

Частное образовательное учреждение
профессионального образования
«Западно-Уральский горный техникум»

МДК.01.01. Технология сварочных работ

**(ПМ. 01 ПОДГОТОВКА И ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ)**

*Методические указания для самостоятельной работы студентов
заочной формы обучения специальности*

15.02.19 Сварочное производство
(базовая подготовка)

Пермь 2025

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта для среднего профессионального образования по специальности **15.02.19 Сварочное производство (базовая подготовка)** и рабочей программой профессионального модуля.

Организация-разработчик: ЧОУ ПО «Западно – Уральский горный техникум»
(ЧОУ ПО «ЗУГТ»)

Разработчик: Жучков Михаил Борисович - преподаватель ЧОУ ПО «ЗУГТ»

Рассмотрено и одобрено на заседании методического совета ЧОУ ПО «ЗУГТ»

Протокол № 1 от 24 января 2025 г.

Методические указания содержат теоретический материал по дисциплине, содержание практических занятий, задания для самостоятельной работы студентов и методические указания по выполнению контрольных работ.

1. ВВЕДЕНИЕ

Методические указания и задания для контрольной работы по МДК 01.01. Технология сварочных работ (ПМ.01 Подготовка и осуществление технологических процессов изготовления сварных конструкций) предназначены для реализации ФГОС СПО по специальности 15.02.19 Сварочное производство.

Сварка давно уже стала ведущим технологическим процессом на современном производстве судов, котлов, мостов, реакторов, автомобилей и других конструкций. Сварка широко применяется в основных отраслях производства, потребляющего металлопрокат, так как резко сокращает расход металла, сроки выполнения работ и трудоемкость производственных процессов. Достигнутые успехи в области автоматизации и механизации сварочных процессов позволили коренным образом изменить технологию изготовления таких важных объектов, как доменные печи, емкости и резервуары различного назначения, трубопроводы, суда, химическое оборудование, гидротурбины.

Достигнутый высокий уровень развития сварочной техники и технологии служит прочной базой для значительного дальнейшего увеличения производительности труда, экономии материалов и энергии в народном хозяйстве, а также повышения качества и снижения себестоимости сварной продукции.

При изучении материала курса следует особое внимание уделять переходу технологии, в том числе сварочной, на новый, более высокий уровень с использованием новейших достижений науки и техники, обуславливающих возможность наиболее разумного и экономичного использования материальных и человеческих ресурсов для создания полнокровной и процветающей экономики.

С целью овладения видом профессиональной деятельности **Подготовка и осуществление технологических процессов изготовления сварных конструкций** и соответствующими профессиональными компетенциями студент в ходе освоения профессионального модуля должен:

иметь практический опыт:

- применения различных методов, способов и приемов сборки и сварки конструкций с эксплуатационными свойствами;
- технической подготовки производства сварных конструкций;
- выбора оборудования, приспособлений и инструментов для обеспечения производства сварных соединений с заданными свойствами;
- хранения и использования сварочной аппаратуры и инструментов в ходе производственного процесса;

уметь:

- организовать рабочее место сварщика;
- выбирать рациональный способ сборки и сварки конструкции, оптимальную технологию соединения или обработки конкретной конструкции или материала;
- использовать типовые методики выбора параметров сварочных технологических процессов;
- устанавливать режимы сварки;
- рассчитывать нормы расхода основных и сварочных материалов для изготовления сварного узла или конструкции;
- читать рабочие чертежи сварных конструкций;

знать:

- виды сварочных участков;
- виды сварочного оборудования, устройство и правила эксплуатации;
- источники питания;
- оборудование сварочных постов;
- технологический процесс подготовки деталей под сборку и сварку;
- основы технологии сварки и производства сварных конструкций;
- методику расчетов режимов ручных и механизированных способов сварки;
- основные технологические приемы сварки и наплавки сталей, чугунов и цветных металлов;
- технологию изготовления сварных конструкций различного класса;
- технику безопасности проведения сварочных работ и меры экологической защиты окружающей среды

Целью изучения МДК 01.01. Технология сварочных работ является усвоение обучающимися теоретических знаний и практических умений, а также формирование **общих компетенций (ОК) (частично):**

ОК1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

профессиональных компетенций (ПК):

ПК1.1. Применять различные методы, способы и приемы сборки и сварки конструкций с эксплуатационными свойствами.

ПК1.2. Выполнять техническую подготовку производства сварных конструкций.

ПК1.3. Выбирать оборудование, приспособления и инструменты для обеспечения производства сварных соединений с заданными свойствами.

ПК1.4. Хранить и использовать сварочную аппаратуру и инструменты в ходе производственного процесса.

1.3. Количество часов на освоение программы профессионального модуля:

всего – **240** часов, в том числе:

- обязательной аудиторной учебной нагрузки обучающегося – **60/48** часов;
- в том числе лекции – 50/34, практические занятия – 10/18
- самостоятельной работы обучающегося – **180/160** часа;

Производственная практика ПП.01 – 180 часа, т. е. 6 недель (по профессиональному модулю ПМ. 01 Подготовка и осуществление технологических процессов изготовления сварных конструкций).

Форма отчетности по МДК.01.01 – экзамен.

Форма отчетности по профессиональному модулю – экзамен (квалификационный).

2. ПРОГРАММА МДК.01.01

«ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ»

Наименование разделов и тем	Количество ауд. часов при заочной / при заочной ускоренной форме обучения (час.)		Самост. работа студентов (час.)	
	Всего	в том числе		
		лабор. работа		практ. работа
Раздел 1. Классификация основных видов и способов электрической сварки плавлением	4/2		23/25	
Тема 1.1 Классификация электрической сварки плавлением	1/1		11/11	
Тема 1.2 Сущность основных видов и способов электрической сварки плавлением	3/1		12/14	
Раздел 2. Теоретические основы электрической сварки плавлением	13/5		57/57	
Тема 2.1 Сварочная дуга: её сущность, свойства и процессы, протекающие в ней	3/1		12/12	
Тема 2.2 Технологические особенности и условия устойчивого горения сварочной дуги	3/1		12/12	
Тема 2.3 Действие магнитных полей и ферромагнитных масс на сварочную дугу	1/1		11/11	
Тема 2.4 Перенос металла через дуговой промежуток в сварочную ванну	3/1		11/11	
Тема 2.5 Тепловые процессы при электрической сварке плавлением	3/1		11/11	
Раздел 3. Сварочные материалы	6/4		44/52	
Тема 3.1 Сварочная проволока; неплавящиеся	2/1		11/13	

Наименование разделов и тем	Количество ауд. часов при заочной / при заочной ускоренной форме обучения (час.)		Самост. работа студентов (час.)	
	Всего	в том числе		
		лабор. работа		практ. работа
электродные материалы				
Тема 3.2 Металлические плавящиеся покрытые электроды для РДС сталей	2/1		11/13	
Тема 3.3 Флюсы сварочные для дуговой и электрошлаковой сварки	1/1		11/13	
Тема 3.4 Защитные газы, газовые смеси для электрической сварки плавлением	1/1		11/13	
Раздел 4. Металлургические процессы при дуговой и электрошлаковой сварке	4/3		33/33	
Тема 4.1 Особенности металлургических процессов при сварке	1/1		11/11	
Тема 4.2 Основные реакции в зоне сварки	1/1		11/11	
Тема 4.3 Плавление и кристаллизация металла шва. Структура шва и зоны термического влияния	2/1		11/11	
Тема 4.4 Общее понятие о свариваемости				
Раздел 5. Сварочные напряжения и деформации	3/2		22/22	
Тема 5.1 Причины возникновения сварочных напряжений и деформаций. Классификация напряжений и деформаций	2/1		11/11	
Тема 5.2 Способы борьбы с напряжением и деформациями. Исправления деформированных конструкций	1/1		11/11	
Раздел 6. Технология электрической сварки плавлением низкоуглеродистых сталей	6/5		55/63	
Тема 6.1 Сварные соединения и швы ГОСТ 2.312-72	1		11/11	
Тема 6.2 Технология ручной дуговой сварки плавящимися покрытыми электродами	1	2/2	11/13	
Тема 6.3 Технология сварки под слоем флюса	1		11/13	
Тема 6.4 Технология сварки в среде защитных газов	2	2/2	11/13	
Тема 6.5 Технология электрошлаковой сварки	1		11/13	
Раздел 7. Технология электрической	3/3		33/33	

Наименование разделов и тем	Количество ауд. часов при заочной / при заочной ускоренной форме обучения (час.)			Самост. работа студентов (час.)
	Всего	в том числе		
		лабор. работа	практ. работа	
сварки легированных сталей				
Тема 7.1 Технология сварки низко- и среднелегированных сталей	1/1			11/11
Тема 7.2 Технология сварки высоколегированных сталей	1/1			11/11
Тема 7.3 Технология сварки разнородных и двухслойных сталей	1/1			11/11
Раздел 8. Сварка чугуна	1/1		2	11/11
Раздел 9. Сварка цветных металлов и сплавов	3/3		2/2	33/33
Тема 9.1 Сварка алюминия и его сплавов	1/1			11/11
Тема 9.2 Сварка титана и его сплавов	1/1			11/11
Тема 9.3 Сварка меди и его сплавов	1/1			11/11
Раздел 10. Режимы сварки	4/4			44/44
Тема 10.1 Режимы РДС	1/1			11/11
Тема 10.2 Режимы АДС	1/1			11/11
Тема 10.3 Режимы механизированной сварки в защитных газах	1/1		2/2	11/11
Тема 10.4 Режимы автоматической сварки под флюсом	1/1			11/11
Раздел 11. Техника сварки в разных пространственных положениях	2/2		2/2	22/22
Тема 11.1 Сварка в нижнем положении	1/1			11/11
Тема 11.2 Техника сварки: вертикальных, горизонтальных швов, швов в потолочном положении	1/1			11/11
Раздел 12. Сварка швов разной протяженности	1/1			11/11
Раздел 13. Сварка однослойных и многослойных швов	1/1			11/11
Всего по дисциплине	60/48		16/14	180/160

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Классификация основных видов и способы электрической сварки плавлением

Тема 1.1 Классификация электрической сварки плавлением

Сварка - процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их общем или местном нагреве, или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого.

По физическим признакам сварка классифицируется на 3 класса (рис. 1.1): термический, термомеханический и механический.

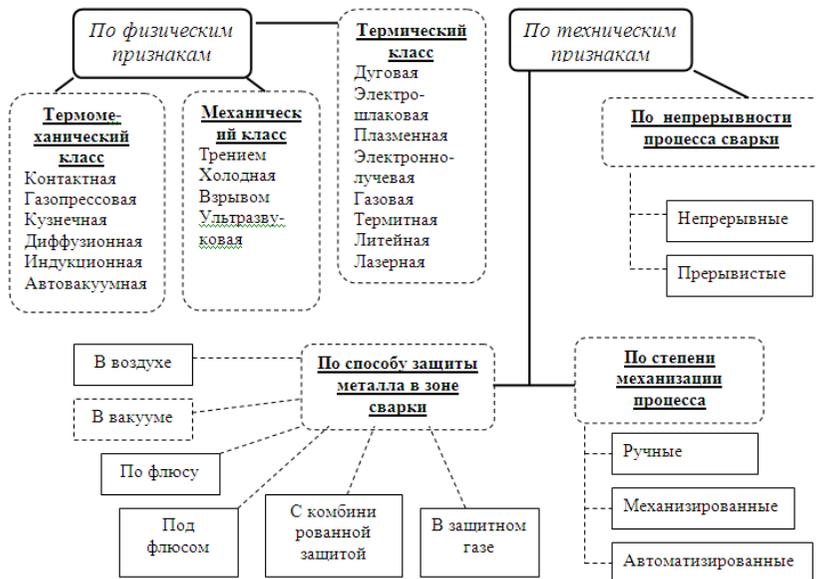


Рис. 1.1 Классификация видов сварки 19521-74

Вопросы самоконтроля:

1. Что называется сваркой?
2. В чём заключается сущность сварки плавлением?
3. Как происходит сварка давлением?
4. Назвать виды сварки плавлением и давлением.

Литература: 17.

Тема 1.2 Сущность основных видов и способов электрической сварки плавлением

Ручная электродуговая сварка. Электрическая дуговая сварка в настоящее время является важнейшим видом сварки металлов. Источником тепла в данном случае служит электрическая дуга между двумя электродами, одним из которых является свариваемые заготовки.

Электрическая дуга является мощным разрядом в газовой среде. Процесс зажигания дуги состоит из трех стадий: короткое замыкание электрода на заготовку, отвод электрода на 3-5 мм и возникновение устойчивого дугового разряда. Короткое замыкание производится с целью разогрева электрода (катода) до температуры интенсивной экзо-эмиссии электронов.



Рис.1.2 Виды сварочной дуги

Автоматическая сварка под флюсом. Флюс насыпается на изделие слоем толщиной (50-60) мм, в результате чего дуга горит не в воздухе, а в газовом пузыре, находящемся под расплавленным при сварке флюсом и изолированным от непосредственного контакта с воздухом. Этого достаточно для устранения разбрызгивания жидкого металла и нарушения формы шва даже при больших токах.

При сварке под слоем флюса обычно применяют силу тока до (1000-1200) А, что при открытой дуге невозможно. Таким образом, при сварке под слоем флюса можно повысить сварочный ток в 4-8 раз по сравнению со сваркой открытой дугой, сохранив при этом хорошее качество сварки при высокой производительности.

Электрошлаковая сварка. Является принципиально новым видом процесса соединения металлов, изобретенным и разработанным в ИЭС им. Патона. Свариваемые детали покрываются шлаком, нагреваемом до температуры, превышающей температуру плавления основного металла и электродной проволоки. На первой стадии процесс идет так же, как и при дуговой сварке под флюсом.

После образования ванны из жидкого шлака горение дуги прекращается и оплавление кромок изделия происходит за счет тепла, выделяющегося при прохождении тока через расплав. Электрошлаковая сварка позволяет сваривать большие толщи металла за один проход, обеспечивает большую производительность, высокое качество шва.

Электронно-лучевая сварка. Источником тепла является мощный пучок электронов с энергией в десятки килоэлектронвольт. Быстрые электроны, внедряясь в заготовку, передают свою энергию электронам и атомам вещества, вызывая интенсивный разогрев свариваемого материала до температуры плавления.

Процесс сварки осуществляется в вакууме, что обеспечивает высокое качество шва. Ввиду того что электронный луч можно сфокусировать до очень малых размеров (менее микрона в диаметре), данная технология является монопольной при сварке микродеталей.

Плазменная сварка. Источником энергии для нагрева материала служит плазма - ионизованный газ. Наличие электрически заряженных частиц делает плазму чувствительной к воздействию электрических полей. В электрическом поле электроны и ионы ускоряются, то есть увеличивают свою энергию, а это эквивалентно нагреванию плазмы вплоть до 20-30 тыс. градусов.

Для сварки используются дуговые и высокочастотные плазмотроны. Для сварки металлов, как правило используют плазмотроны прямого действия, а для сварки диэлектриков и полупроводников применяются плазмотроны косвенного действия. Высокочастотные плазмотроны так же применяются для сварки. В камере плазмотрона газ разогревается вихревыми токами, создаваемыми высокочастотными токами индуктора.

Здесь нет электродов, поэтому плазма отличается высокой чистотой. Факел такой плазмы может эффективно использоваться в сварочном производстве.

Диффузионная сварка. Способ основан на взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов при высоком вакууме. Высокая диффузионная способность атомов обеспечивается нагревом материала до температуры, близкой к температуре плавления.

Отсутствие воздуха в камере предотвращает образование оксидной пленки, которая смогла бы препятствовать диффузии. Надежный контакт между свариваемыми поверхностями обеспечивается механической обработкой до высокого класса чистоты. Сжимающее усилие, необходимое для увеличения площади действительного контакта, составляет (10-20) МПа.

Технология диффузионной сварки состоит в следующем. Свариваемые заготовки помещают в вакуумную камеру и сдавливают небольшим усилием. Затем заготовки нагревают током и выдерживают некоторое время при заданной температуре. Диффузионную сварку применяют для соединения плохо совместимых материалов: сталь с чугуном, титаном, вольфрамом, керамикой и др.

Контактная электрическая сварка. Нагрев осуществляется пропусканием электрического тока достаточной иглы через место сварки. Детали, нагретые электрическим током до плавления или пластического состояния, механически сдавливают или осаживают, что обеспечивает химическое взаимодействие атомов металла.

Таким образом, контактная сварка относится к группе сварки давлением. Контактная сварка является одним из высокопроизводительных способов сварки, она легко поддается автоматизации и механизации, вследствие чего широко применяется в машиностроении и строительстве. По форме выполняемых соединений различают три вида контактной сварки: стыковую, роликовую (шовную) и точечную.

Холодная сварка. Соединение заготовок при холодной сварке осуществляется путем пластического деформирования при комнатной и даже при отрицательных температурах. Образование неразъемного соединения происходит в результате возникновения металлической связи при сближении соприкасающихся

поверхностей до расстояния, при котором возможно действие межатомных сил, причем в результате большого усилия сжатия пленка окислов разрывается и образуются чистые поверхности металлов.

