H₂, CO₂, CO, паров H₂O, а также продуктов их диссоциации и паров металла и шлака. Азот попадает в зону сварки, главным образом, из воздуха. Источниками кислорода и водорода являются воздух, сварочные материалы (электродные покрытия, флюсы, защитные газы и т. п.), а также окислы, поверхностная влага и другие загрязнения на поверхности основного и присадочного металла. Наконец, кислород, водород и азот могут содержаться в избыточном количестве в переплавляемом металле. В зоне высоких температур происходит распад молекул газа на атомы (диссоциация). Молекулярный кислород, азот и водород распадаются и переходят в атомарное состояние:



Активность газов в атомарном состоянии резко повышается. При контакте расплавленного металла, содержащегося в газовой или шлаковой фазах, происходит растворение кислорода в металле, а при достижении предела растворимости — химическое взаимодействие с образованием оксидов. Одновременно происходит окисление примесей и легирующих элементов, содержащихся в металле. В первую очередь, окисляются элементы, обладающие большим сродством к кислороду. Например, титан окисляется по реакции $Ti + O_2 = TiO_2$, марганец — по реакции $Mn + O_2 = MnO_2$.

Железо образует с кислородом три соединения (оксиды): закись железа FeO, содержащую 22,27% O₂; закись-окись железа Fe₃O₄, содержащую 27,64% O₂; окись железа, содержащую 30,06% O₂.

Кислород поступает в зону сварки из воздуха и из электродного покрытия. В первую очередь, он окисляет железо, образуя с ним три основных окисла: FeO, Fe₃O₄ и Fe₂O₃. Кислород окисляет железо и из углекислого газа, и из водяных паров.

$\text{Fe} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{FeO} + \text{CO}$; $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$; FeO — закись железа оказывает наибольшее влияние на материал шва, т. к. она растворяется в железе; с увеличением температур растворимость увеличивается.

Влияние кислорода:

1) при охлаждении шва происходит выпадение FeO из раствора;
2) при увеличении скорости охлаждения образуются шлаковые (оксидные) прослойки между зернами металла, что, как следствие, резко уменьшает все механические свойства шва;

3) кислород взаимодействует с C , Mn и Si и др. легирующими элементами, уменьшая их содержание в металле шва (изменяет химический состав). Содержание в металле шва: в виде окисных включений Fe , Mn , Si . При сварке незащищенной дугой процентная масса кислорода — 0,3%, защищенной — 0,05% (в кипящей стали Ст.3 — 0,001–0,02%). Кислород снижает прочностные и пластические свойства металла.

Азот растворяется в большинстве конструкционных материалов и со многими элементами образует соединения, которые называются нитридами.

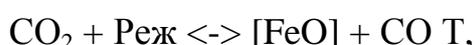
Азот поступает в зону сварки из окружающего воздуха. Взаимодействует с Fe , растворяется в нем, а при охлаждении выделяется и образует нитриды железа Fe_2N , марганца, кремния. Влияние азота: старение металла — повышает прочность и твердость, значительно снижает пластичность и вязкость за счет выпадения нитридов железа. Азот вызывает охрупчивание, появление пор и старение деталей.

Водород также растворяется в большинстве металлов. Металлы, способные растворять водород, можно разделить на две группы. К первой группе относят металлы, не имеющие химических соединений с водородом (железо, никель, кобальт, медь и др.). Ко второй группе относятся металлы (титан, цирконий, ванадий, ниобий, тантал, палладий, редкоземельные элементы и др.), образующие с водородом химические соединения, которые называются гидридами. Влияние: при охлаждении водород переходит из атомарного состояния в молекулярное и вызывает пористость и мелкие трещины, пластичность металла снижается.

Углекислый газ, присутствующий в зоне дуги при сварке в CO_2 , активно окисляет металл по реакции, которая протекает в две стадии:



В суммарном виде реакция имеет вид:



где $[\text{FeO}]$ — закись железа, растворившаяся в железе. Образующаяся окись углерода CO в металле шва не растворяется, в процессе кристаллизации

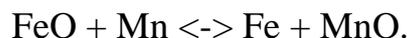
сварочной ванны она выделяется и может образовать поры. Углекислый газ применяют для защиты зоны сварки при использовании раскисляющих элементов (Mn, Si), нейтрализующих окислительное действие CO_2 .

Водяной пар, находящийся в газовой фазе, взаимодействует с жидким металлом по уравнению



Основные способы борьбы с вредным влиянием газов — качественная защита и применение элементов раскислителей в сварочных материалах.

Взаимодействие металла со шлаком. При расплавлении сварочного флюса, электродного покрытия, сердечника порошковой проволоки образуется шлак. Основное назначение сварочного шлака — изоляция расплавленного металла от воздуха. Флюсы и покрытия стабилизируют дугу, способствуют качественному формированию шва, осуществляют металлургическую обработку расплавленного металла — его раскисление и легирование. Характерными реакциями раскисления являются реакции раскисления закиси железа кремнием и марганцем, содержащимися в сварочных флюсах и покрытиях:



Оксиды кремния и марганца переходят в шлак. Сварочные материалы наряду с окислителями могут содержать вредные компоненты — серу и фосфор, так как они являются причиной горячих трещин и охрупчивания металла шва. Сера, соединяясь с железом, образует сульфид железа FeS . Металл очищают от серы, вводя более активный элемент, чем свариваемый металл, по реакции $\text{FeS} + \text{Mn} \leftrightarrow \text{Fe} + \text{MnS}$. Сульфид марганца менее растворим в стали, чем сульфид железа, что вызывает перераспределение серы из расплавленного металла в шлак.

Контрольные вопросы

1. Основные процессы, происходящие при сварке.
2. Факторы, определяющие особенности металлургических процессов, протекающих в металле при сварке.
3. Определение содержания элемента в металле шва.
4. Взаимодействие расплавленного металла с кислородом.
5. Взаимодействие расплавленного металла с азотом.
6. Взаимодействие расплавленного металла с водородом.
7. Взаимодействие расплавленного металла с углекислотой.
8. Взаимодействие расплавленного металла со шлаком.

ТЕМА 4. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Металл в любой зоне сварного соединения испытывает нагрев и последующее охлаждение. Изменение температуры металла во время сварки называется термическим циклом сварки. Максимальная температура нагрева в разных зонах соединений различна: в шве максимальная температура превышает температуру плавления, в зоне сплавления — близка, в зоне термического влияния — меньше; она постепенно уменьшается по мере удаления от шва. При нагреве в металле происходят следующие структурные и фазовые превращения:

- растворение фаз в металле в твердом состоянии, например, карбидов (соединений металла с углеродом) в нагретом металле;
- полиморфное превращение, т. е. превращение низкотемпературной модификации материала в высокотемпературную;
- плавление металла в участках, нагреваемых выше температуры плавления.

При охлаждении структурные и фазовые превращения идут в обратном порядке: кристаллизация; полиморфное превращение, т. е. переход из высокотемпературной фазы в низкотемпературную; выпадение из металла различных вторичных фаз (карбидов, интерметаллидов и др.). Кроме названных превращений, в металле в низкотемпературной области при сварке происходят структурные изменения, вызывающие разупрочнение основного металла: рекристаллизация, старение и др. Рассмотрим термический цикл и структуру сварного соединения при дуговой сварке низкоуглеродистой стали. На рисунке 4.1 показано, как распределяется максимальная температура в сварном соединении, схематичная структура разных зон соединения, изменение температуры (термические циклы) и свойств металла в этих зонах. Каждый металл состоит из очень мелких зерен. Эти зерна можно видеть на изломе. Совокупность всех зерен металла называется эгоструктурой. В металле различают макро- и микроструктуру. Макроструктура рассматривается невооруженным глазом и при небольших (до 10–15 раз) увеличениях. Структура металла, изучаемая при увеличениях более чем в 60–100 раз, называется микроструктурой.

На участке 1 (**участок сплавления**) металл, который находился в расплавленном состоянии, затвердевая, образует сварной шов, имеющий литую структуру из столбчатых кристаллов. Грубая столбчатая структура металла шва является неблагоприятной, так как снижает прочность и пластичность металла. Зона термического влияния имеет несколько структурных участков, различающихся формой и строением зерна, вызванных различной температурой нагрева в пределах 1530 °С. Ширина участка 1 составляет примерно половину ширины шва.

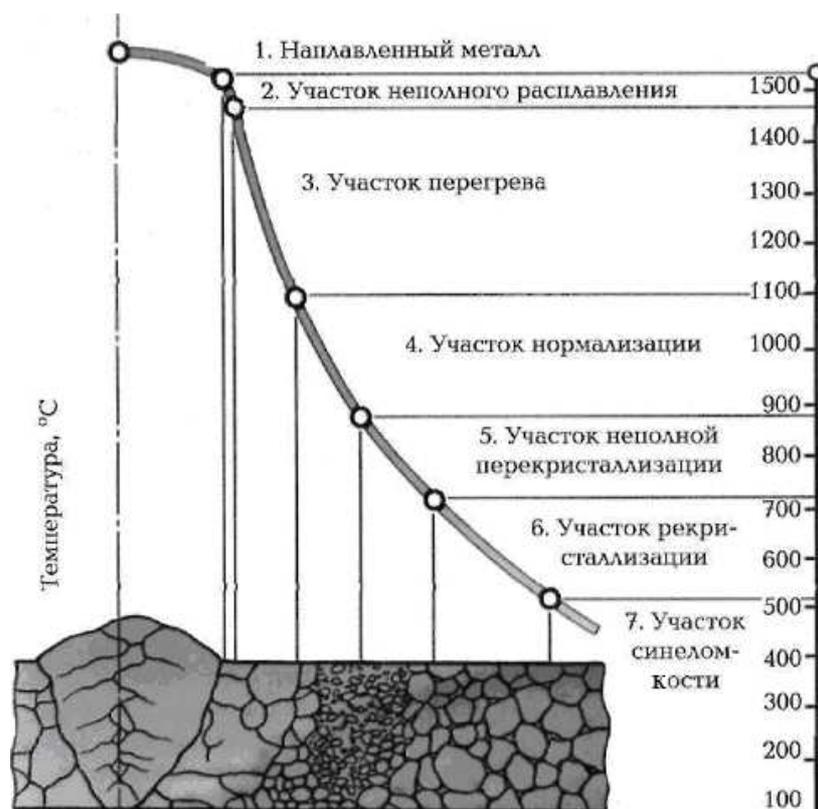


Рисунок 4.1 – Структурные превращения малоуглеродистой стали в зоне термического влияния

Участок **неполного расплавления** 2 переходный от наплавленного металла к основному.

На этом участке происходит образование соединения и проходит граница сплавления; он представляет собой очень узкую область (0,1–0,4 мм) основного металла, нагретого до частичного оплавления зерен. Здесь наблюдается значительный рост зерен, скопление примесей, поэтому этот участок обычно является наиболее слабым местом сварного соединения с пониженной прочностью и пластичностью. Температура участка составляет 1530–1470 °С.

Участок перегрева 3 — область основного металла, нагреваемого до температур 1470–1100 °С, в связи с чем металл отличается крупнозернистой структурой и пониженными механическими свойствами (пластичностью и ударной вязкостью). Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерно и шире зона перегрева. Ширина участка 3 составляет 3–4 мм. Особенности:

а) перегрев в сталях с большим содержанием углерода (0,3–0,5% и выше) может вызвать образование крупноиглочатой структуры с низкими механическими свойствами;

б) участок перегрева особенно опасен для сталей, склонных к образованию закалочных структур.

Участок нормализации 4 — область металла, нагреваемого до температур от 880 до 1100 °С. Металл этого участка обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлаждении на этом участке образуется мелкозернистая структура в результате перекристаллизации без перегрева. Ширина участка 4 составляет 0,2–0,4 мм. Особенности:

а) происходит перекристаллизация и значительное измельчение зерна. Нормализация — нагрев до температуры на 30–50°С выше верхней критической точки и охлаждение на воздухе. Применяется для измельчения структуры и увеличения механических свойств;

б) металл участка приобретает высокие механические свойства.

Участок неполной перекристаллизации 5 — зона металла, нагреваемого при сварке до температур 720–880 °С. В связи с неполной перекристаллизацией, вызванной недостаточным временем и температурой нагрева, структура этого участка характеризуется смесью мелких перекристаллизовавшихся зерен и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Металл этого участка имеет более низкие механические свойства, чем металл предыдущего участка. Ширина его составляет 0,1–3 мм. Особенности:

а) состоит из крупных зерен, не прошедших перекристаллизацию, и мелких прошедших (смешанная структура);

б) механические свойства из-за смешанной структуры невысокие.

Участок рекристаллизации 6 — область металла, нагреваемого в пределах температур от 510 до 720 °С. Если сталь перед сваркой испытала холодную деформацию (прокатку, ковку, штамповку), то на этом участке развиваются процессы рекристаллизации, приводящие к росту зерна, огрублению структуры и, как следствие, к разупрочнению. Ширина участка 6 составляет 0,1–1,5 мм. Особенности:

а) если до сварки не было обработки давлением, структурных изменений нет;

б) если металл подвергался пластической деформации, происходит рекристаллизация — восстановление формы зерен;

в) при рекристаллизации уменьшается твердость и другие механические свойства зоны и возникает концентратор напряжений, который может привести к разрушению.

Участок синеломкости 7, нагреваемый в области температур 200–510 °С, является зоной перехода от зоны термического влияния к основному металлу. В этой зоне могут протекать процессы старения из-за выпадения карбидов железа и нитридов, в связи с чем механические свойства металла этой зоны понижаются. Если металл перед сваркой был отожжен, то существенных изменений на участках 6 и 7 не происходит. Ширина зоны термического

влияния зависит от толщины металла, вида и режимов сварки. При ручной дуговой сварке она составляет обычно 5–6 мм, при сварке под флюсом средних толщин — около 10 мм, при газовой сварке — до 25 мм. Особенности — структура металла та же, но пластичность и вязкость пониженные, большая склонность к образованию трещин. *Синеломкость* — хрупкость, возникающая в стали при нагреве до температур синего цвета побежалости (200–300°С).

Факторы, влияющие на величину зоны термического влияния ($l_{ЗТВ}$):

- вид сварки;
- режим и скорость сварки;
- химический состав свариваемого металла;
- физические свойства свариваемого металла — теплопроводность;
- внешние воздействия.

1. Вид сварки. При ручной дуговой сварке $l_{ЗТВ} = 6$ мм; при автоматической под флюсом $l_{ЗТВ} = 2,5$ мм; при газовой сварке $l_{ЗТВ} =$ до 27 мм.

2. Режим и скорость сварки. Повышение тока сварки без увеличения скорости охлаждения приводит к увеличению зоны термического влияния; увеличение скорости охлаждения приводит к уменьшению зоны термического влияния.

3. Химический состав свариваемого металла. При увеличении содержания углерода высока вероятность закалочных структур в зоне термического влияния.

4. Физические свойства свариваемого металла — теплопроводность. Для ответственных конструкций применяется многослойная сварка, что снижает скорость охлаждения при сварке и вероятность образования закалочных структур в металле шва и зоне термического влияния.

5. Внешние воздействия. Под внешним воздействием в данном случае можно понимать факторы, либо процессы, непосредственно воздействующие на сварочную ванну в процессе затвердевания.

Контрольные вопросы

1. Структурные и фазовые превращения в зоне нагрева металла.
2. Охарактеризуйте участок сплавления.
3. Охарактеризуйте участок неполного расплавления.
4. Охарактеризуйте участок перегрева.
5. Охарактеризуйте участок нормализации.
6. Охарактеризуйте участок неполной перекристаллизации.
7. Охарактеризуйте участок рекристаллизации.
8. Охарактеризуйте участок синеломкости.
9. Факторы, влияющие на величину ЗТВ.

ТЕМА 5. ПОДГОТОВКА ТРУБ К СБОРКЕ И СВАРКЕ

Входной контроль и подготовка труб. Перед началом сварочно-монтажных работ необходимо убедиться в том, что используемые трубы, соединительные детали, запорная и распределительная арматура имеют сертификаты качества и соответствуют проекту, техническим условиям на их поставку, а также требованиям действующих нормативно-технических документов. Трубы и детали должны пройти обязательный входной контроль.

Входной контроль труб производят для проверки их соответствия техническим требованиям, изложенным в ГОСТе или ТУ, а также СНИП 2.05.06–85.

При входном контроле проверяют:

1. Наличие сертификатов соответствия. Сертификат содержит: номинальный размер трубы, номер и дату ТУ, по которому изготовлена труба; марку стали; номер партии; результаты мехиспытаний с указанием номера плавки, к которым относятся результаты испытаний; результаты гидравлических испытаний и рентгеновской дефектоскопии; вид термообработки; химический анализ плавки.

2. На внутренней поверхности каждой трубы на расстоянии >10 мм от одного из ее концов несмываемой краской наносят маркировку: завод-изготовитель, номер контракта, номер плавки, номинальные размеры, номер трубы, дата изготовления, эквивалент углерода.

3. Длину трубы. Она должна быть в пределах от 10,5 до 11,6 м (и до 11,8 м по согласованию). Предельные отклонения по длине для труб I класса точности — $+15$, -0 мм, для труб II класса — $+100$, -0 мм. Длину труб измеряют рулетками или мерными проволоками.

4. Диаметр и толщину стенки трубы (диаметр измеряют по ГОСТ 20.295–85). Наружный диаметр трубы определяют путем измерения периметра трубы рулеткой с последующим пересчетом по формуле

$$D = P/3,14159 - 2D_p - 0,2 \text{ мм},$$

где P — периметр трубы, мм;

D_p — толщина полотна рулетки, мм;

0,2 мм — припуск на прилегание полотна рулетки к телу трубы.

Предельные отклонения по наружному диаметру труб:

$$D_H < 200 \text{ мм} \text{ — } \pm 1,5 \text{ мм};$$

$$D_H = 200 - 350 \text{ мм} \text{ — } \pm 2 \text{ мм};$$

$$D_H = 350 - 530 \text{ мм} \text{ — } \pm 2,2 \text{ мм};$$

$$D_H = 530 - 630 \text{ мм} \text{ — } \pm 3 \text{ мм};$$

$$D_H = 720 - 820 \text{ мм} \text{ — } \pm 4 \text{ мм};$$

$$D_H = 820 - 1020 \text{ мм} \text{ — } \pm 0,7\%;$$

$$D_H > 1020 \text{ мм} \text{ — } \pm 0,6\%.$$

Толщину стенки измеряют штангенциркулями с ценой деления 0,01 мм. Минусовой допуск должен быть не более 5% номинальной толщины. Отклонения толщины стенки трубы должны соответствовать требованиям ГОСТ или ТУ на трубы.

5. Овальность концов труб. Овальность определяют путем измерения диаметра торца трубы нутромером или индикаторной скобой в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Овальность — отношение разности между наибольшим и наименьшим диаметром к номинальному диаметру — должна быть не более 1% D_H при толщине стенки $8 < 20$ мм и 0,8% D_H при толщине стенки $8 > 20$ мм.

6. Кривизну труб. Она не должна превышать 1,5 мм на 1 м длины; общая кривизна не должна превышать 0,15% длины трубы.

7. Состояние кромок и косину реза. Концы труб обрезают под прямым углом. Отклонение от перпендикулярности торцов (косина реза) не должно превышать 1,6 мм для труб номинальным наружным диаметром 1020 мм и более и 1,2 мм для труб номинальным наружным диаметром менее 1020 мм. Кромки труб должны иметь разделку под сварку. Для нефтепроводов косина реза должна быть $< 1,0$ мм для $D_H < 530$ мм; 1,6 мм — для $D_H > 530$ мм. Концы труб должны иметь фаску, выполненную механическим способом. Для труб с номинальной толщиной стенки менее 15 мм используется фаска с углом скоса 30° и допускаемым отклонением минус 5° . Притупление должно быть в пределах 1–3 мм.

8. Наличие дефектов на поверхности труб. Не допускается наличие трещин, рванин, плен, закатов, а также выходящих на поверхность или торцевые участки расслоений. В зоне шириной не менее 40 мм от торцов труб не допускаются расслоения, превышающие 6,5 мм. В основном металле труб допускаются расслоения, если их размер в любом направлении не превышает 80 мм, а площадь не превышает 5000 мм^2 . Расслоения площадью не менее 5000 мм^2 и длиной в любом направлении 30–80 мм должны располагаться друг от друга на расстоянии не менее 500 мм. Трубы изготавливают из листов, прошедших 100% УЗ-контроль. Допускается зачистка поверхностных дефектов, кроме трещин, при условии, что толщина стенки после зачистки не выходит за пределы своего минимального значения. Поверхностные дефекты типа задира, царапины допускаются, если при последующей их шлифовке толщина стенки трубы не выйдет за пределы допуска на толщину стенки. Допускаются вмятины глубиной не более 6 мм.

9. Сварной шов. Должен быть плавный переход к основному металлу. Высота усиления — 0,5–2,5 мм для толщины $5 < 10$ мм; 0,5–3,0 мм для толщины $8 > 10$ мм. Высота усиления внутреннего шва должна быть 0,5–3,0 мм. На концах труб на длине $L > 150$ мм усиление внутреннего шва должно удаляться до высоты 0–0,5 мм. Не допускаются трещины, непровары, подрезы глубиной более 0,4 мм, выходящие на поверхность поры.

10. Трубы могут подвергаться ремонту, если (ВСН 012–88, п. 4.6) глубина царапин, задиоров не более 5% от толщины стенки, вмятины на концах труб имеют глубину не более 3,5% от D_H ; глубина задиоров фасок — не более 5 мм.

11. Химический состав, углеродный эквивалент, механические свойства основного металла и сварочного шва контролируют дополнительно — одна труба из партии. Все остальные параметры контролируются на всех трубах — 100%.

12. Трубы разбраковывает (т. е. определяет, бракованные трубы или нет) комиссия, состоящая из представителей строительной-монтажной организации, заказчика и транспортных ведомств (ж/д, Морфлот, речфлот). Перед сборкой труб необходимо очистить внутреннюю полость труб и трубных деталей от попавшего внутрь грунта, грязи, снега, а также очистить до металлического блеска кромки и прилегающие к ним внутреннюю и наружную поверхности труб и соединительных деталей на ширину не менее 10 мм. Участки усиления наружных заводских швов, прилегающие к свариваемому торцу, рекомендуется удалять до высоты 0–0,5 мм на расстоянии от торца не менее 10 мм.

Газокислородную резку труб можно выполнять механизированным или ручным способом. Перед резкой необходимо зачистить проволочной щеткой зону реза шириной 50–100 мм от праймера, изоляции, окалины, ржавчины, пыли, масляных и жирных пятен. Шероховатость кромки реза не должна превышать 0,32 мм (3-й класс по ГОСТ 14792). Перед сваркой после резки необходимо тщательно удалить с кромки реза грат и окалину. Перед сваркой электродами с покрытием целлюлозного вида поверхность реза необходимо зачистить шлифмашинкой (рис. 5.1) или подвергнуть механической обработке. При отрицательных температурах окружающего воздуха машинную резку рекомендуется выполнять с подогревом до 50–100 °С.

Правку концов труб после резки при отрицательных температурах окружающего воздуха можно выполнять только после подогрева до 150–200 °С. При использовании для удаления дефектов воздушно-дуговой поверхностной резки угольным электродом перед сваркой поверхность реза следует зачистить от грата абразивным кругом с использованием шлифмашинки на глубину 0,3–0,5 мм (до металлического блеска). Рекомендуемые типы разделки кромок труб приведены на рисунке 5.2.



Рисунок 5.1 – Подготовка торцов труб к сварке

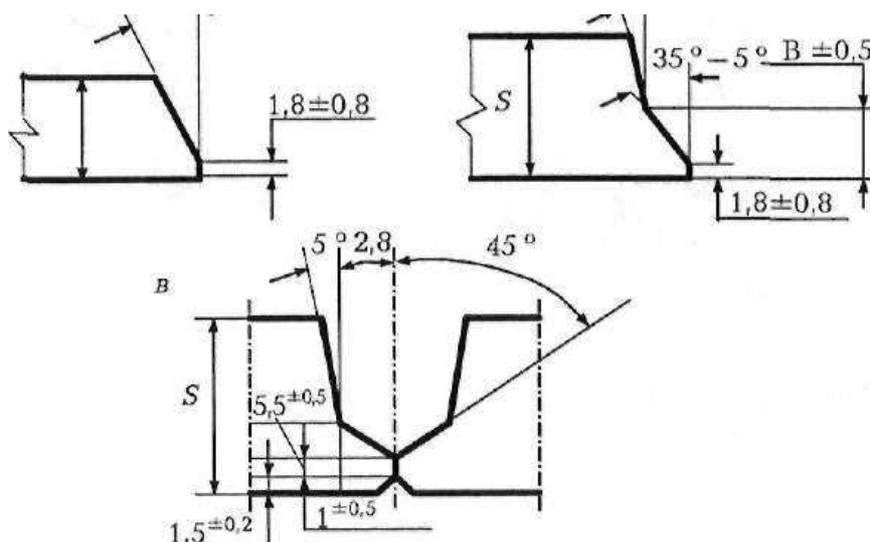


Рисунок 5.2 – Типы разделки кромок труб для ручной дуговой сварки, односторонней автоматической сварки под флюсом, автоматической дуговой сварки порошковой проволокой с принудительным формированием, полуавтоматической сварки в защитных газах:

- a* – для труб диаметром 57–1420 мм с толщиной стенки S до 16 мм;
- б* – для труб диаметром 273–1420 мм с толщиной стенки более 15 мм;
- в* – для автоматической сварки труб в защитных газах

Примечания:

1. После газовой резки в монтажных условиях разделка кромок труб должна соответствовать рисунку 5.2, *a* независимо от толщины стенки труб.
2. Размер B (мм) на рисунке 5.2, *б* зависит от толщины стенки трубы B (7, 8, 10, 12 мм).

Толщина стенки трубы — 15–19; 19–21,5; 21,5–26; 26–32 мм.

На рисунке 5.3 показана подготовка торцов труб и монтаж трубной секции. Перед началом выполнения работ по сварке стыков труб производится сушка или подогрев торцов труб (рис. 5.4) и прилегающих к ним участков. Необходимость проведения предварительного подогрева и его режим определяются: видом покрытия электрода; эквивалентом углерода и толщиной стенки свариваемой стали; температурой окружающего воздуха.



Рисунок 5.3 – Подготовка торцов труб и монтаж трубной секции



Рисунок 5.4 – Сушка кромок пропановой горелкой

Сушка или предварительный подогрев должны осуществляться одно-пламенными или кольцевыми наружными или внутренними пропановыми горелками или путем индукционного нагрева. Во всех случаях должна быть обеспечена равномерность нагрева торцов по периметру и прилегающих к ним участков поверхности трубы на ширине 10–15 мм от торца. Продолжительность подогрева определяется экспериментально для каждого подогревателя в зависимости от температуры окружающего воздуха и стенки трубы. При наличии изоляции на трубах проведение подогрева не должно нарушать ее целостность. В этом случае следует применять термоизолирующие пояса и/или боковые ограничители пламени. Предварительный подогрев или сушку производят перед выполнением прихваток либо перед сваркой корневого слоя шва.

При двусторонней автоматической сварке под флюсом поворотных стыков труб диаметром 1020–1220 мм с эквивалентом углерода 0,42–0,46% на трубосварочных базах типа БТС осуществляется предварительный подогрев до 50 (+ 30) °С при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С. При наличии влаги на торцах труб необходимо производить их сушку. В случае отсутствия необходимости в проведении предварительного подогрева производится сушка торцов труб и прилегающих к ним участков до температуры 20–50 °С при температуре окружающего воздуха ниже + 5 °С либо наличии влаги на торцах труб. При наличии следов влаги или наледи на торцах необходимо произвести их осушку путем нагрева до температуры 20–50 °С. При выполнении ремонтных работ для устранения дефектов сварных соединений изнутри и снаружи трубы необходимо произвести предварительный подогрев до 100 (+ 30) °С независимо от температуры окружающего воздуха. Температуру предварительного подогрева стыков труб различных прочностных классов, разнотолщинных труб или разнотолщинных соединений устанавливают по максимальному значению, требуемому для одного из стыкуемых элементов.

Газопламенная резка. Под газопламенной резкой (чаще ее называют кислородной) понимают способ разделения металла по прямому или криволинейному контуру. Метод основан на использовании для нагрева смеси горючих газов с кислородом и экзотермической (с выделением тепла) реакции окисления металла. Суть кислородной резки заключается в сгорании железа в струе чистого кислорода, нагретого до температуры, близкой к температуре плавления (рис. 5.5).

Резке поддаются металлы, удовлетворяющие следующим требованиям:

1) температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде. Металл, не отвечающий этому требованию,

плавится, а не сгорает. Например, низкоуглеродистая сталь имеет температуру плавления около 1500 °С, а воспламеняется в кислороде при температуре 1300–1350 °С. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается понижением температуры плавления и повышением температуры воспламенения в кислороде. Поэтому резка стали с увеличением содержания углерода и примесей усложняется;

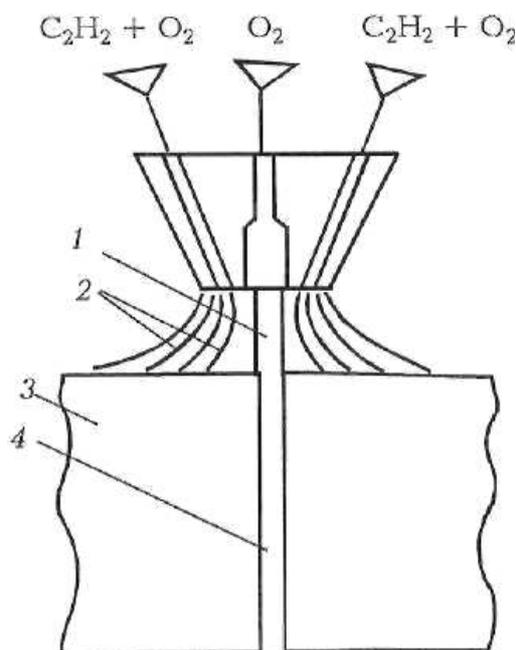


Рисунок 5.5 – Кислородная резка:

- 1 – струя кислорода; 2 – подогревающее пламя; 3 – металл;
4 – зона реза; 5 – оксиды железа

2) температура плавления оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла, чтобы образующиеся оксиды легко выдувались и не препятствовали дальнейшему окислению и процессу резки. Например, при резке хромистых сталей образуются оксиды хрома с температурой плавления 2000 °С, а при резке алюминия — оксиды с температурой плавления около 2050 °С. Эти оксиды покрывают поверхность металла и прекращают дальнейший процесс резки;

3) образующиеся при резке шлаки должны быть достаточно текучи и легко выдвигаться из разреза. Тугоплавкие и вязкие шлаки будут препятствовать процессу резки;

4) теплопроводность металла должна быть наименьшей, так как при высокой теплопроводности теплота, сообщаемая металлу, будет интенсивно отводиться от участка резки, и подогреть металл до температуры воспламенения будет трудно;

5) количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла, должно быть возможно большим — она способствует нагреванию прилегающих участков металла и тем самым обеспечивает непрерывность процесса резки. Например, при резке низкоуглеродистой стали около 70% общего количества теплоты выделяется от сгорания металла в струе кислорода и только 30% составляет теплота от подогревающего пламени резака.

Различают два вида кислородной резки — разделительную и поверхностную. Разделительную резку применяют для вырезки различного вида заготовок, раскроя листового металла, разделки кромок под сварку и других работ, связанных с разрезкой металла на части. Сущность процесса заключается в том, что металл вдоль линии реза нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, он сгорает в струе кислорода, а образующиеся оксиды выдуваются этой струей из места разреза. Поверхностную резку применяют для снятия поверхностного слоя металла, разделки каналов, удаления поверхностных дефектов и других работ. Резаки имеют большую длину и увеличенные сечения каналов для газов подогревающего пламени и режущего кислорода.

Контрольные вопросы

1. Содержание сертификата соответствия.
2. Содержание маркировки трубы.
3. Контроль геометрических параметров трубы.
4. Допуск на кривизну труб.
5. Состояние кромок и косина реза.
6. Наличие каких дефектов допустимо на поверхности трубы?
7. Требования к сварному шву трубы.
8. Условия возможного ремонта труб.
9. Разбраковка труб.
10. Возможности газовой резки труб.
11. Подготовительные мероприятия при резке труб.
12. Сущность кислородной резки металла.

ТЕМА 6. ДУГОВАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ

Общие сведения. Образование сварного соединения в связи с введением концентрированной энергии в зону соединения сопровождается сложными физическими и химическими процессами. К физическим относят процессы, которые, изменяя физические свойства вещества, не изменяют строение элементарных частиц, из которых состоит данное вещество, и не приводят к изменению его химических свойств. Химические процессы изменяют строение элементарных частиц, из которых состоит данное вещество, в результате чего получаются новые вещества с новыми химическими и физическими свойствами.

К основным физическим процессам при сварке плавлением относят электрические, тепловые, механические процессы в источниках нагрева; плавление основного и электродного (присадочного) металла, их перемешивание, формирование и кристаллизацию сварочной ванны; ввод и распространение тепла в свариваемом соединении, приводящее к изменению структуры металла в шве и зоне термического влияния и образованию собственных сварочных деформаций и напряжений.

К основным химическим процессам относятся химические реакции в газовой и жидкой фазах, на границах фаз (газовой с жидкой, газовой с твердой, жидкой с твердой) при взаимодействии компонентов покрытий, флюсов, защитных газов с жидким металлом с образованием окислов, шлаков, окислением поверхности и т. д. Физические и химические процессы при сварке сопряжены между собой во времени и пространстве, поэтому их можно объединить общим понятием — физико-химические процессы. Под действием физико-химических процессов возникает характерное строение сварного соединения.

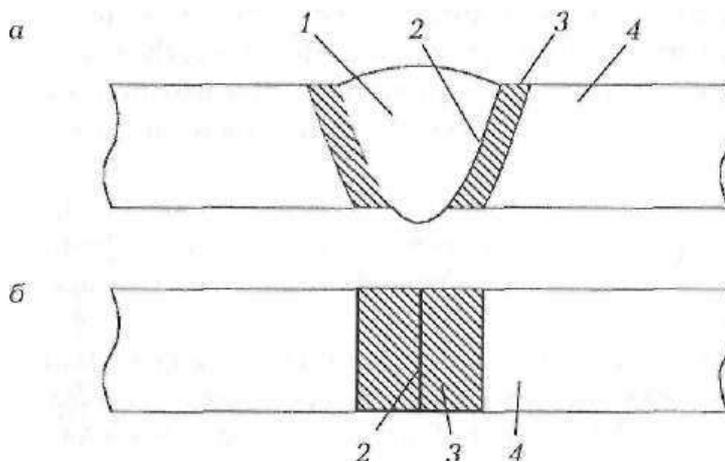


Рисунок 6.1 – Схема сварного соединения:
а – при сварке плавлением; *б* – при сварке давлением

Сварное соединение при сварке плавлением (рис. 6.1. *а*) включает в себя:

- сварной шов 1, т. е. участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны;
- зону сплавления 2 (сцепления), где находятся частично оплавленные зерна металла на границе основного металла и шва;
- зону термического влияния 3, т. е. участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке плавлением или резке;
- основной металл 4, т. е. металл подвергающихся сварке соединяемых частей, не изменивший свойства при сварке.

Соединение, выполненное сваркой давлением (рис. 6.1, *б*) в твердом состоянии, состоит из зоны:

- соединения 2, где образовались межатомные связи соединяемых частей,
- зоны термомеханического влияния 3;
- основного металла 4.

В формировании структуры и свойств сварного соединения при сварке плавлением определяющая роль принадлежит тепловым процессам, при сварке давлением — пластической деформации.

Плавление электродного и основного металла. Сварной шов образуется в результате кристаллизации металла сварочной ванны. При сварке без дополнительного металла расплавляется только основной металл. Металл, предназначенный для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу, называется присадочным металлом. Расплавленные основной и присадочный металлы, сливаясь, образуют общую сварочную ванну. Границами сварочной ванны служат оплавленные участки основного металла и ранее образовавшегося шва.

Плавление и перенос электродного металла. Электродный металл при дуговой сварке плавится за счет: тепла, выделяемого на конце электрода в приэлектродной области дуги; тепла, попадающего из столба дуги; нагрева вылета электрода при прохождении сварочного тока от токопровода и до дуги. Чем больше вылет электрода, тем больше его сопротивление и тем больше выделяется тепла. Конец электрода нагревается до температур 2300–2500 °С, что и обеспечивает его плавление. На конце электрода образуются капли расплавленного металла, которые переносятся через дуговое пространство в сварочную ванну. Капли формируются на конце электрода и переносятся под воздействием сил поверхностного натяжения, сил тяжести, давления газов, образующихся внутри расплавленного металла, давления газового потока,

электростатических и электродинамических сил, реактивного давления паров металла. В зависимости от соотношения сил, действующих на каплю, характер переноса электродного металла может быть различным: за счет коротких замыканий (характерен для сварки в углекислом газе, рис. 6.2, *а*); крупнокапельным (характерен для ручной дуговой сварки покрытым электродом) или мелкокапельным (наблюдается при сварке под флюсом и в защитных газах — аргоне, углекислом газе и др., рис. 6.2, *б*); струйным (имеет место при сварке в аргоне при токах, больших некоторых критических значений, рис. 6.2, *в*). Главными силами, формирующими и удерживающими каплю на конце электрода, являются силы поверхностного натяжения, возникающие на поверхности капли и направленные внутрь ее. Отрыв капли и ее перенос обеспечивается электродинамическими силами и давлением газовых потоков. Эти силы увеличиваются с ростом сварочного тока, увеличение тока приводит к измельчению капель. Сила тяжести капли имеет существенное значение при малых плотностях тока и способствует отрыву и переносу капель металла только при сварке в нижнем положении. Перенос электродного металла в дуге сопровождается выбросом части металла за пределы сварочной ванны — разбрызгиванием. Разбрызгивание связано, главным образом, с электрическим взрывом перемычки между отделяющейся каплей и торцом электрода под действием электромагнитных сил.

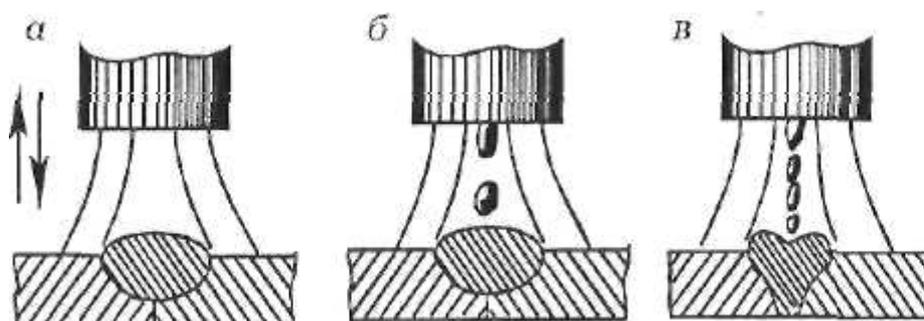


Рисунок 6.2 – Схемы расплавления и переноса электродного металла:
а – короткими замыканиями; *б* – капельный; *в* – струйный

Плавление основного металла. Основной металл плавится в результате выделения тепла в активном пятне (в приэлектродной области) на поверхности изделия и тепла столба дуги. Форма проплавления (глубина и ширина) определяется концентрацией теплового и силового воздействия дуги. Основные компоненты силового воздействия дуги: поверхностные силы — давление, вызываемое торможением струи плазмы дуги о поверхность металла; реактивное давление струи пара с поверхности сварочной

ванны; объемная электродинамическая сила в жидком металле. Давление осевого плазменного потока вызывается электромагнитными силами, его величина пропорциональна квадрату силы тока. Дуга с плавящимся электродом оказывает большее силовое воздействие на сварочную ванну, чем дуга с неплавящимся электродом. Сила давления от газового потока невелика и составляет около 1% силы давления потока, вызываемого электромагнитными силами.

Формирование и кристаллизация сварочной ванны. Формирование сварочной ванны происходит под действием силы тяжести расплавленного металла P_M , давления источника теплоты (например, давления дуги) P_d и сил поверхностного натяжения P_n , действующих на поверхности металла (рис. 6.3). Характер действия этих сил зависит от положения сварки.

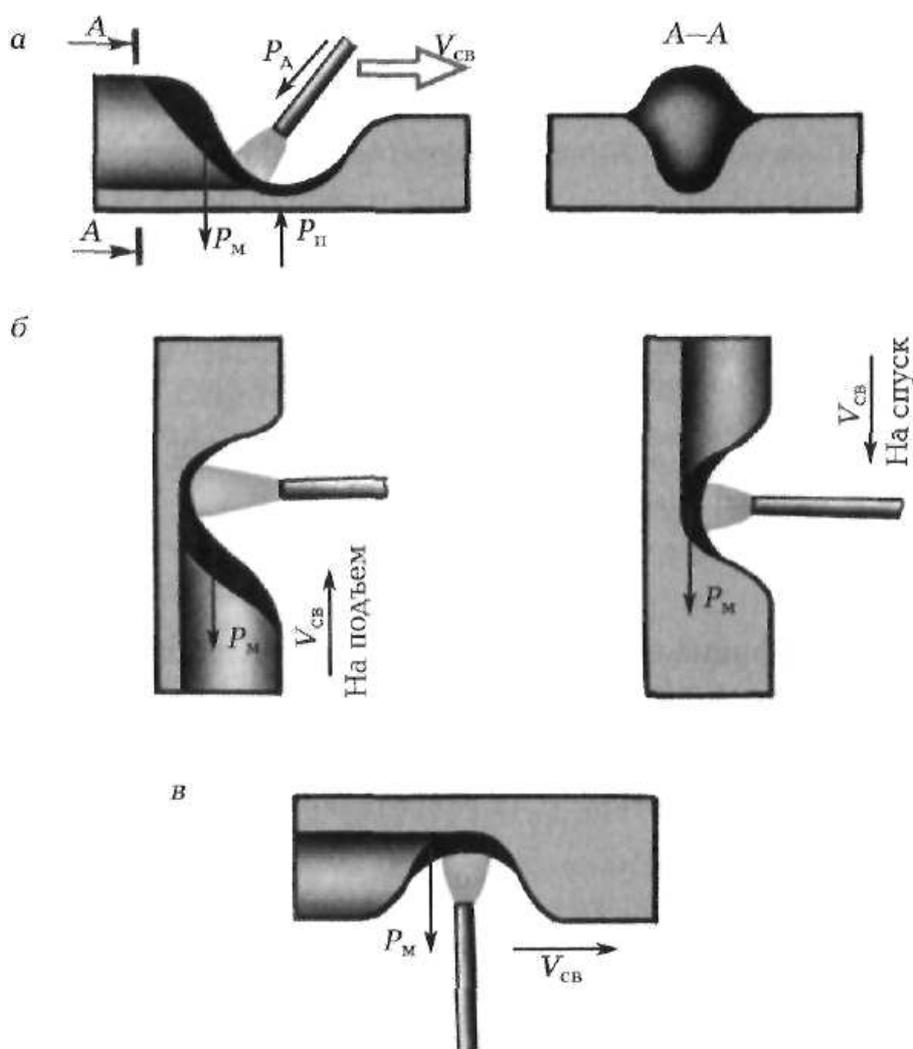


Рисунок 6.3 – Схема сил, действующих в сварочной ванне, и формирование шва в разных пространственных положениях:
 а – нижнее положение; б – вертикальное; в – потолочное

При сварке в нижнем положении при сквозном проплавлении жидкая ванна удерживается на весу силами поверхностного натяжения P_n , которые уравновешивают давление, оказываемое на ванну источником теплоты P_d , и силу тяжести (вес) жидкого металла P_m : $P_d + P_m = P_n$. Если сила тяжести расплавленного металла и сила давления источника теплоты превысят силы поверхностного натяжения, т. е. $P_d + P_m > P_n$, то произойдет разрыв поверхностного слоя в проплаве и жидкий металл вытечет из ванны, образуя прожог. В условиях движущейся сварочной ванны (во время сварки) возникают дополнительные гидродинамические силы, вызванные перемещением расплавленного металла в хвостовую часть ванны. В случаях, когда силы поверхностного натяжения не могут уравновесить разрушающие силы, необходимо применять специальные меры — ограничивать объем сварочной ванны, применять сварку на подкладках, использовать удерживающие приспособления. Удержание ванны от стекания имеет особенно важное значение при сварке в вертикальном и потолочном положениях. При сварке в вертикальном положении процесс можно вести сверху вниз (на спуск) и снизу вверх (на подъем). В обоих случаях сила тяжести ванны направлена вниз по продольной оси шва. При сварке на спуск удержанию ванны от стекания способствуют давление дуги и силы поверхностного натяжения, при этом глубина провара уменьшается, а ширина шва увеличивается. При сварке на подъем ванна удерживается только силами поверхностного натяжения, при этом глубина провара увеличивается, а ширина шва уменьшается. При сварке в вертикальном положении для удержания ванны необходимо ограничивать тепловую мощность и размеры ванны. Выполнение швов в потолочном положении осложняется не только опасностью стекания ванны. Возникает необходимость переноса присадочного металла в ванну в направлении, противоположном действию силы тяжести. При сварке в потолочном положении ванна удерживается силами поверхностного натяжения и давлением дуги. Для удержания ванны в потолочном положении также необходимо ограничивать ее объем. Очень неблагоприятны условия формирования шва при выполнении горизонтальных швов на вертикальной плоскости. Расплавленный металл ванны натекает на нижнюю свариваемую кромку, что приводит к формированию несимметричного усиления шва, а также подрезов. При сварке горизонтальных швов предъявляются жесткие требования к сокращению размеров сварочной ванны.

Кристаллизация металла сварочной ванны. При сварке плавлением сварочную ванну можно условно разделить на два участка: головной, где происходит плавление основного и дополнительного металлов, и хвостовой, где происходит затвердевание расплавленного металла. Переход металла

сварочной ванны из жидкого состояния в твердое называют *кристаллизацией*. Отличительные особенности кристаллизации сварочной ванны:

1) источник тепла при сварке перемещается вдоль соединяемых кромок, а вместе с ним движутся плавильное пространство и сварочная ванна. При дуговой сварке столб дуги, расположенный в головной части ванны, оказывает механическое воздействие — давление на поверхность расплавленного металла за счет удара заряженных частиц, давления газов и дутья дуги. Давление приводит к вытеснению жидкого металла из-под основания дуги и погружению столба дуги в толщу основного металла. Жидкий металл, вытесненный из-под основания дуги, по мере передвижения дуги отбрасывается в хвостовую часть сварочной ванны. При удалении дуги отвод тепла начинает преобладать над притоком и начинается затвердевание (кристаллизация) сварочной ванны. В процессе затвердевания по границе расплавления образуются общие кристаллиты, что и обеспечивает монолитность соединения;

2) малый объем сварочной ванны зависит от вида и режима сварки и изменяется от 0,1 до 10 см³, поэтому теплоотвод в прилегающий холодный металл очень велик, велика и скорость кристаллизации;

3) значительный перегрев расплавленного металла и его интенсивное перемешивание;

4) кристаллизация сварочной ванны при сварке плавлением начинается в основном от готовых центров кристаллизации — частично оплавленных зерен основного металла.

Металл шва, выполненного сваркой плавлением, имеет столбчатое строение, так как состоит из вытянутых (столбчатых) кристаллитов, растущих при кристаллизации в направлении, обратном теплоотводу.

Контрольные вопросы

1. Основные физические процессы при сварке плавлением.
2. Основные химические процессы при сварке плавлением.
3. Классификация зон при различных видах сварки.
4. Плавление и перенос металла электрода.
5. Действия сил при различных способах сварки.
6. Порядок кристаллизации металла сварочной ванны.

ТЕМА 7. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ. ЭЛЕКТРОДЫ, ЭЛЕКТРОДНАЯ ПРОВОЛОКА

Классификация сварочных материалов.

Основные — сварочная проволока, порошковая проволока, сварочные электроды.

Вспомогательные — флюсы, газы.

Сварочная проволока. Применение:

1) при полуавтоматической и автоматической сварке в среде CO_2 и под слоем флюса и как присадочный материал;

2) присадочные прутки.

Для заполнения разделки шва в зону дуги вводят присадочный металл в виде прутка или проволоки. При ручной дуговой сварке применяют плавящиеся электроды в виде прутков или стержней с покрытием. При механизированной сварке используют электрод в виде проволоки, намотанной на кассету.

Изготавливают стальную холоднотянутую проволоку круглого сечения диаметрами 0,3–12,0 мм и поставляют в мотках (бухтах) из одного отреза. Проволока первых семи диаметров предназначена в основном для полуавтоматической и автоматической сварок в защитном газе. Для автоматической и полуавтоматической сварок под флюсом применяют проволоку диаметром 2–6 мм. Проволока диаметром 1,6–12,0 мм идет на изготовление стержней электродов. Поверхность проволоки должна быть гладкой, чистой, без окалины, ржавчины, грязи и масла.

По химическому составу стальную проволоку делят на три основные группы (ГОСТ 2246-70):

– углеродистую (6 марок) с содержанием углерода не более 0,12%, которая предназначена для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и некоторых низколегированных сталей;

– легированную (30 марок) для сварки низколегированных, конструкционных, теплостойких сталей;

– высоколегированную (41 марка) для сварки хромистых, хромоникелевых, нержавеющей и других специальных легированных сталей.

Проволока маркируется индексом Св (сварочная), буквами и цифрами. Условные обозначения легирующих элементов в проволоке приведены в таблице 7.1. Первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, а цифры после буквы, указывающей легирующие примеси, — количество данного элемента в процентах. Отсутствие цифры после

буквенного обозначения легирующего элемента означает, что этого элемента в материале проволоки менее одного процента. Буква А в конце марки указывает на пониженное содержание вредных примесей (серы и фосфора).

Таблица 7.1 – Условное обозначение элементов химического состава в основном металле и в электродной проволоке

Элемент	Условное обозначение		Элемент	Условное обозначение	
	в таблице Менделеева	в марке стали		в таблице Менделеева	в марке стали
Марганец	Mn	Г	Титан	Ti	Т
Кремний	Si	С	Ниобий	Nb	Б
Хром	Cr	Х	Ванадий	V	Ф
Никель	Ni	Н	Кобальт	Co	К
Молибден	Mo	М	Медь	Сu	А
Вольфрам	W	В	Бор	B	Р
Селен	Se	Е	Азот	N	А*
Алюминий	Al	Ю	Цирконий	Zr	Ц

Пример обозначения:

3 –	Св –	08	ГС	А	О
1	2	3	4	5	6

- 1 – диаметр проволоки (3 мм);
- 2 – сварочная проволока (Св);
- 3 – содержание углерода;
- 4 – химический состав (Г – марганец, С – кремний);
- 5 – качественная проволока, менее 0,03% S и F (А);
- 6 – омедненная поверхность (О).

Особенности:

а) содержание углерода С не превышает 0,12–0,15% (за редким исключением), что снижает склонность металла шва к пористости и образованию закалочных структур;

б) содержание кремния $Si \leq 0,03\%$, так как превышение приводит к созданию пор при сварке;

в) предотвращение пористости швов $Mn/Si = 1,4/1,6$.

Вместо дорогостоящей легированной сварочной проволоки применяется порошковая электродная проволока (рис. 7.1, 7.2).

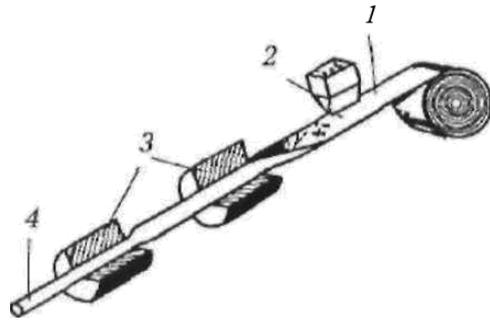


Рисунок 7.1 – Схема изготовления порошковой проволоки:
 1 – стальная лента; 2 – бункер с шихтой; 3 – фильеры; 4 – порошковая проволока

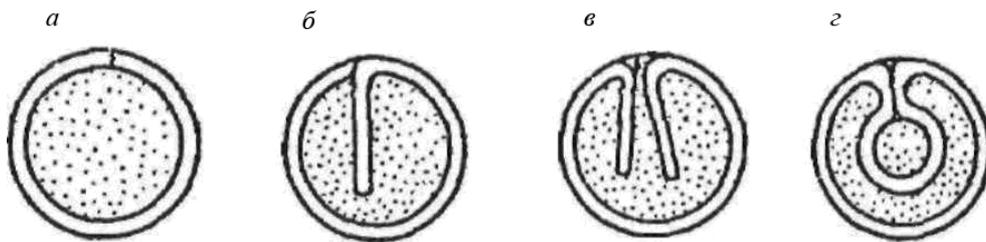


Рисунок 7.2 – Поперечное сечение порошковых проволок:
 а – кольцевой; б – с одной загнутой кромкой;
 в – с двумя загнутыми кромками; г – двухслойной

Она состоит из металлической оболочки и сердечника. Металлическая оболочка служит для подвода сварочного тока и удержания порошкового сердечника. Сердечник представляет собой смесь порошков минералов, руд, ферросплавов и металлических порошков. Используя в металлургическом процессе при сварке такую смесь, защищают металл сварочной ванны от кислорода и азота воздуха, раскисляют и легируют металл шва, получают легкоудаляемый шлак, в результате образуется высококачественный шов. Сварку порошковой проволокой производят открытой дугой, под флюсом или в защитных газах.

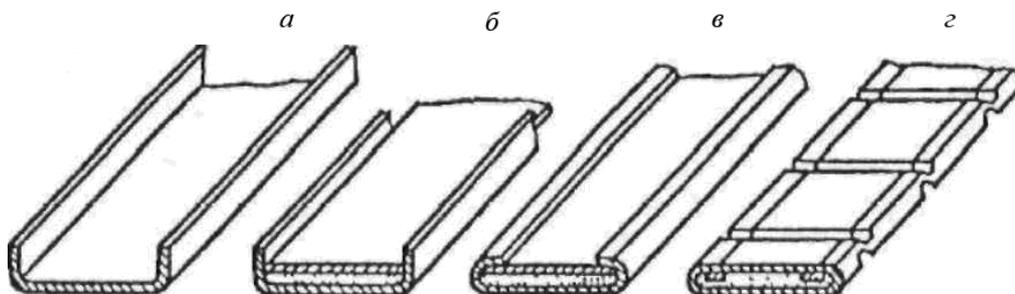


Рисунок 7.3 – Схема изготовления порошковой ленты:
 а – отбортовка нижней ленты; б – заполнение порошком и укладка верхней ленты;
 в – завальцовка кромок нижней ленты; г – выдавливание углублений для уплотнения порошка и придания гибкости порошковой ленте

Для получения более широкого слоя наплавленного металла и увеличения производительности наплавки вместо порошковой проволоки применяют порошковую ленту (рис. 7.3). Ее можно сворачивать в рулоны, использовать для наплавки автоматами, снабженными специальными устройствами для подачи ленточных электродов.

Широкое распространение получили проволоки, не требующие при сварке дополнительной защиты (самозащитные), и проволоки, используемые с газовой защитой зоны сварки (газозащитные). Благодаря высокой производительности и низкой чувствительности к внешним условиям, сварка порошковой проволокой часто применяется при изготовлении и монтаже строительных конструкций на строительном-монтажной площадке. Наибольшее применение получили проволоки малого диаметра (1,6–2,4 мм) марок ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПН-АНН, ПП-1, ДСК, ПП-2ДСК и др. Они позволяют получить сварные швы с высокими механическими свойствами.

Разработан и успешно применяется способ сварки самозащитной проволокой, т. е. сплошной легированной проволокой без защитной среды (открытой дугой). Металл специальных электродных проволок, применяемых для этого способа, содержит раскисляющие и стабилизирующие элементы. При сварке происходит компенсация выгорания марганца и кремния за счет повышенного содержания их в металле проволоки. Содержащиеся в электродной проволоке алюминий, титан, цирконий и церий обеспечивают хорошее раскисление сварочной ванны, образуя соединения, переходящие в шлак. Кроме того, эти элементы связывают азот, нейтрализуя его вредное действие на пластичность и вязкость металла. Введение церия и циркония повышает ударную вязкость и пластичность металла шва. Они также способствуют устойчивости процесса сварки и уменьшению разбрызгивания металла. Этим способом можно производить сварку в углекислом газе постоянным током прямой полярности, что позволяет значительно повысить коэффициент наплавки и производительности сварки. Для этого способа применяют проволоки марок Св-20ГСТЮА и Св-15ГСТЮА.

Сварочные электроды.

Классификация сварочных электродов:

- а) неплавящиеся (угольные, графитовые, вольфрамовые);
- б) плавящиеся.

Классификация плавящихся электродов:

1. По назначению:

- а) для сварки углеродистой и низколегированной стали с $\sigma_s \leq 600$ МПа;

- б) для сварки легированной конструкционной стали с $\sigma_s \geq 600$ МПа;
- в) для сварки легированных жаропрочных сталей;
- г) для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;
- д) для сварки для наплавки.

Электроды делят на типы. Тип электрода Э42 ($\sigma_s = 420$ МПа) учитывает предел прочности сварного соединения наплавленного металла. Каждый тип делится на несколько марок. *Марка* — это его промышленное обозначение, характеризующее стержень и покрытие.

2. По толщине покрытия:

- а) тонкие (стабилизирующие или ионизирующие);
- б) толстые (качественные).

Свойства и назначение:

Назначение *тонкого покрытия* — обеспечить возбуждение дуги и стабилизировать ее горение.

Они применяются, как правило, в виде углекислых солей: мел (CaCO_3), поташ (KCO_3), углекислый барий (BaCO_3) и др. В качестве связующего вещества применяют жидкое стекло, представляющее собой силикат натрия. Покрытие наносят на стержень электрода слоем 0,1–0,25 мм, что составляет 1,5–2% от массы электрода. Тонкое покрытие не создает защиты для расплавленного металла шва, и поэтому при сварке происходит окисление и азотирование наплавленного металла. Шов получается хрупкий, пористый, с различными неметаллическими включениями. Поэтому электроды с тонким покрытием используют при выполнении неответственных сварных швов.

Назначение *толстого покрытия*:

- обеспечивает устойчивое горение дуги;
- защищает расплавленный металл от O_2 и N воздуха;
- раскисляет окислы и удаляет в шлак;
- изменяет состав металла вводом в него легирующих элементов (феррохром, ферросилиций);
- удаляет S и P из шва (т. е. оно содержит весь комплекс химических соединений).

Электроды с толстым покрытием применяют для получения сварных соединений высокого качества, поэтому эти покрытия называют качественными.

Теория сварочных процессов дает возможность точно рассчитать состав электродных покрытий в зависимости от состава свариваемого металла и требований, предъявляемых к сварочному шву. Для выполнения перечисленных

выше функций электродное качественное покрытие должно содержать следующие компоненты:

– ионизирующие вещества для снижения эффективного потенциала ионизации, что обеспечивает стабильное горение дуги. В качестве ионизирующих компонентов в покрытия вводят такие вещества, как мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.;

– газообразующие вещества, которые при сварке разлагаются или сгорают, выделяя большое количество газов, создающих в зоне дуги газовую оболочку. Благодаря этой оболочке металл шва предохраняется от воздействия атмосферного кислорода и азота. Такими газообразующими веществами являются крахмал, древесная мука, целлюлоза и др.;

– раскисляющие вещества, которые обладают большим сродством к кислороду и поэтому восстанавливают металл шва. Раскислителями служат ферросплавы, алюминий, графит и др.;

– шлакообразующие вещества, создающие шлаковую защиту расплавленного металла шва, а также капель электродного металла, проходящих через дуговой промежуток. Кроме того, шлаки активно участвуют в металлургических процессах при сварке и способствуют получению качественного шва. В качестве шлакообразующих веществ применяют полевой шпат, кварц, мрамор, рутил, марганцевую руду и др.;

– легирующие вещества, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических качеств. Хорошими легирующими веществами являются ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан. Реже применяют различные оксиды металлов (меди, хрома и др.);

– связующие вещества, предназначенные для замеса всех компонентов покрытия в виде пасты, а также для связывания пасты на сердечнике электрода и придания определенной прочности после высыхания покрытия. Таким веществом является жидкое стекло. Реже применяется декстрин.

3. По видам покрытия:

а) кислым (А — условное обозначение);

б) основным (Б);

в) рутиловым (Р);

г) целлюлозным (органическим) покрытием (Ц);

д) смешанного типа (АЦ);

е) прочие (П).

Кислые покрытия (АНО-1, СМ-5) содержат руды в виде оксидов железа и марганца. При плавлении они выделяют кислород, способный окислить металл ванны и легирующие примеси. Для ослабления действия кислорода в покрытие вводят раскислители в виде ферросплавов. Однако наплавленный металл имеет относительно малые вязкость и пластичность, пониженное содержание легирующих примесей.