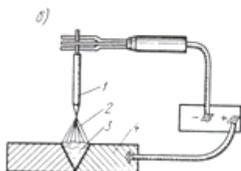
Свариваемые поверхности должны быть тщательно очищены от адсорбированных примесей и жировых пленок. Холодной сваркой могут быть выполнены точечные, шовные и стыковые соединения.

Ручная дуговая сварка

Покрытым электродом

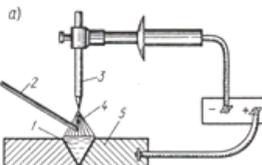
Функции покрытия электрода:

- обеспечивает устойчивое горение дуги;
- защищает расплавленный металл от кислорода и азота воздуха;
- очищает металл сварочной ванны от вредных примесей;
- легирует металл шва наружными элементами для улучшения его свойств.



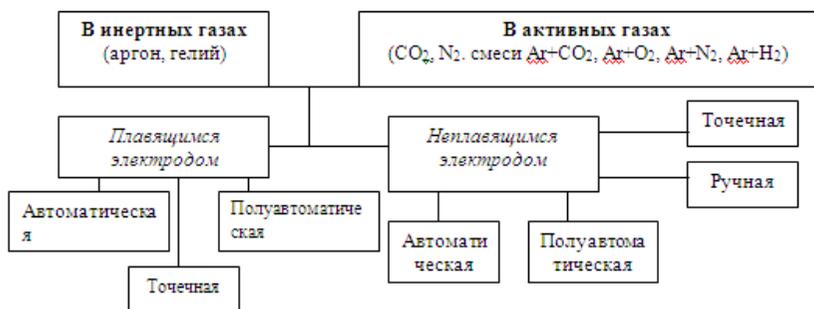
- 1 – металлический (плавящийся) электрод
- 2 – электрическая дуга
- 3 – сварной шов
- 4 – свариваемые кромки изделия

Неплавящимся электродом

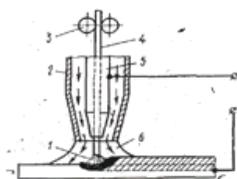


- 1 – сварной шов
- 2 – присадочный материал
- 3 – неплавящийся электрод
- 4 – электрическая дуга
- 5 – свариваемые кромки изделия

Дуговая сварка в защитных газах

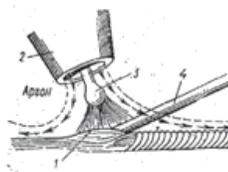


Дуговая сварка в защитных газах плавящимся электродом:



- 1 – электрическая дуга;
- 2 – газовое сопло;
- 3 – подающие ролики;
- 4 – электродная проволока;
- 5 – токопроводящий муфташток;
- 6 – защитный газ.

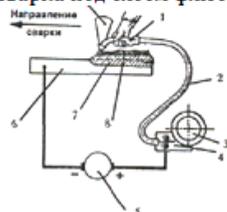
Дуговая сварка в защитных газах неплавящимся электродом:



- 1 – электрическая дуга;
- 2 – газовое сопло;
- 3 – вольфрамовый электрод;
- 4 – присадочная проволока.

Механизированная (полуавтоматическая) дуговая сварка под флюсом

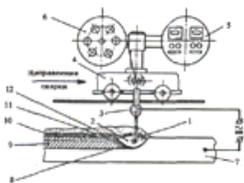
сварка под слоем флюса



1 - держатель; 2 - гибкий шланг; 3 - кассета со сварочной проволокой; 4 - подающий механизм; 5 - источник питания (выпрямитель); 6 - свариваемая деталь; 7-8 - шлаковая корка; 9 - бункер для флюса.

Автоматическая дуговая сварка под слоем флюса

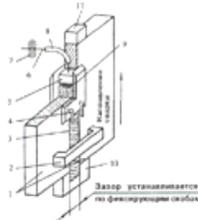
флюса



1 - дуга; 2 - газовый пузырь (полость); 3 - сварочная головка; 4 - тележка (сварочный трактор); 5 - пульт управления; 6 - кассета со сварочной проволокой; 7 - свариваемая деталь; 8 - сварочная ванна; 9 - сварной шов; 10 - шлаковая корка; 11 - расплавленный флюс; 12 - нерасплавленный флюс.

Электрошлаковая сварка

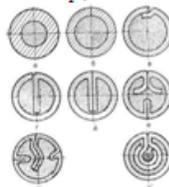
Электрошлаковая сварка классифицируется по виду электрода, наличию колебаний электрода, количеству электродов и некоторым другим признакам.



1 - свариваемые детали; 2 - фиксирующие скобы; 3 - сварной шов; 4 - медные ползуны (пластины); 5 - шлаковая ванна; 6 - сварочная проволока; 7 - подающий механизм; 8 - токопроводящий направляющий муштук; 9 - металлическая ванна; 10 - «карман» - полость для формирования начала шва; 11 - выводные планки.

Дуговая сварка порошковой проволокой

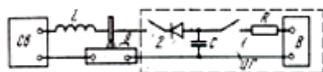
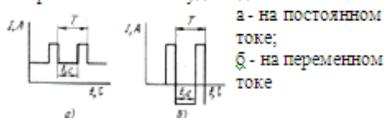
Производится с использованием электродной проволоки, состоящей из металлической оболочки, заполненной порошкообразным веществом (окись кремния и марганца, ферромарганец, ферротитан, карбонаты кальция и магния и др.)



трубчатые - а, б, в; двухслойная - г; сложные - д, е, ж, з.

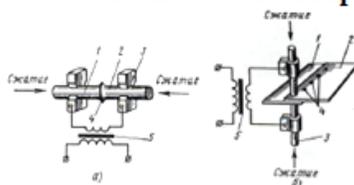
Импульсно-дуговая сварка

Схема сварки с прямоугольными импульсами различной амплитуды и длительности



СВ - сварочный источник тока;
L - индукционная катушка; Д - дуга;
ИГ - импульсный генератор; В - выпрямитель;
R - сопротивление; 1 и 2 - контакты;
С - конденсатор

Контактная сварка



а - стыковая; б - точечная;
в - шовная (роликовая);
1, 2 - свариваемые детали;
3 - токопроводящие электроды;
4 - сварной шов;
5 - трансформатор

Вопросы самоконтроля:

1. Сущность ручной дуговой сварки: плавящимся электродом; неплавящимся электродом.
2. Сущность механизированной сварки в защитных газах: полуавтоматической, автоматической.

3. Сущность автоматической сварки под флюсом.
4. Сущность контактной сварки: стыковой, точечной, роликовой (шовной).
5. Сущность сварки: электронно-лучевой, трением, взрывом, холодной, ультразвуком и др.

Литература: 17.

Раздел 2. Теоретические основы электрической сварки плавлением

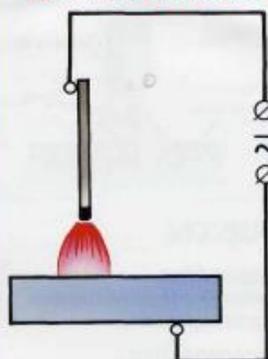
Тема 2.1 Сварочная дуга: её сущность, свойства и процессы, протекающие в ней.



КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

ПО ПОДКЛЮЧЕНИЮ К ИСТОЧНИКУ ПИТАНИЯ

Прямого действия

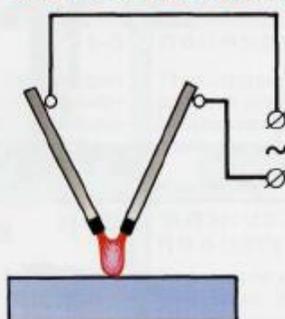


ДУГОВОЙ РАЗРЯД - МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДОМ И ИЗДЕЛИЕМ

ИСПОЛЬЗУЕТСЯ:

- при дуговой сварке покрытыми электродами
- при сварке неплавящимся электродом в защитных газах
- при сварке плавящимся электродом под флюсом или в защитных газах

Косвенного действия

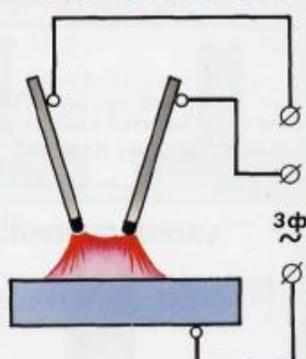


ДУГОВОЙ РАЗРЯД - МЕЖДУ ДВУМЯ ЭЛЕКТРОДАМИ

ИСПОЛЬЗУЕТСЯ:

- при специальных видах сварки и атомно-водородной сварке и наплавке

Комбинированная



ДВА ДУГОВЫХ РАЗРЯДА - МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ И ИЗДЕЛИЕМ, А ТРЕТИЙ - МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ

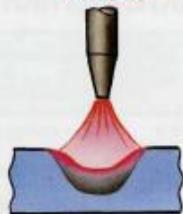
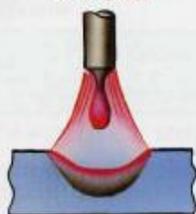
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ:

- при сварке спиралешовных труб на станках автоматической сварки под флюсом

ПО ПРИМЕНЯЕМЫМ ЭЛЕКТРОДАМ

При плавящемся электроде

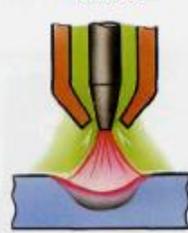
При неплавящемся электроде



ПО СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ДУГИ

Свободная

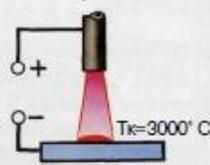
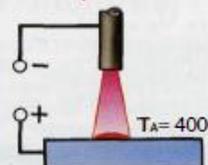
Сжатая



ПО ПОЛЯРНОСТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Прямая

Обратная



При обратной полярности температура на поверхности металла ниже. Используют при сварке тонкой или высоколегированной стали

ПО ДЛИНЕ

$l_{д}, \text{мм}$

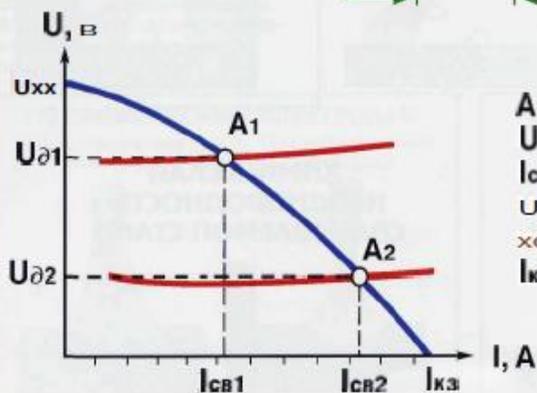
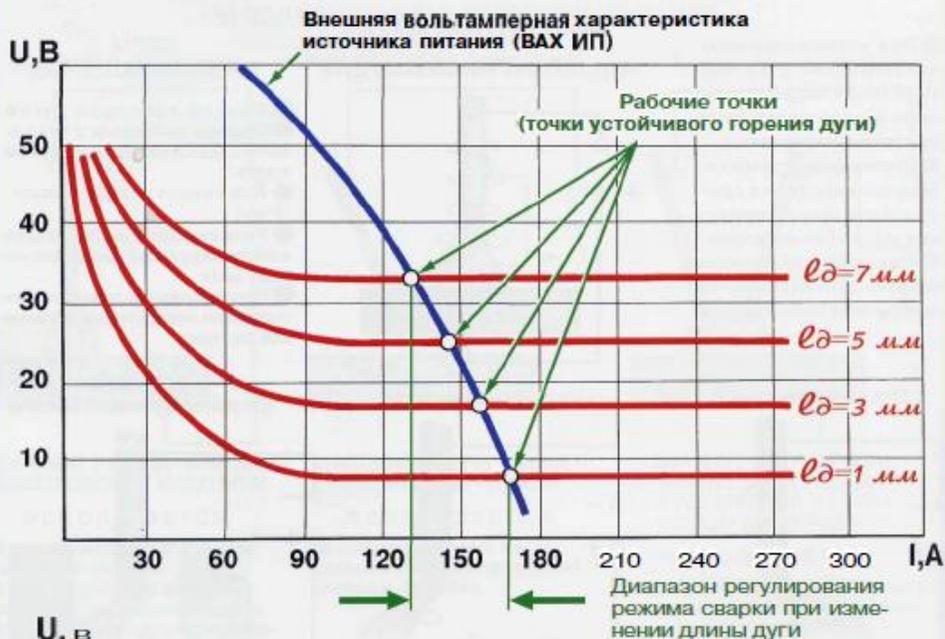
2 - 4 короткая

4 - 6 нормальная

свыше 6 длинная



ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДУГИ



$A_1; A_2$ - рабочие точки
 $U_{д1}; U_{д2}$ - напряжения на дуге
 $I_{св1}; I_{св2}$ - сварочный ток
 $U_{хх}$ - напряжение холостого хода источника питания
 $I_{кз}$ - ток короткого замыкания

СООТВЕТСТВИЕ ВЫБРАННОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

СООТВЕТСТВУЕТ / НЕ СООТВЕТСТВУЕТ

Вольт-амперная характеристика дуги	Внешняя вольт-амперная характеристика источника питания			
	Кругопадающая	Пологопадающая	Жесткая	Возрастающая
Падающая				
Жесткая				
Возрастающая				

Вопросы самоконтроля:

1. Что называется сварочной дугой?
2. Основные виды дуг.
3. Объяснить строение сварочной дуги.
4. Что такое ионизация. Описать три вида ионизации.
5. Как возникает электрическая дуга.
6. Что такое вольтамперная характеристика дуги. Три зоны характеристики.

Литература: 17.

Тема 2.2 Технологические особенности и условия устойчивого горения сварочной дуги

1. В дуговом промежутке должны быть 3 эмиссии электронов и 3 вида ионизации атомов, газ должен быть ионизирован, иметь положительные и отрицательные ионы и электроны – только такой газ проводит электрический ток.
2. В электродном покрытии (флюсах) должно быть наличие элементов стабилизаторов дуги: калий, натрий, кальций, алюминий и ограниченного количества элементов дестабилизаторов: фтора, хлора, кислорода.
3. Предпочтительно применять дугу постоянного тока вместо дуги переменного тока.
4. Исключать влияние внешних факторов:
 - Максимально приближать место крепления обратного провода к месту сварки;
 - Исключить влияние внешних магнитных полей и ферромагнитных масс;
 - Установка альтернативных ферромагнитных масс в нужных местах;
5. Применять качественные сварочные материалы (электроды, флюсы, сварочную проволоку).

Устойчивое горение дуги обеспечивается следующими требованиями к источникам питания:

6. Напряжение холостого хода источника должно быть в 2-3 раза выше напряжения дуги $U_{х.х}$ источников переменного тока не более 80 В, $U_{х.х}$ источников постоянного тока не более 90 В.
7. Сила тока короткого замыкания в 1,1 – 1,5 раза больше силы сварочного тока.
8. Изменения напряжения дуги происходящие из-за изменения её длины не должны вызывать большого изменения силы сварочного тока и изменения теплового режима сварки.
9. Время восстановления напряжения от 0 до 25 В после короткого замыкания не должно превышать 0,05 сек.
10. Вид внешней характеристики источника питания должен соответствовать виду сварки.
11. Обеспечить надежный контакт крепления обратного провода к свариваемому изделию.

Вопросы самоконтроля:

1. Условия устойчивого горения дуги. Назвать факторы, влияющие на стабильность горения.

Литература: 17.

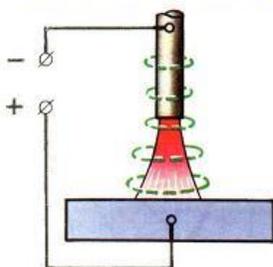
Тема 2.3 Действие магнитных полей и ферромагнитных масс на сварочную дугу

В сварочной дуге столб дуги можно рассматривать как гибкий проводник, по которому проходит электрический ток и который под действием электромагнитного поля может изменять свою форму. Если будут созданы условия для взаимодействия электромагнитного поля, возникающего вокруг сварочной дуги, с посторонними магнитными полями, с собственным полем сварочной цепи, а также с ферромагнитными материалами, то в этом случае наблюдается отклонение дугового разряда от первоначальной собственной оси. При этом иногда нарушается и сам процесс сварки, это явление получило название магнитного дутья.