Рутиловые покрытия (АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4) имеют основным компонентом рутил (ТЮ — диоксид *титана*). *Шлакообразующими* служат рутил, а также полевой шпат, магнезит и др. В качестве раскислителя и легирующего компонента применяют ферромарганец.

Целлюлозные покрытия (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОМА-2) содержат, главным образом, органические компоненты в качестве газообразующих и связующих веществ. В качестве раскислителей введены ферромарганец, ферросилиций.

Основные покрытия (УОНИ-13, ДСК-50) составлены на основе плавленого шпата (СаF) и мрамора (карбонат кальция CaCO_3). Отсутствие в составе этого покрытия оксидов железа и марганца позволяет широко легировать наплавляемый металл. При сварке можно получить металл шва заранее заданного химического состава с хорошими механическими свойствами. В качестве раскислителей покрытие содержит ферротитан, ферромарганец и ферросилиций.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей предусмотрены девять типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60. Для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности — пять типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Кроме того, предусмотрены девять типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей.

Тип электрода обозначается буквой Э и цифрой, указывающей гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм². Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов. Для изготовления стержней большинства электродов, предназначенных для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, применяют проволоку марок Св-08 и Св-08А.

Тип электрода выбирают исходя из условия обеспечения равнопрочности сварного шва и основного металла. Характеристика металла сварного шва, выполненного электродами различных типов, приведена в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Механические свойства металлов шва, наплавленного при дуговой сварке металлическими электродами для конструкционных сталей

Тип электрода	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²	Угол загиба для металла соединения, сваренного электродами диаметрами менее 3 мм, град.
Э38	370	14	29	60
Э42	410	18	78	150
Э46	450	18	78	150
Э50	490	16	69	120
Э42А	410	22	147	180
Э46А	450	22	137	180
Э50А	490	20	127	150
Э55	540	20	117	150
Э60	590	18	98	120
Э70	690	14	59	–
Э85	840	12	49	–
Э100	980	10	49	–
Э125	1225	8	39	–
Э150	1470	6	39	–

Каждому типу электрода соответствует несколько марок электродов. Например, типу Э42 соответствуют электроды ОМА-2, АНО-б, МЭЗ-04 и др. Марка электрода — это его промышленное обозначение, как правило, характеризующее стержень и покрытие.

Флюсы для дуговой и электрошлаковой сварки. С целью обеспечения надежной защиты зоны сварки от атмосферных газов, создания условий устойчивого горения дуги, формирования качественного шва при сварке плавлением применяют флюсы. Получают плотные и не склонные к кристаллизационным трещинам швы. После остывания шва шлаковую корку легко удалить. При использовании флюсов сокращается выделение пыли и газов, вредных для здоровья сварщика.

Флюсы классифицируют по назначению, химическому составу, структуре, степени легирования шва, способу изготовления, зависимости вязкости шлака от температуры.

По назначению флюсы делят на три группы:

- 1) для сварки углеродистых и легированных сталей;
- 2) для сварки высоколегированных сталей;
- 3) для сварки цветных металлов и сплавов.

По химическому составу различают флюсы оксидные, солевые и соле-оксидные (смешанные). Оксидные флюсы состоят из оксидов металлов и могут содержать до 10% фтористых соединений. Их применяют для сварки

углеродистых и низколегированных сталей. Солевые флюсы состоят из фтористых и хлористых солей металлов и других, не содержащих кислород химических соединений. Они используются для сварки активных металлов электрошлакового переплава. Солеоксидные флюсы состоят из фторидов и оксидов металлов, применяются для сварки легированных сталей.

По химическим свойствам оксидные флюсы подразделяют на кислые и основные, а также нейтральные. К кислым относят SiO_2 и TiO_2 ; к основным — CaO , MgO , к химически нейтральным соединениям — фториды и хлориды.

В зависимости от содержания SiO_2 различают высококремнистые, низкокремнистые и бескремнистые флюсы, а в зависимости от содержания MnO — марганцевые и безмарганцевые флюсы.

По степени легирования металла шва различают флюсы пассивные, т. е. не вступающие во взаимодействие с расплавленным металлом, активные — слабо легирующие металл шва и сильно легирующие, к которым относят большинство керамических флюсов.

По способу изготовления флюсы делят на плавленные и неплавленные (керамические).

По строению крупинки — стекловидные, пемзовидные и цементированные.

По характеру зависимости вязкости шлаков от температуры различают флюсы, образующие шлаки с различными физическими свойствами. Флюсы, у которых вязкость шлаков с понижением температуры возрастает медленно, называют длинными, а флюсы, у которых вязкость шлаков при аналогичных условиях возрастает быстро, — короткими. Зависимость вязкости флюсов от температуры существенно влияет на качество формирования шва. Преимущественно находят применение флюсы с короткими шлаками (основные флюсы).

При сварке под флюсом состав флюса полностью определяет состав шлака и атмосферу дуги. Взаимодействие жидкого шлака с расплавленным металлом оказывает существенное влияние на химический состав, структуру и свойства наплавленного металла.

Применительно к углеродистым сталям качественный шов можно получить при следующем сочетании флюсов и сварочной проволоки:

- 1) плавленный марганцевый высококремнистый флюс и низкоуглеродистая или марганцовистая сварочная проволока;
- 2) плавленный безмарганцевый высококремнистый флюс и низкоуглеродистая марганцовистая сварочная проволока;
- 3) керамический флюс и низкоуглеродистая сварочная проволока.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей чаще всего используют углеродистую проволоку марок Св-08 и Св-08А в сочетании с высококремнистым марганцевым флюсом марок ОСЦ-45, АН-348А, ОСЦ-45М, АН-348АМ (мелкий). Требования к этим флюсам регламентируются ГОСТ 9087–81.

Флюсы ОСЦ-45 и АН-348А с зерном 0,35–3,0 мм применяют для автоматической сварки сварочной проволокой диаметром 3 мм и более. Флюсы ОСЦ-45М и АН-348АМ с зерном 0,25–1,6 мм применяют для автоматической и механизированной сварки сварочной проволокой диаметром менее 3 мм.

Флюс ОСЦ-45 малочувствителен к ржавчине, дает весьма плотные швы, стойкие против образования горячих трещин. Существенным недостатком флюса является большое выделение вредных фтористых газов. Флюс АН-348А более чувствителен к коррозии, чем ОСЦ-45, но выделяет значительно меньше вредных фтористых газов.

Контрольные вопросы

1. Применение сварочной проволоки.
2. Деление сварочной проволоки на группы по химсоставу.
3. Маркировка сварочной проволоки.
4. Строение порошковой проволоки.
5. Строение порошковой ленты.
6. Классификация сварочных электродов.
7. Типы сварочных электродов.
8. Назначение, типы и виды покрытия электродов.
9. Классификация флюсов.

ТЕМА 8. ПОНЯТИЕ О СВАРИВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ

Свариваемостью называют свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии соединения, отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия. Наибольшее влияние на свариваемость металла оказывает его химический состав.

Свариваемость стали, в первую очередь, зависит от содержания в ней углерода. Хорошо свариваются низкоуглеродистые стали, содержащие С до 0,25%. Хуже свариваются среднеуглеродистые стали, содержащие С от 0,26 до 0,45%. Плохо свариваются высокоуглеродистые стали, в которых С содержится от 0,46 до 0,9%. Свариваемость стали зависит также от содержания в ней других элементов. Примерно в равной степени ухудшают свариваемость Mn, Cr, V, Mo. При содержании P более 0,05% и Cu более 0,5% свариваемость стали значительно ухудшается; Si и Ni влияют на свариваемость в меньшей степени.

Повышенное содержание С в стали приводит к увеличению ликвационной неоднородности металла, выделению по границам кристаллитов сульфидных включений, что снижает стойкость стали к образованию трещин; в ЗТВ образуются хрупкие структуры мартенсита, характерные для закалки, повышающие внутренние напряжения и также увеличивающие склонность стали к образованию трещин. Аналогичные действия оказывают легирующие элементы. По степени легирования стали подразделяются на низколегированные, содержащие не более 2,5% легирующих элементов, среднелегированные, содержащие от 2,5 до 10% легирующих элементов, и высоколегированные, содержащие их более 10% и одного из легирующих — не менее 5%.

Свариваемость большинства низколегированных строительных сталей хорошая, и для их сварки не требуется никаких дополнительных технологических приемов, кроме оптимального режима. Свариваемость некоторых низколегированных строительных, а также высокопрочных конструкционных и жаропрочных сталей удовлетворительная, но для их сварки требуются дополнительные технологические приемы (в основном предварительный нагрев и иногда последующая термообработка). Аналогично этому характеризуется сварка среднелегированных сталей. Более сложной представляется свариваемость высоколегированных сталей мартенситного, ферритного и аустенитного классов, при сварке которых необходимы технологические меры по предупреждению образования трещин, обеспечению требуемой коррозионной стойкости, жаростойкости и жаропрочности, предупреждению межкристаллитной коррозии и охрупчивания металла в процессе эксплуатации.

Основные процессы при сварке:

- тепловое воздействие на металл в околошовных участках;
- плавление;
- металлургические процессы;
- кристаллизация металла шва;
- взаимная кристаллизация металлов в зоне сплавления.

Под *свариваемостью* следует понимать отношение свариваемых металлов к этим основным процессам.

Существует два вида свариваемости:

- 1) *технологическая свариваемость* — это отношение металла к конкретному способу сварки и конкретному режиму (отношение к сварке вообще);
- 2) *физическая свариваемость* — определяется физическими процессами, протекающими в зоне сплавления свариваемых металлов, в результате которых образуется неразъемное сварное соединение.

Особенности:

– таким образом, свойства металлов определяют их физическую свариваемость.

– все однородные металлы обладают физической свариваемостью.

Влияние на свариваемость легирующих элементов и примесей.

К легирующим элементам относят, в первую очередь, хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, титан, а также марганец и кремний при определенном их содержании.

I. Хром (Cr): в низкоуглеродистых сталях содержится до 0,3%; в конструкционных — 0,7–3,5%, в хромоникелевых — 9–35%. Обозначение: буква «Х» в марке стали.

Влияние:

«–» 1) при сварке образует карбиды хрома, резко повышающие твердость в зоне термического влияния;

«–» 2) содействует образованию тугоплавких окислов, затрудняющих процесс сварки.

II. Никель (Ni): в низкоуглеродистых — 0,2–0,3%, в легированных — 8–35%.

Влияние:

«±» 1) повышает пластические и прочностные свойства стали;

2) измельчает зерно, практически не ухудшая свариваемости.

III. Молибден (Mo).

Влияние:

«+» 1) увеличивает несущую способность стали при ударных нагрузках и повышенных температурах;

«—» 2) способствует образованию трещин;

«—» 3) активно окисляется и выгорает.

IV. Ванадий (V).

Влияние:

1) способствует закаливаемости стали, что затрудняет сварку;

2) активно окисляется и выгорает.

V. Марганец (Mn).

Влияние:

1) процесс сварки не затрудняет;

2) является активным раскислителем; но:

3) Возникает опасность появления трещин в связи с тем, что Mn увеличивает закаливаемость стали;

4) Интенсивно выгорает.

VI. Кремний (Si).

Влияние:

1) не вызывает затруднений при сварке;

2) раскислитель;

3) при 0,8–1,5% условия сварки ухудшаются из-за высокой жидкотекучести кремнистой стали и образования тугоплавких окислов;

4) активно выгорает.

Оценка свариваемости стали. При оценке свариваемости металла учитываются наиболее важные факторы, влияющие на свариваемость:

– химический состав металла;

– скорость охлаждения металла в процессе сварки;

– характер первичной кристаллизации и последующих структурных превращений при охлаждении;

– склонность металла сварного соединения к образованию закалочных структур;

– склонность сварного соединения к образованию трещин;

– образование сварного шва требуемого химического состава, механических и других свойств.

Ввиду того, что наибольшее влияние на свариваемость стали оказывает углерод, а другие элементы влияют в меньшей степени, стремятся приравнять влияние этих элементов к эквиваленту углерода C_9 в процентах.

ГОСТ 27772–88 рекомендует следующую ориентировочную формулу углеродного эквивалента:

$$C_9 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{Ni}{40} + \frac{P}{2},$$

где символы химических элементов означают содержание их в стали, %.

По этому ГОСТу свариваемость всех сталей, на которые он распространяется, гарантируется изготовителем: для сталей с пределом текучести 390 Н/мм^2 по требованию потребителя C_s должен быть не более $0,49\%$, а для сталей с пределом текучести 440 Н/мм^2 — не более $0,51\%$. Большинство низколегированных сталей с пределом текучести до 390 Н/мм^2 имеет C_s не более $0,49\%$, эти стали практически свариваются удовлетворительно, и только при приближении значения C_s к предельной величине ($0,45\text{--}0,48\%$), и особенно при увеличении толщины металла или при работе в условиях низких температур, для них требуется предварительный подогрев.

Повышенная скорость охлаждения характерна для сварных соединений. Влияние скорости охлаждения на механические свойства металла шва хорошо видно на рисунке 8.1. При повышении скорости охлаждения сварного шва низкоуглеродистой стали прочность ее растет, а пластичность падает. Аналогично этому влияет увеличение скорости охлаждения сварного шва среднеуглеродистых, высокоуглеродистых и легированных сталей. Эти стали наиболее склонны к образованию закалочных структур мартенсита, что может быть причиной образования трещин. Наличие трещин даже в микроскопических размерах недопустимо, поэтому оценка склонности металла к образованию трещин при сварке необходима для определения его свариваемости. Окончательная оценка свариваемости осуществляется, кроме этого, рядом других испытаний (механических, металлографических и т. д.), проводимых по правилам, предусмотренным ГОСТами.

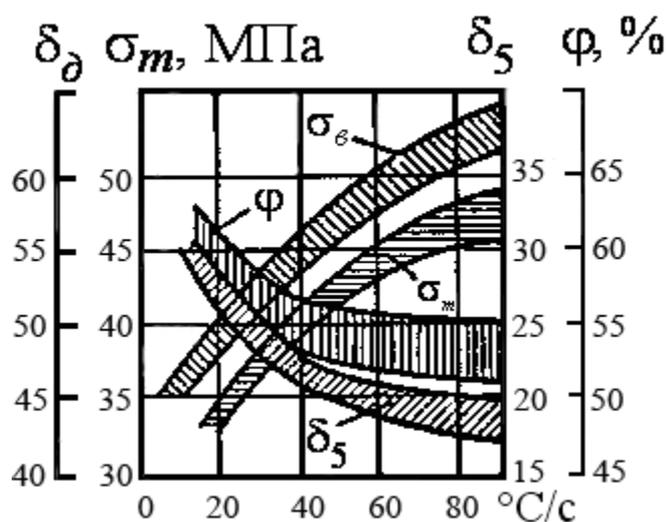


Рисунок 8.1 – Влияние скорости охлаждения низкоуглеродистой стали на механические свойства металла шва

Особенности сварки различных сталей.

Сварка низкоуглеродистых сталей. К низкоуглеродистым конструкционным сталям относятся стали с содержанием менее 0,25% С, кроме того, не более 0,8% Mn, 0,35% Si, 0,04% P, 0,05% S.

Основные марки: В Ст3 (сп, пс, кп), Сталь 08, Сталь 10, Сталь 20.

Область использования: металлоконструкции, трубопроводы различного назначения, включая паро- и теплопроводы.

Особенности сварки, шва и технологии:

- 1) указанные стали относятся к хорошо свариваемым;
- 2) технологию и вид сварки выбирают из условия:
 - равнопрочности сварного соединения основному металлу;
 - отсутствия в нем дефектов;
- 3) сварное соединение должно быть стойким к переходу в хрупкое состояние (низкий порог хладноломкости), а деформации конструкций при сварке должны находиться в допустимых пределах;
- 4) металл шва у них отличается по составу от основного металла более низким содержанием углерода и несколько повышенным содержанием марганца и кремния;
- 5) для повышения пластических свойств наплавленного металла (из-за влияния скорости охлаждения на механические свойства) сечение одного слоя при многослойной наплавке следует назначать в зависимости от:
 - толщины свариваемого металла;
 - выбранного вида и способа сварки;
- б) особенности зоны термического влияния:
 - незначительно упрочняется в зоне перегрева;
 - происходит снижение ударной вязкости на участке рекристаллизации (для кп и пс);
 - металл околошовной зоны более интенсивно охрупчивается при многослойной, чем при однослойной, за счет интенсификации процессов старения;
- 7) для снятия внутренних напряжений конструкций (особенно толстостенных) можно применять ТО:
 - высокий отпуск;
 - для выравнивания свойств и улучшения структуры используют нормализацию ($t = 900\text{--}940\text{ }^{\circ}\text{C}$) + В.О;
- 8) при сварке первого слоя многослойных швов (при $t > 30\text{ мм}$) рекомендуется предварительно подогреть до $t = 120\text{--}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ во избежание появления рекристаллизационных трещин.

9) применяют: ручную дуговую сварку, автоматическую и механизированную под флюсом в среде CO_2 , сварку порошковой проволокой (самозащитной и в CO_2), в меньшей степени газовую.

При сварке корневых швов трубопроводов высокого давления используют аргонодуговую сварку неплавящимся электродом.

Сварка низколегированных сталей. К ним относятся стали, легированные одним или несколькими элементами, если содержание каждого из них не превышает 2%, а сумма — не более 5%.

Классификация для сварных конструкций:

- 1) низколегированные низкоуглеродистые (09Г2С, 17ГС, 14ХГС);
- 2) низколегированные среднеуглеродистые (30ХМ);
- 3) низколегированные теплоустойчивые (12ХМ, 15Х1М1Ф);

Область рационального использования:

- 1) строительные металлические конструкции, трубопроводы;
- 2) трубопроводы при высоких давлениях и высоких температурах среды.

Особенности:

1) низколегированные низкоуглеродистые стали с содержанием углерода не более 0,23% (12ХМ, 15Х1М1Ф) имеют большую, чем низкоуглеродистые стали, склонность к образованию закалочных структур в зоне термического влияния, что резко снижает пластичность и ударную вязкость;

2) режимы сварки должны быть ограничены более низкими узкими значениями погонной энергии;

3) равнопрочность металла шва основному металлу обеспечивается за счет легирования его элементами, переходящими из основного металла и сварочных материалов;

4) из-за чувствительности к образованию кристаллизационных трещин следует применять проволоку с пониженным содержанием углерода и серы.

Пример: сталь 18Г2АФ — сварочная проволока Св08Г2А, сварка в CO_2 ;

5) из-за чувствительности к образованию кристаллизационных трещин следует строго соблюдать последовательность сварки (многослойность при большой толщине), в некоторых случаях термическая обработка, а также предварительные и сопутствующие подогревы.

б) режимы и технология сварки близки к низкоуглеродистым сталям.

Специфика сварки конструкций и сталей высокой прочности.

Представители: 16Г2АФ, 14Х2ГМР и др. (типа ГАФ и ГАФЮ).

Требования: необходимо сочетание высокой прочности + достаточная пластичность + вязкость + хорошая свариваемость.

Область применения: для крупногабаритных трубопроводов (\varnothing 1220–1420 мм) высокого давления ($P = 7,5$ МПа и более).

Особенности сварки:

1. Технология сварки должна:

- предупреждать образование холодных трещин;
- обеспечивать наименьшие возможные снижения пластичности и ударной вязкости в зоне термического влияния;
- не допускать снижения прочности в шве и в зоне термического влияния.

2. При разработке технологии сварки следует уменьшать скорость охлаждения (не было мартенсита) и применять меры по сокращению водорода в металле.

3. Для обеспечения хорошего качества сварных соединений существуют 2 группы технологических мероприятий:

а) для предупреждения образования холодных трещин — подогрев свариваемых кромок, просушка и проковка сварочных материалов, применение окислительных флюсов, тщательная очистка металла и сварочной проволоки;

б) для ограничения роста зерна в зоне термического влияния — увеличение числа проходов при сварке, использование легированных сварочных проволок, уменьшение погонной энергии сварки.

Пример: сталь 16Г2АФ — сварочная проволока Св–08Г2С (при CO₂) и Св–10НМА — под слоем флюса.

4. При сварке металла толщиной свыше 16 мм необходим предварительный и сопутствующий подогрев кромок до 120–160 °С, непосредственно после сварки подогрев 1 ч, не давая остывать ниже 200 °С.

Контрольные вопросы

1. Что такое свариваемость (определение)?
2. От чего зависит свариваемость?
3. Влияние на свариваемость легирующих элементов.
4. Технологическая свариваемость.
5. Физическая свариваемость.
6. Оценка свариваемости стали.
7. Особенности сварки низкоуглеродистых сталей.
8. Особенности сварки низколегированных сталей.
9. Особенности сварки сталей с высокой прочностью.

ТЕМА 9. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Качественное сварное стыковое соединение возможно получить при условии лишь незначительного смещения кромок труб (2–3 мм) по всему периметру во время сборочных операций (по нормативной документации, для магистральных трубопроводов эта величина должна составлять не более 20% толщины стенки, что не должно превышать 3 мм).

Последствия смещения:

- уменьшается расчетная высота шва;
- ухудшаются условия равномерного прогрева и сплавления корня шва;
- в местах, где одна из кромок смещена, наблюдаются несплавления и прожоги.

Причины несовпадения кромок при сборке:

- разнотолщинность и эллиптичность цельнотянутых труб;
- значительное отклонение по длине окружности сварных труб;
- местные вмятины, связанные с транспортировкой и разгрузкой;
- выхваты и неровности, вызванные неправильной обработкой концов труб.

Все это обуславливает подгонку.

Методы проведения сборочных операций:

- *на сварочной базе* при вращении стыкуемых труб и в неповоротном положении;
- *на трассе* в неповоротном положении (при сборке секций в нитку, при сборке захлестов, установке задвижек и т. д.).

Сборка стыков под сварку включает следующие виды работ:

- подготовка труб к сборке (правка концов и очистка поверхности свариваемых кромок);
- установка труб, стяжка и центровка труб (собственно сборка);
- проверка сопряжений кромок и сборочных баз, подгонка сопрягаемых элементов деталей;
- закрепление (фиксация) свариваемых кромок.

Стыковые швы при толщине металла до 4 мм включительно сваривают электродами диаметром 3–4 мм, как правило, без поперечного движения электрода и в один проход. В некоторых конструкциях, которые должны обеспечить непроницаемость швов (в резервуарах, водонапорных башнях и других), эти швы выполняют в два прохода с одной или двух сторон. Швы такого типа удобней сваривать на съемной или остающейся подкладке, если это допустимо и возможно из проектных соображений.

Стыковые швы при толщине металла от 2 до 5 мм сваривают в два прохода, по одному с каждой стороны; если возможно хорошо выплавить или вышлифовать корень шва после сварки с одной стороны (рис. 9.1, *a*), второй шов накладывается с другой стороны по хорошо расчищенному металлу, что обеспечивает качественный провар и допускает сварку в два слоя металла толщиной до 12 мм. Однако это не всегда возможно, поэтому для стыковых швов ГОСТом предусмотрена односторонняя или двусторонняя разделка кромок, т. е. придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы уже при толщине металла от 3 мм и более. Сваривают разделанные кромки в два и более слоев со стороны разделки.

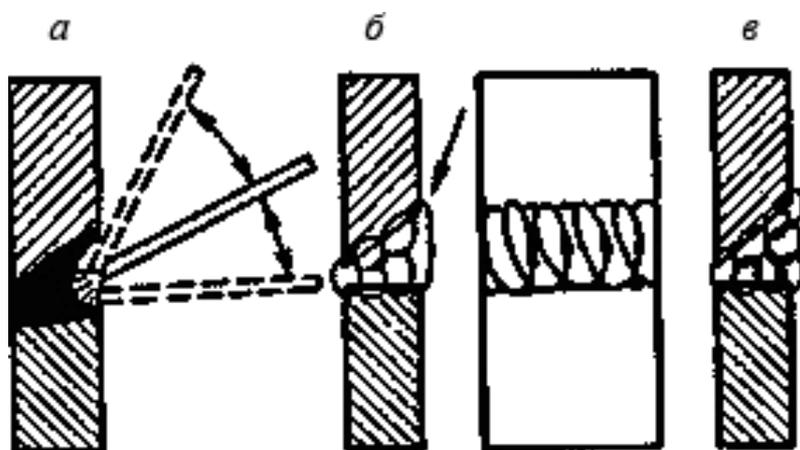


Рисунок 9.1 – Сварка горизонтальных швов:

a – за один проход; *б* – с декоративным слоем (показан стрелкой); *в* – валиками

При сварке многослойных швов всех типов необходимо после сварки каждого слоя (или прохода) тщательно очищать его от шлака и дефектов и только после этого сваривать следующий слой. Многослойные швы выполняют двумя способами: сваркой каждого слоя на всю ширину разделки (рис. 9.2, *a*), что допустимо при небольшой толщине металла, так как ширина слоя должна быть не больше $2-4 d_3$; сваркой отдельными валиками (проходами), которых может быть в каждом слое 2, 3 и более (рис. 9.3). Такое ограничение по ширине слоя шва вызвано необходимостью повышения погонной энергии для получения слоя на всю ширину разделки, а это приводит к перегреву и ухудшению вязкости шва. Последний слой многослойного шва служит его выпуклостью; при его сварке происходят нагрев и термическая обработка предыдущих слоев, что улучшает их структуру. Особенно тщательно должны быть выполнены подварочные швы после вышлифовки, выплавки или вырубки корня шва.

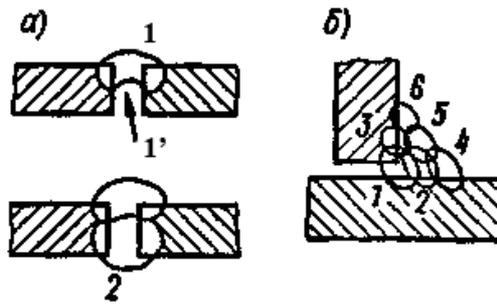


Рисунок 9.2 – Сварка швов:
a – металла толщиной до 12 мм без разделки кромок; 1' – расчистка корня шва после сварки 1-го слоя; 2 – сварка с обратной стороны

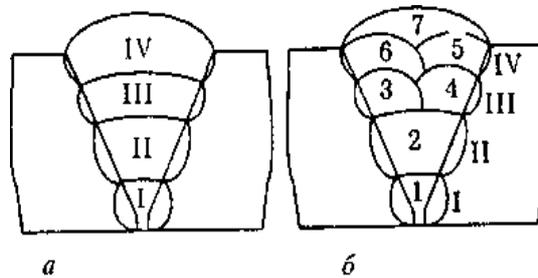


Рисунок 9.3 – Последовательность наложения швов

Сварка угловых швов с разделанными кромками практически мало отличается от сварки стыковых многослойных швов. Угловые швы тавровых и нахлесточных соединений, выполненные без разделки кромок, имеют внешние части K за счет расплавления электродного металла, при этом важно выдержать размер K как величину расчетную. Угловые швы, как правило, делают многопроходными (рис. 9.2, б); однопроходными эти швы могут быть при минимальных размерах $K = 4-5$ мм.

По протяженности различают швы короткие при (длине 250 мм), средние (при длине 250–1000 мм), длинные (при большей длине).

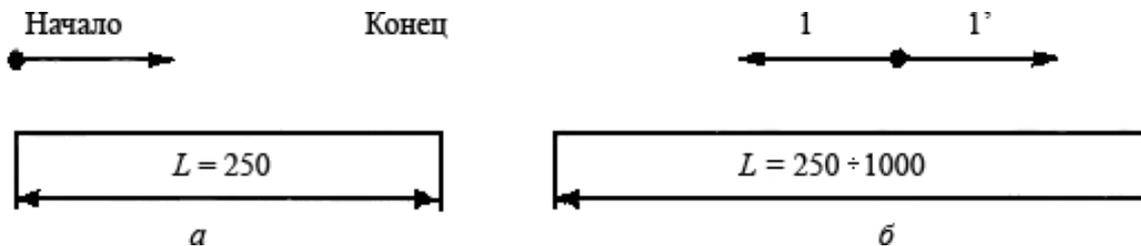


Рисунок 9.4 – Технологические приемы, используемые при сварке

Короткие швы сваривают напроход с неизменным направлением сварки, средние сваривают от середины к краям, а длинные — обратно-ступенчатым способом, что значительно уменьшает коробление деталей от сварки (рис. 9.4, б).

Металл средней толщины (15–20 мм) и первые два слоя более толстого металла сваривают *методом «двойного слоя»* (рис. 9.5, б). При толщине более 20 мм сваривают *секциями* (рис. 9.5, в) и каждый слой секции, в свою очередь, сваривают *обратно-ступенчатым способом*. Применяют также *сварку «каскадом»* (рис. 9.5, г); вертикальные и горизонтальные швы на вертикальной плоскости *сваривают двусторонними секциями* одновременно два сварщика с опережением одного (1 св.) над другим (2 св.). Эти способы обеспечивают естественный подогрев металла в процессе сварки, что устраняет образование трещин в шве и ЗТВ (рис. 9.5, д).

Сварка *стыковых швов в нижнем положении* (Н) и *угловых «в лодочку»* (Л) — наиболее простой и естественный процесс, при котором формированию шва, проплавлению и переносу электродного металла в шов способствует сила тяжести.

Для удержания ванны *при вертикальной сварке* (В, Пв) уменьшают ее размер путем снижения силы тока. Сварку тонкого металла и первого слоя стыкового шва с разделкой кромок при вертикальном положении часто ведут *сверху вниз* (рис. 9.5, е) без колебательных движений электрода, наклоняя его так, чтобы дуга была направлена на ванну и удерживала ее своим дутьем, а затем постепенно перемещают электрод вниз и образуют шов. Более толстый металл сваривают *снизу вверх*, дугу зажигают внизу шва и после образования ванны отводят электрод немного вверх, при этом низ ванны кристаллизуется, образуя твердый металл, на который ложится следующая ванна и т. д. (рис. 9.5, ж). Выполняя поперечные колебания электродом шириной $1,5-2 d_e$, швы Пв сваривать более удобно, чем швы В.

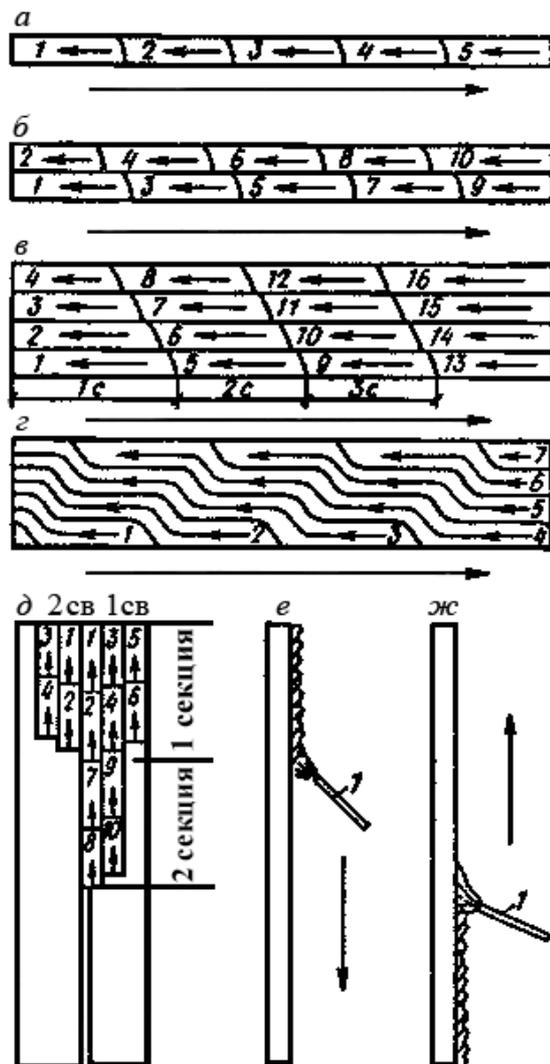


Рисунок 9.5 – Способы выполнения швов:
 а – обратно-ступенчатый; б – двойным слоем; в – секциями (1с, 2с, 3с – секции);
 г – каскадом; д – двусторонними секциями;
 е – сверху вниз; ж – снизу вверх

Горизонтальные швы на вертикальной плоскости сваривают обычно валиками на токе, пониженном на 15–20% по сравнению с током для сварки в нижнем положении. Иногда применяют сварку за один проход и с декоративным швом или без него.

При сварке толстого металла выполнение каждого слоя на проход является нежелательным, так как это может привести к значительным деформациям, а также к образованию трещин в первых слоях.

Для предотвращения образования трещин заполнение разделки при сварке толстого металла следует производить так, чтобы каждый последующий слой накладывался на еще не успевший остыть предыдущий слой, для чего требуется обеспечить малый интервал времени между наложением отдельных слоев. Это достигается применением каскадного метода заполнения разделки (рис. 9.6, *а*), заполнением «горкой» (рис. 9.6, *б*) и блочного метода (рис. 9.6, *в*).

При каскадном методе заполнения шва весь шов разбивается на короткие участки по 200 мм и сварка производится таким образом, что по окончании сварки первого слоя первого участка без остановки продолжают выполнение первого слоя на соседнем участке. При этом каждый последующий слой накладывается на не успевший еще остыть металл предыдущего слоя.

Сварка горкой является разновидностью каскадного способа, ведется от середины к краям двумя сварщиками одновременно.

Эти два метода выполнения шва представляют собой обратную ступенчатую сварку не только по длине, но и по сечению шва.

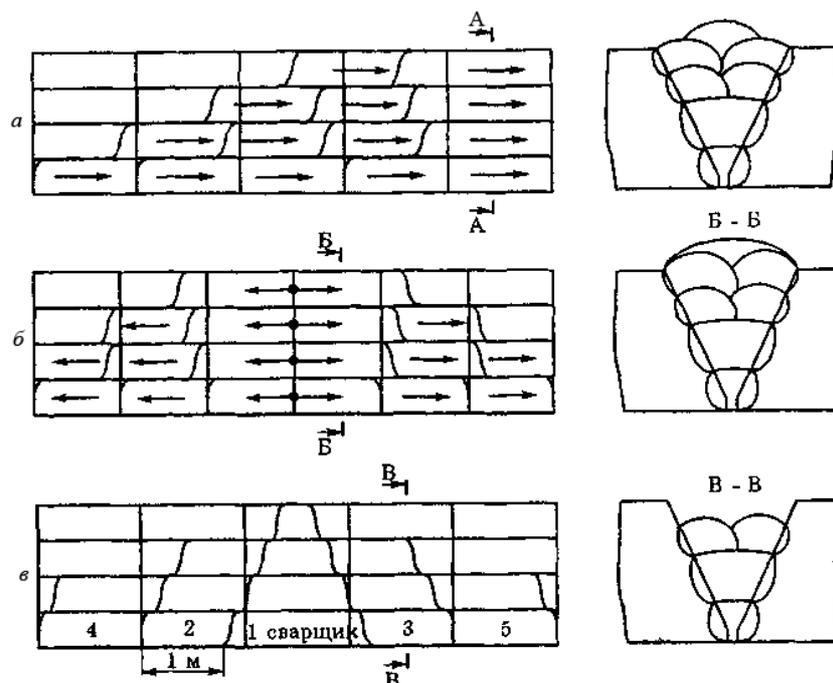


Рисунок 9.6 – Последовательность выполнения длинных многослойных швов:
а – каскадный метод, *б* – сварка «горкой»; *в* – блочный метод

Блочный метод заключается в том, что весь шов по длине делится на равные участки длиной примерно 1 м, каждый участок-блок выполняется определенным сварщиком, причем сварка начинается со среднего блока. Сразу же после выполнения первого прохода на первом участке сварку начинают еще два сварщика и т. д., пока все участки по длине шва не будут закреплены за сварщиками. Такое одновременное выполнение многопроходного шва по длине и сечению обеспечивает наиболее равномерное распределение температуры, что значительно уменьшает общие остаточные деформации как в плоскости свариваемых листов, так и из плоскости.

Угловые швы могут выполняться без разделки кромок (рис. 9.7, *а, б*) и с разделкой кромок за несколько проходов (рис. 9.8).

Двухсторонние швы обычно обеспечивают полный провар свариваемых элементов (рис. 9.9, *а*). В некоторых случаях техническими условиями допускается отсутствие полного провара (рис. 9.9, *б*).

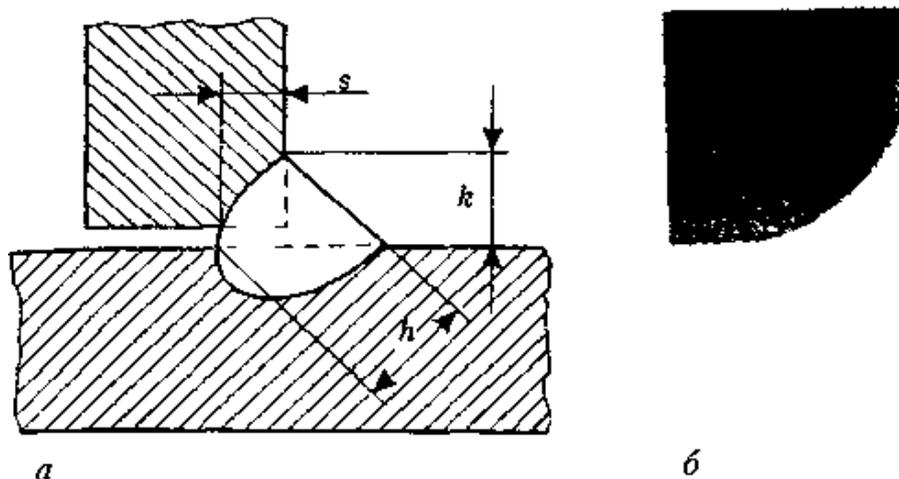


Рисунок 9.7 – Сварка углового шва без разделки кромок:
а – схема шва; *б* – рентгенограмма шва

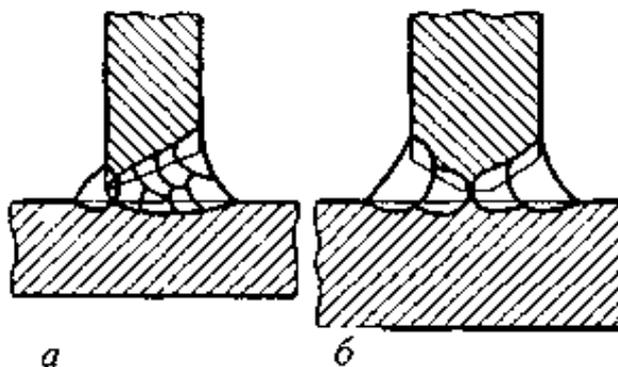


Рисунок 9.8 – Угловые швы таврового соединения, выполненные с разделкой кромок:
а – несимметричная разделка, *б* – симметричная разделка

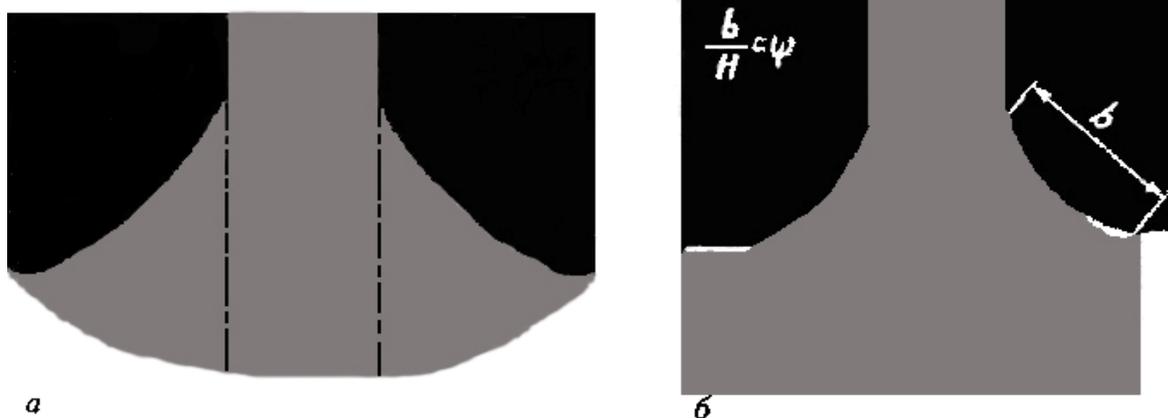


Рисунок 9.9 – Тавровые соединения с двухсторонними швами:
 а – с полным проваром; б – с отсутствием полного провара

Наиболее трудной является *сварка в потолочном положении* (П, Пп). Для удержания ванночки расплавленного металла от падения вниз уменьшают размер ванны за счет уменьшения диаметра электрода и снижения силы тока на 20–25%. Это помогает переносу металла в шов и его формированию при помощи дутья дуги и сил электромагнитного поля, возникающих на электроде. При потолочной сварке производительность процесса резко снижается, качество шва ухудшается, требуется очень высокая квалификация сварщика для образования потолочного шва, поэтому этого вида сварки следует избегать.

Подготовка электродов к сварке.

Особенность электродов: в покрытии содержатся гигроскопические соединения (способные натягивать влагу).

Область применения: сварка при монтаже в любых пространственных положениях, сварка неповоротных стыков трубопроводов.

Факторы, влияющие на увлажнение покрытия:

- тип упаковки и способ хранения электродов;
- влажность воздуха;
- температура окружающей среды;
- время пребывания на воздухе или во влажном помещении.

Контроль качества по ГОСТ 9466: электродное покрытие не должно разрушаться при падении плашмя на стальную плиту с высоты 1 м для $\varnothing < 4$ мм, с высоты 0,5 м — для $\varnothing 4$ мм и более.

Причины прокаливания электродов:

- водород из влаги в шве приводит к пористости соединений и к образованию холодных трещин;
- уменьшается адгезия (связь) покрытия со стержнем (возможны сколы) и понижение свойств при сварке (исчезновение дуги);

– при отсыревании в целлюлозных покрытиях происходят необратимые структурные изменения, ухудшающие технологические свойства электродов.

Особенности подготовки (прокалки):

1) запрещается хранение электродов на монтажной площадке в раскрытых пачках *более 4 часов*;

2) непосредственно перед выдачей — *прокалка*:

– для Б — 350–400 °С×1 ч (если Б хранят при $t = 135–150$ °С, то прокалка не нужна);

– Р — 180–200 °С×1 ч;

– Ц — 80–100 °С×1 ч;

3) просушивание в специальных электропечах, что исключает непосредственное воздействие пламени на покрытие.

Хранение (по нормативной литературе для трубопроводов): при $t \geq +15$ °С в условиях предохранения от увлажнения, загрязнения и механического повреждения;

4) Ц — не перегревать.

Контрольные вопросы

1. Причины и последствия несовпадения кромок.
2. Подготовка и проведение сборочных операций.
3. Сварка стыковых швов при различной толщине металла.
4. Сварка многослойных швов.
5. Сварка швов различной протяженности.
6. Способы выполнения швов.
7. Подготовка электродов к сварке.

ТЕМА 10. СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Сварка поворотных стыков трубопроводов.

Область рационального применения:

- для сварки первого (корневого) слоя на полустационарных трубо-сварочных базах;
- для сварки всех слоев швов трубопроводов малого диаметра (168–325 мм) с большой толщиной стенки.

Особенности сварки:

– сварочные установки полустационарных трубосварочных баз имеют источник электрического тока (сварочный агрегат и двигатель внутреннего сгорания или выпрямитель и передвижная дизельная электрическая станция), стационарный пункт электрогазового питания, полуавтомат;

- применяется тонкая электродная проволока $\varnothing 0,8-1,2$ мм;
- сварку ведут на *постоянном токе обратной полярности* (для стабильности горения дуги, минимального разбрызгивания, хорошего формирования шва);
- порядок наложения швов при сварке корневого слоя.

1-й способ. С периодическим вращением трубы:

- сваривают полуавтоматом четверть окружности трубы «на подъем» с помощью вращателя;
- затем поворачивают трубы на 90° и сваривают второй участок и т. д.

2-й способ. Сварку выполняют с непрерывным вращением трубы (секции). Сварку ведут на одном участке, отстоящем под углом $30-35^\circ$ от вертикали.

Сварка неповоротных стыков на трассе.

Особенности: выполняется как автоматическая, так и полуавтоматическая сварка.

Область применения: автоматическая применяется на установках для двухсторонней сварки с использованием поточно-распределенного метода при температуре от $+45^\circ$ до -25°C для $\varnothing 1020-1420$ мм.

Основные операции автоматической сварки:

- подготовка труб (контроль, очистка, устранение дефектов);
- механическая обработка торцов труб (см. разделку кромок);
- сборка и сварка внутреннего и наружного корневого слоев. Внутренний слой выполняют одновременно шесть автоматов, каждый из которых сваривает $1/6$ окружности и устанавливается между элементами внутреннего центризатора;

– осмотр внутреннего корневого шва и ручная дуговая сварка плохих участков;

– сварка заполняющих слоев шва (с обязательной предварительной очисткой от шлака и брызг). Число заполняющих слоев (2–6 шт.) зависит от толщины стенки;

– подогрев перед сваркой облицовочного слоя;

– сварка облицовочного слоя;

– осмотр шва и ручная дуговая сварка неудовлетворительных участков.

Особенности сварки:

1) для повышения устойчивости горения дуги сварку внутреннего слоя следует выполнять смесью $\text{CO}_2 + \text{Ar}$;

2) свободный торец нитки трубопровода должен быть закрыт инвентарной заглушкой, чтобы предотвратить сдувание струи газа при внутренней сварке за счет сквозняка;

3) сварку всех наружных слоев следует проводить при защите от осадков и ветра (при скорости ветра 3–5 м/с — специальная защитная палатка);

4) сварку наружного корневого слоя следует начинать не позднее 5 мин после начала сварки внутреннего на том же участке. При вынужденном перерыве при сварке наружного корневого слоя необходим подогрев до 150–200 °С;

5) сварку всех наружных слоев проводят одновременно двумя автоматами на спуск;

6) перед сваркой облицовочного слоя, если $C_s > 0,4\%$ (ограниченная и плохая свариваемость), необходим подогрев стыка наружным кольцевым подогревателем до 220–250 °С;

7) обязательно предусматривать замки (сварочные швы, положенные друг на друга с наклепом). Их места должны быть смещены друг от друга на высоту более 15 мм;

8) существует определенная последовательность наложения слоев;

9) существуют определенные значения (мм) усиления и ширины наружного облицовочного и внутреннего корневого швов, которые контролируются и вынесены в специальные инструкции (ВСН–006–89).

Автомат для сварки наружных слоев шва двигается по специальной ленте на трубе.

Порядок наложения многослойных швов зависит от диаметра трубы, возможности ее поворота, количества сварщиков, работающих на одном стыке.

Порядок наложения швов одним сварщиком без поворота труб диаметром до 219 мм показан на рисунке 10.1, а. Для труб диаметром более 219 мм сварку первых трех слоев следует выполнять обратно-ступенчатым методом в соответствии с рисунком 10.1. Длина каждого участка не должна превышать 200–250 мм.

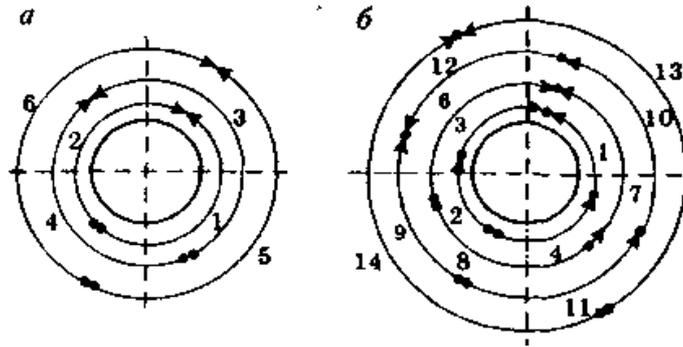


Рисунок 10.1 – Порядок наложения швов одним сварщиком

При сварке неповоротного стыка двумя сварщиками порядок наложения швов следующий (рис. 10.2). Первый сварщик начинает сварку в точке *A* и ведет ее к точке *B* в направлении, указанном стрелкой; одновременно второй сварщик ведет сварку от точки *Г* к точке *B*. Далее первый сварщик (без перерыва) продолжает вести сварку от точки *B* до точки *В*, а второй переходит на сварку участка от точки *A* к точке *Г*. Последующие слои накладываются участками длиной 1/2 окружности трубы.

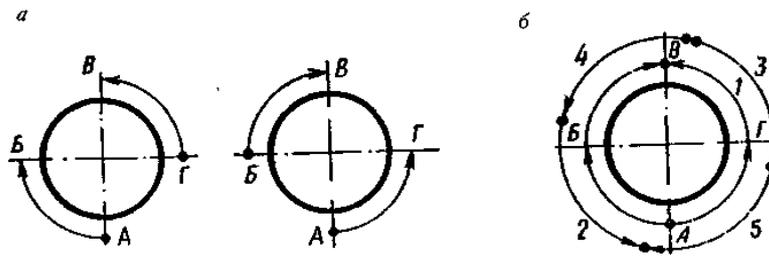


Рисунок 10.2 – Последовательность наложения первого (*a*) и последующих (*б*) слоев

Последовательность сварки трубы с поворотом на 180° и 90° приведена, соответственно, на рисунках 10.3 и 10.4.

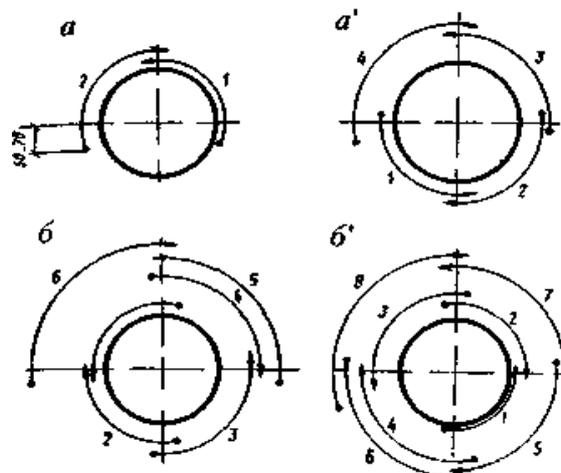


Рисунок 10.3 – Сварка стыков с поворотом трубы на 180°:
a – первого слоя, *б* – второго слоя, *a'*, *б'* – после поворота трубы

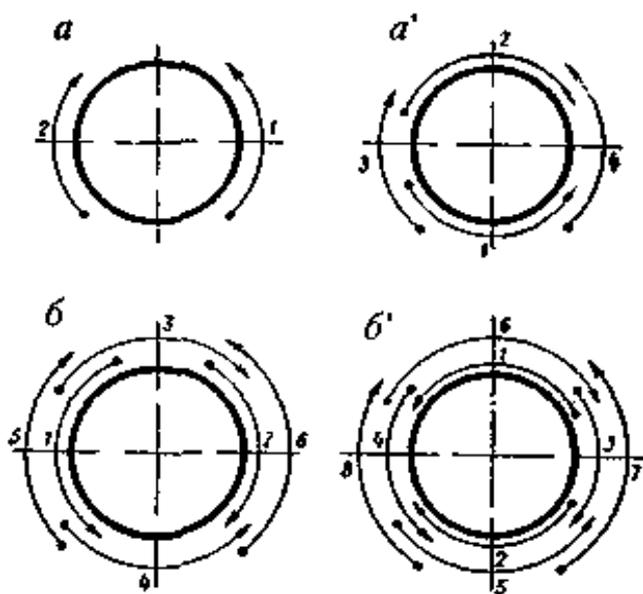


Рисунок 10.4 – Сварка стыков с поворотом трубы на 90° :
a – первого слоя, *b* – второго слоя, *a'* *b'* – после поворота трубы

Контрольные вопросы

1. Особенности сварки поворотных стыков.
2. Основные операции при автоматической сварке.
3. Технологическая подготовка при автоматической сварке.
4. Порядок наложения швов одним сварщиком.
5. Порядок наложения швов двумя сварщиками.
6. Последовательность сварки с поворотом на 90° .
7. Последовательность сварки с поворотом на 180° .

ТЕМА 11. СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

При сварке трубопроводов применяется два вида сварки:

1. *Со свободным формированием шва* — когда дуга горит внутри полости, ограниченной в верхней части оболочкой расплавленного шлака, а в нижней — поверхностью расплавленного металла (рис. 11.1).

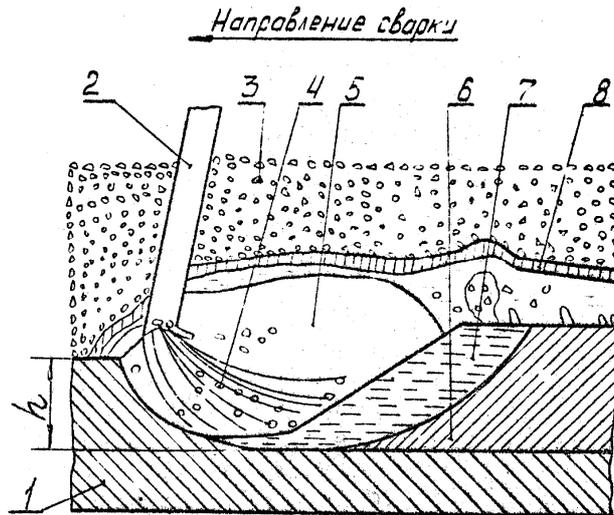


Рисунок 11.1 – Схема процесса автоматической сварки под флюсом:

- 1 – основной металл; 2 – сварочная проволока; 3 – флюс;
- 4 – капли жидкого металла; 5 – газовый пузырь; 6 – металл шва;
- 7 – ванна жидкого металла; 8 – слой шлака; h – глубина провара

Особенность: при свободном формировании поверхности шва металл и шлак обладают большой жидкотекучестью, поэтому шов должен занимать горизонтальное положение или отклоняться от него не более чем на 10° .

Область применения: сварка поворотных стыков.

2. *Сварка с принудительным формированием шва* — когда расплавленный металл и шлак охлаждаются с помощью искусственного теплоотвода. На поверхности шва быстро образуется слой «холодного» (твёрдого) металла и шлака, которые препятствуют растеканию сварочной ванны.

Особенности:

- сварочная ванна удерживается в заданном пространственном положении с помощью ползунов, которые перемещаются вместе с ней по стыку;
- указанным способом можно выполнять качественные швы в любых пространственных положениях.

Область применения: возможность использовать для сварки неповоротных стыков сферических резервуаров, вертикальных стыков цилиндрических резервуаров.

Два способа сварки трубопроводов.

I. Односторонняя автоматическая сварка.

Особенности:

1. Применяют многопроходную сварку (при сварке толстостенных труб проходами с перекрытием) (рис. 11.2).

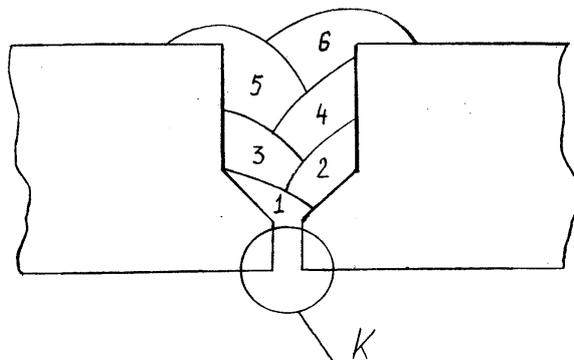


Рисунок 11.2 – Рекомендуемая схема положения сварных слоев параллельными проходами (для кольцевых стыков трубопроводов):

1–6 – последовательность слоев; К – корень шва

2. Обязательно применяют ручную или автоматическую подварку корня шва двумя методами:

а) после сварки корня шва;

б) после завершения сварки всех наружных слоев шва.

3. Глубина проплавления, величина усиления, число слоев и т. д. строго регламентируются.

4. Обязательно удаление шлака после каждого прохода.

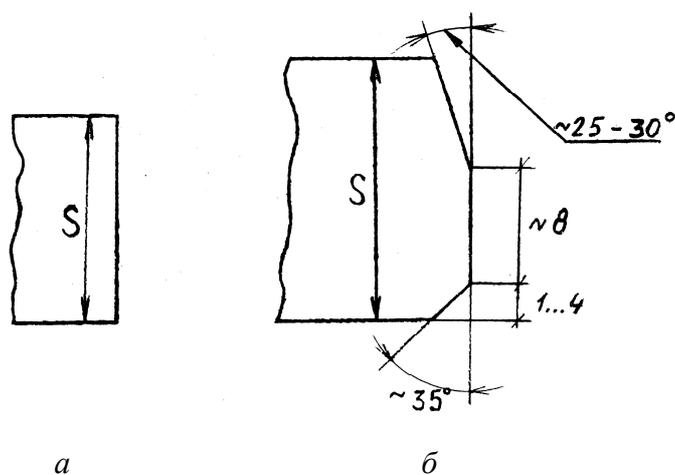


Рисунок 11.3 – Виды разделки кромок при сварке под слоем флюса:
а – для труб диаметром меньшим или равным 1020 мм и $S = 6-10,9$ мм;
б – для труб диаметром 720–1420 мм, $S = 11$ мм

II. Двухсторонняя сварка трубопроводов.

Используется для сварки стыков труб в поворотных или неповоротных стыках с большими объемами работ для уменьшения ручного труда.

Особенности:

1. Применяется иная разделка кромок (рис. 11.3).
2. Применяются две последовательности наложения слоев:
 - сварка наружных слоев шва и последующая сварка внутреннего слоя;
 - сварка первого наружного слоя и последующая одновременная сварка второго наружного и внутреннего слоя шва.
- Существует временная зависимость между концом сварки предыдущего и началом сварки последующего слоев:
 - наружный → внутренний: 1 ч. при положительных температурах, 0,5 ч. при отрицательных температурах;
 - 1 наружный → 2 наружный → 3 наружный: ≤ 2 часа.
4. Для предотвращения протекания металла внутрь применяют различного рода подкладки:
 - стальная остающаяся;
 - временная технологическая (стеклоткань и асбест);
 - медная;
 - флюсовая и т. д.

III. Автоматическая сварка с принудительным формированием шва.

Область применения: для соединения неповоротных стыков и сварки резервуаров (из-за высокой скорости охлаждения).

Особенности:

1. Вместо флюса иногда применяют порошковую проволоку.
2. Нормальное формирование шва в различных пространственных положениях обеспечивается за счет равновесия сил, действующих на сварочную ванну:
 - давления дуги;
 - силы поверхностного натяжения и массы металла жидкой ванны.

Специфические условия сварки кольцевых стыков трубных секций определяют существенные отличия технологии и техники выполнения автоматической сварки под флюсом в трассовых условиях от заводской сварки. Наиболее характерная особенность сварки на трубосварочных базах — необходимость сварки под флюсом поворотных стыков труб по разделке кромок, предназначенной для ручной дуговой сварки. При таких разделках кромок корневого слоя шва необходимо выполнять ручной дуговой сваркой. Последующие слои шва сваривают под флюсом. По второму варианту,

разделка кромок с помощью специальных станков обрабатывается с целью увеличения притупления, что дает возможность применить двустороннюю автоматическую сварку под флюсом. Форма и размеры шва существенно зависят от основных параметров режима сварки. Качественная оценка влияния параметров режима на размеры и форму шва при сварке труб приведена в таблице 11.1. При односторонней автоматической сварке под флюсом применяют стандартные и комбинированные разделки. Сварку корневого слоя шва производят по технологии, рекомендованной для сварки неповоротных стыков в нитку, но применяют электроды только с основным типом покрытия. Режимы автоматической сварки кольцевых стыков из углеродистых и низколегированных высокопрочных сталей приведены в таблице 11.2. При сварке термически упрочненных труб и труб из бейнитных сталей особое внимание следует уделить дозировке теплового вложения. Установлено, что при сварке с энергией, превышающей определенную величину, зона термического влияния подвергается разупрочнению, и временное сопротивление разрушению сварного соединения будет ниже, чем у основного металла. Во избежание этого при сварке стыков термически упрочненных труб и труб из бейнитных сталей погонная энергия не должна превышать 23 кДж/см, запрещается форсировать режим сварки и применять электродную проволоку диаметром 4 мм.

Таблица 11.1 – Влияние параметров режима сварки на форму шва

Увеличение значений параметров режима	Характеристика шва			
	Глубина проплавления L_{np}	Ширина B	Высота усиления L_y	Коэффициент формы K
Сварочного тока до 1500 А	+++	+	+++	
Напряжения дуги, В: – от 22–24 до 32–34 – от 34–36 до 50	+ –	++ +++		+++ +++
Скорости сварки, м/ч: – от 10 до 40 – от 40 до 100	0		+ +	– –
Диаметра электрода		++		++
Угла наклона электрода к вертикали: – «вперед» – «назад»		++		++
Размера зерна флюса	+	+	–	++
Смещения электрода против смещения трубы: – при наружной сварке – при сварке изнутри		++		+++
	++		++	

Увеличение значений параметров режима	Характеристика шва			
	Глубина проплавления L_{np}	Ширина B	Высота усиления L_y	Коэффициент формы K
Смещения электрода по вращению трубы: – при наружной сварке – при сварке изнутри	++	++	++	+++
Вылета электрода: – при неизменной силе тока – при неизменной подаче	0 –	0 0	+++ 0	0 ++

Примечания:

1. Влияние каждого из параметров режима сварки оценивали при условии неизменности остальных параметров.