- При несимметричном относительно дуги подводе тока к изделию дуга из-за воздействия магнитных полей искривляется
- Отклонение дуги может быть вызвано также присутствием ферромагнитных масс вблизи сварки
- Из-за этого стабильность горения дуги нарушается, затрудняется процесс сварки

МАГНИТНОЕ ДУТЬЕ

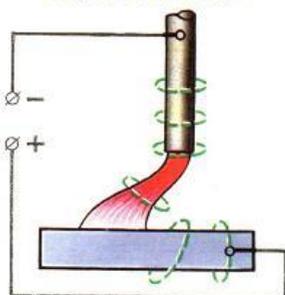
Нормальное положение дуги



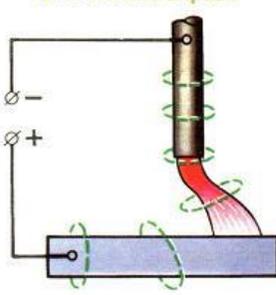
МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

- Сварка короткой дугой
- Подвод сварочного тока в точке, максимально близкой к дуге
- Изменение наклона электрода
- Размещение у места сварки компенсирующих ферромагнитных масс
- Использование трансформаторов или инверторных источников питания

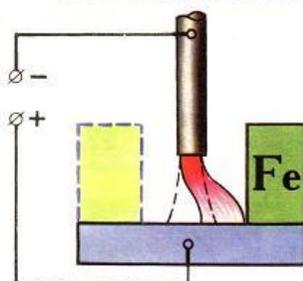
Отклонение влево



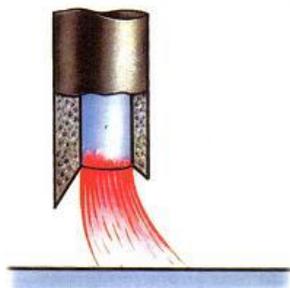
Отклонение вправо



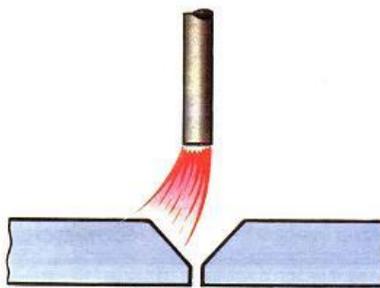
Действие ферромагнитной массы



НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ ОБМАЗКИ ("КОЗЫРЬЯНИЕ" ЭЛЕКТРОДА)



ХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ СВАРИВАЕМОЙ СТАЛИ



МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Изменение угла наклона электрода к изделию ● Сварка короткой дугой ● Применение инверторных источников питания | <ul style="list-style-type: none"> ● Использование стабилизаторов дуги ● Изменение угла наклона электрода к изделию ● Применение источников переменного тока и инверторных |
|--|---|

Вопросы самоконтроля:

1. Действия магнитных полей на дугу.
2. Действия ферромагнитных масс на дугу.

Литература: 17.

Тема 2.4 Перенос металла через дуговой промежуток в сварочную ванну

Перенос металла в дуге осуществляется каплями разных размеров, независимо от положения сварки, капли всегда переходят с электрода на изделие. Образование капель, их отрыв от электрода вызван рядом факторов:

1. Электромагнитными силами
2. Силой тяжести капли
3. Силой поверхностного натяжения жидкого металла
4. Неравномерной напряженностью электрического поля
5. Давлением образующихся газов Внутри капли
6. Реактивным действием потока газов, образующихся в «чехольчике» покрытия при сварке покрытыми электродами

Виды переноса металла в дуговом промежутке

1. Крупнокапельный.
2. Среднекапельный.
3. Мелкокапельный, переходящий в струйный.

Вопросы самоконтроля:

1. Силы, действующие на каплю в дуговом промежутке при переходе через него.
2. Три вида переноса металла через дугу.

Литература: 17.

Тема 2.5 Тепловые процессы при электрической сварке плавлением

Электродный металл переходит в сварочную ванну в виде капель. В момент перехода капли с электрода в сварочную ванну обычно происходит весьма кратковременное короткое замыкание дугового промежутка. За секунду с электрода на изделие переносится до 30 капель металла. При высоких плотностях тока, например, при сварке в углекислом газе специальной проволокой происходит струйный перенос металла.

Суммарное количество теплоты, выделяемое дугой определяется, по формуле:

$$Q = IUt \text{ или } Q = I^2Rt \text{ (закон Джоуля-Ленца)}$$

Где I - сварочный ток, А; U - напряжение на дуге, В; t - время горения дуги, сек; R - сопротивление дуги, Ом.

Эффективная тепловая мощность дуги

$$q = 0,24 I_{cs} U_d k$$

где: q - тепловая мощность, кал/с;

0,24 - коэффициент перевода электрических величин в тепловые, кал/Вт * с;

k - эффективный коэффициент полезного действия нагрева металла дугой.

$I_{св}$ – сварочный ток, А;
 U_d – напряжение на дуге, В
Погонная энергия сварки
 выражается отношением:

$$q/v = (0.24 I U_d \eta) / v, \text{ кал/см}$$

где I – величина сварочного тока, А; U_d – напряжение дуги, В; η – К.П.Д.; v – скорость сварки, см/сек.

При РДС покрытыми электродами 0,7-0,85, при АДС - $\eta = 0,5-0,6$.

На нагрев и расплавление основного металла и электрода расходуется не вся тепловая энергия дуги; часть ее теряется на рассеивание в окружающей среде, на плавление покрытия электрода или флюса, поглощается основным металлом и т. д. Полезно расходуемая мощность называется эффективной тепловой мощностью дуги. Тепловой баланс дуговой сварки показан на рис. 2.5.1, а, б.

Эффективный к. п. д. нагрева металла изделия дугой представляет собой отношение эффективной тепловой мощности дуги к полной ее мощности. Для сварки открытой дугой в защитном газе этот к. п. д. равен 0,6, для сварки покрытыми электродами — 0,7-0,85; для сварки под флюсом — 0,8-0,95.

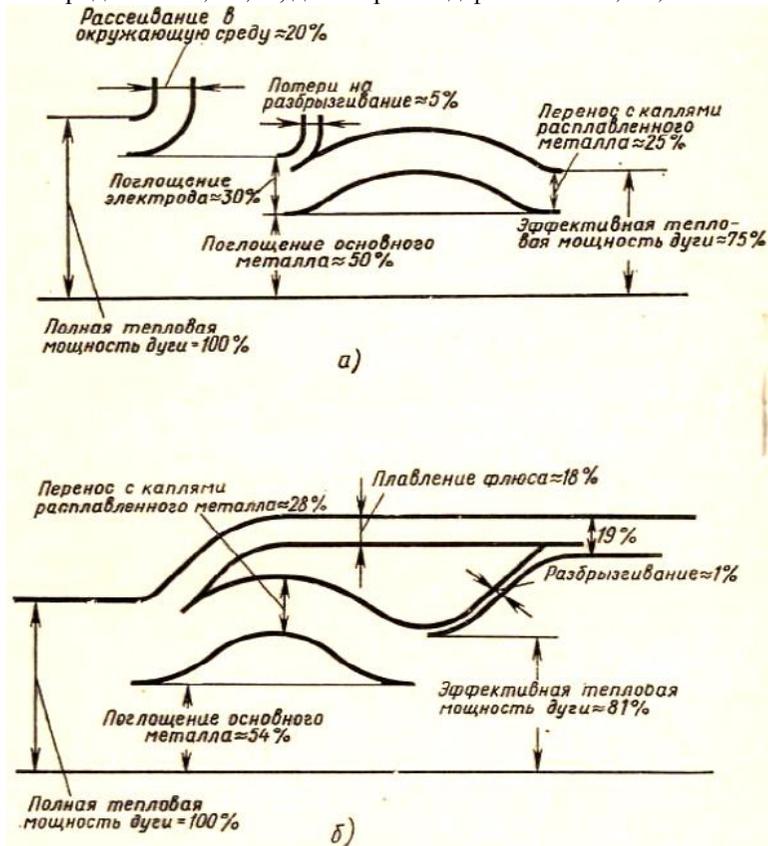


Рис. 2.5.1. Примерный тепловой баланс дуговой сварки:

а - покрытыми электродами, б - под флюсом

Сжатая дуга

Если ограничить диаметр столба дуги 5, проходящей через сопло 4 (рис. 2.5.2), имеющее малый диаметр, и сжать дугу каким-либо газом, подаваемым в камеру 3 горелки, то образуется плазменная струя, имеющая высокую температуру и представляющая концентрированный источник тепловой энергии. Сжатая дуга: горит между неплавящимся вольфрамовым электродом 2 и изделием (дуга прямого действия). Разновидность сжатой дуги — дуга косвенного действия, которая горит между электродом 2 и соплом 4; поток ионизированного и сильно нагретого газа выдувается через сопло в виде яркого пламени. Стенки канала и сопла, через которые проходит дуга, интенсивно охлаждаются водой.

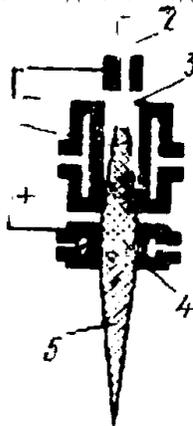


Рис. 2.5.2 Схема горелки для получения сжатой дуги:

1 — дуговой разряд, 2 — электрод, 3 —
подвод газа, 4 — сопло, 5 — плазменная струя

Сжатую дугу получают в специальных горелках — плазмотронах. Температура сжатой дуги значительно выше обычной: сжатая дуга косвенного действия имеет температуру 15 000—16 000° С, прямого действия — более 30 000° С. Плазмообразующие газы — аргон, азот, водород, гелий и их смеси.

Сжатую дугу широко применяют для сварки тугоплавких легированных сталей и сплавов, а также резки металлов и неметаллических материалов. Сжатая дуга обладает высокой устойчивостью при малых токах (0,5—30 А), поэтому может быть использована для сварки изделий малых толщин (микроплазменная сварка).

Вопросы самоконтроля:

1. Что называется эффективной тепловой мощностью дуги. Формула.
2. Что такое погонная характеристика дуги.

Литература: 8.

Раздел 3. Сварочные материалы

Тема 3.1 Сварочная проволока; неплавящиеся электродные материалы

Проволока стальная сварочная гост 2246-70

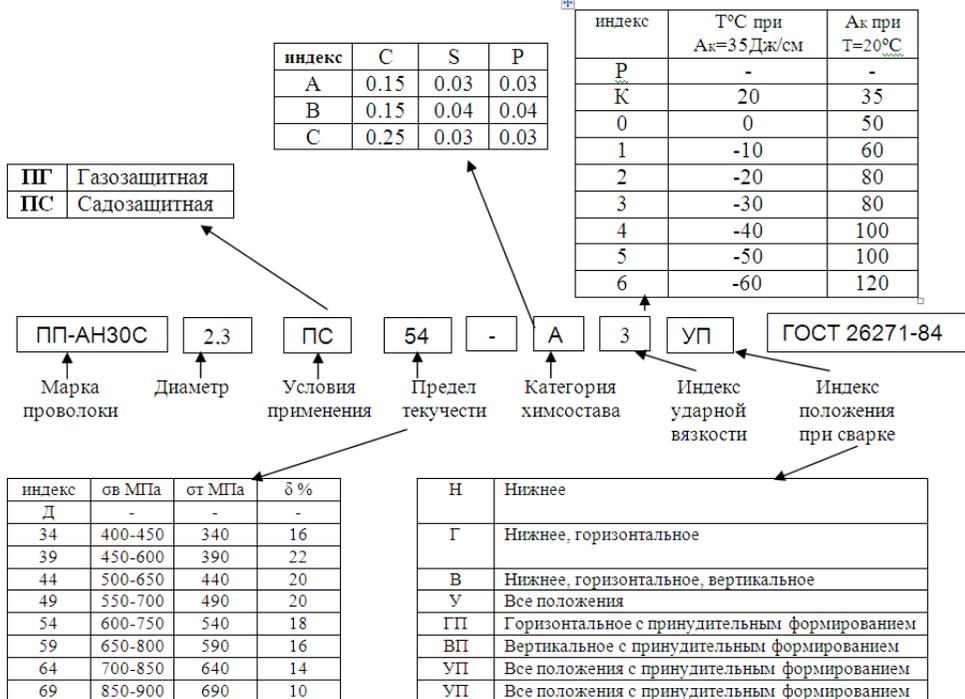


1. Сортамент (проволока).
2. Диаметр, мм.
3. Марка.
4. Способ выплавки стали, из которой изготовлена проволока: электрошлаковый переплав (Ш), вакуумно-дуговой (ВД), вакуумно-индукционный (ВИ).
5. Назначение: для сварки или наплавки (без индекса) и для изготовления электродов (Э).
6. Состояние поверхности низкоуглеродистой и легированной проволоки: неомедненная (без индекса) и омедненная (О).
7. Обозначение стандарта.

Проволока 5 Св-08ХМ-Э-О ГОСТ 2246-70

- Низкоуглеродистые (6 марок): Св08, Св08А, Св08АА, Св08Г2, Св08ГА, Св10ГА
- Легированные (30 марок), 2,5 ÷ 10% лег. эл-ов, например: Св08Г2С, Св18ХГС и т.д.
- Высоколегированные, (39 марок) > 10% лег. эл-ов, например: Св12Х11НМФ и т.д. Диаметры(мм): 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0.

Порошковая проволока гост 26271-84

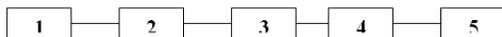


НЕПЛАВЯЩИЕСЯ ЭЛЕКТРОДЫ

Угольные ГОСТ4425-72

Графитовые ГОСТ4426-71

Вольфрамовые ГОСТ23949-80
(ЭВЧ, ЭВЛ-1, ЭВТ-2, ЭВИ-3)



- 1 – сортмент 2 – марка электрода
 3 – диаметр электрода 4 – длина
 5 – обозначение стандарта (ГОСТ 22949-80 или ТУ)

Электрод вольфрамовый ЭВЛ-02-150-ГОСТ 23949-80

Маркировка торца электродов

Марка электрода	ЭВЧ	ЭВЛ	ЭВИ-1	ЭВИ-2	ЭВИ-3	ЭВТ-15
Цвет торца	не маркируется	чёрный	синий	фиолетовый	зелёный	красный

Вопросы самоконтроля:

1. На какие три группы делится сварочная проволока по ГОСТ 2246-70.
2. Расшифровать химический состав сварочных проволок: Св-08Г2С; Св08Х3Г2СМ; Св-06Х19Н9Т.
3. Назовите марки неплавящихся вольфрамовых электродов.

Литература: 8.

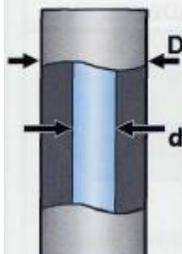
Тема 3.2 Металлические плавящиеся покрытые электроды для РДС сталей

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ		
ПО НАЗНАЧЕНИЮ		ОБОЗНАЧЕНИЕ
Сварка углеродистых и низколегированных сталей конструкционных с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа	9 типов Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60	У
Сварка легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву выше 600 МПа	5 типов Э70, Э85, Э100, Э125, Э150	Л
Сварка легированных теплоустойчивых сталей	9 типов Э09М, Э09МХ и др.	Т
Сварка высоколегированных сталей с особыми свойствами	49 типов Э12Х13, Э06Х13М, Э10Х17Т и др.	В
Наплавка поверхностных слоев с особыми свойствами	44 типа Э10Г2, Э11Г3, Э16Г2ХМ и др.	И

ПО ВИДУ ПОКРЫТИЯ		ОБОЗНАЧЕНИЕ
Сварка во всех пространственных положениях постоянным и переменным током. Не рекомендуется для сталей с повышенным содержанием серы и углерода. Недостаток: возможны трещины в швах, сильное разбрызгивание	Кислые	А
Сварка во всех пространственных положениях постоянным и переменным током	Рутитовые	Р
Сварка постоянным током обратной полярности во всех пространственных положениях металла большой толщины	Основные	Б
Сварка во всех пространственных положениях постоянным и переменным током. Целесообразны на монтаже. Не допускают перегрева. Большие потери на разбрызгивание	Целлюлозные	Ц
Сварка конструкций и трубопроводов во всех положениях шва, кроме потолочного, при низком расходе на 1 кг наплавленного металла	Смешанного типа	РЦЖ*
*С железным порошком		

ПО ДОПУСТИМЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЯМ ШВА		ПО РОДУ И ПОЛЯРНОСТИ СВАРОЧНОГО ТОКА		
Для сварки во всех положениях	1	Переменный ток (U _{ср} , В)	Постоянный ток (полярность)	Обозначение
Для сварки во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз	2	Неприменяется	обратная	0
То же, кроме вертикального сверху вниз и потолочного	3	50±5	любая	1
			прямая	2
			обратная	3
То же, кроме вертикального сверху вниз и потолочного	3	70±10	любая	4
			прямая	5
			обратная	6
Для швов нижнего и нижнего ^{II} в лодочку ^{II}	4	90±5	любая	7
			прямая	8
			обратная	9

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ



ПО ТОЛЩИНЕ ПОКРЫТИЯ		ОБОЗНАЧЕНИЕ
С тонким покрытием	$D/d \leq 1,2$	М
Со средним покрытием	$1,2 < D/d \leq 1,45$	С
С толстым покрытием	$1,45 < D/d \leq 1,8$	£1
С особо толстым покрытием	$D/d > 1,8$	Г

ПРИМЕР УСЛОВНОГО ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА

Назначение: сварка углеродистых и низколегированных сталей

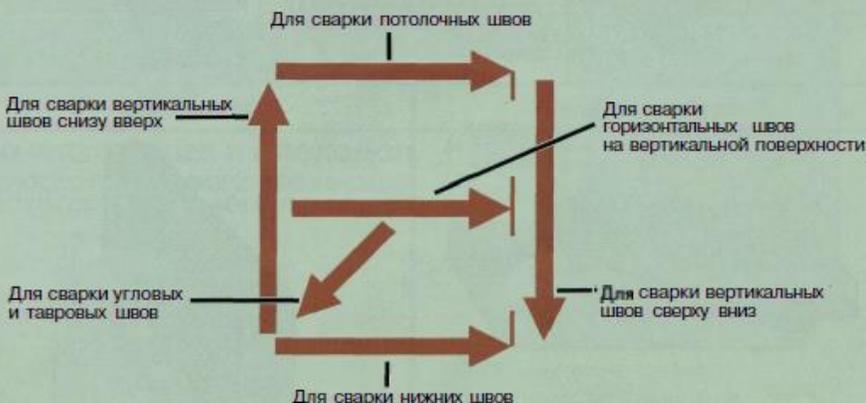
Тип электрода, прочностная характеристика 420 МПа	Марка электрода	Диаметр электрода 3 мм	Покрытие толстое
Э42А - УОНИ-13/45 - 3,0 - УД ГОСТ 9466-75			

E432(5) - Б1 О ГОСТ 9467-75

Группа индексов, указывающая на прочностные характеристики металла шва по ГОСТ 9467-75

Постоянный ток, обратная полярность	Допустимое пространственное положение - любое	Покрытие основное
--	--	-------------------

МАРКИРОВКА ЭЛЕКТРОДОВ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА



Назначение электродных покрытий

Назначение электродных покрытий состоит в обеспечении стабильности горения сварочной дуги и получении металла шва с требуемыми, заранее заданными свойствами (прочность, пластичность, ударная вязкость, стойкость против коррозии и др.). Стабильность горения сварочной дуги достигается путем ионизации воздушного промежутка между электродом и свариваемой деталью. Требуемые свойства шва обеспечиваются следующими действиями покрытий:

- газовая защита зоны сварки и расплавленного металла от кислорода и азота воздуха. Газообразующие компоненты покрытий: древесная мука, крахмал, пищевая мука, хлопчатобумажная пряжа, декстрин, целлюлоза;

- раскисление металла сварочной ванны, т. е. связывание кислорода, находящегося в шлаках. Раскислителями служат главным образом металлы, обладающие большим сродством с кислородом, чем железо: марганец, титан, молибден, хром; эти металлы вводятся в покрытие в виде ферросплавов. Раскислителем служит также ферросилиций, иногда — углерод (в виде графита) и алюминий;

- шлаковая защита от действия кислорода и азот воздуха. Шлак создаст оболочку вокруг жидкого металла, переходящего с электрода в сварочную ванну. Шлаковое покрытие уменьшает скорость охлаждения и затвердевания металла шва, способствуя выходу из него газовых и неметаллических включений. Шлакообразующими компонентами покрытий являются: титановый концентрат, марганцевая руда, каолин, мрамор, мел, кварцевый песок и др.;

- легирование металла шва для улучшения механических, физических и химических свойств, т. е. введение в него таких элементов, как хром, марганец, кремний, молибден, титан, ниобий и др. Легирование металла шва иногда производится применением специальной проволоки, содержащей нужные элементы. Шире применяют легирование металла шва введением элементов в покрытие. Легирующие компоненты: ферросплавы, иногда — чистые металлы

Для повышения производительности, т. е. для увеличения количества наплавляемого металла Е единицу времени, в электродные покрытия иногда вводят железный порошок. Введенный в покрытие железный порошок, кроме того, улучшает технологические свойства электродов: облегчает повторное зажигание дуги, уменьшает скорость охлаждения наплавленного металла, что благоприятно сказывается при сварке в условиях низкой температуры.

Для закрепления покрытий на стержне электрода применяют связующие компоненты (жидкое стекло, декстрин). Жидкое стекло имеет также стабилизирующие свойства.

Табл. 3.2 - Вид покрытия на электроде и механические свойства сварного шва

Вид электродного покрытия	Относит. Удлинение, %	Попереч.сужение, %	Ударная вязкость при T° C, Дж/см ²		Температура перехода в хрупкое состояние, °C
			+20	-20	
Кислое	14-18	45-50	50-80	25-60	+20...-10
Рутиловое	18-23	50-60	80-180	50-80	+10...-15
Целлюлозное	16-25	55-65	80-150	60-90	+10...-20

Основное	22-35	62-70	150-250	100-180	-20...-70
----------	-------	-------	---------	---------	-----------

Вопросы самоконтроля:

1. Требования, предъявляемые к покрытым электродам.
2. Какие компоненты входят в электродное покрытие. Назначение покрытий.
3. Группы покрытия электродов.
4. Два параметра, которые присущи любому электроду.
5. Значение цифр и букв в наименовании типов электродов.
6. Расшифровать маркировку электрода (ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75):

Э46А – УОНИ13/45 – 4,0 – УД

Е432(5)Б10

Литература: 8.

Тема 3.3 Флюсы сварочные для дуговой и электрошлаковой сварок

Флюс — гранулированный порошок с определенными размерами зерна. Флюс получают сплавлением составляющих его компонентов и последующим дроблением (плавленные флюсы) или механическим связыванием (склеиванием) порошкообразных компонентов с последующим измельчением (неплавленные флюсы).

Флюсы разделяют на три группы: для сварки углеродистых и легированных сталей; для сварки высоколегированных сталей; для сварки цветных металлов и их сплавов. Некоторые марки флюсов, предназначенные для сварки металлов одной из этих групп, можно применять для сварки металлов и другой группы.

В зависимости от их химического состава различают флюсы высококремнистые (более 35% кремнезема), низкокремнистые (до 35% кремнезема), безмарганцевые (менее 1% марганца), марганцевые (более 1% марганца). Изготавливают также легированные флюсы, содержащие чистые легирующие металлы или ферросплавы.

Флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки выпускают по ГОСТ 9087—69. Флюс с размерами зерен 0,25—1,6 мм предназначен для сварки электродной проволокой диаметром до 3 мм; флюс с размерами зерен 0,35-3 мм — для сварки проволокой диаметром более 3 мм.

Плавленные флюсы выпускают двух видов: стекловидные (зерна прозрачные, от светло-желтого до бурого и коричневого цвета) и пемзовидные (пористые зерна светлой окраски). Объемная масса стекловидных флюсов — 1,3-1,8 кг/дм³, пемзовидных — не более 1 кг/дм.³ Наиболее распространены стекловидные флюсы.

К неплавленным флюсам относятся керамические, которые используются главным образом как легирующие; они малочувствительны к ржавчине, окалине и влаге на кромках свариваемых швов; добавление керамических флюсов к стекловидным позволяет получать швы высокого качества даже при плохой очистке кромок.

Магнитные флюсы получают добавлением железного порошка к керамическому флюсу. Такой флюс, попадая в магнитное поле сварочного тока, обволакивает электродную проволоку. Это позволяет производить сварку в вертикальном положении и вести наблюдение за процессом, как при сварке

покрытым электродом.

Назначение флюса:

- защита расплавленного металла и зоны дуги от действия кислорода и азота воздуха;
- стабилизация сварочной дуги;
- легирование металла шва;
- раскисление расплавленного металла;
- формирование шва;
- уменьшение потерь тепла;
- уменьшение потерь электродного металла на угар и разбрызгивание.

Флюсы должны обеспечивать легкую отделяемость шлака и минимальное количество вредных газов и пыли, выделяющихся при сварке.

Вопросы самоконтроля:

1. Назначение сварочных флюсов.
2. Что входит в состав флюсов для сварки.
3. Виды сварочных флюсов.

Литература: 8, 15.

Тема 3.4 Защитные газы, газовые смеси для электрической сварки плавлением

Аргон по ГОСТ 10157 – 79

Состав	Высший сорт	Первый сорт
Ar, % \geq	99,993	99,987
O, % \leq	0,0007	0,002
N, % \leq	0,005	0,01

Углекислый газ по ГОСТ 8050 – 85

Состав	Высший сорт	Первый сорт
CO ₂ , % \geq	99,8	99,5
Водяные пары при 20°C, г/см ³ \leq	0,037	0,184

Кислород по ГОСТ 5583-78

Состав	Высший сорт	Первый сорт
O, % \geq	99,7	99,5
H, % \leq	0,3	0,5
Водяные пары при 20°C, г/см ³ \leq	0,05	0,07

Газовые смеси для дуговой сварки сталей

Смесь	Рекомендуемые толщины, мм	Состав
Для сварки углеродистых сталей		
Аргомикс – Л	1÷4	93% Ar + 5% CO ₂ + 2% O ₂

Смесь	Рекомендуемые толщины, мм	Состав
Аргомикс – У	4÷12	86% Ar+12% CO ₂ +55% O ₂
Аргомикс – Т	11÷15 и более	82% Ar+18% CO ₂
Для сварки нержавеющей сталей		
Легимикс – Л	1÷8	13,5% Ar + 1,5% CO ₂ +85% He
Легимикс – У	4÷10	43% Ar + 2% CO ₂ + 55% He
Легимикс – Т	8÷15 и более	60% Ar + 2% CO ₂ + 38% He

Л – легкая, У – универсальная, Т – тяжелая

Литература: 8, 13.

Раздел 4. Металлургические процессы при дуговой и электрошлаковой сварке

Тема 4.1 Особенности металлургических процессов при сварке

Отличительные особенности металлургического процесса сварке:

- высокая температура нагрева расплавляемого металла;
- перемещение расплавленной сварочной ванны;
- малый объем сварочной ванны;
- большая скорость процесса;
- интенсивный отвод тепла в соседний с ванной твердый основной металл, в электрод и окружающую атмосферу;
- во многих случаях разнородные по химическому составу основной и присадочный металлы;
- интенсивное взаимодействие жидкого металла с выделяющимися газами и компонентами шлака.

Эти особенности металлургического процесса при сварке усложняют и затрудняют получение сварного шва нужного качества, имеющего заданные механические, химические и другие свойства.

В металлургии сварки плавлением наиболее важны два процесса: раскисление металла сварочной ванны и кристаллизация металла шва.

Раскислителями служат кремний, марганец, титан, алюминий, углерод. Раскислители вводят в сварочную ванну через электродные покрытия и частично через электродную проволоку (сварка штучными электродами); через флюс и проволоку (сварка под флюсом); только через проволоку (сварка в защитных газах).

Кремний, марганец, титан (а иногда и другие элементы, более активно соединяющиеся с кислородом, чем железо) вводят в покрытие и флюс в виде ферросплавов (ферросилиций, ферромарганец, ферротитан и др.), алюминий — в виде порошка, углерод — в виде графита. Алюминий, будучи весьма активным раскислителем, обладает тем недостатком, что образует тугоплавкие окислы (температура плавления 2050° С), которые не полностью переходят в шлак, часть их остается в шве, снижая его прочность.

Графит, образуя окись углерода, вызывает кипение расплавленного металла, что ведет к пористости шва. По мере перемещения электрической дуги (или слоя расплавленного шлака при электрошлаковой сварке) металл сварочной ванны

охлаждается и затвердевает. Этот процесс происходит быстро, чему способствует интенсивный отвод тепла в основной металл.

Образовавшиеся при затвердевании металла кристаллиты имеют столбчатое строение (макроструктура); микроструктура кристаллита имеет разветвленную дендритную (древовидную) форму.

Размер кристаллитов зависит от объема сварочной ванны и скорости ее охлаждения; при сварке под флюсом, а особенно при электрошлаковой сварке, кристаллиты имеют значительные размеры, что ведет к снижению пластичности и ударной вязкости металла шва. Для измельчения структуры в жидкий металл вводят модификаторы (алюминий, титан, ванадий).

Строение сварного соединения

В сварном соединении из углеродистой стали, выполненном дуговой сваркой, имеются следующие зоны (в поперечном сечении):

- металл шва, состоящий из затвердевшего расплавленного металла соединяемых деталей и присадки и имеющий литую структуру;
- зона термического влияния, в которой металл не расплавлялся, но структура менялась под влиянием нагрева;
- основной металл, где структура металла осталась неизменной.

Участок перегрева (границы нагрева 1100—1450° С), находящийся в зоне термического влияния, характеризуется низкими механическими свойствами, поэтому качество сварного соединения частично определяется его протяженностью.

Литература: 8.

Тема 4.2 Основные реакции в зоне сварки

Металл шва окисляется в основном кислородом, содержащимся в газах и шлаках сварочной ванны. Кроме того, окисление может происходить при наличии окислов (окалины, ржавчины, влаги), находящихся на кромках деталей и на поверхности электродной проволоки. В процессе нагрева имеющаяся в ржавчине влага испаряется. А содержащийся в ней кислород окисляет металл. Окалина при плавлении переходит в закись железа с выделением свободного кислорода. При плохой защите сварочной ванны окисление происходит кислородом воздуха.

Кислород с железом образует три окисла:

Закись железа FeO (содержание O_2 – 22,3 %);

Закись-окись железа Fe_3O_4 (содержание O_2 = 27,6 %);

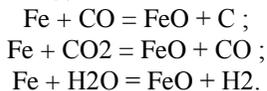
Окись железа Fe_2O_3 (содержание O_2 – 30,1 %).

При высокой температуре сварочной дуги за счет атомарного кислорода образуется низший окисел – закись железа – по следующей реакции: $\text{Fe} + \text{O} = \text{FeO}$.

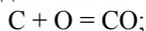
При понижении температуры закись железа может переходить в высшие окислы – закись-окись и окись железа.

Наиболее опасным окислом является закись железа, так как только она способна растворяться в жидком металле. После остывания шва в виду небольшой температуры затвердевания закиси железа последняя остаётся в нём в виде плёнок, окаймляющих зерна, что сильно снижает пластические свойства шва. Чем больше кислорода в шве находится в виде закиси железа, тем хуже его механические

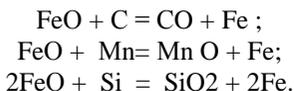
свойства. Высшие окислы (Fe_3O_4 и Fe_2O_3) не растворяются в жидком металле и, если они не всплывают на поверхность сварочной ванны, то остаются в металле шва в виде шлаковых включений. Окисление железа может происходить кислородом газов: CO , CO_2 и паров воды H_2O :



Кроме железа окисляются и другие элементы, находящиеся в стали – углерод, марганец, кремний и т. д. В процессе перехода капли металла через дугу окисление элементов происходит в результате соединения их с атомарным кислородом:



В сварочной ванне элементы окисляются от взаимодействия с закисью железа:



Окисление этих элементов приводит к тому, что содержание их в металле уменьшается, а содержание кислорода возрастает. Кроме того, образующиеся окислы могут оставаться в сварном шве в виде газовых пор и шлаковых включений, что значительно снижает механические свойства сварных соединений.

Раскисление металла при сварке

Раскислением называется перевод растворенной закиси железа в форму нерастворимых соединений с последующим их удалением в шлак. Реакции раскисления выражаются в основном теми же уравнениями, что и реакции окисления, но протекают в обратном направлении. В общем случае характерная реакция раскисления имеет вид:



Где R – раскислитель.

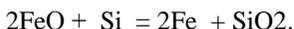
В качестве раскислителей применяется марганец, кремний, титан, алюминий, углерод и другие элементы, обладающие большим сродством с кислородом, чем железо. Раскислители вводятся в сварочную ванну, через электродную проволоку, а так же через покрытия электрода и флюсы. Ниже приводятся наиболее типичные реакции раскисления.

Раскисление марганцем:

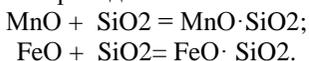


Окись марганца малорастворима в железе, но сама хорошо растворяет в себе закись железа, увлекая её за собой в шлак.

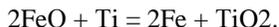
Раскисление кремнием:



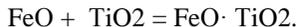
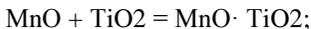
Окись кремния плохо растворима в железе и всплывает в шлак. Раскисление кремнием сопровождается реакциями образования легкоплавких силикатов марганца и железа, которые также переходят в шлак:



Раскисление титаном:

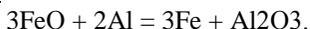


Титан энергичный раскислитель, но более дорогой, чем марганец и кремний. Раскисление титаном сопровождается реакциями образования легкоплавких титанов марганца и железа:



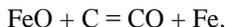
Марганец, кремний и титан вводятся в сварочную ванну через электродную проволоку, через покрытие электрода или флюс в виде ферромарганца, ферросилиция или ферротитана.

Раскисление алюминием:



Алюминий ещё более энергичный раскислитель, чем титан, но он образует очень тугоплавкие окислы с температурой плавления около 2050°C, которые очень медленно переходят в шлак и частично остаются в шве. Кроме того, он способствует окислению углерода, что приводит к пористости шва. Вводится алюминий в сварочную ванну через электродное покрытие или флюс в виде алюминиевого порошка.

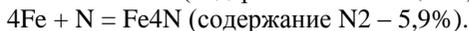
Раскисление углеродом:



Образовавшаяся окись углерода выделяется в атмосферу, вызывая сильное кипение сварочной ванны и образуя порыв шве. Для получения плотных швов реакцию раскисления углеродом следует подавить повышенным введением в сварочную ванну более энергичных раскислителей, например кремния.