2. Условные обозначения: 0 не меняется; + незначительно увеличивается; – незначительно уменьшается; ++ увеличивается; +++ интенсивно увеличивается.

Таблица 11.2 – Режимы односторонней автоматической сварки под флюсом термически упрочненных труб и труб из бейнитных сталей

Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Порядковый номер слоя	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Смещение электрода с зенита трубы, мм
820–1420" 1420*	8–15,1	1	600–650	44–46	35–40	60–80
		Последующие Облицовочный	800–850	46–48	50–60	40–80
			700–750	46–48	45–50	40–60
1420"	18–20,5	1	600–650	44–46	35–40	60–80
		2 Последующие Облицовочный	700–750	46–48	45–50	60–80
			800–850	46–48	50–55	40–60
			700–750	46–48	45–50	40–60
	20,6–32	1	650–700	44–46	35–40	60–80
		2 Последующие Облицовочный	700–750	46–48	45–50	60–80
800–850	46–48		50–55	40–60		
700–750	46–48		45–50	40–60		

Примечания:

" термически упрочненные трубы;

* трубы из бейнитных сталей.

1. Полярность обратная.

2. Сварку выполнять только проволокой диаметром 3 мм.

Вылет электрода – 40–45 мм, угол наклона электрода «вперед» – до 30°.

Число слоев автоматической сварки определяется толщиной стенки трубы и должно соответствовать данным, приведенным в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Число слоев в зависимости от толщины стенки трубы

Толщина стенки трубы, мм	до 16–16,5	16,6–20,5	20,5–24	24–28	28–32
Число слоев шва, не менее	2	3	4	5	6

Готовый шов должен иметь усиление высотой 1–3 мм и ширину, указанную в таблице 11.4.

Таблица 11.4 – Ширина наружного шва в зависимости от толщины стенки трубы

Разделка кромок V-образная		Разделка кромок комбинированная (двускосая)	
Толщина стенки трубы, мм	Ширина сварного шва, мм, не более	Толщина стенки трубы, мм	Ширина сварного шва, мм, не более
6–8	18	15–20,5	30
8–12	24	20,5–28	36
12–6	28	28–32	38
16–22	30	–	–

Для обеспечения гарантированного провара корня шва сварку труб диаметром 1020–1420 мм из низколегированных высокопрочных сталей производят с внутренней подваркой. При ручной подварке стык собирают с обычным зазором и подварку выполняют после завершения сварки корневого слоя шва. Подварку производят способом сварки «на подъем». Автоматическую подварку выполняют по двум вариантам: после сварки корневого слоя шва; после окончания сварки всех наружных слоев шва (табл. 11.5, 11.6).

Таблица 11.5 – Режимы автоматической подварки под флюсом корневого слоя шва кольцевых стыков труб из горячекатаных и нормализованных сталей

Схема выполнения подварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Смещение электрода с надира трубы в направлении вращения, мм
После сварки корня шва	380–420	45–47	30–35	30–35	30–35
После завершения сварки всех наружных слоев шва	570–620	42–46	40–45	30–35	30–35

Примечание: ток постоянный, полярность обратная, угол наклона электрода «вперед» – до 30°.

Таблица 11.6 – Режимы автоматической подварки корневого слоя шва стыков труб из термически упрочненных сталей

Схема выполнения подварки	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Смещение электрода с надира трубы в направлении вращения, мм
После сварки корня шва	380–420	45–47	30–35	30–35	30–50
После завершения сварки всех наружных слоев шва	570–620	42–46	40–45	30–35	30–50

Примечание: ток постоянный, полярность обратная, угол наклона электрода «вперед» – до 30°.

Шов, полученный при автоматической подварке, должен иметь усиление высотой не менее 1 мм и не более 3 мм. Сварку поворотных стыков труб с разделкой кромок под ручную сварку можно производить током прямой полярности. При сварке током прямой полярности глубина проплавления уменьшается на 2–3 мм по сравнению со сваркой током обратной полярности. При токах более 600 А производительность расплавления электродной проволоки при токе прямой полярности на 30–40% выше, чем при токе обратной полярности. При токах менее 600 А производительность расплавления электродной проволоки больше при сварке током обратной полярности. Уменьшение глубины проплавления при сварке на одних и тех же режимах в случае применения прямой полярности по сравнению с обратной полярностью позволяет форсировать режим сварки за счет увеличения силы сварочного тока и, следовательно, повысить производительность расплавления электродной проволоки. При использовании тока прямой полярности режим сварки изменяется в сторону увеличения сварочного тока на 100 А, а скорость сварки устанавливается по верхнему пределу диапазона скоростей.

Контрольные вопросы

1. Виды сварки трубопроводов под слоем флюса.
2. Особенности односторонней сварки.
3. Особенности двухсторонней сварки.
4. Автоматическая сварка с принудительным формированием шва.
5. Основные параметры режима автоматической сварки трубопроводов.
6. Особенности разделки кромок при автоматической сварке трубопроводов.
7. Параметры наружного шва в зависимости от толщины стенки трубы.
8. Сущность и технология выполнения подварки.

ТЕМА 12. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

Контактная сварка — это сварка, при которой свариваемые детали нагреваются теплотой, выделяемой проходящим в месте их контакта электрическим током, и сдавливаются (осаживаются). Сварное соединение образуется в результате пластической деформации металла в зоне контакта и установления межатомных связей между поверхностями соединяемых деталей.

Основы процесса:

1) теплота выделяется за счет большого электрического сопротивления в зоне контакта из закона Джоуля-Ленца: $Q \approx J^2 R t$ (J – сила тока, R – сопротивление, t – время);

2) для получения качественных (герметичных) соединений перед осадкой необходимо обеспечить равномерный нагрев изделия по всей поверхности стыка с образованием на оплавленных торцах пленки жидкого металла, которая способствует удалению оксидов из стыка;

3) процесс сварки состоит из двух операций: оплавление (сближение кромок) и осадка (проводят под током давлением 40–50 МПа и скоростью 20 мм/с);

4) этот способ начали применять на строительстве магистральных трубопроводов для труб \varnothing 200–500 мм.

При этом способе на зажатые в зажимах свариваемые детали подают напряжение, после чего начинают их медленно сближать. При соприкосновении даже ровно обрезанных торцов деталей контакты между ними возникают в отдельных местах по имеющимся микронеровностям. Сущность стыковой сварки оплавлением заключается в том, что наибольшее количество теплоты (в соответствии с законом Джоуля-Ленца) выделяется в контактах при касании деталей. Они нагреваются до температуры плавления, металл вскипает, и контакт взрывается. По мере сближения деталей образуются и взрываются все новые и новые контакты, создающие впечатление непрерывного потока искр, вылетающих из зазора. Зазор между свариваемыми деталями называют искровым промежутком, а процесс, во время которого образуются и разрушаются контакты, — оплавлением. В результате процесса оплавления детали не только обгорают и укорачиваются за счет выброса части расплавленного металла при взрыве образующихся контактов, но и прогреваются на некоторую глубину. Температура нагрева торцов деталей — важнейший параметр процесса, влияющий на формирование соединения, его структуру и свойства. Для получения качественного сварного соединения нагревают поверхности оплавляемых деталей до температуры плавления, создают на торцах слой расплавленного металла и обеспечивают прогрев деталей

в глубину. После нагрева деталей сварочный трансформатор выключают, и происходит вторая стадия процесса — образование сварного соединения с требуемыми свойствами в результате установления межатомных связей между свариваемыми деталями. Процесс осадки состоит из трех этапов: закрытие зазора между оплавленными торцами, удаление из стыка жидкого окисленного металла и пластическая деформация чистых от оксидов поверхностей соединяемых деталей для образования между ними межатомной связи. При этом первые два этапа необходимо провести быстро, чтобы жидкий металл, и тем более жидкие оксиды, не успели закристаллизоваться. Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей, из которых, в основном, изготавливают трубы для магистральных трубопроводов, минимальная скорость осадки 20–30 мм/с. Участок металла деталей, подвергающийся в процессе сварки нагреву, пластической деформации и последующему охлаждению, называется зоной термического влияния. Совокупность контролируемых параметров, определяющих условия сварки, называется режимом сварки.

Основное преимущество: сварное соединение получается одновременно по всему периметру стыка, что позволяет механизировать сварочные работы на трассе и приблизить их выполнение к заводскому поточному производству.

Способы сварки.

I. Базовый способ сварки.

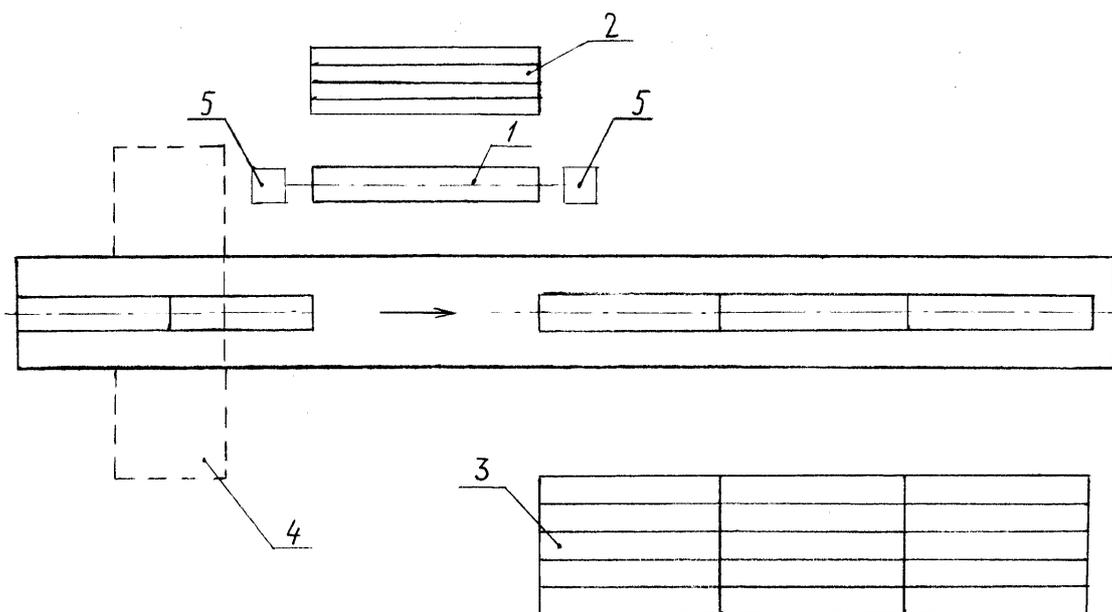


Рисунок 12.1 – Схема базового способа сварки:

- 1 – свариваемая труба; 2 – наклонный стеллаж с трубами; 3 – стеллаж со сварными трехтрубными секциями ($L = 36$ м); 4 – место сварки (контактная установка); 5 – устройство для зачистки кромок

Особенности:

- он предусматривает сварку *секций из нескольких труб* с использованием всех основных преимуществ поточного производства;
- сварка происходит на базах с помощью трубосварочных контактных установок (ТКУС), которые позволяют сваривать трубы разных диаметров (рис. 12.1).

II. Трассовый способ сварки.

Особенности:

- он предусматривает *непрерывное* наращивание трубопровода;
- для труб $\varnothing 1220\text{--}1420$ мм применяют передвижную электроконтактную установку «Север–1», которая перемещается от стыка к стыку.

Основные операции процесса сварки:

- подготовка труб к сборке после раскладки их вдоль трассы (проверяют периметр труб);
- зачистка до металлического блеска внутренней полосы под контактные башмаки сварочного трансформатора;
- снятие усиления продольного шва;
- сборка и центровка с помощью внутренней самоходной сварочной машины;
- установка защитного кожуха и электроконтактная сварка оплавлением;
- после окончания сварки включают внутренний гратосниматель и формуруют обратный валик шва.

Грат — выдавленный и охлажденный металл. Удаление необходимо из-за помех при эксплуатации и изоляции;

- разжим башмаков и передвижение их к следующему стыку;
- удаление наружного грата.
- ультразвуковой контроль.

Режимы сварки конкретных труб, обеспечивающие доброкачественные сварные соединения, рассчитывают на основе взаимосвязи параметров сварки с потребляемой мощностью и с учетом полученного в результате оплавления температурного поля в свариваемых трубах. Поскольку для расчета скорости и времени оплавления в зависимости от площади сечения свариваемых труб, припуска на осадку требуется выполнить довольно сложные математические действия, для удобства определения указанных параметров можно воспользоваться специальной номограммой (рис. 12.2).

Для предупреждения охлаждения жидкого металла на торцах труб перед осадкой за 7–15 с до конца процесса оплавления скорость оплавления

повышают до 0,8–1,2 мм/с. Этот период называется форсировкой. С этой же целью в течение 0,1–0,5 с после подачи команды на осадку процесс осадки проводят без выключения сварочного трансформатора, т. е. при протекании через свариваемые трубы тока.

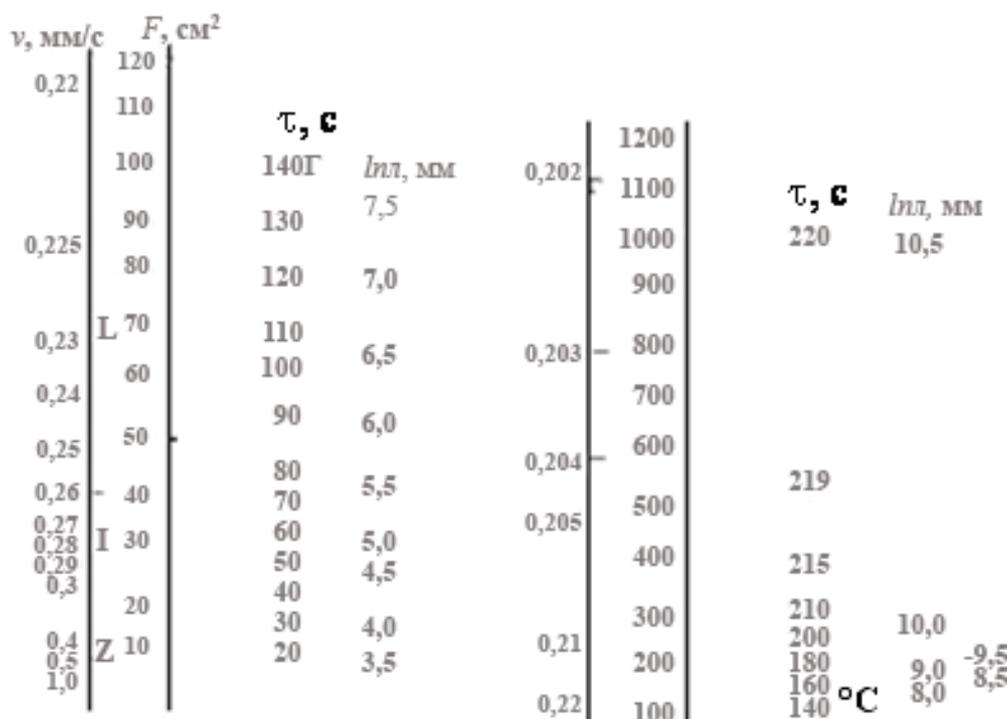


Рисунок 12.2 – Номограмма определения параметров сварки

Для примера определим режим сварки труб диаметром 325 мм с толщиной стенки 9 мм на установке ПЛТ-321 со сварочной машиной К-584М, которая имеет вторичное напряжение $U_2 = 7 \text{ В}$. По номограмме для площади поперечного сечения трубы 325×9 мм, равной $89,3 \text{ см}^2$, определим среднюю скорость оплавления. Для этого сносим отметку на шкале площади, равную $89,3 \text{ см}^2$, на шкалу $v, \text{ мм/с}$ и получаем 0,224 мм/с. Время оплавления, определенное по той же номограмме, равно 130 с. Тогда припуск на оплавление будет равен $l_{\text{опл}} = vt_{\text{ОУА}} = 0,22 \times 130 = 29 \text{ мм}$. За 10 с до конца оплавления, т. е. через 120 с после его начала, скорость оплавления повышают до 1 мм/с. За этот период $l_{\text{опл}} = 1 \times 10 = 10 \text{ мм}$. По номограмме определим необходимый припуск на осадку. Для этого отметку на шкале времени оплавления $t, \text{ с} = 130 \text{ с}$ сносим на шкалу $l_{\text{ос}}$ и получаем 7,5 мм. Часть этой осадки в течение 0,1 с должна проходить без выключения трансформатора.

Технология стыковой контактной сварки оплавлением трубопроводов независимо от того, применялась ли она на трубосварочных базах или использовалась при сварке в непрерывную нитку трубопровода, предусматривала следующие основные операции:

- подготовка труб к сварке;
- зачистка поверхностей труб под контактные башмаки сварочной машины;

- центровка труб в сварочной машине;
- сварка труб, выполняемая автоматически по заданной программе;
- удаление внутреннего и наружного грата.

Трубосварочную базу независимо от диаметра свариваемых труб оснащали следующими агрегатами:

- приемным стеллажом, где трубы, подлежащие сварке, проверяют на соответствие ГОСТам и ТУ, очищают от грязи, снега, посторонних предметов;
- зачистной линией для зачистки поверхностей труб под контактные башмаки сварочной машины;
- рольгангом для перемещения труб к сварочной машине и сваренных трубных секций в накопитель;
- сварочной машиной для центровки и сварки труб;
- внутренним и наружным гратоснимателями;
- электростанцией для питания сварочного трансформатора и вспомогательного электрооборудования.

При наличии электрической подстанции необходимой мощности питание трубосварочных баз можно осуществлять от промышленной сети переменного тока напряжением 380 В. Трубосварочную базу обслуживает трубоукладчик, который разгружает трубовозы и подает трубы на приемный стеллаж, нагружает сваренные секции на плетевозы для вывозки на трассу. Базу располагают на площадке, которую, при необходимости, планируют бульдозером. Рольганг размещают так, чтобы трубовозы и плетевозы делали минимальное число разворотов. При сварке труб диаметром до 530 мм базу обслуживает бригада в составе специалистов следующих разрядов: сварщик-оператор — 6, машинист электростанции — 6, два оператора зачистных машин — 4, машинист трубоукладчика — 6. Кроме того, при сварке труб диаметром более 530 мм в бригаду вводят помощника оператора 5-го разряда и слесаря-трубоукладчика 3-го разряда.

Особенности сварки трубопроводов при отрицательных температурах. Трубопроводы в районах Крайнего Севера, тундры, болот, переувлажненных участков наиболее удобно сооружать зимой, когда мороз сковывает грунт и они становятся проходимыми.

Отрицательные атмосферные воздействия: отрицательные температуры, наличие ветров, наличие снегопадов, дождя — все это отрицательно влияет на структуру, свойства и сплошность сварных соединений. Сварку проводят при температуре не ниже 50–60 °С.

Влияние атмосферных условий на процесс сварки:

- 1) зимой происходит увеличение скорости остывания металла — увеличивается вероятность закалочных процессов и трещин;
- 2) уменьшается длительность пребывания сварочной ванны в жидком состоянии (около 10% и более) — возрастает число шлаковых включений в шве;
- 3) повышение влажности воздуха от 30 до 100% приводит к увеличению количества водорода в металле шва (приблизительно в 2 раза);
- 4) сталь становится хрупкой при низких температурах, запрещаются ударные воздействия на трубы с учетом хладноломкости;
- 5) ветер негативно влияет: при скорости ветра 13 м/с горение электрической дуги невозможно поддерживать (при 10 м/с все сварочные работы прекращаются — резко ухудшается качество шва при сдувании газовой защиты сварочной ванны);
- 6) флюс и электроды должны храниться в теплом и сухом помещении, а перед работой — прокалка.

Контрольные вопросы

1. Контактная сварка (определение).
2. Технологические особенности выполнения стыков.
3. Сущность осадки.
4. Технологические приемы осадки.
5. Способы сварки.
6. Особенности базового способа сварки.
7. Особенности трассового способа сварки.
8. Технологическое обоснование форсировки.
9. Технология сварки оплавлением на трассе в непрерывную нитку.
10. Особенности сварки трубопроводов при отрицательной температуре.

ТЕМА 13. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ТРУБОПРОВОДОВ

При выполнении сварочных операций положение изделия приходится изменять. Это осуществляется с помощью позиционеров, вращателей, кантователей, роликовых стенов, манипуляторов.

Эти приспособления могут быть как установочными, так и сварочными. Первые только переводят изделие в положение сварки (13.1), а вторые, кроме установки, перемещают изделие со скоростью, равной скорости сварки (13.2). Использование тех или иных сборочно-сварочных приспособлений (13.3, 13.4) определяется конструкцией изделия и программой выпуска, а их перечень составляется при проектировании технологии изготовления сварной конструкций.

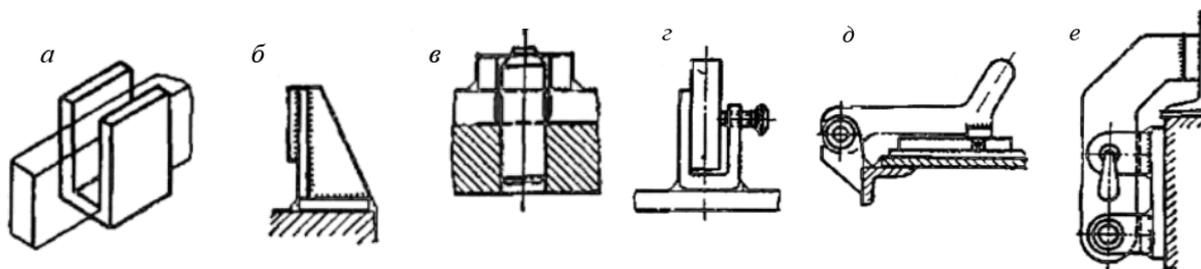


Рисунок 13.1 – Элементы сборочных приспособлений:

а – карман; *б* – упор; *в* – палец; *г* – зажим; *д* – палец откидной; *е* – упор откидной

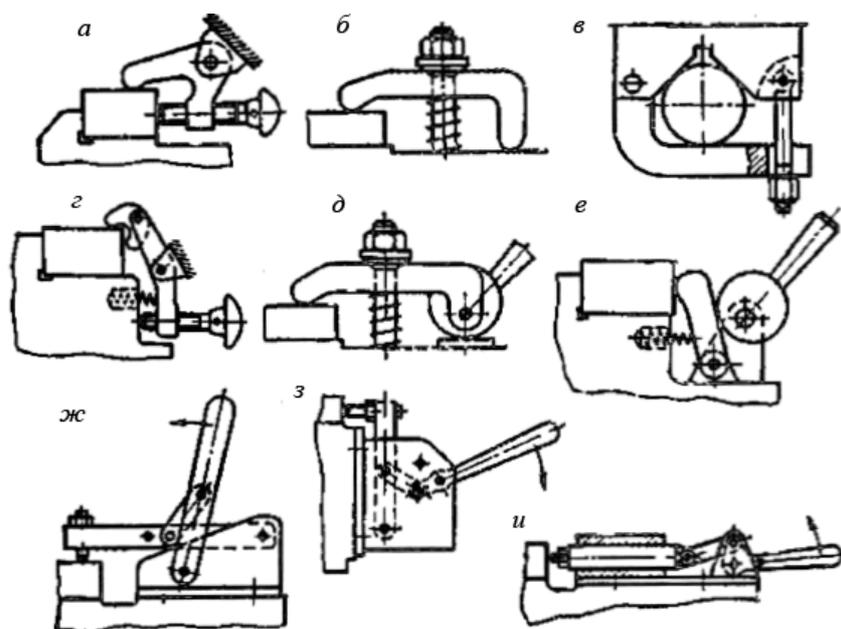


Рисунок 13.2 – Схемы механических устройств:

а-г – винтовые; *д, е* – эксцентриковые; *ж-и* – рычажные

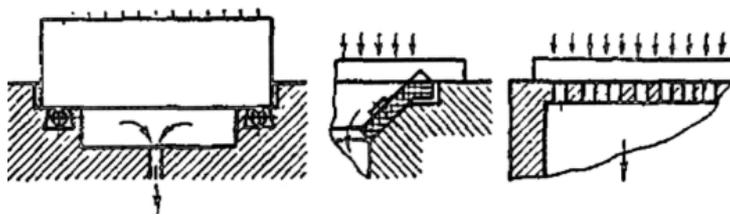


Рисунок 13.3 – Схемы вакуумных зажимов

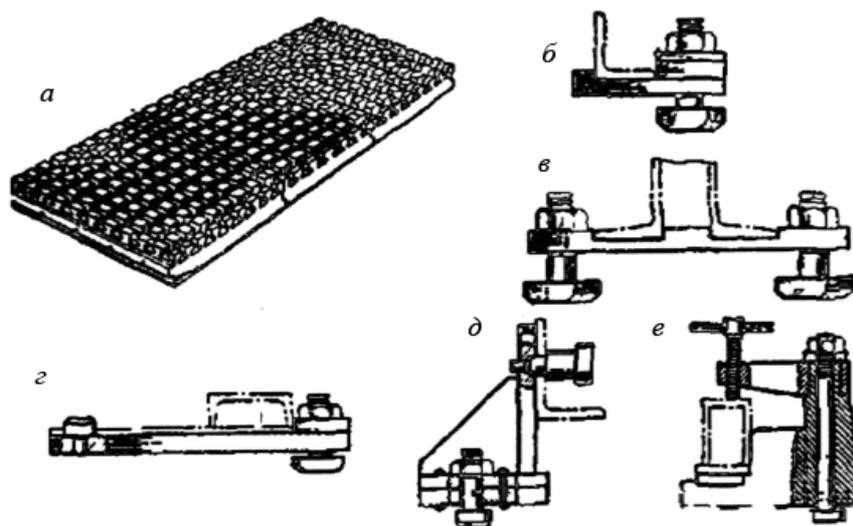


Рисунок 13.4 – Элементы универсальных сварочных приспособлений:
a – плита универсальная; *б* – упор; *в* – карман;
г, д – упор с фиксатором; *е* – поворотный зажим

Центратором называется устройство, позволяющее совмещать цилиндрические поверхности двух стыкуемых изделий (труб, секций из труб и т. д.) для выполнения сварочных работ.

Особенность:

Центровка предусматривает не только *совмещение*, но и *закрепление* изделий так, чтобы они не имели сдвига и поворота относительно одной из координатных осей (т. е. лишение объекта всех шести степеней свободы).

Центраторы бывают двух типов:

- наружные центраторы;
- внутренние центраторы.

Наружный центратор — переносимое монтажное устройство независимого действия.

Наружные центраторы используются:

- для сборки труб в секции для сварки на полустационарных базах;
- для сборки труб непосредственно в линии трубопровода.

Основная функция — обеспечение соосности и совмещение торцовых кромок труб при сборке.

Составные части:

- 1) *опорные элементы*, которые располагаются по окружности;
- 2) *запорное устройство*, которое выполняется в виде накладных скоб, цепных звеньев, цилиндрических поверхностей и т. д.;
- 3) *силовой механизм*.

Функция силового механизма — обеспечивает усилие зажатия труб, необходимое для центровки.

Три основных вида силовых механизмов: а) механический; б) гидравлический; в) пневматический.

Механические выполняются в виде винтовых стяжек и распорок, эксцентриковых зажимов, рычажных систем.

Гидравлические и пневматические состоят из цилиндра с поршнем или пневмокамеры с диафрагмой и источника энергии (насоса, компрессора, баллона со сжатым воздухом).

Сборка стыков труб является важнейшей операцией, во многом определяющей качество сварки. При сборке необходимо обеспечить соосность труб, достаточно точное совпадение свариваемых кромок и равномерный зазор в стыке, позволяющий проварить корень шва по всему периметру.

Наружный центратор (рис. 13.5) состоит из ряда шарнирно соединенных звеньев 5 и 6 с роликовыми опорами 4. При сборке раскрытую цепь центратора подводят под трубы и крючки 3 надевают на цапфы крестовин 2. При этом пластины цепи располагаются симметрично по обеим сторонам от плоскости стыка. Затем цепь натягивают винтом 1, ролики совмещают кромки обеих труб, и производится прихватка. Наружные центраторы в определенной степени облегчают центровку труб, но не исключают применения ручного труда.

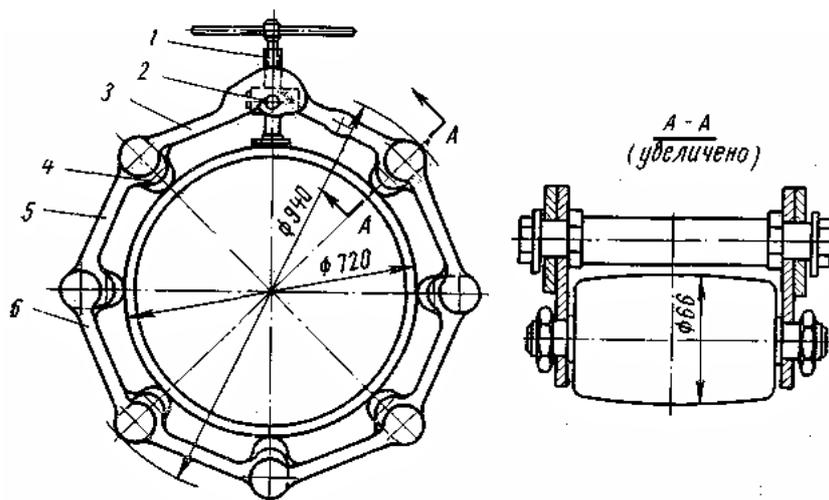


Рисунок 13.5 – Схема наружного центратора

Внутренние центраторы (распорные):

1) обеспечивают наиболее качественную сборку труб благодаря более точному совпадению кромок;

2) при центровке ими стык открыт снаружи, что позволяет вести сварку *без предварительной прихватки*;

3) при достаточной мощности механизма и высокой прочности они могут быть использованы как *расширители*, выравнивающие длину окружности концов труб.

4) их применение позволяет повысить производительность и степень механизации при сборке поворотных и неповоротных стыков.

Четыре основных группы внутренних центраторов:

- а) механический;
- б) гидравлический;
- в) электромеханический;
- г) пневматический.

Механический используется у нас и в США для центровки труб $\varnothing 254\text{--}914$ мм.

Гидравлический центратор ($\varnothing 325\text{--}1420$ мм) – клиновой.

Применение внутренних центраторов позволяет механизировать операцию сборки более полно. Кроме того, собранный стык оказывается целиком доступным для сварки, и корневой шов можно выполнить от начала до конца без остановок и прихваток. Для внутреннего центратора используют механизм типа «зонтик» с радиальным приложением сил к кромкам труб (рис. 13.6).