Насыщение металла шва азотом

В газовую фазу зоны сварки азот попадает в основном из окружающего воздуха. В столбе дуги он сильно разогревается и частично диссоциирует, переходя в атомарное состояние. Атомарный азот хорошо растворяется в жидкой стали. В процессе охлаждения сварочной ванны атомарный азот выделяется из раствора, соединяется с железом и образует весьма твёрдые химические соединения – нитриды:



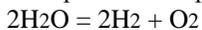
Одновременно с этим могут образовываться и такие нитриды, как MnN, SiN и др. Эти соединения, располагаясь в металле шва в виде тонких азотных игл, повышают его прочность и твердость, но резко снижают пластичность. Металл шва становится хрупким и в нём легко образуются трещины. Кроме того, при выделении из затвердевающего металла пузырьков азота в шве образуются поры. После сварки с течением времени нитриды выделяются из твердого раствора, еще больше понижая механические свойства шва. Такой процесс называется старением.

По отношению к меди, никелю и некоторым редким цветным металлам азот является нейтральным газом.

Насыщение металла шва водородом

Источником попадания в сварной шов водорода является влага, содержащаяся в электродном покрытии, флюсе, порошковой проволоке и защитном

газе. Он переходит в шов из влаги, ржавчины и других загрязнений, находящихся на поверхности электродной проволоки и свариваемых кромок:



Подобно азоту при высокой температуре сварочной дуги, молекулярный водород диссоциирует на атомарный, способный хорошо растворяться в жидком металле. Здесь атомы водорода диффундируют (перемещаются) по жидкому металлу, задерживаются в отдельных местах и образуют там газовые полости. При затвердевании металла атомы водорода соединяются в молекулы. Часть молекул выделяется из металла в виде пузырьков, вызывая пористость шва. Повышенное давление в газовых полостях оставшихся молекул водорода создает напряженное состояние в металле, что способствует возникновению микроскопических трещин, так называемых флокенов.

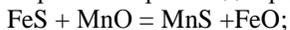
Концентрация водорода в сварном шве может быть уменьшена путем создания нерастворимых соединений водорода, например, фтористого водорода (HF), улетучивающегося из сварочной ванны. Для предупреждения попадания водорода в сварочную ванну необходимо очищать кромки металла и поверхность электродной проволоки от ржавчины, окалины, влаги и органических веществ; прокалывать электроды и флюсы; применять осушенные защитные газы с минимальным содержанием влаги.

Рафинирование металла шва

Рафинирование металла это есть процесс очищения его от вредных примесей. Применительно к сталям очистка производится в основном от серы и фосфора, которые попадают в сварочную ванну из основного металла, электродной проволоки, электродного покрытия и флюса.

Сера является вредной примесью, так как она вызывает красноломкость, т. е. хрупкость в горячем состоянии, и значительно усиливает склонность стали к образованию горячих трещин. Это обусловлено тем, что находящиеся в стали сульфиды железа (FeS) в процессе сварки образуют с железом легкоплавкую эвтектику, которая располагается по границам зерен металла и ослабляет их связь между собой.

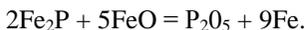
Уменьшение содержания серы в металле шва достигается воздействием шлаков, содержащих MnO и CaO . При этом происходят реакции:



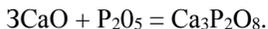
Образующиеся в результате этих реакций сернистые соединения не растворимы в металле и переходят в шлак.

Фосфор, находящийся в стали в виде фосфидов (Fe_2P и Fe_3P), является вредной примесью, так как придает ей хладноломкость, т. е. хрупкость при нормальных условиях. Кроме того, он заметно снижает ударную вязкость, особенно при низких температурах.

Удаление фосфора из металла шва происходит в два этапа. Сначала протекает реакция



В дальнейшем фосфорный ангидрид связывается по реакции



Образовавшийся при этом фосфат кальция всплывает в шлак.

Вопросы самоконтроля:

1. Какие особенности металлургического процесса происходят при дуговой сварке?
2. Что происходит с кислородом, азотом и водородом при высоких температурах в зоне дуги при сварке.
3. Какое действие оказывает кислород, азот и водород на расплавленный металл.
4. Меры борьбы от попадания водорода в сварной шов.
5. Что такое раскисление стали, назвать элементы-раскислители и основные реакции раскисления.
6. Что такое легирование металла сварного шва.
7. По каким химическим реакциям происходит выведение из шва вредных примесей серы и фосфора.

Литература: 10, 17.

Тема 4.3 Плавление и кристаллизация металла шва. Структура шва и зоны термического влияния

Обычно в процессе сварки можно получить четыре типа сварочных соединений – угловой, тавровый, нахлесточный и стыковой. Стыковой шов получают соединяя кромки металлических поверхностей, заранее их обрабатывая в зависимости от толщины металла. Соединение металлических пластин внахлестку делают с помощью угловых швов, толщина непосредственно нахлестки должна быть больше толщины соединяемых элементов от трёх до пяти раз. Тавровые и угловые соединения образуются в процессе проведения сварки элементов, находящихся перпендикулярно друг к другу и градус угла соединения должен составлять 90.

Различают два вида сварки – они применяются в зависимости от состояния металла в процессе сварки:

1) **Сварка расплавленного металла** – участки металла, которые необходимо соединить, нагревают до температуры плавления и стыкуют, после сваривая детали вместе без применения механических усилий.

2) **Сварка пластичного металла** – нагретые до состояния сварочного жара участки металла сваривают ударом либо под давлением.

Структура сварных соединений

Процесс кристаллизации шва происходит только в том случае, если скорость сварки и средняя скорость кристаллизации равны. Кристаллизация начинается в тот момент, когда сварная дуга прошла над участком сварки и покинула его. Расплавленный металл застывает в противоположном процессе сварки направлении – то есть, к центру сварочного бассейна, начинаясь у его краёв. Частицы расплавленного и основного металла появляются на краях расплавленного участка – это укрепляет сварной шов.

Первый процесс кристаллизации протекает быстро, так как металл очень быстро остывает – для остановки процесса кристаллизации металлу достаточно остыть всего на 20-30 градусов – то есть, его температура должна быть между 1480 и 1510 градусов.

Завершённая кристаллизация не запускает в металле никаких процессов вплоть до охлаждения его до 850 градусов, т.е. выхода металла из аустенитной формы. Структура сварных соединений при этом становится постоянной после охлаждения металла до 720 градусов.

Многослойные швы в основном имеют мелкозернистую структуру, частицы металла в них равномерно распределены по всему объёму сварного соединения. Зона термического влияния при сварке это металл, который примыкает непосредственно к сварному шву, но не задевается сварщиком в процессе сварки. Она делится на несколько участков:

1) Участок зоны сплавления – в этом месте происходит непосредственно процесс плавки. Качество сварного шва зачастую напрямую зависит от свойств этой зоны. В этой зоне находится наплавленный металл и металл с участка неполного расплавления.

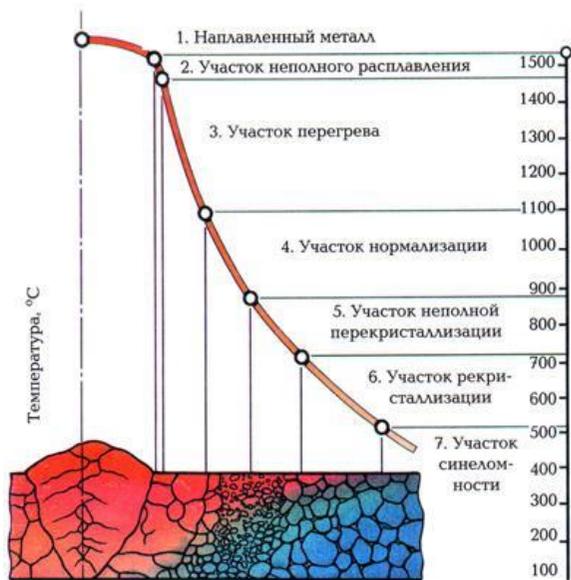


Рис. 4.3.1– Структура зоны термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали

2) Участок перегрева – нагретый в диапазоне 1100-1400 градусов участок металла. Если нагретая сталь содержит большое количество углерода, то она станет непластичной и вязкой.

3) Участок перекристаллизации – этот участок в процессе охлаждения образует мелкозернистую структуру, это повышает качество и свойства сварного шва.

4) Участок неполной перекристаллизации – в структуре металла на этом участке появляется некоторое количество новых зёрен.

5) Участок старения – процесс увеличения прочности и снижения пластичности всего сварного шва зависит от этого участка.

6) Участок синеломкости – тут не происходит практически никаких изменений, но при сварке определённых металлов этот участок может повышать прочность сварного соединения.

Расплавление занимает от долей секунды до минут – это зависит от мощности нагревания, толщины расплава и скорости движения сварной дуги.

Свойства сварного шва определяются непосредственно размерами околошовной зоны сварки. Чем меньше эта зона, тем надёжнее и качественнее получилось сварное соединение. Наименьшая зона получается при сварке электроннолучевой и механической, наибольшая – при газосварке и электросварке. Также условное деление получил и тип источника сварки – электрический, химический или механический. Выполнение сварного шва лучше проводить короткими участками – в результате сварные соединения получатся более качественными и прочными.

Табл. 4.3.1 – Зависимость температуры от структуры металла

№	СТРУКТУРА МЕТАЛЛА	Температура, °С	Ширина, мм
1	Столбчатая, литая, с пониженными механическими свойствами	1530±5	1/2 ширина шва
2	Рост зерна, образование игольчатой структуры с повышенной хрупкостью	1530-1470	0,1-0,4
3	Крупнозернистое строение с пониженной ударной вязкостью и пластичностью	1470-1100	3-4
4	Измельчение зерна, повышение механических свойств	1100-880	0,2-4,0
5	Смешанное строение из мелких и крупных зерен с пониженными механическими свойствами	880-720	0,1-3,0
6	Восстановление формы и размеров зерен металла	720-510	0,1-1,5
7	Структурных изменений не имеет	510-200	0,8-12

Литература: 8, 10.

Тема 4.4 Общее понятие о свариваемости

Большое влияние на свариваемость оказывает химический состав стали. Влияние отдельных элементов проявляется различно.

Влияние отдельных элементов на свариваемость стали сказывается сильнее при сочетании их друг с другом и в первую очередь с углеродом. Исходя из этого, кроме прямых показателей свариваемости стали, которые определяются при помощи сварки контрольных образцов, иногда используются косвенные показатели, как, например, эквивалентное содержание углерода (С_{эkv}), которое определяется по формуле

$$C_{\text{эkv}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr + Mo + V}{10} + \frac{Ni}{15}$$

Символ каждого элемента обозначает максимальное содержание его в данной марке стали в процентах. Цифры 20, 15 и 10 являются постоянными величинами.

Полученное по этой формуле эквивалентное содержание углерода позволяет примерно судить о свариваемости углеродистых и низколегированных сталей, которые условно разделяются на четыре группы.

Хорошо свариваемая сталь ($C_{\text{Экв}}$ не более 0,25%). Сварка такой стали возможна в любых температурных условиях без предварительного подогрева и последующей термообработки. Сварку металла производят любой толщины независимо от конфигурации швов и жесткости конструкции, соблюдая нужный режим сварки. В низколегированных сталях при содержании углерода свыше 0,16%, толщине более 25 мм и большой жесткости конструкции необходим предварительный подогрев до 100—150° С.

Удовлетворительно свариваемая сталь ($C_{\text{Экв}} = 0,25-0,35\%$).

Такая сталь может свариваться только при положительных температурах (не ниже +5°С). Изделия из металла большой толщины при жесткой конструкции требуют предварительного подогрева до температуры 100—150° С.

Ограниченно свариваемая сталь ($C_{\text{Экв}} = 0,35-0,45\%$). При сварке необходим предварительный или сопутствующий подогрев до температуры 150-4-350° С. После сварки желателен высокий отпуск при температуре примерно 650° С. При сварке изделий сложной конфигурации и большой жесткости необходим общий нагрев перед сваркой до температуры 200—450°С. После сварки таких изделий обязателен высокий отпуск. Для ответственных изделий после сварки рекомендуется термическая обработка.

Плохо свариваемая сталь ($C_{\text{Экв}}$ более 0,45%). При сварке такой стали необходимы общий нагрев всего изделия до температуры 200—500° С и поддержание этой температуры в процессе сварки с последующей термической обработкой по режиму для данной марки стали. Однако при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом в ряде случаев такая сталь удовлетворительно сваривается без применения специальных мер. В данном случае необходимо уборку флюса производить после полного остывания шва.

Табл. 4.3.2 – Группы свариваемости сталей

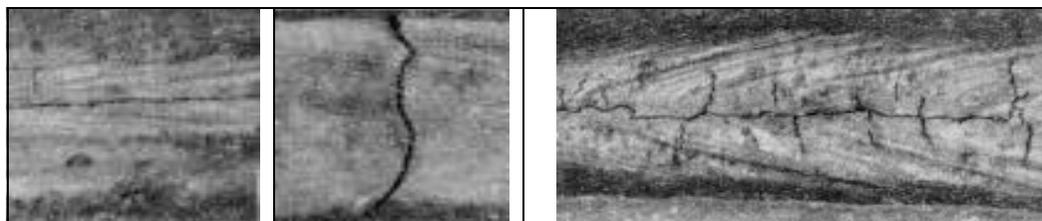
Группа свариваемости	Сэ, %	Марки сталей		
		Углеродистые	Легированные	Высоколегированные
I Хорошая	До 0,25 вкл.	ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, стали 08, 10, 15, 20, 25	15Г, 20Г, 115Х, 15ХА, 20Х, 15ХМ, 20ХГСА, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХСНД	08Х20Н14С2, 20Х23Н18, 08Х18Н10, 12Х18Н9Т, 15Х5
II Удовлетворительная	Свыше 0,25 до 0,35 вкл.	ВСт5, Стали 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 20ХН, 20ХГСА, 30Х, 30ХМ,	30Х13, 12Х17, 25Х13Н2

Группа свариваемости	Сэ, %	Марки сталей		
		Углеродистые	Легированные	Высоколегированные
			25ХГСА	
III Ограниченная	Свыше 0,35 до 0,45 вкл.	ВСт6, Стали 40, 45	35Г, 40Г, 45Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХМФА, 40ХН, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХМ, 20Х2Н4МА	17Х18Н9, 12Х18Н9, 36Х18Н2С2, 40Х9С2
IV Плохая	Свыше 0,45	Стали 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85	50Г, 50Г2, 50Х, 50ХН, 45ХН3МФА, ХГС, 6ХС, 7Х3	40Х10С2М, 40Х13, 95Х18, 40Х14Н14В2М, 40Х10С2М

Табл. 4.3.3 – Условия сварки в зависимости от группы свариваемости

Группа свариваемости	УСЛОВИЯ СВАРКИ
I	Без ограничений, в широком диапазоне режимов сварки независимо от толщины металла, жесткости конструкций, температуры окружающей среды.
II	Сварка только при температуре окружающей среды не ниже – 5 °С, толщине металла не менее 20 мм при отсутствии ветра.
III	Сварка с предварительным или сопутствующим подогревом до 250 °С в жестком диапазоне режимов сварки.
IV	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом, термообработкой после сварки.

Горячие трещины 1300-850°С (при остывании)



продольная

поперечная

Продольная и поперечная

Причины образования

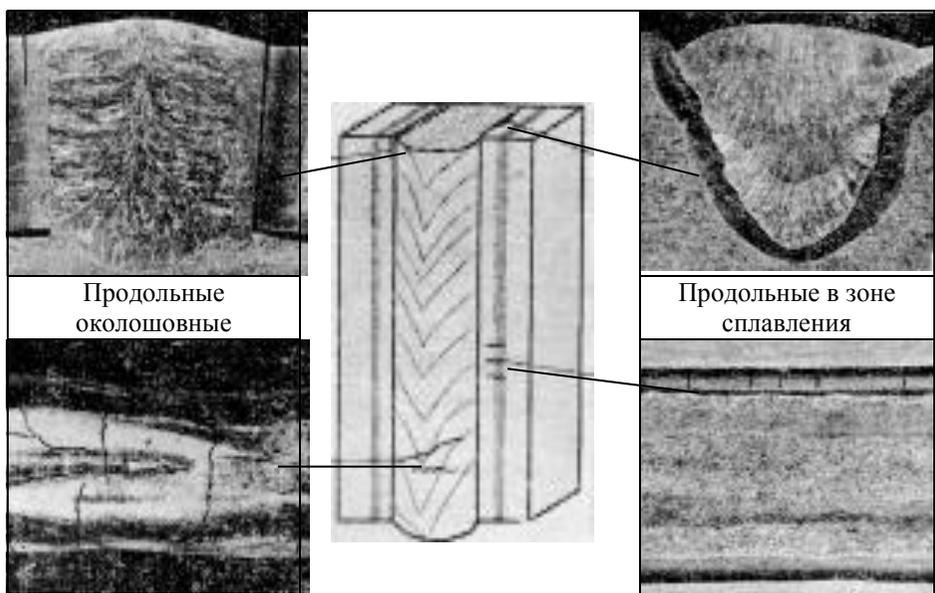
- резкое снижение пластических свойств и развитие растягивающих напряжений;
- повышенное содержание в металле углерода, кремния, никеля, серы, фосфора;
- жёсткое закрепление свариваемых заготовок или повышенная жёсткость самого сварного узла, затрудняющие перемещение заготовок при остывании.

Меры борьбы с горячими трещинами

Для уменьшения склонности металла к образованию горячих трещин применяются следующие меры:

1. используются сварочные материалы с минимальным содержанием серы и углерода, который способствует усилению ликвации серы;
2. повышается содержание в металле шва марганца, который связывает серу и выводит ее в шлак;
3. вводятся в шов модифицирующие элементы (титан, алюминий и др.), способствующие измельчению структуры;
4. производится предварительный и сопутствующий подогрев изделия, который уменьшает величину растягивающих напряжений в сварном шве.
5. Применять широкие швы с небольшим проваром

Холодные трещины (120-150°C)





С целью уменьшения склонности металла к образованию холодных трещин применяются следующие меры:

1. используются сварочные материалы с минимальным содержанием фосфора, придающего стали хладноломкость;
2. применяется прокаливание электродов и флюсов, а также осушка защитных газов с целью удаления влаги, являющейся источником попадания водорода в швов;
3. производится горячая проковка швов после сварки для снятия или уменьшения внутренних напряжений;
4. при необходимости применяется предварительный ил сопутствующий подогрев свариваемых изделий.

Влияние элементов, содержащихся в сталях, на их свариваемость

Углерод. Стали с небольшим содержанием углерода хорошо свариваются всеми видами сварки, на любых режимах. Повышение содержания углерода в стали ведет к увеличению твердости и уменьшению пластичности. Металл в сварном соединении будет закаливаться, что поведет к появлению трещин. Интенсивное окисление углерода во время сварки вызывает образование большого количества газовых пор.

Марганец. В небольшом количестве (в углеродистых сталях обычно 0,3—0,8%) марганец не ухудшает свариваемость и не затрудняет сварку. Будучи хорошим раскислителем, он способствует уменьшению содержания кислорода в стали. При содержании марганца 1,5—2,5% свариваемость ухудшается, так как увеличивается твердость стали, образуются закалочные структуры и могут появиться трещины.

Кремний. В углеродистых сталях кремний содержится в небольшом количестве (0,03—0,35%), вводится как раскислитель и не влияет на свариваемость. При содержании кремния более 4% свариваемость ухудшается, так как образуются тугоплавкие окислы, ведущие к появлению шлаковых включений. В сварном соединении металл приобретает большую прочность и твердость, а вместе с этим и хрупкость.

Хром. В углеродистых сталях содержание хрома не превышает 0,25%, что не отражается на свариваемости. В конструкционных сталях типа 15X, 20X, 3.0X, 40X хрома содержится от 0,7 до 1,1%. При таком содержании хрома твердость увеличивается, а свариваемость ухудшается, особенно с увеличением содержания углерода. Еще более ухудшается свариваемость у сталей, содержащих значительное количество хрома (X5, 1X13, XI7), при сварке образуются тугоплавкие окислы, снижается химическая стойкость стали и образуются закалочные структуры.

Никель. В обычных углеродистых сталях никеля содержится 0,2—0,3%, а в высоколегированных — до 28%. Никель вместе с прочностью повышает и пластичность металла сварного соединения и не ухудшает свариваемость.

Молибден. В теплоустойчивых сталях молибден содержится в количестве 0,2—0,8%; в специальных сталях, предназначенных для работы при высоких температурах, содержание молибдена увеличивается до 2—3%. Молибден в сильной степени увеличивает прочность и ударную вязкость стали, но ухудшает свариваемость, так как вызывает склонность к образованию трещин как в самом шве, так и в переходной зоне.

Ванадий. Ванадий вводится в стали для увеличения прочности; в инструментальных и штамповых сталях его содержание доходит до 1,5%- Ванадий затрудняет сварку, способен сильно окисляться; при сварке требует введения в зону плавления активных раскислителей.

Вольфрам. Как и ванадий, вольфрам содержится в специальных сталях — инструментальных и штамповых — в количестве до 2%. Стали с содержанием вольфрама обладают весьма значительной твердостью и прочностью при высоких температурах. Вольфрам ухудшает свариваемость, сильно окисляется; поэтому сварка сталей, содержащих вольфрам, требует особых приемов.

Титан и ниобий. В высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталях при сварке образуются соединения углерода с хромом — карбиды хрома. Уменьшение содержания хрома по границам зерен ведет к образованию межкристаллитной коррозии и разрушению сварных швов. Для противодействия этому процессу в стали вводят титан или ниобий в количестве 0,5—1%. Титан и ниобий соединяются с углеродом, препятствуя образованию карбидов хрома. Тем самым титан и ниобий улучшают свариваемость стали.

Медь. В сталях, используемых для ответственных конструкций высокой надежности, содержится медь в количестве 0,3—0,8%. Медь улучшает свариваемость, повышая прочность, пластические свойства, ударную вязкость и коррозионную стойкость сталей.

Сера. Сера — вредная примесь в стали, ее повышенное содержание приводит к образованию горячих трещин. Наибольшее допускаемое содержание серы — 0,06%, наименьшее в большинстве легированных сталей — 0,02% (в некоторых —

0,01%).

Фосфор. В сталях содержится сравнительно небольшое количество фосфора в виде фосфидов (химических соединений фосфора с железом). Фосфор — вредная примесь; повышенное содержание фосфора вызывает при сварке появление холодных трещин, следовательно, ухудшает свариваемость. В углеродистых сталях содержание фосфора допускается не более 0,08%.

Кислород, азот и водород. Кислород содержится в сплаве в виде закиси железа, т. е. химического соединения железа с кислородом. Закись железа растворяется в чистом расплавленном железе, причем растворимость ее уменьшается с повышением в стали содержания углерода. Кислород ухудшает свариваемость стали, снижая ее механические свойства: прочность, пластичность, ударную вязкость.

Азот растворяется в расплавленном металле, попадая из окружающего воздуха; при охлаждении сварочной ванны азот образует химические соединения с железом (нитриды железа), которые повышают прочность и твердость стали и значительно снижают пластичность.

Водород — вредная примесь в стали. Водород скапливается в отдельных местах сварного шва, образует газовые пузырьки, вызывает появление пористости и мелких трещин.

Табл. 4.4 – Легирующие элементы и их обозначение

Название элемента	Обозначение по таблице Менделеева	Условное обозначение в марках стали	Название элемента	Обозначение по таблице Менделеева	Условное обозначение в марках стали
Углерод	C	—	Вольфрам	W	В
Марганец	Mn	Г	Медь	Cu	Д
Кремний	Si	С	Алюминий	Al	Ю
Хром	Cr	Х	Бор	B	Р
Никель	Ni	Н	Кобальт	Co	К
Молибден	Mo	М	Титан	Ti	Т
Ванадий	V	Ф	Ниобий	Nb	В

Примечание. Углерод в легированных сталях буквенного обозначения не имеет; содержание его в соотв. долях процента указывается цифрами в начале обозначения; количество легирующего элемента в процентах указывают цифрами после соответствующей буквы; при содержании элемента до 1% цифра не ставится.

Стали, склонные к образованию трещин при сварке в сварном шве и околошовной зоне

1. Низкоуглеродистые и низколегированные:

16ГС, 09Г2С, 17ГС, 10Г2С1, 20К - при ручной сварке деталей толщиной более 36 мм;

14Х2ГМР, 16Г2АФ, 15Г2СФ, 10ХСНД - при ручной сварке или толщине более 10 мм.

2. Теплостойкие хромомолибденовые и хромистые: 12ХМ, 15ХМ, 12М, 12Х1МФ, 1Х2М1, 1 5Х5, 1 5Х5МУ, 15Х5ВФ, 1 2Х8ВФ, ХЭМ, Х8.

3. Аустенитные коррозионностойкие стали и сплавы без ферритной фазы: 02Х8Н22С6, 03Х19АГ3Н10, 03Х21Н21М4ГБ, 03Х17Н14М3, 08Х17Н15М3Г, 08Х18Н12Б, 10Х14Г14Н4Т, 06ХН28МДТ, 03ХН28МТД, ХН32Т, ХН78Т - при толщине 10 мм и более.

4. Высокохромистые ферритные коррозионностойкие: 08Х13, 08Х17Т, 15Х25Т - при толщине более 10 мм; 20Х13.

5. Двухслойные коррозионностойкие стали - переходной шов (термин определен РТМ 26-168-81).

Примечание: в соединениях элементов разной толщины склонность к трещинам определяется элементом большей толщины.

Вопросы самоконтроля:

1. Что называют первичной и вторичной кристаллизацией шва?
2. Что такое зона термического влияния (ЗТВ), из каких участков она состоит?
3. Что такое свариваемость металлов?
4. Как определяется свариваемость? Четыре группы свариваемости.
5. Причины образования горячих и холодных трещин.
6. Меры борьбы с горячими и холодными трещинами.

Литература: 8, 10, 17.

Раздел 5. Сварочные напряжения и деформации

Тема 5.1 Причины возникновения сварочных напряжений и деформаций. Классификация напряжений и деформаций

Классификация напряжений, возникающих при сварке, может быть произведена по следующим признакам:

1. В зависимости от базы уравнивания (т. е. от объема той области металла, которую напряжения охватывают) внутренние, так называемые собственные, напряжения могут быть разделены на три категории: первого, второго и третьего рода.

Если напряжения действуют и уравниваются в крупных объемах, соизмеримых с размерами изделия или отдельных его частей, то их принято называть напряжениями первого рода. С такими напряжениями приходится встречаться в сварных судовых и машиностроительных конструкциях из простой малоуглеродистой стали (они и являются основным объектом изучения в настоящем курсе). Направление этих напряжений обычно связывают с геометрической формой

изделия или направлением шва и соответственно напряжения называют продольными, поперечными и т. д. Напряжения, действующие и уравнивающиеся в пределах одного или нескольких кристаллов (зерен) металла, называют микроскопическими, или напряжениями второго рода. Напряжения второго рода не имеют определенной ориентировки относительно осей изделия.

Напряжения, действующие между элементами (ячейками) кристаллической решетки металла, называются ультрамикроскопическими, или напряжениями третьего рода. Они также не ориентированы относительно осей изделия или шва. При практическом изучении сварки и сварных конструкций основное внимание уделяется напряжениям первого и частично второго рода, которые чаще встречаются и проявляются, а поэтому относительно лучше и полнее изучены.

2. В зависимости от периода действия сварочные напряжения разделяются на временные, которые называют также тепловыми, или температурными, и остаточные.

Температурные напряжения в детали (системе) возникают при неравномерном распределении температуры по детали вследствие различия в степени расширения нагреваемых участков. После выравнивания температур различных участков системы температурные напряжения исчезают или же переходят в остаточные. Остаточными называются напряжения, сохраняющиеся в детали (системе) после окончания той или иной технологической операции.

Остаточные напряжения при сварке часто называют усадочными -от слова «усадка», т. е. сокращение объема при переходе металла (имеется в виду металл шва) из жидкого в твердое состояние. Это название следует признать весьма условным и не определяющим истинную причину возникновения напряжений. Усадочными явлениями иногда именуют всю совокупность деформирования конструкций и накопления в них напряжений под влиянием процесса сварки.

3. Напряжения первого рода от сварки в зависимости от обстоятельств их возникновения можно условно разделить на сварочные и реактивные. Сварочные напряжения возникают в самом шве от воздействия одних участков шва на другие и в других частях свободной конструкции от сокращения свариваемых швов. Сварочные напряжения, возникающие в зоне одного данного шва, назовем собственными сварочными (иногда их называют также активными напряжениями). Напряжения, возникающие в различных участках конструкции, свободной от внешних связей, а также в других швах в результате сварки данного шва, называют реактивными сварочными.

Кроме того, различают напряжения реактивные от внешних связей, когда конструкция сваривается при закреплении во внешнем контуре. Заметим, что в целой конструкции деление напряжений первого рода на сварочные и реактивные, строго говоря, условно. По существу, собственные сварочные напряжения, возникающие во всяком заваренном участке сварного шва, сами обусловлены противодействием холодных частей и предыдущих участков того же шва, т. е. их реакцией.

Однако, рассматривая сварную конструкцию в целом, необходимо выделить отдельные виды напряжений, чтобы производить их количественную оценку и находить причины возникновения.

4. В зависимости от пространственного расположения напряжений первого рода в изделии напряженное состояние может быть: линейным (одноосным), плоским (двухосным) или объемным (трехосным). При этом делении предполагается, что компоненты напряжений, направленные соответственно по двум или трем осям, соизмеримы между собой.

5. Относительно направления шва или линии нагрева напряжения разделяются на продольные, действующие параллельно шву или линии нагрева, и поперечные, действующие перпендикулярно этим линиям.

6. Сварочные напряжения в зависимости от причин их возникновения разделяются на две группы: тепловые и структурные. Тепловые напряжения первого и второго рода возникают только вследствие расширения нагретых волокон металла. Структурные напряжения возникают в дополнение к тепловым, так как при переходе некоторых металлов (во время нагрева или охлаждения) из одного структурного состояния в другое объем кристаллов изменяется. Например, вследствие того, что мартенсит менее плотен, чем аустенит, распад аустенита у легированных сталей сопровождается расширением того участка, в котором появляется мартенсит, и образованием напряжений. Классифицировать сварочные деформации сложнее, так как даже при сварке простейших элементов приходится иметь дело со сложной деформацией, происходящей одновременно в нескольких направлениях.

Деформации могут происходить по двум причинам:

1) из-за внешнего силового воздействия, под влиянием которого элемент испытывает, например, растяжение, сжатие или другой вид напряженного состояния, приводящего к смещению одних частиц элемента относительно других;

2) из-за изменения внутреннего температурного состояния элемента (степени нагрева). При повышении температуры элемент расширяется (его в это время ничто не растягивает), а при понижении температуры сокращается. Разграничение этих понятий (растяжения, расширения, сжатия и сокращения) важно для дальнейшего изложения.

Следует различать два вида деформаций по причинам возникновения и характеру проявления:

1) внутренние деформации, происходящие на отдельных участках элемента, но удовлетворяющие условию сплошности тела;

2) внешнее формоизменение, которое может быть весьма разнообразным.

Внутренние деформации имеют место, например, при нагреве участка внутри жесткой конструкции. Форма конструкции от этого нагрева не изменится, но некоторые частицы внутри конструкции от расширения сместятся одни относительно других.

Внешнее формоизменение наблюдается или при нагреве свободного от связей элемента, или же при приложении к нему внешних сил; при этом наружные контуры детали смещаются одни относительно других.

Вид деформации (или одновременное проявление обоих видов) зависит от причины возникновения деформаций и от условий закрепления тела или его частей (элементов).

Внутренние деформации можно (в первом приближении) считать связанными с возникающими напряжениями по известным уравнениям теории упругости и теории пластичности. Однако, поскольку при сварке происходит изменение механических свойств материала в очень широких пределах, то зависимость между напряжениями и внутренними деформациями оказывается значительно более сложной. Внутренние деформации по своей величине и обратимости могут быть разделены на упругие и пластические, как это вытекает из физических свойств свариваемых металлов.

Формоизменение может быть выражено сокращением, изгибом кручением или угловым искажением всей конструкции или ее участков. Этот вид сварочных деформаций принято разделять на местные деформации, т. е. относящиеся к отдельно элементу или участку конструкции, и общие, относящиеся к целой конструкции на всем ее протяжении. Соответственно говорят, например, «общие деформации изгиба», «местные угловые деформации» и т. д. Внешнее формоизменение конструкции может происходить без возникновения внутренних напряжений в случае, если элементы перемещаются свободно, не встречая препятствий.

В практике изготовления металлических конструкций из листового и профильного материала внешнее формоизменение принято разделять на деформации в плоскости элемента и деформации с отклонением из плоскости, которые обобщают словом «коробление». Деформации в плоскости листов могут быть разделены на продольные и поперечные укорочения и деформации изгиба, в зависимости от направления их относительно шва или линии прогрева. Деформации из плоскости проявляются в виде общего изгиба элементов или в виде «угловых деформаций», т. е. местных слов на листах, поперечных или продольных волн и выпучин.