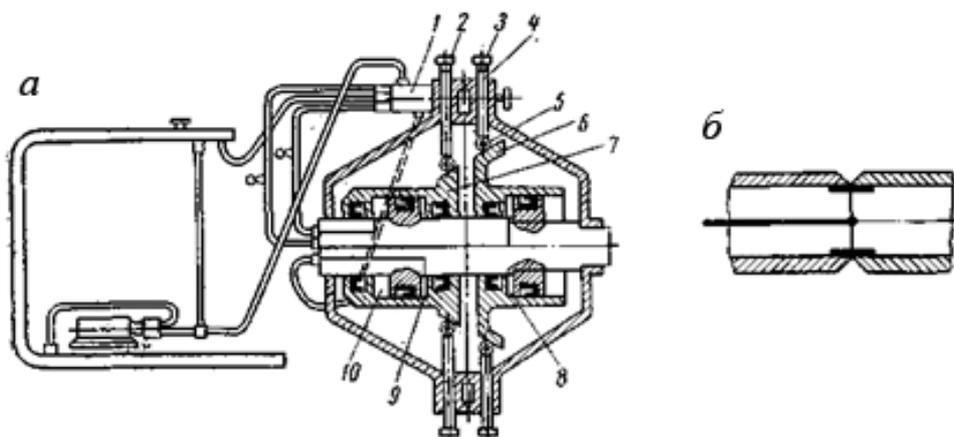


Рисунок 13.6 – Схема внутреннего центратора

Два ряда центрирующих элементов 2 и 3 могут разжиматься независимо, а сжиматься одновременно. Управление осуществляется перемещением

золотника 1. Последовательное разжатие заднего (левого) и переднего рядов центрирующих элементов 2 и 3 достигается подачей масла в полости 10 и 8. При этом движение каждого из конусов 6 и 7 влево через ролики 5 и жимки 4 передается башмакам 2 и 3, которые непосредственно соприкасаются с поверхностями собираемых труб и обеспечивают их центровку. Для освобождения стыка после сборки и прихватки масло подается в полость 9. Конус 7, двигаясь вправо, упирается в конус 6 и увлекает его за собой. Этим достигается одновременный отвод центрирующих элементов обоих рядов.

При сборке поворотных стыков обычно центратор вводится внутрь трубы с помощью штанги. Для использования центратора в качестве вращателя штанга закрепляется в подшипниках и ей сообщается вращательное движение. При сборке неповоротных стыков перемещение центратора внутри трубопровода целесообразно производить с помощью самоходного устройства.

Особенность применения внутренних центраторов: часто применяют самоходные устройства (СЦ–121, СЦ–144) для перемещения центраторов внутри труб. Центратор соединяется с устройством, которое управляется дистанционно и перемещается в трубе с помощью электродвигателя со скоростью приблизительно 1 м/с.

Контрольные вопросы

1. Концепция выбора сборочно-сварочных приспособлений.
2. Виды силовых приводов сборочно-сварочных приспособлений и обоснование их применения.
3. Центраторы. Типы, назначение.
4. Наружные центраторы. Конструкция, область применения.
5. Внутренние центраторы. Конструкция, область применения.
6. Применение центратора при сварке поворотных стыков труб.

ТЕМА 14. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ. ПРИЧИНЫ, МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ, СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ

Некоторые дефекты сварных швов, их причины, методы контроля, способы устранения представлены в таблице 14.1.

Таблица 14.1 – Дефекты сварных швов, их причины, методы контроля, способы устранения

Название дефекта	Причины возникновения	Методы контроля	Способы устранения
Внешние дефекты			
Отклонения от ширины и высоты шва	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неравномерный зазор между кромками свариваемых деталей 2. Неравномерное передвижение электрода или горелки и присадочной проволоки вдоль шва 3. Несоблюдение установленного режима сварки 4. Некачественное электродное покрытие 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внешний осмотр 2. Измерение шаблонами и обычным инструментом 	Зачистка с подваркой шва и срубанием излишка металла
Грубая чешуйчатость шва и наплывы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкое качество электродов 2. Неумение манипулировать электродом или горелкой 	Внешний осмотр	Срубание или вырезка наплыва, проварка непроваров. Заварка дефектного участка шва
Наружные трещины	<ol style="list-style-type: none"> 1. Напряжения, возникающие в металле вследствие неравномерного нагрева, охлаждения, садки 2. Свойство высокоуглеродистых и легированных сталей подвергаться закалке при охлаждении после сварки 3. Повышенное содержание вредных примесей 	Внешний осмотр	Вырубка и последующая заварка дефектного участка
Подрезы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение чрезмерно большого сварочного тока 2. Сварка длинной дугой 3. Повышенная мощность горелки 	Внешний осмотр	Зачистка и заварка дефектного участка
Незаплавленные углубления (кратеры), остатки шлака и неровная поверхность	Низкая квалификация сварщика или небрежное выполнение сварки	Внешний осмотр	Тщательное заплавление кратера шва. Вырубка до основного металла и заварка вновь

Продолжение таблицы 14.1

Название дефекта	Причины возникновения	Методы контроля	Способы устранения
Прожоги	1. Большая сила сварочного тока 2. Малая скорость сварки 3. Большой зазор 4. Малое притупление кромок	Внешний осмотр	Зачистка и заварка дефектного участка
Деформация сварных конструкций	Неправильная последовательность сварки	Внешний осмотр и обмер конструкций	Механическая правка, тепловая правка
Внутренние дефекты			
Пористость металла	1. Несоответствие химического состава металла электрода или присадочного прутка 2. Влажное покрытие 3. Окалина и ржавчина на кромках свариваемого металла	1. Испытание давлением водой или сжатым воздухом 2. Просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами	Вырубка пористых участков до основного металла и последующая заварка
Шлаковые включения	1. Неудовлетворительная очистка кромок 2. Неумение манипулировать электродом 3. Сварка длинной дугой 4. Сварка окислительным пламенем	1. Магнитографический контроль 2. Просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами	Вырубка дефектного участка и последующая заварка
Непровар кромок Непровар притуплений Непровар сечения шва	1. Сварка длинной дугой 2. Недостаточная сила сварочного тока 3. Большая скорость перемещения электрода или горелки 4. Малый угол скоса или большое притупление 5. Малая величина зазора 6. Чрезмерно большой диаметр электрода 7. Затекание шлака в зазор между свариваемыми кромками 8. Магнитное дутье при сварке на постоянном токе 9. Неправильный выбор полярности для данной марки электрода 10. Неудовлетворительная очистка от ржавчины, масла, окалины и других загрязнений	1. Магнитографический контроль 2. Ультразвуковой контроль 3. Просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами	Вырубка дефектного участка и последующая заварка
Перегрев и пережог металла	1. Чрезмерно большая сила сварочного тока 2. Слишком медленное перемещение электрода 3. Избыток кислорода в пламени горелки	1. Внешний осмотр 2. Осмотр микрошлифов сварного соединения	Устранение перегрева термической обработкой. Удаление пережженных участков и последующая заварка

Название дефекта	Причины возникновения	Методы контроля	Способы устранения
Внутренние трещины: а) в металле шва, в зоне термического воздействия, в основном металле; б) продольные и поперечные; в) холодные и горячие	1. Напряжения, возникающие в металле вследствие неравномерного нагрева, охлаждения, садки 2. Свойство высокоуглеродистых и легированных сталей подвергаться закалке при охлаждении после сварки 3. Повышенное содержание вредных примесей	1. Рентгеновское и гамма-просвечивание 2. Ультразвуковая дефектоскопия 3. Магнитные способы контроля 4. Металлографические методы исследования	Вырубка дефектного участка и последующая заварка

Горячие и холодные трещины при сварке. Основной вид испытаний на свариваемость — сопротивляемость сварной конструкции образованию горячих и холодных трещин.

1. Трещины, образующиеся в процессе кристаллизации шва при температурах выше 800–900 °С, называются *горячими трещинами*.

2. Трещины, образующиеся в процессе кристаллизации шва при температурах ниже 200–300 °С, называются *холодными трещинами*.

Горячие трещины бывают продольные и поперечные. *Причина образования* — потеря способности металла к деформации.

В процессе кристаллизации возникают растягивающие напряжения, развивающиеся в сварном шве из-за несвободной усадки шва и охлаждаемых участков металла.

Под действием этих напряжений металл шва деформируется, а при недостаточной деформационной способности — разрушается, образуя горячие трещины.

Методы испытаний:

1) машинные (количественные).

Суть: материал шва и зоны сплавления деформируют приложением внешней нагрузки на специальных машинах. Определяют сравнительно-количественные показатели: критический темп и критическую скорость растяжения, при которых образуются трещины;

2) технологические (качественные и количественные).

Суть:

– они предусматривают изготовление из материала типовых сварных узлов, конструкция и технология сварки которых обуславливает повышенные значения темпа роста высокотемпературных деформаций, приводящих к образованию трещин;

– оценку сопротивляемости металла шва производят условными показателями: критической скоростью сварки, длиной трещины и др.

Особенность: нет машинного нагружения, есть лишь естественные деформации.

Способы повышения технологической прочности сопротивляемости образованию горячих трещин.

Есть много способов, но *эффективность* каждого из них определяется:

- химическим составом стали;
- толщиной металла;
- типом сварного соединения;
- формой, размерами и особенностью сварной конструкции;
- технологией и режимами сварки.

1. Очистка всех материалов от влаги.

Перед сваркой необходимо:

- электродную проволоку очистить от загрязнений, флюс и электроды прокалить;
- защитные газы применять только сварочные;
- свариваемые кромки очистить и удалить конденсированную влагу подогревом (газовым пламенем);
- максимально оградить шов от атмосферных воздействий.

Причина: влага — источник водорода, а водород резко повышает хрупкость, т. к. вызывает мелкие трещины.

2. Рациональное применение сварочных материалов (материала сварочных деталей, электродов и проволоки).

Сопротивляемость образованию трещин связано с химическим составом:

- если $C > 0,3\%$, резко уменьшается сопротивляемость; если $Mn, Cr > 13\%$, резко уменьшается сопротивляемость;
- повышают сопротивляемость карбидообразующие элементы и модификаторы: V, Mo, Ti, Nb.
- следует сваривать стали с низким содержанием серы.

3. Разработка и применение видов сварки, обладающих гибкостью в регулировании термического цикла (двух- и многодуговая сварка), сварка с применением порошкового присадочного материала.

4. Выбор оптимальных видов и режимов сварки для сварки конкретного изделия:

- для стыковых соединений в наиболее опасных зонах появления трещин в начале и конце шва рекомендуется накладывать связи путем приварки технологических планок (или создания прихваток для труб);

- сварку целесообразно выполнять видами с *максимальной* проплавляющей способностью (электронный луч, плазменная дуга и т. д.);
- для ответственных конструкций рекомендуется проводить сопутствующий подогрев свариваемого изделия *параллельно шву* газовой горелкой или неплавящимся электродом.

5. Устранение концентраторов напряжений, вызванных формой шва или подготовкой кромок под сварку (шов с остающейся подкладкой или шов с непроваром являются потенциальными концентраторами напряжений).

6. Создание *прерывистой* кристаллизации шва (за счет вибрации или импульсной сварки) — применение многослойных швов.

Холодные трещины образуются при температуре 100–200 °С во время охлаждения конструкции, а также в течение последующих нескольких суток после сварки.

Причины холодных трещин, факторы, оказывающие влияние на их образование:

- закалочные явления (химический состав $C > 0,3\%$ и скорость охлаждения);
- присутствие водорода (при падении температуры ниже 200 °С переходит из атомарного в молекулярное), что сопровождается повышенным давлением паров, когда в ней образуется мартенсит, что вызывает напряжения;
- воздействие растягивающих напряжений (они зависят от толщины сварного соединения, типа соединения, жесткости и особенности свариваемой конструкции).

Особенности:

- образуются чаще всего в сварных соединениях среднелегированных и высоколегированных сталей, претерпевающих полную или частичную закалку, могут быть закрытыми;
- возникают чаще всего в зоне термического влияния, но могут и в шве;
- представляют собой хрупкое разрушение и состоят из двух зон — очага разрушения и участка развития трещины;
- холодные трещины — за счет фазовых превращений и изменений структуры.

Методы испытаний (для изучения процессов в зоне термического влияния):

1) определение кинетики фазовых превращений, изменений структуры и свойств основного металла в зоне термического влияния в условиях *имитируемого* термического цикла и напряженного состояния при сварке;

2) определение микроструктуры и механических свойств *отдельных участков реальных* соединений;

3) определение сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин.

Суть: сваривают реальные конструкции (трубопроводы) на реальных режимах.

3.1) качественная проба — говорит о наличии или отсутствии трещин.

Трещины выявляют после сварки при внешнем осмотре и по шлифам.

3.2) количественная проба — выявляется по минимальной температуре, при которой еще не наблюдается образование трещин.

Способы повышения сопротивляемости образованию холодных трещин. Способы 1–6 такие же, как и для горячих трещин (см. выше), но также есть дополнительные:

7. Целесообразно проводить дополнительный *предварительный подогрев* $C\epsilon \geq 0,4$.

8. Последующий низкий или высокий отпуск, особенно для сталей, где образование трещин происходит через несколько часов или суток после сварки (t между сваркой и термической обработкой – от 30 мин до нескольких часов). Возможно проведение местного низкого отпуска газовой горелкой.

Контрольные вопросы

1. Внешние дефекты.
2. Причины возникновения внешних дефектов.
3. Методы контроля внешних дефектов.
4. Способы устранения внешних дефектов.
5. Внутренние дефекты.
6. Причины возникновения внутренних дефектов.
7. Методы контроля внутренних дефектов.
8. Способы устранения внутренних дефектов.
9. Горячие трещины. Причины возникновения. Диагностика. Способы устранения.
10. Холодные трещины. Причины возникновения. Диагностика. Способы устранения.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Для заданной (чертежом) конструкции разработать технологический процесс изготовления сварной конструкции:

- выбрать и обосновать способ сварки;
- выбрать сварное оборудование и техоснастку;
- выбрать сварочные материалы и рассчитать потребность в них для одного изделия;
- рассчитать потребность в электроэнергии для одного изделия;
- определить трудоемкость изготовления (сборки, сварки, контроля качества) одного изделия;
- описать последовательность выполнения операции сборки-сварки;
- описать возможные дефекты в сварных соединениях и конструкции в целом, а также предложить наиболее эффективный способ контроля качества сборки-сварки;
- разработать чертеж сварной конструкции в соответствии с требованиями ГОСТ и ЕСКД для заданного варианта (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Варианты индивидуальных заданий к рисунку 1 (ПРИЛОЖЕНИЕ А)

Вариант	H , мм	D_1 , мм	D_2 , мм	S_1 , мм	S_2 , мм	S_3 , мм	Объем пр-ва, шт.
1	3000	500	400	4	5	8	1000
2	3000	500	450	4	5	8	80
3	3000	600	500	4	5	8	60
4	3000	650	550	4	5	8	50
5	3000	700	600	4	5	8	40
6	3600	750	650	5	6	10	300
7	3600	800	700	5	6	10	200
8	3600	850	750	5	6	10	100
9	3600	900	800	5	6	10	50
10	3600	950	850	5	6	10	20
11	4200	1000	900	6	8	12	3
12	4200	1050	950	6	8	12	1
13	4200	1100	1000	6	8	12	5
14	4200	1150	1050	6	8	12	10
15	4200	1200	1100	6	8	12	30
16	4500	1250	1150	8	10	15	75
17	4500	1300	1200	8	10	15	90
18	4500	1350	1250	8	10	15	150
19	4500	1400	1300	8	10	15	250
20	4500	1450	1350	8	10	15	350

Таблица 2 – Варианты индивидуальных заданий к рисунку 2 (ПРИЛОЖЕНИЕ А)

Вариант	H , мм	D_1 , мм	D_2 , мм	B , мм	C , мм	S_1 , мм	S_2 , мм	S_3 , мм	Объем пр-ва, шт
1	1500	700	950	200	115	6	8	12	100
2	1500	720	970	200	115	6	8	12	160
3	1500	750	1000	200	115	6	8	12	200
4	1500	780	1030	200	115	6	8	12	260
5	1500	800	1050	200	115	6	8	12	300
6	1800	820	1070	220	115	6	8	12	400
7	1800	850	1100	220	115	8	10	15	500
8	1800	880	1130	220	115	8	10	15	600
9	1800	900	1150	220	115	8	10	15	700
10	1800	920	1170	220	115	8	10	15	40
11	2000	950	1200	230	115	8	10	15	45
12	2000	960	1210	230	115	8	10	15	180
13	2000	980	1230	230	115	8	10	15	25
14	2000	1000	1250	230	115	8	10	15	5
15	2000	1000	1250	230	115	8	10	15	3
16	2200	1000	1250	240	115	8	10	15	1
17	2200	1000	1250	240	115	8	10	15	60
18	2200	1000	1250	240	115	8	10	15	180
19	2200	1020	1270	240	115	10	12	20	250
20	2200	1050	1300	240	115	10	12	20	700
21	2250	1080	1330	250	115	10	12	20	450
22	2250	1100	1350	250	115	10	12	20	650
23	2250	1120	1370	250	115	10	12	20	750
24	2250	1150	1400	250	115	10	12	20	1000
25	2250	1200	1450	250	115	10	12	20	5000

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Приступая к выполнению задания, необходимо:

- тщательно изучить чертеж конструкции, а также технические требования по ее изготовлению и приемке;
- провести анализ конструкции (и отдельных ее узлов) на технологичность с учетом заданного материала и объема производства;
- по результатам анализа доработать конструкцию и по согласованию с преподавателем внести изменения в чертеж.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выбрать общую схему сборки-сварки и заполнить строку 1 (1-й технологический переход) технологической карты (ПРИЛОЖЕНИЕ Б).
2. Выбрать способ сварки для каждого типа соединения и заполнить графу 3 ТК.

3. Выбрать тип шва для каждого соединения, обозначить каждый шов на схеме соответствующим номером (например, С8-3 означает, что это шов стыкового соединения, тип 8 и порядковый номер 3) и заполнить графу 4 ТК.

4. Выбрать режимы сварки ($d_{Э}$, $I_{СВ}$, n , $U_{Д}$, $V_{СВ}$) для каждого вида соединения и шва, а результаты занести в графу 5 ТК.

5. Выбрать род тока, полярность, а также сварочное оборудование для сборки-сварки каждого узла и результат занести в графу 6 ТК.

6. Выбрать сварочные материалы (тип и марку электрода, марку электродной проволоки, марку флюса) и выбранные материалы занести в графу 7 ТК.

7. Выбрать необходимую сборочно-сварочную оснастку (стеллажи для сборки, прижимы, кантователи и др.) и записать в графу 7 ТК.

8. Выбрать и указать в графах 9–11 ТК последовательность выполнения прихваток и швов.

9. Составить карту пооперационного контроля для отдельных швов, узлов, а также конструкции в целом и заполнить графу 12 ТК.

10. Рассчитать потребность в сварочных материалах, электроэнергии и норму времени для изготовления одной отправочной единицы.

11. Описать возможные дефекты сварки и выбрать способы контроля качества для заданной конструкции.

Выбор общей схемы сборки-сварки.

Общая схема сборки-сварки для подкрановой балки (как и любой другой отправочной единицы) складывается из четырех этапов.

Первый этап — заготовительный — включает три операции:

- 1) правка;
- 2) размерная резка;
- 3) разделка кромок.

Второй этап — сборка-сварка деталей трубы (нижней и верхней фланцев) из отдельных пластин — включает три операции:

- 1) сборка фланцев и прихватки;
- 2) сварка фланцев;
- 3) контрольная.

Третий этап — сборка-сварка — включает четыре операции:

- 1) сборка колена и закрепление элементов прихватками с использованием сборочного кондуктора;
- 2) сварка колена;
- 3) промежуточный контроль;
- 4) правка фланцев (устранение грибовидности).

Четвертый этап — окончательной сборки-сварки колена — включает четыре операции:

- 1) установка и прихватка опорных ребер;
- 2) установка и прихватка ребер жесткости;
- 3) сварка опорных ребер и ребер жесткости;
- 4) окончательный контроль.

Сборочные операции осуществляются с целью обеспечения правильного взаимного расположения деталей собираемого под сварку элемента. Прихватки — короткие швы, служащие для предварительного соединения подлежащих сварке деталей. Собранный на прихватках узел обладает необходимой жесткостью и прочностью, поэтому его можно транспортировать к месту сварки и кантовать. Прихватки уменьшают также вероятность поводок и коробления изделия. Они выполняются ручной дуговой сваркой или механизированной дуговой сваркой в углекислом газе. При сборке используется сборочная оснастка: плиты, стеллажи, стенды, специальные приспособления и вспомогательные устройства.

В условиях единичного и мелкосерийного производства расположение деталей в узле нередко задается разметкой, для их фиксации используют универсальные приспособления: струбцины, планки, скобы с клиньями и др.

В крупносерийном и массовом производстве применяют специальные сборочные приспособления, повышающие производительность труда и точность сборки. Основой любого сборочного приспособления является жесткий каркас с упорами, фиксаторами и прижимами (рис. 1–4). Применение сборочно-сварочных приспособлений дает возможность производить сварку сразу после сборки, исключая тем самым операцию прихватки.

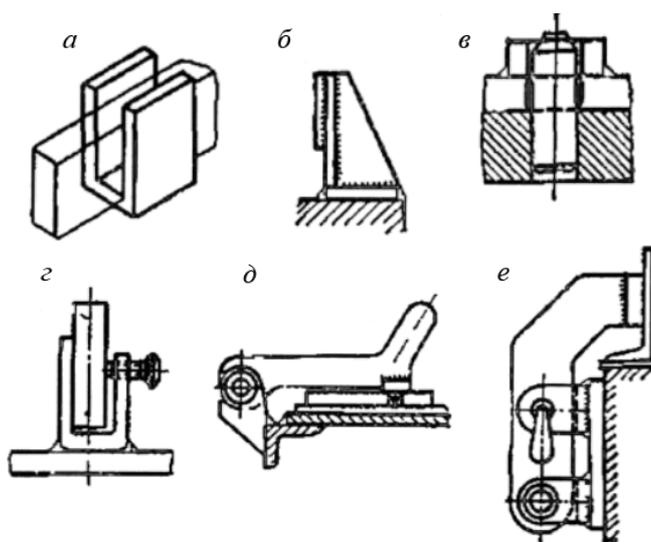


Рисунок 1 – Элементы сборочных приспособлений:

a – карман; *б* – упор; *в* – палец; *г* – зажим; *д* – палец откидной; *е* – упор откидной

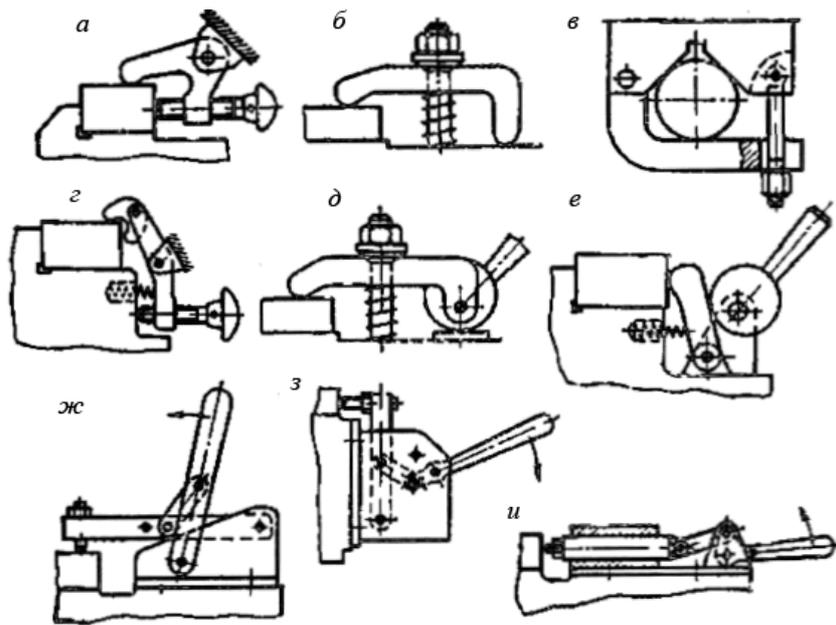


Рисунок 2 – Схемы механических устройств:
а-г – винтовые; *д, е* – эксцентриковые; *ж-и* – рычажные

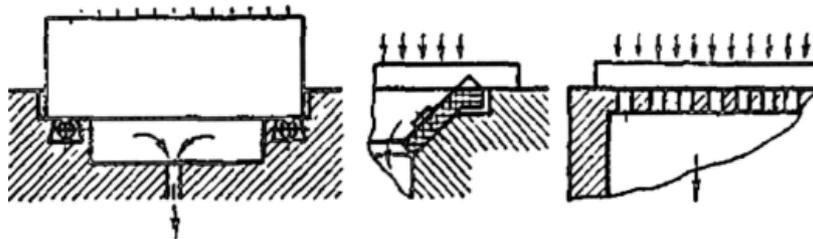


Рисунок 3 – Схемы вакуумных зажимов

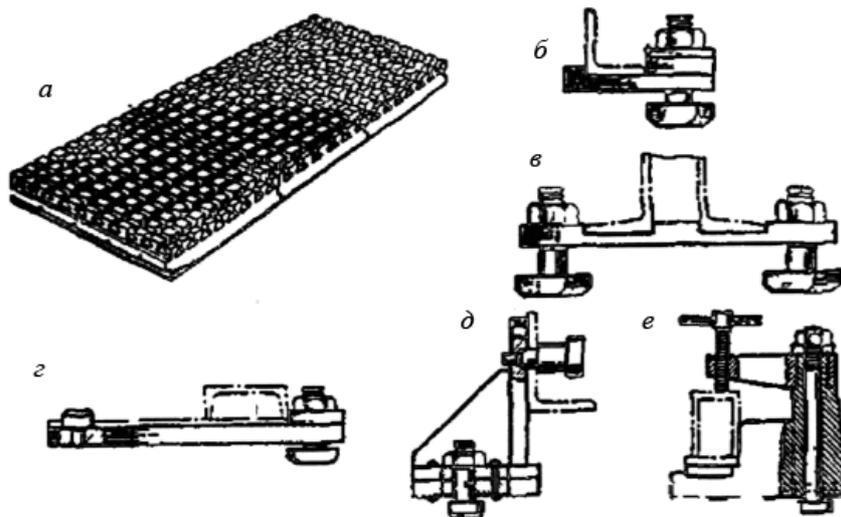


Рисунок 4 – Элементы УСП:
а – плита универсальная; *б* – упор; *в* – карман;
г, д – упор с фиксатором; *е* – поворотный зажим

Последовательность выполнения сборочно-сварочных операций может быть различной и устанавливается в зависимости от характера производства, типа конструкции, ее габаритов и требуемой точности:

- 1) сварку выполняют после завершения полной сборки;
- 2) сборку и сварку выполняют попеременно;
- 3) общей сборке-сварке конструкции предшествует сборка, и сварка подузлов и узлов.

При выполнении сварочных операций положение изделия приходится изменять. Это осуществляется с помощью позиционеров, вращателей, кантователей, роликовых стенов, манипуляторов.

Эти приспособления могут быть как установочными, так и сварочными. Первые только переводят изделие в положение сварки, а вторые, кроме установки, перемещают изделие со скоростью, равной скорости сварки. Использование тех или иных сборочно-сварочных приспособлений определяется конструкцией изделия и программой выпуска, а их перечень составляется при проектировании технологии изготовления сварной конструкции.

Выбор способа сварки.

Выбирая способ сварки, необходимо помнить, что основным наиболее доступным и дешевым способом является электрическая дуговая сварка. Вопрос о степени механизации процесса сварки решается исходя из характера производства, объема сварочных работ, вида соединения и протяженности швов. Так, применение сварочных автоматов целесообразно и экономически оправдано только в условиях цеха, завода для создания прямолинейных или кольцевых швов большой протяженности в серийном и крупносерийном производстве. Механизированная сварка в среде CO_2 наиболее эффективна для изготовления решетчатых конструкций и изделий толщиной до 8 мм также в условиях цеха, завода. Ручная дуговая сварка применяется в единичном и мелкосерийном производстве, подварке корня, шва, в выполнении прихваток, для наложения вертикальных и потолочных швов, а также оказывается незаменимой на монтаже.

Таким образом, выбор способа сварки (табл. 3) определяется:

- технологической операцией;
- характером производства;
- протяженностью швов;
- пространственным положением сварного шва.

При изготовлении металлических конструкций со стержнем, подобных подкрановой балке, широкое применение находят следующие способы сварки:

Для прихватки элементов:

- механизированная в углекислом газе (PACO_2);
- ручная дуговая сварка (РДС).

Для сварки элементов:

- автоматическая дуговая сварка под флюсом (АДФ);
- механизированная дуговая (ПАСО₂);
- ручная дуговая (РДС).

Таблица 3 – Обоснование способа сварки

Операция	Характер производства	Длина шва, мм	Способ сварки
Сборка (прихватка)	Единичное Серийное	–	РДС ПАСО ₂
Сварка	Единичное Серийное	Без ограничения Менее 300 Менее 1000	РДС ПАСО ₂ АДФ

Примечание: сварка ПАСО₂ применяется взамен АДФ, когда из-за ограничений, связанных с формой и размерами изделия, применение АДФ невозможно.

Выбор типа сварного соединения и геометрических параметров шва.

Выбор типа сварного соединения и геометрических параметров шва ведется в зависимости от способа сварки, толщины свариваемых деталей и условий эксплуатации конструкции.

Стыковые соединения (рис. 5, а) отличаются высокой прочностью как при статических, так и при динамических нагрузках. Их применяют для сварки элементов из листового материала, а также угловых профилей, швеллеров и двутавровых балок.

Тавровые соединения (рис. 5, б, в) применяются при изготовлении балок, стоек, колонн, каркасов зданий и др. пространственных конструкций. Если конструкции при работе не испытывают знакопеременных и ударных нагрузок, то сварные соединения следует вести с разделкой кромок.

Соединение внахлестку (рис. 5, г) применяют при сварке листовых конструкций, разного рода обшивок, строительных ферм и других решетчатых конструкций. Такие соединения менее прочны по сравнению со стыковыми при знакопеременных и ударных нагрузках, требуют повышенного расхода металла. Однако отличаются простотой сборки под сварку и не требуют разделки кромок. Эти соединения выполняют чаще всего фланговыми швами (рис. 5, д). Длина шва обычно не превышает 50 К (К — катет шва).