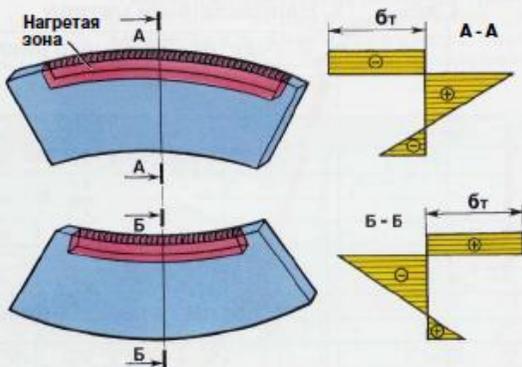
НАПРЯЖЕНИЯ и ДЕФОРМАЦИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИЙ

- неравномерный нагрев металла
- литейная усадка расплавленного металла
- изменения в структуре металла

При наплавке валика на кромку полосы валик и нагретая часть полосы расширяются и растягивают холодную часть полосы, создавая в ней растяжение с изгибом. Сам же валик и нагретая часть полосы будут сжаты, поскольку их тепловому расширению препятствует холодная часть полосы. Полоса прогнется выпуклостью вверх. При остывании валик и нагретая часть полосы, претерпев пластическую деформацию, будут укорачиваться, но этому снова воспрепятствуют слои холодного металла. Валик и нагретая часть полосы будут стягивать верхние волокна, и полоса прогнется выпуклостью вниз.

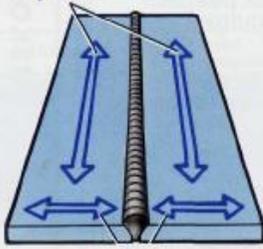
НЕРАВНОМЕРНЫЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛА



от - напряжение текучести, ⊕ - растяжение, ⊖ - сжатие

ЛИТЕЙНАЯ УСАДКА РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

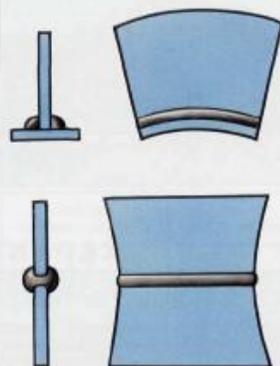
Продольные напряжения



Поперечные напряжения

Усадка происходит при остывании металла. Металл становится более плотным, его объем уменьшается, и в сварном соединении возникают внутренние напряжения. Из-за продольных напряжений изделие коробится в продольном направлении, а поперечные приводят, как правило, к угловым деформациям-короблению в сторону большего объема расплавленного металла

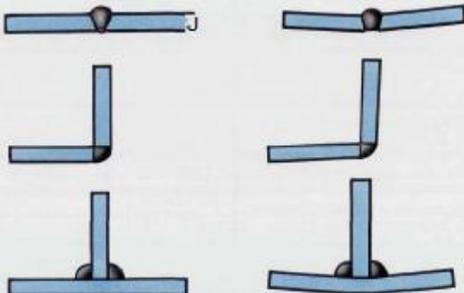
ДЕФОРМАЦИИ ОТ ПРОДОЛЬНОЙ УСАДКИ



ДЕФОРМАЦИИ ОТ ПОПЕРЕЧНОЙ УСАДКИ

ДО СВАРКИ

ПОСЛЕ СВАРКИ



Литература: 8, 19.

Тема 5.2 Способы борьбы с напряжением и деформациями. Исправления деформированных конструкций

Напряжения и деформации можно уменьшить следующими мероприятиями:

- предотвращение возникновения напряжений и деформаций;
- снятие возникших напряжений и исправление деформаций.

К мероприятиям первой группы относятся технологические приемы сварки, сборки конструкций перед сваркой, применение методов обратной деформации, уравнивание деформаций, выбор рациональной технологии сварки.

Выполнение указанных мероприятий зависит от рационального проектирования конструкции, ее технологичности и от применяемых материалов.

Второй группой мероприятий являются технологические приемы правки отдельных узлов и всей конструкции, термическая и механическая обработка швов и конструкции.

Технологичность конструкции означает, что при ее разработке изделие комплектуют из отдельных сварных узлов и подузлов с целью уменьшения сварочных напряжений и деформаций.

В отдельных сварных узлах должны предусматриваться сварные швы с наименьшим объемом наплавленного металла, при этом в местах, подвергающихся растяжению, ударным и вибрационным нагрузкам, не следует допускать концентрации и пересечений сварных швов. Не нужно допускать применения различных вставок, косынок и накладок, создающих замкнутые контуры, а также резких переходов сечений швов. Должны предусматриваться стыковые соединения как наиболее технологичные. Швы прерывистые большого сечения нужно заменять на сплошные меньшего сечения.

Рациональная технология сборки частей конструкции под сварку должна предусматривать технологические приемы соединения частей конструкции таким образом, чтобы после сварочных работ напряжения и деформации в конструкции были минимальными. Для этого производится разбивка конструкции на узлы с наименьшей концентрацией сварных швов, сборка конструкции с обратным прогибом или обратной деформацией (рис. 5.2).

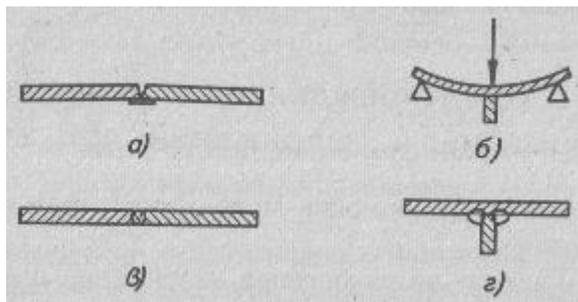


Рис. 5.2 Методы подготовки конструкции к сварке:

а — обратный прогиб; б — обратная деформация; в и г — конструкции после сварки

Технология сварки должна предусматривать рациональный порядок наложения швов по длине и сечению, выбор необходимых типов электродов и тепловых режимов, дающих наиболее пластичный наплавленный металл.

Режим сварки должен выбираться в зависимости от свойств свариваемого металла, атмосферных условий и конструкции свариваемого изделия. При изготовлении листовых, цилиндрических конструкций и балок необходимо производить сварку таким образом, чтобы было минимальным количество швов, создающих жесткие контуры в конструкции, и сваривать их нужно в последнюю очередь. При этом сначала сваривают все поперечные швы подузлов, а потом соединяют подузлы продольными или кольцевыми швами в сварную конструкцию.

Способ уравнивания деформаций заключается в том, что технологией определяется последовательность наложения швов для уменьшения суммарной деформации.

При сварке сталей, способных к закалке, и сварке при низких температурах можно применять предварительный или сопутствующий нагрев околошовной зоны или всего изделия. Температура нагрева определяется свойствами свариваемых металлов.

Снятие возникших напряжений в сварном изделии и исправление деформаций производятся после окончания сварочных работ.

Для этого можно применять различные механические способы: послойная проковка сварных швов тупым зубилом, холодная и горячая правка сварных изделий домкратами, прессами и молотами, кувалдой.

При горячей правке нагрев может производиться сварочными горелками по выпуклой стороне изделия до температуры пластического состояния.

Устранение внутренних напряжений в сварной конструкции осуществляется различными способами термической обработки.

Способами термической обработки являются полный отжиг, нормализация, низкий отжиг или высокий отпуск. Отпуск бывает трёх типов: низкий, средний и высокий.

Вопросы самоконтроля:

1. Каковы причины возникновения сварочных напряжений и деформаций?
2. Виды деформаций.
3. Какие конструктивные методы снижения напряжений и деформаций в сварных конструкциях.
4. Технологические способы снятия напряжений и деформаций.

Литература: 8, 19.

Раздел 6. Технология электрической сварки плавлением низкоуглеродистых сталей

Тема 6.1 Сварные соединения и швы ГОСТ 2.312-72

1.1. Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают:

видимый - сплошной основной линией (черт. б.1а, в);

невидимый - штриховой линией (черт. 6.1г).

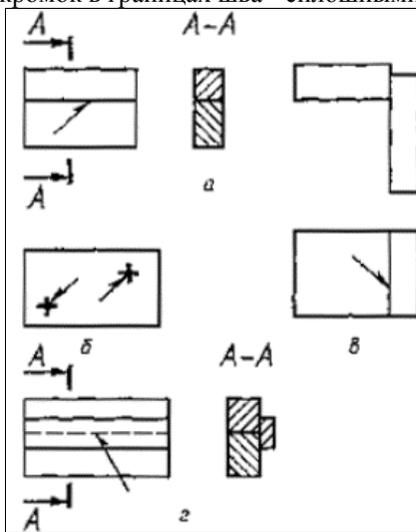
Видимую одиночную сварную точку, независимо от способа сварки, условно изображают знаком «+» (черт. 6.1б), который выполняют сплошными линиями (черт. 6.2). Невидимые одиночные точки не изображают.

От изображения шва или одиночной точки проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой (см. [черт. 6.1](#)). Линию-выноску предпочтительно проводить от изображения видимого шва.

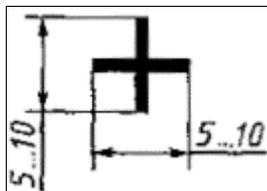
1.2. На изображение сечения многопроходного шва допускается наносить контуры отдельных проходов, при этом их необходимо обозначать прописными буквами русского алфавита ([черт. 6.3](#)).

1.3. Шов, размеры конструктивных элементов которого стандартами не установлены (нестандартный шов), изображают с указанием размеров конструктивных элементов, необходимых для выполнения шва по данному чертежу ([черт. 6.4](#)).

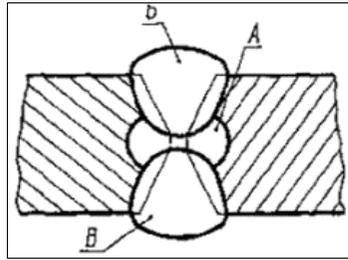
Границы шва изображают сплошными основными линиями, а конструктивные элементы кромок в границах шва - сплошными тонкими линиями.



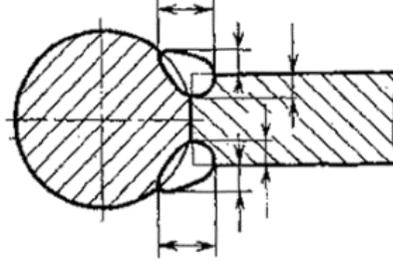
Черт. 6.1



Черт. 6.2



Черт. 6.3

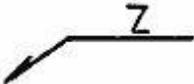
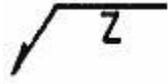
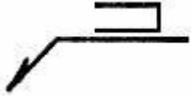


Черт. 6.4

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в табл.6.1.

Табл. 6.1 – Вспомогательные знаки для обозначения

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии-выноски, проведенной от изображения шва	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Усиление шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии 60°		

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии-выноски, проведенной от изображения шва	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии. Диаметр знака - 3...5 мм		
	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа		

Примечания:

1. За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку.
2. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва.
3. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

В условном обозначении шва вспомогательные знаки выполняют сплошными тонкими линиями. Вспомогательные знаки должны быть одинаковой высоты с цифрами, входящими в обозначение шва.

Табл. 6.2 – Типы швов сварных соединений и их условные обозначения

ГОСТ	Виды сварки	Вид соединения	Пределы толщин свариваемых деталей, мм	Условные обозначения Швов
5264-80	Ручная дуговая	Стыковое Тавровое Нахлесточное Угловое	1...100 2...100 2...60 1...50	C1-C25 T1-T11 H1-H3 Y1-Y10
8713-79	Автоматическая и полуавтоматическая под флюсом	Стыковое Тавровое Нахлесточное Угловое	1,5...160 3...60 1...40 1,5...40	C1-C34 T1-T13 H1-H6 Y1-Y10
14771-76	В защитных газах	Стыковое Тавровое Нахлесточное Угловое	0,5...120 0,8...100 0,8...60 0,5...100	C1-C28 T1-T10 H1-H2 Y1-Y10
15164-78	Электрошлаковая	Стыковое	16...800	C1-C3

ГОСТ	Виды сварки	Вид соединения	Пределы толщин свариваемых деталей, мм	Условные обозначения Швов
		Тавровое	16...500	T1-T3
14776-79	Проплавное пробочное	Нахлесточное	0,5...22	H1-H6
15878-79	Контактная	Стыковое Нахлесточное	- 0,3...6	C1-C4 H1-H8

Вопросы самоконтроля:

1. Что называется сварным соединением?
2. Назовите основные виды сварных соединений.
3. Перечислите конструктивные элементы сварочных кромок и геометрической формы сварных швов. Укажите их влияние на качество сварного шва.
4. Классификация швов по положению в пространстве.
5. Расшифровать обозначение шва по ГОСТ 2.312 – 72
T1 - Δ5 – 50/100 –] – ω

Литература:27.

Тема 6. 2 Технология ручной дуговой сварки плавящимися покрытыми электродами

1. **Правка.** Правку производят вручную на правильных плитах ударами кувалды; на правильных прессах и листопрямительных вальцах (листовые заготовки). Правка обеспечивает точное совмещение кромок свариваемых заготовок, отсутствие перекосов, искривления осей и зазоров (в нахлесточных соединениях).

2. **Очистка.** В зависимости от назначения сварной конструкции, состояния и степени загрязненности кромок свариваемого металла, характера производства (индивидуальное, серийное, массовое), марки стали и других факторов применяют следующие способы очистки: а) ручными и механическими (вращающимися) стальными проволочными щетками; б) абразивными кругами; в) пескоструйным и дробеструйным способами; г) травлением раствором серной кислоты с последующей промывкой водой и нейтрализацией щелочью (10%-ный раствор кислоты и 5%-ный раствор кальцинированной соды); д) пламенем многофакельной газовой горелки с охлаждением водой (удаление окалины); е) промывкой растворителями (Уайт-спирит, дихлорэтан, спирт, бензин).

3. **Обработка кромок.** Обработку кромок свариваемых заготовок или деталей выполняют кислородной, плазменной, лазерной и механической резкой. При толщине металла более 6—8 мм производят скос кромок; кислородная резка позволяет совмещать операцию резки с операцией скоса кромок. Строжка кромок после огневой резки производится для улучшения поверхности реза. В скошенных кромках оставляется притупление для предотвращения прожогов. На рис.46 приведены некоторые виды подготовки кромок свариваемых заготовок; в

зависимости от вида сварного соединения, толщины металла, требований, предъявляемых к шву, выбирают тот или иной вид подготовки кромок (ГОСТ 5264—69, ГОСТ 11534—75).

4. Сборка. Применяют несколько способов сборки: а) сборка узла или конструкции в целом из всех деталей, входящих в них; при этом производят прихватку собранных деталей или полностью сварку; б) сборка с последовательным присоединением деталей (если нельзя применить первый способ); в) сборка конструкции из предварительно собранных (а иногда и сваренных) узлов. Последний способ применяют при изготовлении сложных и многостальных конструкций (корпуса судов, вагоны, каркасные строения). При сборке используют разнообразные приспособления, обеспечивающие точность размеров конструкции и значительно повышающие производительность сборочно-сварочных работ. Собранные детали скрепляют прихватками — короткими однослойными швами длиной от 20 до 100 мм и сечением от 1/3 до 1/2 полного сечения шва; расстояния между прихватками зависят от формы и размеров узла; в крупных узлах и конструкциях расстояние между прихватками 500—1000 мм (следует помнить, что прихватка — не рабочее соединение и узел, собранный на прихватках, нельзя подвергать нагрузкам).

Форма и размеры шва в основном определяются режимом сварки.

Под режимом понимают совокупность параметров (показателей), определяющих условия протекания процесса сварки. При ручной дуговой сварке основными параметрами режима являются: диаметр электрода, мм; величина тока, А; род и полярность тока.

Выбор диаметра электрода при сварке в нижнем положении производят, руководствуясь следующими данными:

Толщина металла, мм	0,5—1,5	1,5—3	3—5	6—8	9—12	13—20
Диаметр электрода, мм	1,5—2	2—3	3—4	4—5	4—6	5—6

При сварке в вертикальном положении не следует выбирать электроды диаметром более 5 мм; при сварке в потолочном и горизонтальном на вертикальной плоскости положениях не рекомендуется использовать электроды диаметром более 4 мм.

Величина сварочного тока может быть ориентировочно определена по опытной формуле

$$I_{св} = K * d_{эл},$$

где

K — коэффициент, зависящий от диаметра электрода и вида покрытия;

$d_{эл}$ — диаметр электрода, мм.

$d_{эл}$, мм	1—2	3—4	5—6
K , А/мм	25—30	30—45	45—60

Повышенные значения коэффициента K принимают при сварке в нижнем положении; пониженные значения K — при сварке в вертикальном, горизонтальном на вертикальной плоскости и потолочном положениях. Например, при выполнении

вертикальных швов сварочный ток по сравнению с нижним положением уменьшают на 10—15%, при потолочном — на 15—20%.

Вопросы самоконтроля:

1. Какие основные операции технологического процесса ручной сварки?
2. В чём состоит подготовка металла под сварку?
3. Назвать основные элементы сварного соединения и их наибольшую роль.
4. Для чего делают прихватки и как они выполняются?
5. Назвать основные параметры режима ручной дуговой сварки.
6. Техника сварки швов в различных пространственных положениях.
7. Как выполняется сварка швов разной протяженности?
8. Способы сварки тонколистового металла и металла большой толщины.

Литература: 9, 14.

Тема 6.3 Технология сварки под слоем флюса

В строительной и промышленной сфере для соединения металлов сегодня активно применяют сварку под флюсом. Высокая популярность данной технологии объясняется теми преимуществами, которыми она обладает.