Угловые соединения (рис. 5, е) представляют собой частный случай тавровых. Их, как правило, применяют в качестве связующих элементов.

Точечные соединения (рис. 5, ж), выполненные контактной точечной сваркой, применяют чаще всего в листовых изделиях с толщиной стенки до 20 мм для сварки арматурных стержней. Конструкция точечного соединения определяется числом рядов, диаметром точек G_T , мм, значения которых выбирают в зависимости от толщины соединяемых листов S , мм

(при $S \leq 3$ мм $d_T = 1,2S + 4$ мм. При $S > 3$ мм $d_T = 1,5S + 5$ мм), а также шагом $t = 3d_T$ мм, расстоянием от центра точки до края листа в направлении действующей силы $t_1 = 2d_T$, расстоянием от центра точки до края листа в направлении, перпендикулярном к действующей силе $t_2 = 1,5d_T$ мм, и расстоянием между точками b .

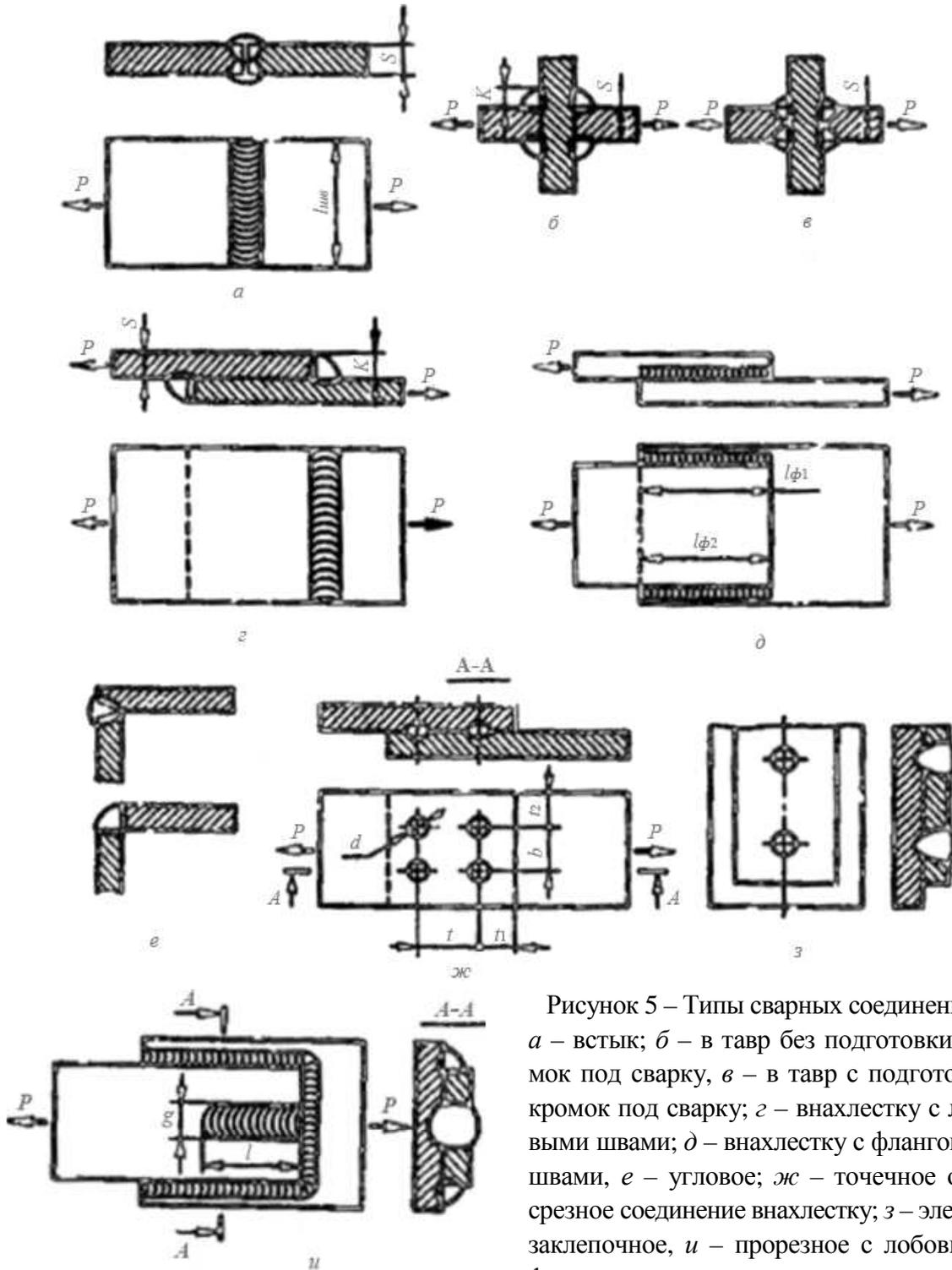
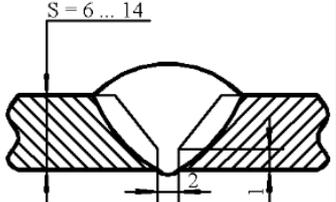
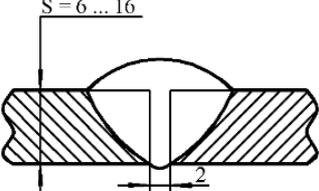
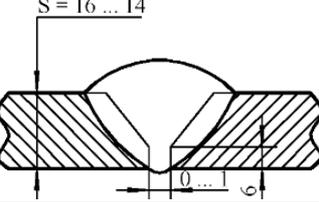
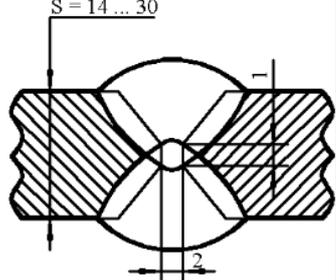
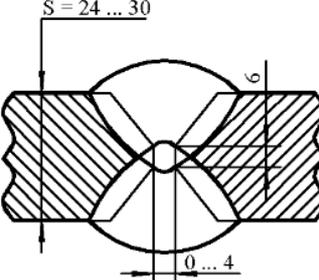
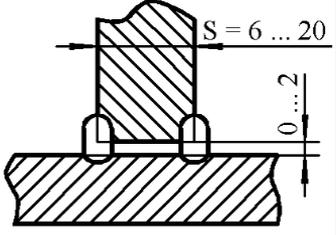
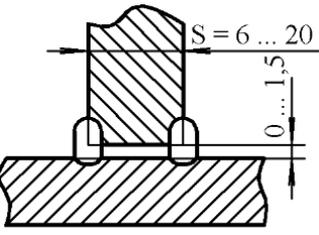


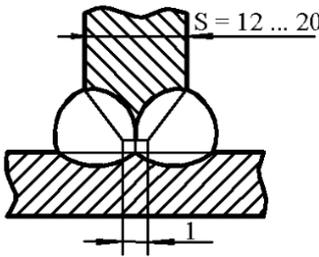
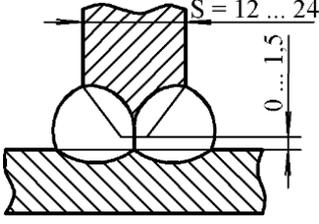
Рисунок 5 – Типы сварных соединений:
a – встык; *б* – в тавр без подготовки кромок под сварку, *в* – в тавр с подготовкой кромок под сварку; *г* – внахлестку с лобовыми швами; *д* – внахлестку с фланговыми швами, *е* – угловое; *ж* – точечное односрезное соединение внахлестку; *з* – электрозаклепочное, *и* – прорезное с лобовыми и фланговыми швами

Электрозаклепочные соединения (рис. 5, з) могут выполняться с пробивкой отверстия в верхнем листе или же без нее, если толщина верхнего листа менее 3 мм.

Конструктивные элементы сварных швов выбираются в зависимости от способа сварки по ГОСТ 5264–80, ГОСТ 8713–70, ГОСТ 14771–76, ГОСТ 14776–79, ГОСТ 14806–80, ГОСТ 15878–79. Рекомендации по выбору типа сварного соединения и конструктивных элементов шва для наиболее широко применяемых способов сварки приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Типы швов, форма и размеры кромок

Тип шва, обозначение (ГОСТ)	Форма, размеры кромок, мм	Тип шва, Обозначение (ГОСТ)	Форма, размеры кромок, мм
Стыковые швы			
РДС, ПАСО ₂		АДФ	
Односторонний со скосом двух кромок С17		Односторонний без скоса кромок на флюсовой подушке С5	
		Односторонний со скосом двух кромок на флюсовой подушке С17	
Двухсторонний со скосом двух кромок С25		Двухсторонний с двумя симметричными скосами на флюсовой подушке С31	
Угловые швы			
Двухсторонний без скоса кромок Т3		Двухсторонний без скоса кромок Т1	

Тип шва, обозначение (ГОСТ)	Форма, размеры кромок, мм	Тип шва, Обозначение (ГОСТ)	Форма, размеры кромок, мм
Двухсторонний с двумя симметричными скосами одной кромки Т8		Двухсторонний с двумя симметричными скосами одной кромки Т10	

Примечание: для первой группы конструкций требуется проплавление вертикального элемента сварного соединения, что достигается применением типов швов Т8, Т10, либо Т3 при толщине стенки до 8 мм, либо Т1 при толщине стенки до 12 мм.

Выбор режима сварки.

Режим сварки — совокупность параметров процесса сварки, обеспечивающих получение швов заданных размеров, формы и качества. Режим сварки выбирается в зависимости от способа сварки, типа соединения, формы разделки кромок, толщины металла или катета углового шва, а также условий эксплуатации конструкции.

Для ручной дуговой сварки основными параметрами режима сварки являются:

- диаметр электрода ($d_{\text{Э}}$, мм);
- сила сварочного тока ($I_{\text{СВ}}$, А) и скорость сварки ($V_{\text{СВ}}$, м/ч).

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла:

S , мм	1,5	3	4–5	6–8	9–12	13–15	16–20
$d_{\text{Э}}$, мм	1,6	2; 3	3; 4	3–5	3–5	3–5	3–5

Электроды диаметром 2 и 3 мм применяют при сварке изделий толщиной менее 4 мм и для подварки корня шва. Вертикальные швы варят электродами диаметром не более 5 мм, потолочные — не более 4 мм.

Силу сварочного тока выбирают в зависимости от диаметра электрода. Для сварки в нижнем положении ее определяют по формуле

$$I_{\text{СВ}} = K \cdot d_{\text{Э}},$$

где K — коэффициент пропорциональности, зависящий от диаметра и типа электрода, А/мм:

$d_{\text{Э}}$, мм	1–2	3–4	5–6
K , А/мм	25–30	30–45	45–60

Таблица 5 – Ориентировочные режимы сварки под флюсом при исполнении стыковых и тавровых соединений на постоянном токе обратной полярности

Толщина свариваемых заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Допустимый зазор, мм	Тип соединений
3	1,6	170–210	24–36	79–126	30–45	до 1,5	Стыковое
	1,2	130–170		156–191	25–40		
	1,6	170–220		79–126		до 1	Тавровое
4	2	180–300	26–28	79–156	18–26	до 2	Стыковое
		180–320		101–150	24–30	до 1,5	Тавровое
5		270–350	26–28	126–156	18–24	до 2	Стыковое
		300–400			24–30	до 1,5	Тавровое
6		300–400	30–32	156–306	18–24	до 3	Стыковое
		350–450			20–30	до 2	Тавровое

При наложении вертикальных и горизонтальных швов силу сварочного тока уменьшают на 5–10%, а потолочных – на 10–15% по сравнению с расчетными значениями тока при сварке в нижнем положении. Правильный выбор сварочного тока обеспечивает наибольшую глубину проплавления и высокое качество шва. Завышенные значения силы тока вызывают подрезы и прожоги. Кроме того, это приводит к перегреву электрода и растрескиванию его покрытия, разбрызгиванию металла и ухудшению формы шва.

Параметрами режима механизированной сварки под слоем флюса являются сила сварочного тока, диаметр электродной проволоки, род тока, скорость подачи электродной проволоки и скорость сварки. Ориентировочные режимы сварки под флюсом приведены в таблицах 5–10.

При механизированной сварке в среде углекислого газа основными параметрами режима являются диаметр электродной проволоки, вылет электрода, сила сварочного тока и расход углекислого газа.

Диаметр электродной проволоки выбирают в зависимости от толщины свариваемой стали и других факторов (табл. 11).

Оптимальное значение вылета электрода находится в пределах 15–25 мм. При сварке с вылетом менее 15 мм быстро изнашивается мундштук горелки, при сварке с вылетом более 25 мм повышается разбрызгивание металла и ухудшается качество шва. Силу сварочного тока выбирают в зависимости от диаметра электродной проволоки.

$d_э$, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
I_{CB} , А	50–100	70–120	90–150	140–300	200–500	300–700

В таблицах 12, 13 и 14 представлены ориентировочные режимы ручной дуговой сварки, автоматической под слоем флюса и механизированной сварки в среде CO₂ для подкрановой балки.

Таблица 6 – Ориентировочные размеры сварки под флюсом при выполнении стыковых и тавровых соединений в переменном токе

Толщина свариваемых заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Допустимый зазор, мм	Тип соединения	
3	1,6	180–230	30–32	79–126	30–45	до 1,5	Стыковое	
	1,2	–	–	156–191	25–40			
	1,6	180–250	28–30	79–126		18–26	до 1	Тавровое
4		200–320		28–34	79–156		24–30	до 2
		220–320	101–156		до 1,5	Тавровое		
5		350–400	28–34	126–156	18–24	до 2	Стыковое	
		275–300				24–30	до 1,5	Тавровое
6	2	325–450	32–34	156–306	18–24	до 3	Стыковое	
		380–480	34–40				20–30	до 2
8		450–470	34–36	306	18–24		Стыковое	
		380–420	32–38	250			Тавровое	
12		500–550	35–40	378			Стыковое	

Таблица 7 – Ориентировочные режимы односторонней сварки под флюсом при выполнении стыковых соединений на флюсовой подушке

Толщина заготовок, мм	Зазор, м	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, м/ч
			Переменный ток	Постоянный ток обратной полярности	
10	3–4	700–750	34–36	32–34	30
12	4–5	750–800	36–40	34–35	27
14		850–900			25
16	5–6	900–950	38–42	36–38	20
18		950–1000	40–44	36–40	17
20					15

Таблица 8 – Ориентировочные режимы двухсторонней сварки под флюсом при выполнении стыковых соединений без разделки кромок

Толщина заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Зазор, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, м/ч
				Переменный ток	Постоянный ток обратной полярности	
14	5	3–4	700–750	34–36	32–34	30
16						
18		4–5	750–800	36–40	34–36	27
20			850–900			
24			900–950	38–42	36–38	
28		5–6				20

Толщина заготовок, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Зазор, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В		Скорость сварки, м/ч
				Переменный ток	Постоянный ток обратной полярности	
30	5	6–7	950–1000	40–44	–	16
40		8–9	1100–1200			12
50		10–11	1200–1300			44–48

Таблица 9 – Ориентировочные режимы двухсторонней сварки под флюсом при выполнении стыковых соединений с разделкой кромок

Толщина свариваемых заготовок, мм	Форма подготовленных кромок	Порядковый номер шва	Общий угол скоса кромок, град	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	
14	Со скосом двух кромок	1	80	5	830–850	36–38	25	
		2	–		600–620		45	
16		1	70		838–850		20	
		2	–		600–620		45	
18		1	60		830–860		20	
		2	–		600–620		45	
22		1	55	6	1050–1150	36–40	18	
		2	–	5	600–620	36–38	45	
24		Со скосом одной кромки	1	40	6	1100	38–40	24
30		С двумя симметричными скосами двух кромок		80		1000–1100	36–40	18
	2	60		900–1000		36–38	20	

Таблица 10 – Ориентировочные режимы сварки под флюсом при выполнении тавровых и нахлесточных соединений «в лодочку»

Катет шва, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
6	2	450–475	34–36	40
		475–525		48
	3	550–600		30
8	4	575–625	32–34	32
	5	675–725	34–36	20
	2	475–525		
	3	600–650		

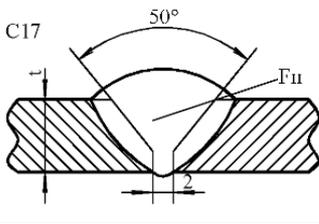
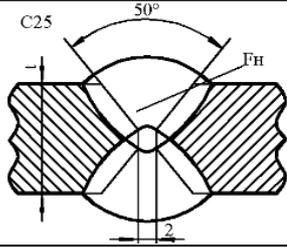
Катет шва, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
10	4	650–700	34–36	
	5	725–775	32–34	25
	3	600–650	34–35	15
12	4	725–775	36–38	20
	5	775–825		18

Примечание: сварку проволокой диаметром 2 мм выполняют под мелким флюсом.

Таблица 11 – Рекомендуемый диаметр электродной проволоки и расход газа в зависимости от толщины заготовок

Толщина свариваемых заготовок	Диаметр электродной проволоки, мм			Ориентировочный расход газа, л/мин
	Тавровые, угловые и нахлесточные соединения	Стыковые соединения		
		Без скоса кромок	Со скосом кромок	
1	0,5		–	6–7
1,5	0,6	0,5–0,6		10–12
2	0,8	0,6–0,8		
2,5	0,8–1			
3	1–1,2			14–16
4	1,2–1,6	1,2		
5		1,2–1,6		
6	1,6–2	–		16–18
8		–		
10	2–2,5	2,5		1,6–2
12		–	2	
		–	2–2,5	
16 и более		–	2–3	18–22

Таблица 12 – Ручная дуговая сварка ($n, d_э, I_{CB}$)

Тип шва, обозначение	Определение числа проходов n									
	Стыковые швы									
	Однопроходной			Многопроходной						
	$t, \text{ мм}$	6	8	10	12	14				
	$F_H, \text{ мм}^2$	36	52	72	95	122				
	n	1	2	2	3	3				
	Многопроходной									
	$t, \text{ мм}$	14	16	18	20	22	24	26	28	30
	$F_H, \text{ мм}^2$	79	96	115	135	158	182	207	235	264
	n	2	3	3	4	4	5	5	6	7

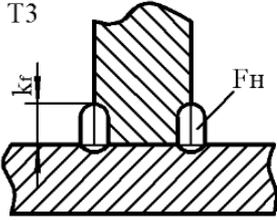
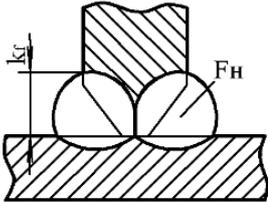
Тип шва, обозначение	Определение числа проходов n									
Угловые швы										
ТЗ 	Однопроходной			Многопроходной						
	k_f , мм	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	F_N , мм ²	12	24	40	63	83	113	147	186	230
	n	1	1	1	2	2	3	4	5	6
Т8 	Многопроходной									
	k_f , мм	10	12	14	16	18	20	22	24	
	F_N , мм ²	79	113	154	201	254	314	380	452	
	n	2	3	4	5	7	8	10	12	
Примечание: t – толщина, k_f – катет, F_N – площадь сечения, n – число проходов										
Выбор диаметров электрода $d_э$, мм										
Однопроходная сварка					Многопроходная сварка					
3–4					3–4 для первого прохода					
					5–6 для последующих проходов					
Определение величины сварочного тока I_{CB} , А:										
$I_{CB} = 50 \cdot d_э$										
Примечание: прихватку выполняют электродом $d_э = 4$ мм										

Таблица 13 – Механизированная дуговая сварка в CO_2 ($n, d_э, I_{CB}, U_L, \vartheta_{ПП}, l_э, Q$)

Тип шва	Толщина металла t , катет шва k_f , мм	Режимы сварки					Группа конструкций
		Число проходов n	Диаметр эл. проволоки $d_э$, мм	Сварочный ток I_{CB} , А	Напряжение дуги U_L , В	Скорость подачи проволоки $\vartheta_{ПП}$, м/ч	
С17	6–8	1–2	1,4	240–260	28–30	460–480	1
			2,0	360–280	30–32	340–460	2, 3, 4
	10–16	2–3	1,4	280–300	30–32	520–560	1
			2,0	360–380	30–32	340–360	2, 3, 4
С25	18–22	4	1,4	300–320	32–34	600–650	1
			2,0	380–420	34–36	360–380	2, 3, 4
	24–26	4–6	1,4	300–320	32–34	600–650	1
			2,0	380–420	34–36	360–380	2, 3, 4
	26–30	4, -6	1,4	300–320	32–34	600–650	1
			2,0	380–420	34–36	360–380	2, 3, 4
ТЗ	4–5	1	1,4	280–300	30–32	520–560	1
			2,0	340–360	30–32	300–320	2, 3, 4
	6–8	1	1,4	300–320	32–34	600–650	1
			2,0	380–420	34–36	360–380	2, 3, 4
	9–12	2	1,4	300–320	32–34	420–450	1
			2,0	380–420	34–36	360–380	2, 3, 4

Примечание:

1. При сварке проволокой диаметром 1,4 мм вылет электрода $l_э = 10-15$ мм; для диаметра 2,0 мм $l_э = 20-25$ мм.

2. Расход углекислого газа $Q = 1000-1200$ л/ч.

3. Прихваточные швы выполняются проволокой диаметром $d_э = 1,4$ мм за один проход для соответствующей толщины (катета).

Таблица 14 – Автоматическая дуговая сварка под флюсом $CO_2(n, d_э, I_{CB}, U_L, \vartheta_{PP}, l_э, Q)$

Тип шва	Толщина металла t , катет шва k_f , мм	Режимы сварки					
		Число проходов n	Диаметр эл. проволоки $d_э$, мм	Сварочный ток I_{CB} , А	Напряжение дуги U_L , В	Скорость подачи проволоки ϑ_{PP} , м/ч	Скорость сварки ϑ_{CB} , м/ч
С5	6–8	1	3	380–420	28–30	70–75	55–60
	10–12	1	4	600–650	30–32	80–85	39–32
	14–16	1	4	700–750	32–34	95–110	28–30
С17	16–18	1	5	750–800	34–36	100–150	20–22
	20–22	2	5	850–900	36–38	100–110	18–20
С31	24–26	2	4	880–930	37–39	150–180	18–20
	28–30	4	4	900–950	38–40	130–140	18–23
Т1** Т10** –	4	1	3	600–650 650–670	34–36	420–140	55–60
	5	1	3	750–800	34–36	160–170	45–50
	6	1	3	850–900	34–36	180–200	40–45
	8	1	4	900–950	36–38	120–130	35–37
	10	1	4	950–	38–40	130–140	32–35
	12	1	4	1000	40–42	140–150	30–32
	14	2	4	1000– 1100	42–44	170–180	26–28
Т1* Т10*	4	1	3	340–360	38–30	94	55
	5	1	3	425–475	38–30	120	55
	7	1	3	500–550	30–32	208	48
	8	1	4	850–900	36–38	120–130	35–37
	10	1	4	900–950	38–40	130–140	32–39

Примечание:

* режимы сварки угловых швов при горизонтальном положении стенки;

** при сварке в положении «в лодочку».

Выбор сварочного оборудования.

В качестве источников питания сварочной дуги при ручной дуговой сварке на постоянном токе применяют сварочные генераторы и полупроводниковые выпрямители, на переменном токе — сварочные трансформаторы.

При механизированной сварке используются сварочные автоматы и полуавтоматы. Выбор типа и марки сварочного оборудования зависит от способа сварки, пространственного положения шва, его длины и условий

сварки (ГОСТ 7012–77Е, ГОСТ 13821–77Е, ГОСТ 7237–82Е). В таблицах 15–20 приведены технические характеристики наиболее распространенных источников питания сварочной дуги. Вариант заполнения графы 6 технологической карты (ТК), род тока, полярность, сварочное оборудование представлены в приложении Б; рекомендации по выбору сварочного оборудования — в таблице 21.

Таблица 15 – Технические характеристики сварочных трансформаторов

Тип трансформатора	Номинальный сварочный ток (ПР = 65%), А	Напряжение, В			Номинальная мощность, кВ·А	Пределы регулирования сварочного тока, А	КПД, %	cos φ	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
		питающей сети	холостого хода	номинальное						
СТЭ-24у	350	220/380	60	65	23	100–500	83	0,50	690×370×660	130
СТЭ-34у	500	220/380	60	30	30	150–600	86	0,53	690×370×660	160
СТН-500	500	220/380	60	30	32	150–700	85	0,66	796×429×840	380
ТС-300	300	220/380	63	30	20	110–385	84	0,51	760×520×970	185
ТС-500	500	220/380	60	30	32	165–650	85	0,53	840×576×1060	250
ТСК-300	300	380	63	30	20	110–385	84	0,72	750×520×970	215
ТСК-500	500	380	60	30	32	165–650	85	0,65	840×575×1060	280
ТД-300	300 (ПР=60%)	220/380	61–79	30	19,4	60–385	–	–	692×520×710	137
ТД-500	500	220/380	60–76	30	32	90–650	–	–	720×570×835	220
СТШ-300	300	220/380	60	30	20	100–400	88	0,52	760×520×967	182
СТШ-500	500	220/380	60	30	32	155	90	0,53	670×660×660	220

Таблица 16 – Технические характеристики преобразователей и генераторов для дуговой сварки

Марка источника питания	Сварочный ток, А		Напряжение, В		Номинальная мощность, кВ·А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	номинальный при ПР = 60%	предел регулирования	номинальное рабочее	холостого хода			
ПД-305У2	315	40–350	32	82	10,4	1300×600×850	295
ПД-502У2	500	75–500	40	80	30	1065×650×938	550
ПСО-300-2У2	315	45–315	32	90	96	1069×620×822	435
ПСГ-500-1У3	500	60–500	40	80	31	1050×560×1015	460

Марка источника питания	Сварочный ток, А		Напряжение, В		Номинальная мощность, кВт·А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	номинальный при ПР = 60%	предел регулирования	номинальное рабочее	холодного хода			
ПС-300 М	340	80–380	30	76	10,2	1070×620××820	600
ГД-304У3	315	15–350	32,6	75–80	–	676×622××698	260
ГД-502У2	500	15–500	40	90	–	950×500××750	400
ГСО-300-5У2	315	100–315	32	90	9,6	740×475××660	275
ГСМ-500У2	2×315	50–630	55	70	27,5	1017×636××585	680
УДЗ-101У3	125	15–135	25	-	7,5	1140×490××645	230

Примечание: преобразователи ПСГ-500-1У3 предназначены для автоматической и механизированной сварки; ГД-502У2 – универсальные; ГСМ-500У2 – двухпостовые; УДЗ-101У3 – для сварки постоянным током, а также для зарядки и разрядки аккумуляторов.

Таблица 17 – Технические характеристики аппаратов тракторного типа для сварки под флюсом

Параметры	ТС-17М-1	ТС-35	АДФ-501	АДФ-1003	АДС-1000-4	АДФ-1001 АДФ-1004	АДФ-1601 АДФ-1602
Диаметр электрода, мм	1,6–5,0	1,6–5,0	1,6–2,0	2,0–5,0	2,0–5,0	2,0–5,0	3,0–6,0
Номинальный сварочный ток, А	1000	1000	500	1000	1000	1000	1600
Номинальный режим работы при ПР, %	100	60	60	60	100	60	100
Скорость подачи проволоки, м/ч	52–400	56–435	30–720	18–360	60–360	18–360	18–360
Регулирование скорости подачи	Ступенчатое				Плавное		
Система подачи проволоки	Не зависящая от напряжения дуги				Зависящая от напряжения дуги		
Скорость сварки, м/ч	16–126	16–126	12–120	12–120	12–120	12–120	12–120
Вместимость бункера для флюса, дм ³	6,5	6,0	6,0	6,0	12,0	6,0	6,0
Габаритные размеры, мм	715××345××540	850××530××490	940××365××670	810××310××510	1010××370××665	1050××365××655	1050××365××655
Масса трактора, кг	45	45	55	40	65	60	60

Таблица 18 – Технические характеристики сварочных выпрямителей с жесткими внешними характеристиками

Параметры	ВС-300	ВСЖ-303	ВДГ-302	ВС-600	ВДГ-601	ВДУ-504	ВДУ-1001	ВДУ-1601
Номинальный сварочный ток при ПВ = 60%, А	300	315	315	600	630	500	1000*	1000*
Пределы регулирования: – сварочного тока; – рабочего напряжения, В	30–300 –	50–315 –	50–315 16–38	100–700 –	100–700 18–66	70–500 18–50	300–1000 24–66	500–1600 26–66
Первичное напряжение, В	380	220 или 380	220 или 380	380	220 или 380	220 или 380	380	380
Напряжение холостого хода, В	20–40	18–50	30–55	20–40	66	80	100	100
Мощность, кВт	17	20	19	35	67	40	105	165
КПД, %	70	–	75	75	82	82	83	84
Габаритные размеры, мм	560× ×720× ×965	710× ×550× ×995	1045× ×748× ×959	1000× ×805× ×1510	1234× ×868× ×1081	1275× 816× ×940	950×1 ×150× ×1850	950×1 ×150× ×1850
Масса, кг	250	280	275	490	525	380	750	950

Таблица 19 – Технические характеристики многопостовых сварочных выпрямителей

Марка выпрямителя	Напряжение, В		Сварочный ток, А		Режим работы ПР, %	Мощность, кВт	КПД, %	Число постов	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	рабочее	холостого хода	Номинальный	одного поста						
ВДМ-1601	60	70	1600	300	65	122	90	9	1035×820× ×1630	770
ВДМ-3001	60	70	3000	300	65	230	88	18	2175×835× 1773	1750
ВДГМ-1001	26	24–28	1000	200	100	78	70	9	1035×820× ×1630	520
ВДГМ-1601	40	37–43	1600	360	100	–	81	9	1035×820× ×1630	770
ВДГМ-1602	–	–	–	120–250	–	74	–	9	1035×820× ×1630	750
ВДГМ-1602-1	30–60	–	1600	200–400	100	114	–	5	1035×820× ×1630	1000
ВДГМ-1602-2	–	–	–	400–630	–	138	–	3	1035×820× ×1630	1000
ВКСМ-1000	70	70	1000	300	65	76	86	6	1035×820× ×1630	1000

Марка выпрямителя	Напряжение, В		Сварочный ток, А		Режим работы ПР, %	Мощность, кВт	КПД, %	Число постов	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	рабочее	холостого хода	Номинальный	одного поста						
ВКСМ-1000-1	60	70	1000	300	100	76	88	6	1055×990××800	650
ВКСМ-1000-1-1	60	–	1000	315	100	73	90	6	900×820××1300	460
ИДГМ-1001	–	96	1000	200	60	78	78	18	1025×820××1630	520
ИДГМ-1601	40	–	1600	300	60	–	81	18	1035×820××1630	770
ВМГ-5000	30–60	5000	5000	480	100	317	94	30	1850×1150××1880	3200
А-1538	18–32	19–35	–	300	60	35	–	4	742×772××1618	630

Таблица 20 – Полуавтоматы для дуговой сварки в защитных газах

Марка полуавтомата	Номинальный сварочный ток при ПР = 60%, А	Электродная проволока		Источник сварочного тока	Подающее устройство	
		Диаметр, мм	Скорость подачи, м/ч		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ПДГ-308ГП4	315	1,0–1,4	120–1200	ВДГ-302	1035 ×820××1630	13
ПДГ-308УЗ	315	1,2–1,6	120–960	ВДГ-302	1985 ×784××953	65
ПДГ-502УЗ	500	1,2–2,0	120–1200	ВДУ-504-1	1275 ×816××940	13
ПДГ-508УЗ	500	1,2–2,0	108–932	ВДУ-504	1275 ×816××940	26
ПДГ-515УЗ	500	1,2–2,0	120–960	ВДУ-506	805 ×605××1050	12
ПДИ-303УХЛ4	315	1,2–2,0	72–720	ВДГИ-301	953 ×1045××748	13
ПДГ-516УЗ	500	1,2–2,0 2–3(п)*	120–960	ВДУ-505	1275 ×816××940	18
ПДГ-603УЗ	630	1,2–2,0 2–3(п)*	120–960	ВДГ-601	1250×900××1155	18
ПДГ-312УЗ	315	1,0–1,4	120–960	ВДГ-303	735×605××950	12

Примечание: *(п) – диаметры порошковой проволоки.

Таблица 21 – Сварочное оборудование

Вид сварки	Источники питания		Аппараты для сварки	
	Наименование, тип	Ток $I_{св}$, А	Наименование, тип	Основные характеристики
Ручная дуговая	Сварочный трансформатор ТД-300 ТС-500	60–400 165–650	–	–
	Сварочный выпрямитель ВД-301 ВС-500	43–315 100–500		
Механизированная дуговая в углекислом газе	Сварочный выпрямитель ВС-600	100–600	Сварочный полуавтомат А-537У	$d_s = 1,6–2,0$ мм $I_{св}$ – до 500 А $v_{np} = 78–600$ м/ч
	Сварочный выпрямитель ВД-4504-1	40–300	Сварочный полуавтомат ПДГ-503	$d_s = 1,6–2,0$ мм I_c – до 500 А $v_{np} = 7–1200$ м/ч
Автоматическая дуговая под флюсом	Сварочный трансформатор ТДС-1000	400–1200	Сварочный автомат ТС-17МУ	$d_s = 1,6–5$ мм I_c – до 1000 А $v_{np} = 50–403$ м/ч $v_{св} = 16–120$ м/ч
	Сварочный выпрямитель ВКСК-1000	120–1200	Сварочный автомат ТС-42	$d_s = 2–5$ мм I_c – до 1000 А $v_{np} = 6–360$ м/ч $v_{св} = 12–120$ м/ч

Примечания:

1. Технические характеристики сварочного оборудования должны соответствовать значениям параметров режима сварки.
2. Механизированную дуговую сварку в углекислом газе необходимо выполнять на постоянном токе обратной полярности (плюс на электрод).
3. Ручная дуговая сварка выполняется на переменном токе, что экономически выгоднее, чем на постоянном токе. Постоянный ток применяется, если это необходимо по технологическим условиям на марку электрода (см. табл. 8).
4. Автоматическую дуговую сварку под флюсом для конструкций группы 1 предпочтительно выполнять на постоянном токе обратной полярности.

Выбор сварочных материалов.

Выбор вида и марки сварочного материала зависит от марки свариваемого металла, способа сварки, характера нагружения конструкции и температурных условий ее эксплуатации.

Марка стальной электродной проволоки выбирается по ГОСТ 2246-70, марка покрытия электродов — по ГОСТ 9466-75, 9407-75 и 10051-75, а флюса — по ГОСТ 9087-81. Пример выбора сварочных материалов для изготовления подкрановой балки приведен в таблице 22, а пример заполнения графы 7 ТК — в приложении Б.

Таблица 22 – Сварочные материалы для сварки металлических конструкций

Группа конструкций в климатических районах	Марки стали	Виды дуговой сварки					
		Автоматическая под флюсом		Механизованная в углекислом газе	Ручная дуговая		
		Флюс	Сварочная проволока	Сварочная проволока	Тип электрода	Марка	Род тока, полярность
2 и 3 во всех районах, кроме I ₁ /-50 > t > -65/ I ₂ ; II ₂ , II ₃ -40 > t > -50 II ₄ -30 > t > -40	ВСт3пс малоуглеродистая	АН-348А	Св-08А	Св-08Г2С	342	АНО-8	Переменный, постоянный, полярность любая
					346	АНО-3	То же
	09Г2С низколегированная	АН-47	Св-08ХГА		346	АНО-3	-//-
					350	ВСЦ-3	Постоянный полярность обратная
	16Г2АФ низколегированная	АН-47	Св-10НМА		350	ВСЦ-3	То же
					360	УОНИ-13/65	-//-
I во всех районах 2 и 3 в районах I ₁ , I ₂ , II ₂ , II ₃	ВСт3пс	АН-348А	Св-08А	Св-08Г2С	342А	УОНИ-13/45	-//-
					346А	АНО-8	Переменный, постоянный, полярность обратная
	346А	АНО-8	То же				
	350А	УОНИ-13/55	Постоянный, полярность обратная				
	350А 360	УОНИ-13/55	То же				
16Г2АФ	АН-47	Св-10НМА					

Примечания:

1. Марка электродов для ручной дуговой сварки позволяет выполнять швы в любом пространственном положении.
2. Сварочные материалы для прихваток выбираются так же, как и для сварки швов.
3. Группы конструкций см. в п. 3 «Выбор типа сварочного шва».

Выбор сборочно-сварочной оснастки.

Сборочно-сварочная оснастка — это приспособления (стеллажи, сборочные кондукторы, кантователи и др.) и вспомогательные устройства (прижимы, упоры, фиксаторы и т. д.), применяемые для выполнения сборочно-сварочных работ. При помощи сборочных приспособлений собираемым под сварку элементам обеспечивается заданное чертежом положение и в нем же выполняются прихватки.

В сварочном приспособлении свариваемые элементы остаются в течение всего времени сварки, а нередко вместе с ним поступают в нагревательную печь для отжига. В таблице 23 представлена наиболее широко применяемая при изготовлении стержневых конструкций типа балок сборочно-сварочная оснастка. В приложении Б представлен пример заполнения графы 8 ТК.

Таблица 23 – Сборочно-сварочная оснастка

Сборка		Сварка	
Схема применения приспособления	Наименование приспособления	Схема применения приспособления	Наименование приспособления
Серийное производство			
	Электромагнитный стенд с кантователем		Электромагнитный стенд с кантователем
Малая и средняя серия 	Сборочный кондуктор с винтовым прижимом (сборка по опорам)		Позиционер для 1 группы конструкций, положение швов при сварке «в лодочку»
			Стеллаж для 2 и 3 групп конструкций, положение при сварке нижнее
	Стенд с самоходным порталом с пневмозажимами (сборка по опорам)		Двухстоечный кантователь
Единичное производство			
	Стеллаж для сборки; прижимы		Стеллаж для сварки; прижимы
	Сборочное приспособление с клиньями и упорами; сборка по разметке		Стеллаж для сварки; рекомендуется для 1 группы конструкций «в лодочку»

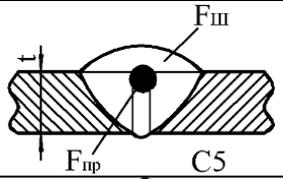
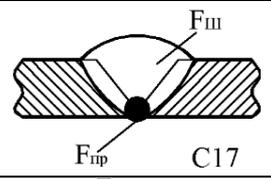
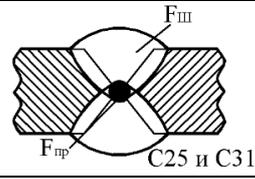
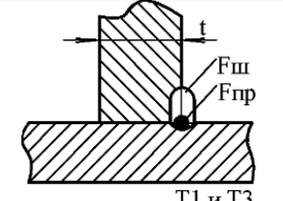
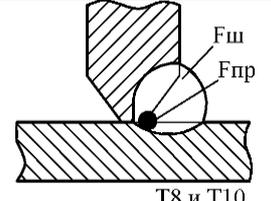
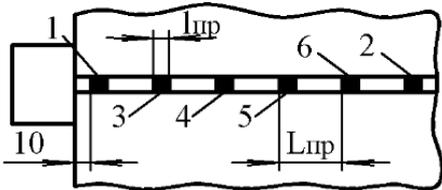
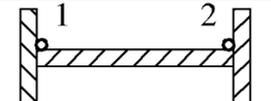
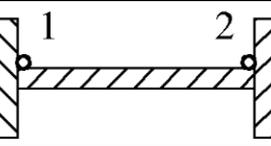
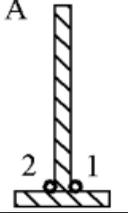
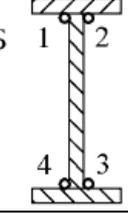
Примечание: при сборке по размерам детали располагают относительно друг друга согласно чертежу по разметочным данным (мел, чертилка).

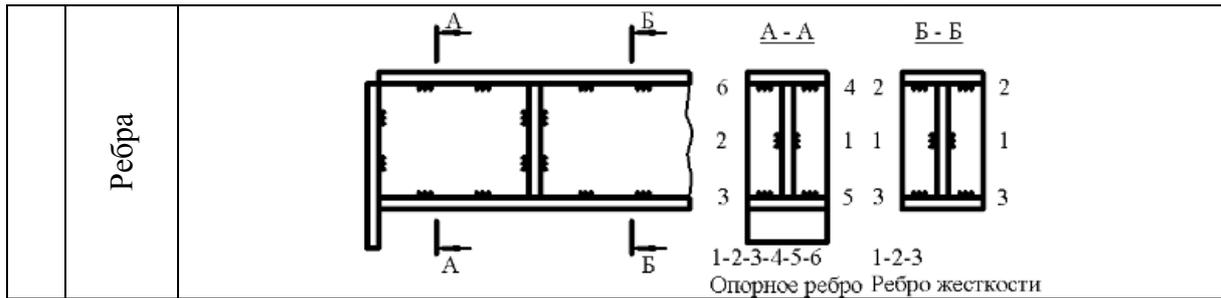
Выбор последовательности выполнения швов.

Правильно выбранная последовательность в выполнении сварочных швов как по сечению, так и по длине элемента или конструкции в целом во многом определяет качество готового изделия, предупреждает его поводки и коробления.

Рекомендации по выбору такой последовательности на примере изготовления подкрановой балки представлены в таблице 24. Пример заполнения граф 9–11 ТК с использованием изложенных рекомендаций представлен в приложении Б.

Таблица 24 – Выполнение сварных швов

		1. Выполнение прихваток (сборка)		
Выполнение прихваток	По сечению шва			
				$F_{пр} = F_{ш} \cdot \left(\frac{1}{3} - \frac{2}{3}\right)$
	По линии шва			Длина прихваток $l_{пр} = (4 - 5) \cdot t$, но не менее 30 мм и не более 100 мм. Расстояние между прихватками $L_{пр} = (30 - 40) \cdot t$, но не более 500 мм. От середины к краям: 4-5-3-6-1-2.
Последовательность выполнения прихваток	Сборка в кондукторе		Прихватку сторон 1 и 2 выполняют одновременно от середины к краям	
			Прихватку сторон 1 и 2 выполняют одновременно от одного края к другому по ходу портала	
	Стержень		Прихватку сторон 1 и 2 выполняют одновременно от середины к концам; прихватки на стороне 2 выполняют между прихватками на стороне 1	
			Прихватку стороны 3 и 4 выполняют одновременно от середины к концам; прихватки на стороне 4 – между прихватками на стороне 3	

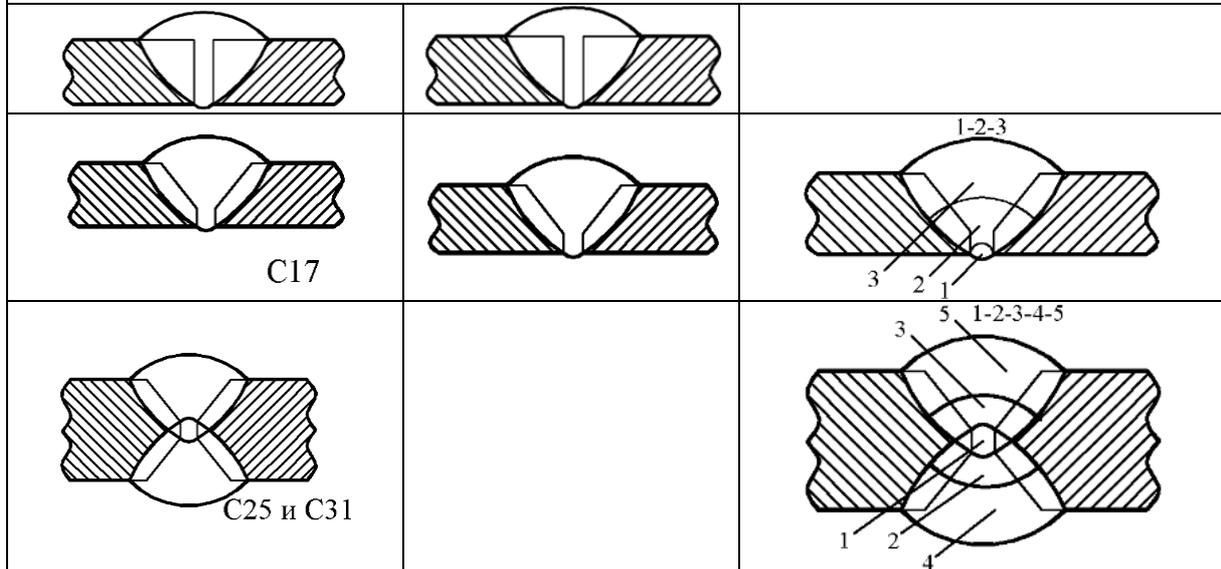


Примечания:
 1. Прихватки выполняются от края детали на расстоянии 10 мм.
 2. Выполняют прихватки на заводах металлоконструкций преимущественно в нижнем положении и в положении «в лодочку».

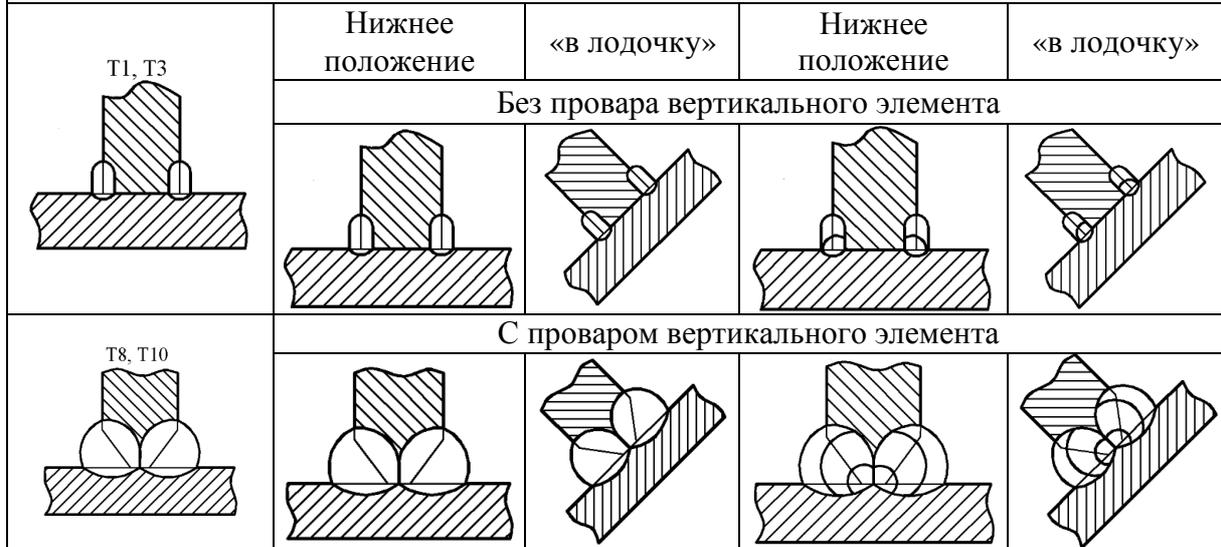
2. Выполнение швов по сечению (операция сварки)

Тип шва	Однопроходная сварка	Многопроходная сварка
---------	----------------------	-----------------------

Стыковые швы



Угловые швы



Примечание: количество проходов назначается при выборе режима сварки.

3. Выполнение швов по длине (нижнее и «в лодочку» положения)							
Вид сварки	Длина шва $l_{ш}$, мм	Способ выполнения шва по длине					
		На проход		От середины к краям		Обратноступенчатый	
		стыковой	угловой	стыковой	угловой	стыковой	угловой
Ручная дуговая и механизированная в углекислом газе	<300						
	300–1000						
	>1000						
Автоматическая дуговая под флюсом	>1000						
<p>Примечания:</p> <p>1. Поскольку в начале и в конце сварки имеют место дефекты типа непровар и кратер шва, сварку рекомендуется начинать и заканчивать на выводных (технологических) планках. После сварки выводные планки удаляются.</p> <p>2. Форма разделок кромок выводных планок должна соответствовать форме разделки кромок свариваемых элементов.</p>							
4. Выполнение швов свариваемых элементов							
Характер производства	Группа конструкций	Последовательность выполнения швов свариваемых элементов					
Серийное	1					«в лодочку» 1-2-3-4 в одном направлении	

Характер производства	Группа конструкций	Последовательность выполнения швов свариваемых элементов	
Серийное	2,3,4		«В лодочку» 1-2-3-4 в одном направлении, кантовать 3 раза
			В нижнем положении 1-2-3-4 разрешается в одном направлении кантовать 1 раз
Единичное	Все		1-2-3-4 и так далее от центра к краям элемента

Пооперационный контроль.

Для предотвращения дефектов в сварных швах, а также придания и сохранения изделию заданной чертежом геометрической формы и размеров в процессе сборки-сварки проводится пооперационный контроль. Технические требования предъявляются к качеству конструкции на каждом этапе ее изготовления. Вариант заполнения графы 12 ТК рассмотрен в приложении Б.

Расход электродов.

Расход электродной проволоки рассчитывается по массе наплавленного металла с учетом потерь на угар и разбрызгивание, которые в среднем составляют 1–3% при сварке под флюсом, 5–10% при сварке в среде защитных газов и 10–15% при сварке толстопокрытыми электродами.

Массу наплавленного металла рассчитывают, исходя из геометрических параметров сварного шва с учетом его усилия.

Расход покрытых электродов $G_{ЭЛ}$ определяют по расходу проволоки $G_{ПР}$ или наплавленному металлу G_M :

$$G_{ЭЛ} = G_{ПР} \cdot (1 + K_1) = G_{ПР} \cdot (1 + 0,9 \cdot K);$$

$$G_{ПР} = \frac{G_H}{a_H} = \lambda \cdot \frac{G_H}{1 - \varphi},$$

где $G_H = \rho \cdot F_H \cdot L$, следовательно:

$$G_{ЭЛ} = (1 + K_1) \cdot \frac{\lambda \cdot G_H}{1 - \varphi} = (1 + 0,9 \cdot K) \cdot \frac{\lambda \cdot G_H}{1 - \varphi},$$

где K — коэффициент массы покрытия;
 K_1 — отношение покрытия к массе всего электродного стержня;
 a_H — коэффициент использования стержня;
 φ — коэффициент потерь;
 λ — отношение длины стержня электрода к длине расплавляемой его части;
 ρ — плотность наплавляемого металла, г/см³; при сварке толстопокрытыми электродами $\rho = 7,8$ г/см³;
 L — длина шва, мм;
 F_H — площадь наплавки, мм³.

$$K = \frac{G_{эл} - m \cdot L_{эл}}{m \cdot L_0}; \quad K_1 = \frac{G_{эл} - m \cdot L_{эл}}{m \cdot L_{эл}},$$

где $G_{эл}$ — масса электрода, г;
 $L_{эл}$ — длина электрода, см;
 L_0 — длина покрытой части электрода, см;
 m — масса 1 см электродной проволоки данного диаметра, г/см.
 Коэффициент потерь $\varphi = 1,1 - 1,25$.
 Скорость сварки определяют по формуле

$$v_{CB} = \frac{I_{CB} \cdot \alpha_H}{F_H \cdot \rho},$$

где α_H — коэффициент наплавки, г/А;
 ρ — плотность наплавляемого металла, г/см³;
 F_H — площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, см².
 Время сварки изделия легко посчитать, зная скорость сварки и суммарную протяженность шва.

Количество электроэнергии (кВтч), затрачиваемой на сварку изделия, определяется как произведение силы сварочного тока на напряжение дуги и на технологическое время сварки (время горения дуги).

При автоматической сварке под слоем флюса и полуавтоматической в среде защитных газов масса наплавленного металла на изделии рассчитывается по той же методике, что и при ручной дуговой сварке. При определении расхода электродной проволоки следует учитывать, что потери металла на угар и разбрызгивание составляют при сварке под флюсом от 1 до 3%, а при сварке в среде защитных газов — от 3 до 10% от массы наплавленного металла.

Расход флюса при автоматической сварке принимают равным массе наплавленного металла. Расход углекислого газа зависит от диаметра электрода, режима сварки и устанавливается по таблице 25.

Таблица 25 – Режимы полуавтоматической сварки в углекислом газе для низкоуглеродистой стали

Катет шва, мм	Диаметр проволоки, мм	Режим сварки			Вылет электрода, мм	Производительность, г/с
		Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Расход CO ₂ , м ³ /с·10 ⁻⁴		
2,0	0,8	100	20–22	1,33–1,67	8–10	0,43
	1,0	110	13–20		10–12	0,41
3,0	1,0	150	21–22	1,67–2,00	10–12	0,82
	1,2	180	22–23		12–15	1,09
	1,4	200	21–22		14–16	0,98
4,0	1,2	200	22–23	2,0–2,33	12–15	0,99
	1,4	270	24–25		15–18	1,09
5,0–6,0	1,4	320	27–28	2,33–2,67	18–20	1,36
	1,6	280	27–29			1,44

Зная минутный расход защитного газа и время сварки, легко подсчитать потребное количество газа для сварки всего изделия. Время сварки τ можно определить из выражения

$$\tau = \frac{G_H}{I_{CB} \cdot \alpha_H} \text{ (ч)},$$

где G_H — масса наплавленного металла на изделие, г;

α_H — коэффициент наплавки, (г/Ач), который выбирается по справочным таблицам в зависимости от принятой величины сварочного тока и диаметра электродной проволоки для конкретного способа сварки.

Количество электроэнергии подсчитывается так же, как и при ручной дуговой сварке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник сварщика / под ред. В. В. Степанова. – М. : Машиностроение, 1982.
2. Верховенко, П. В. Справочник сварщика / П. В. Верховенко, А. К. Тукин. – Минск : Выш. шк., 1990.
3. Симоненко, В. В. Сварочные работы при изготовлении строительных конструкций / В. В. Симоненко. – М. : Стройиздат, 1990.
4. Николаев, Г. А. Сварные конструкции / Г. А. Николаев [и др.]. – М. : Высш. шк., 1983.
5. Башнов, А. Н. Сварные конструкции / А. Н. Башнов, К. В. Лялин. – М. : Стройиздат, 1990.
6. Правила производства и приемки работ : СНИП Ш018–75. – М. : Стройиздат, 1976.

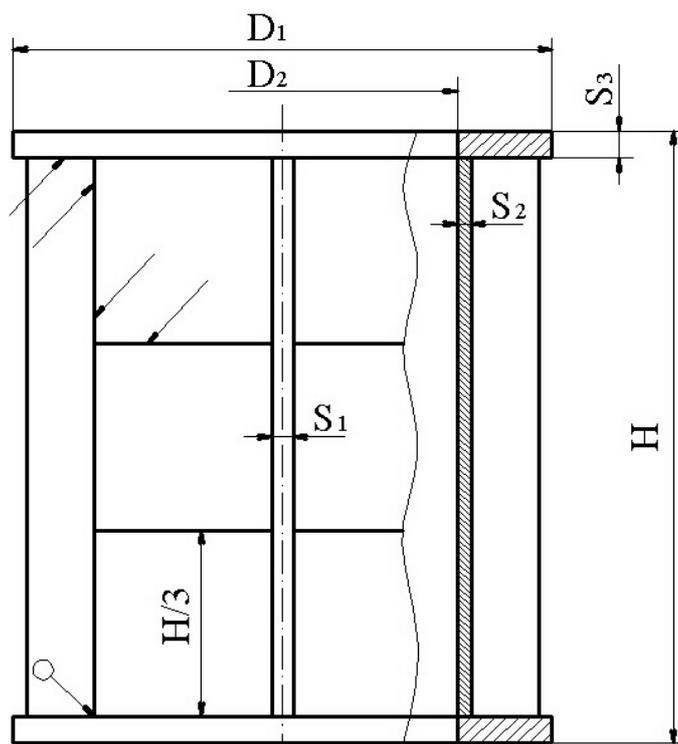


Рисунок 1

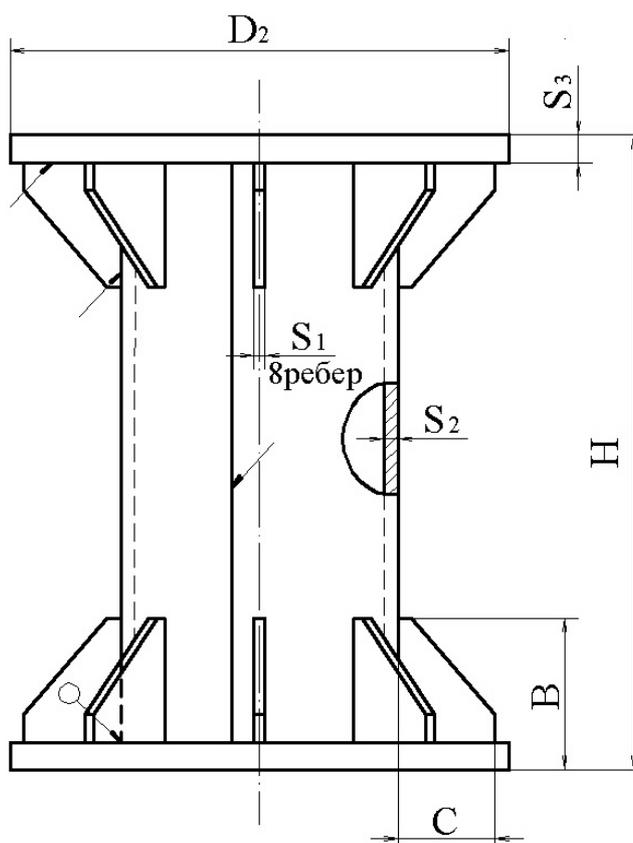
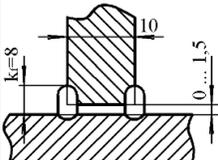
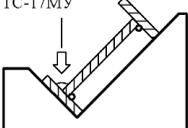
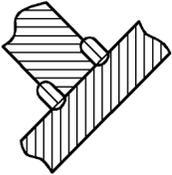
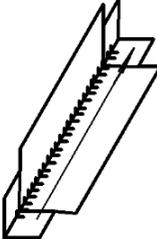
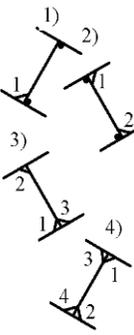


Рисунок 2

Пример заполнения технологической карты

№ технол. перехода	Этапы сборки-сварки	Вид сварки (прихватки)	Тип шва, разделка кромок	Режим сварки (прихватки)	Род тока, полярность, сварочное оборудование	Сварочные материалы	Сборочно-сварочная оснастка	Выполнение шва (прихваток)			Пооперационный контроль
								По сечению	По длине	Последовательность	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Сварка стержня	АДФ		$k_f = 8\text{мм}$ $n = 1$ $d_{\text{э}} = 4\text{мм}$ $I_{CB} = 850 - 900\text{А}$ $U_D = 36 - 38\text{В}$ $\vartheta_{PP} = 120 - 130\text{м/ч}$ $\vartheta_{CB} = 35 - 37\text{м/ч}$	Переменный, сварочный трансформатор ТСД-1000, сварочный автомат ТС-17МУ	Сварочная проволока св-08А, флюс АН-348А		 «в лодочку» однопроходная сварка	 на проход с выводными планками		1. Отклонение параметров режима: $I_{CB} = 900 \pm 15\text{А}$ $\vartheta_{CB} = 35 \pm 2\text{м/ч}$ $U_D = 36 \pm 2\text{В}$ $\vartheta_{PP} = 120 \pm 6\text{м/ч}$ (проверка 2 раза в смену) 2. Швы должны иметь гладкую или мелкочешуйчатую поверхность, без трещин и не заваренных кратеров. Размеры и форма швов Т1 должны соответствовать указанному в ГОСТ, поры, непровары, подрезы, шлаковые включения – согласно нормативным требованиям СНиП Ш-18-75

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ТЕМА 2. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ, СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ	9
ТЕМА 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ	14
ТЕМА 4. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ	19
ТЕМА 5. ПОДГОТОВКА ТРУБ К СБОРКЕ И СВАРКЕ	23
ТЕМА 6. ДУГОВАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ	31
ТЕМА 7. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ. ЭЛЕКТРОДЫ, ЭЛЕКТРОДНАЯ ПРОВОЛОКА	37
ТЕМА 8. ПОНЯТИЕ О СВАРИВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ	47
ТЕМА 9. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ	54
ТЕМА 10. СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ	62
ТЕМА 11. СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА	66
ТЕМА 12. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ	73
ТЕМА 13. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ТРУБОПРОВОДОВ	79
ТЕМА 14. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ. ПРИЧИНЫ, МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ, СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ	84
ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ	90
ЛИТЕРАТУРА	119
ПРИЛОЖЕНИЕ А	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	121

Учебное издание

ФРУЦКИЙ Виктор Александрович

СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

Учебно-методический комплекс

для студентов специальности 1-70 05 01 «Проектирование, сооружение
и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ»

Редактор *В. В. Демиденко*

Дизайн обложки *Л. И. Вайдашевич*

Подписано в печать 15.02.12. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 7,19. Уч.-изд. л. 6,3. Тираж 30 экз. Заказ 212.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009 ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.