ГОСТ 8713-79 о сварке под флюсом

Сварка, в которой зона расплавленного металла защищается флюсом, была изобретена достаточно давно – в XIX веке. Разработал данную технологию Н. Славянов, а первый автоматизированный сварочный аппарат для ее реализации и практические основы выполнения были созданы уже в 1927 году Д. Дульчевским. Практически сразу же после этого автоматическая сварка под флюсом стала активно внедряться в производственные процессы на крупных отечественных промышленных и строительных предприятиях.

Вопросами совершенствования метода и техники для его практической реализации занимались ведущие исследовательские институты Советского Союза: Институт электросварочных агрегатов Советского Союза, ЦНИИ Тяжелого машиностроения, Институт имени Е.О. Патона и др.

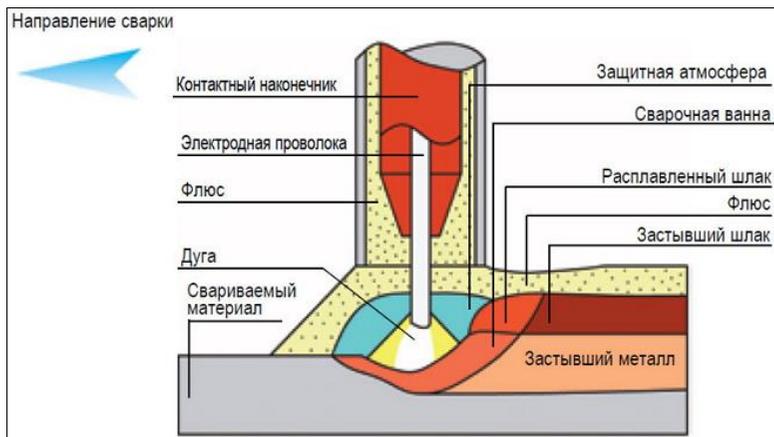


Рис. 6.3 - Схема сварки под слоем флюса

Технология автоматической сварки под флюсом детально регламентируется ГОСТ 8713-79. Там же приведена классификация способов сварки под защитным слоем флюса, которые могут использоваться для соединения сталей и сплавов, имеющих никелевую и железоникелевую основу. ГОСТ 8713-79 выделяет два таких способа: механизированная и автоматическая сварка под слоем флюса. А эти разновидности делятся на следующие подвиды:

1. механизированные: выполняемые на весу (МФ), с предварительно выполненным подварочным швом (МФш), с использованием остающейся подкладки (МФо);
2. автоматические: выполняемые на подкладке (АФо) и с использованием флюсовой подушки (АФф), с выполнением предварительной подварки корня шва (АФк), с применением так называемого медного ползуна (АФп), выполняемые на весу (АФ), с выполнением предварительного подварочного шва (АФш), сварка на флюсомедной подкладке (АФм).

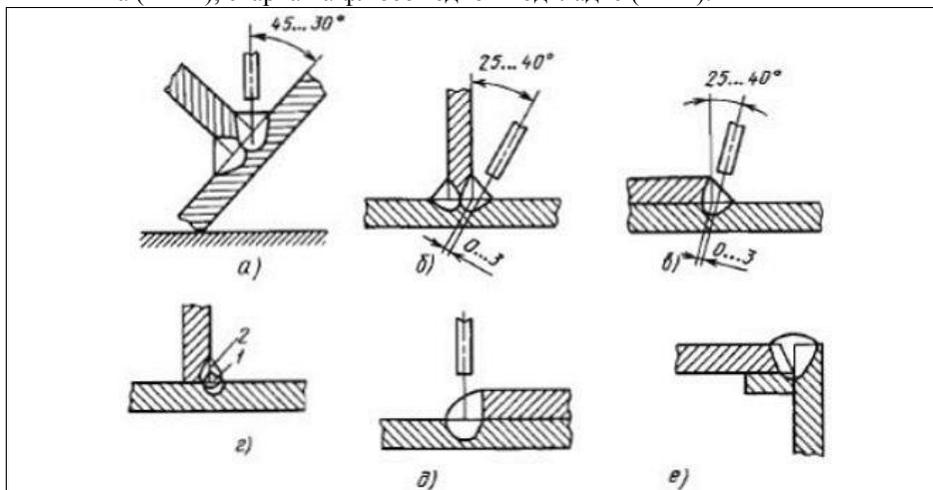


Рис. 6.4 - Некоторые виды швов, применяемых при сварке под флюсом

ГОСТ 11533-75 перечисляет требования, предъявляемые к автоматическим и полуавтоматическим способам сварки под слоем флюса деталей, которые изготовлены из углеродистых и низколегированных сталей. К таким способам сварки относят:

- дуговую полуавтоматическую сварку, выполняемую с использованием стальной подкладки (Пс); сварку полуавтоматического типа (П) и полуавтоматическую с подварочным швом (Ппш);
- автоматическую сварку, выполняемую с предварительным подварочным швом (Апш);
- автоматическую сварку под флюсом, выполняемую на специальной стальной подкладке.

Автоматические и механизированные виды сварки под слоем флюса отличаются от традиционной технологии тем, что дуга при ее выполнении горит не в открытом воздухе, а под слоем сыпучего вещества с рядом специальных свойств, которое называется флюсом. В момент зажигания сварочной дуги одновременно начинают плавиться металл детали и электрода, а также используемый флюс. В результате испарений металла и флюса, образующихся в зоне сварки, формируется газовая полость, которая и наполнена образовавшимися парами, смешанными со сварочными газами.



Рис. 6.5- Пример внешнего вида шва после сварки под слоем флюса

Полость, образующаяся при такой сварке, в своей верхней части ограничена слоем расплавленного флюса, который выполняет не только защитную функцию. Расплавленный металл электрода и свариваемой детали, взаимодействуя с флюсом, проходит металлургическую обработку, что способствует получению шва высокого качества.

При удалении дуги от определенной зоны сварки расплавленный флюс застывает, образуя твердую корку на готовом шве, которая легко удаляется после

остывания изделия. Если выполняется автоматическая сварка под флюсом, то неизрасходованный флюс собирается с поверхности детали при помощи специального всасывающего устройства, которым оснащено автоматизированное оборудование.

Сварка под слоем флюса, выполняемая как механизированным, так и автоматизированным способом, обладает целым рядом весомых преимуществ.

- Процесс можно осуществлять с использованием токов значительной величины. Как правило, сила тока при выполнении такой сварки ориентировочно находится в пределах 1000–2000 Ампер, хотя вполне можно довести это значение и до 4000 А. Для сравнения: обычную дуговую сварку выполняют при силе тока не больше 600 А, дальнейшее увеличение силы тока приводит к сильному разбрызгиванию металла и невозможности сформировать сварочный шов. Между тем увеличение силы тока позволяет не только значительно ускорить процесс сварки, но и получить сварное соединение высокого качества и надежности.
- При сварке, выполняемой под слоем флюса, формируется закрытая дуга, которая расплавляет металл детали на большую глубину. Благодаря этому кромки свариваемой детали можно даже не подготавливать для их лучшей свариваемости.
- Поскольку режимы сварки под слоем флюса предполагают использование тока большой силы, скорость процесса значительно увеличивается. Если сравнивать скорость сварки, выполняемой под слоем флюса, которая измеряется в длине шва, получаемого за определенный промежуток времени, то она может в 10 раз превышать аналогичный параметр обычной дуговой сварки.
- Так называемый газовый пузырь, формируемый при выполнении сварки под защитным слоем флюса, препятствует разбрызгиванию металла, что предоставляет возможность получать сварочные швы высокого качества. Кроме того, это значительно снижает потери электродного металла, которые составляют максимум 2% от массы расплавленного материала. Экономится в таком случае не только электродный материал, но и электрическая энергия.



Рис. 6.6 - Общая схема дуговой сварки под флюсом

Выбор режима сварки, выполняемой под слоем флюса, осуществляется по следующим основным параметрам:

- диаметр используемой электродной проволоки;
- род тока и его полярность;
- скорость, с которой выполняется сварка;
- напряжение для формирования сварочной дуги.

Дополнительными параметрами, влияющими на определение режима сварки под флюсом, являются:

- размер частиц, состав и плотность используемого флюса;
- значение вылета электродной проволоки;
- параметр, определяющий, как электрод и свариваемая деталь располагаются относительно друг друга.

Вопросы самоконтроля:

1. В чём заключается сущность сварки под флюсом и в чём её преимущества?
2. По каким признакам классифицируются флюсы и какие требования предъявляются к ним?
3. Перечислить основные параметры режима сварки под флюсом.

Литература: 14, 17.

Тема 6.4 Технология сварки в среде защитных газов

Изделия подготавливают к сварке так же, как при ручной электродуговой сварке или сварке под флюсом. На качество сварки влияет тщательная очистка кромок от грязи, масла, ржавчины, окалины и остатков грата после кислородной резки. В ответственных конструкциях из высоколегированных сталей, особенно требующих вакуумно-плотных швов, производится промывка кромок растворителями: спиртом, бензином, ацетоном и пр.

Перед сваркой кислотостойких сталей поверхность изделий по обе стороны от шва предохраняют от забрызгивания ее каплями расплавленного металла. Для этого ее покрывают водным раствором мела или каолина.

Для защиты обратной стороны шва от окисления необходимо предусмотреть подачу газа или подкладку.

Для сварки тонкостенных трубопроводов (угольным электродом в углекислом газе) стыки можно собирать с присадочной шайбой. Толстостенные трубы для сварки при вертикальном положении оси трубы подготавливают со скосом одной кромки.

Свою популярность сварка в среде защитных газов получила благодаря своим **положительным качествам**, среди которых стоит отметить следующие:

1. Качество соединения существенно превосходит многие другие способы сварки;
2. Некоторые виды защитных газов имеют относительно невысокую стоимость;
3. Освоение данной методики для сварщиков, которые уже обладают опытом работы, не составляет большого труда;
4. Соединение может происходить как на малых толщинах, так и для более толстых деталей;
5. Сварка получает высокий уровень производительности;
6. Работа с нержавеющей сталью, алюминием, медью и прочими цветными металлами и их сплавами уже не вызывает большого труда, так как благодаря газовой защите,

многие проблемы с ними решились.

Недостатки сварки в защитных газах оказываются не столь существенными, как преимущества, но все же имеются:

1. Ветер может сдувать защитный газ, который выходит с горелки, что в итоге лишает сварку основного преимущества;
2. Применение в закрытых помещениях, где нет проветривания, также не рекомендуется, так как это связано с риском взрыва и загазованности помещения;
3. Подготовка полуавтомата занимает много времени, так что его применяют только для серьезных работ;
4. Такие газы как аргон обладают высокой стоимостью и некоторые швы оказывается делать не выгодно с экономической точки зрения.

Среди современного разнообразия методик, данный тип сварки занимает уверенное место. Соотношение стоимости получения шва, его качества и простоты применения является одними из лучших на сегодняшний день.

Режимы

Для сварки в защитном газе применяют чаще всего инверторные полуавтоматы. Они выступают в качестве основного источника питания и регулируют параметры выходного тока и напряжения. Диапазон регулировки зависит от конкретной модели. Но если брать стандартные параметры соединения, когда не нужно работать со сверхвысокой толщиной, то с ней может справиться практически любой аппарат. Помимо этого к основным параметрам, влияющим на режим, входит расход газа и скорость подачи проволоки. Здесь приведены стандартные данные для полуавтоматов:

Толщина, мм	Диаметр проволоки, мм	Величина тока, А	Напряжение, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа
1,5	0,8	120	19	150	6
1,7	1	150	20	200	7
2	1,2	170	21	250	10
3	1,4	200	22	490	12
4-5	1,6	250	25	680	14
6 и более	1,6	300	30	700	16

Технология сварки

Сварка в защитных газах оказывается весьма эффективной, но для достижения высокопоставленных результатов нужно точно придерживаться технологии. Технология сварки в защитных газах имеет ряд отличий от других способов, что сказывается на технологии ее проведения.

В самом начале идет подготовка металла под сварку. После этого идет подключение и настройка оборудования, чтобы оно соответствовало требуемым режимам сваривания. Дальнейшим этапом будет розжиг дуги, который производится одновременно с подпаливанием пламени горелки.

«Важно! Если процедура сваривания требует предварительного подогрева, то стоит включить горелку заранее и прогреть ею заготовку».

После того, как сварочная ванна начала образовываться вокруг электрической дуги, можно подавать проволоку. Для этого используется специальное

механизированное устройство, которое позволяет обеспечить подачу с постоянной скоростью. Это удобно, когда нужно сделать длинный шов, не разрывая дуги. Неплавкий электрод позволяет поддерживать дугу максимально длительный период времени.

При использовании постоянного тока, сварка производится на обратной полярности. В данном случае сокращается вероятность разбрызгивания, но увеличивается расход металла. Дело в том, что коэффициент наплавления в данном случае будет значительно снижен. При прямой полярности он оказывается в 1,5 раза выше. Ведение ванны желательно осуществлять слева направо, чтобы специалист мог видеть, как формируется шов, а не действовать вслепую. Все манипуляции осуществляются по направлению к себе.

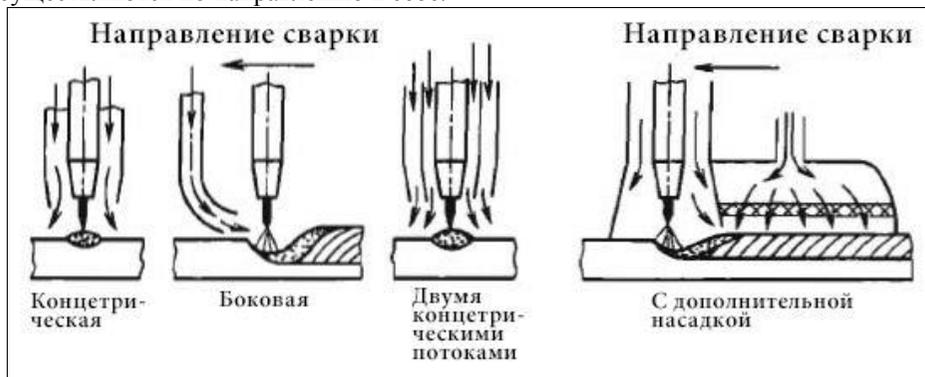


Рис. 6.4. Схема подачи газа при наплавлении

Формирование шва происходит просто, так что мастеру нужно только ровно вести аппарат на одинаковой скорости. При хорошо настроенном механизме подачи так можно провести до самого конца шва. После отрыва дуги, который должен совершаться по направлению обратному, куда шел шов, может потребоваться дополнительное прогревание.

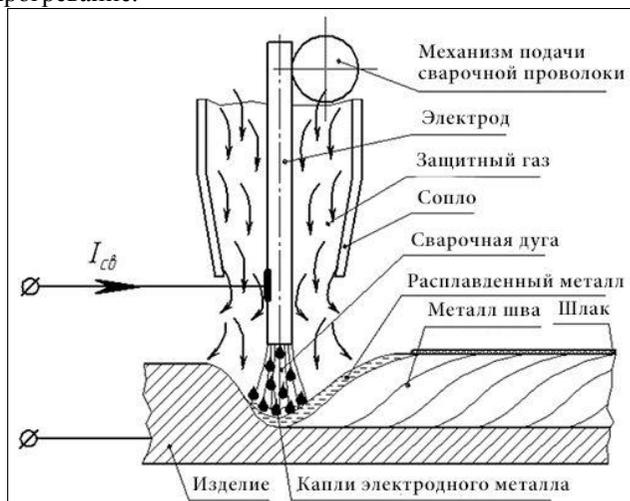


Рис. 6.5. Схема сварки в среде защитных газов

Используемые защитные газы

Защитный [газ для сварки полуавтоматом](#) подбирается для каждого случая в отдельности, так как у всех них свои свойства. Есть, конечно же, и универсальные газы, но везде есть особенности применения.

[Аргон](#) является как раз тем самым универсальным вариантом. Он отличается более высокой стоимостью и высоким уровнем защиты, которые существенно превосходят остальных. Это инертный газ, создающий непроницаемую оболочку. Он оказывается вреден для здоровья при использовании, так что здесь обязательно нужно использовать средства индивидуальной защиты.

Азот также дает защитную среду во время сварки таких металлов как золото и медь. Механизированное соединение металлических изделий в среде азота обходится относительно недорого и при этом обладает высокими прочностными характеристиками. Газ без запаха и цвета, а также не взрывоопасен.

Углекислота очень часто используется в качестве защитного газа. Она обладает невысокой стоимостью и хорошо подходит для сварки сталей со средним и низким содержанием углерода. Ею можно выполнять основную массу производственных операций.

Защитные смеси: Аргомикс Л, У, Т – для сварки углеродистых сталей; Легимикс Л, У, Т – для сварки нержавеющей сталей.

Стандарты

Данный процесс производится согласно ГОСТ 14771-76. Этот стандарт включает в себя положения о сварных швах, создаваемых [электродуговой сваркой](#) проводимой во всех видах защитных газов.

Вопросы самоконтроля:

1. В чём заключается сущность сварки в защитных газах?
2. Охарактеризуйте способ аргонодуговой сварки.
3. Перечислите особенности сварки в среде CO₂ и в смесях Ar + CO₂.

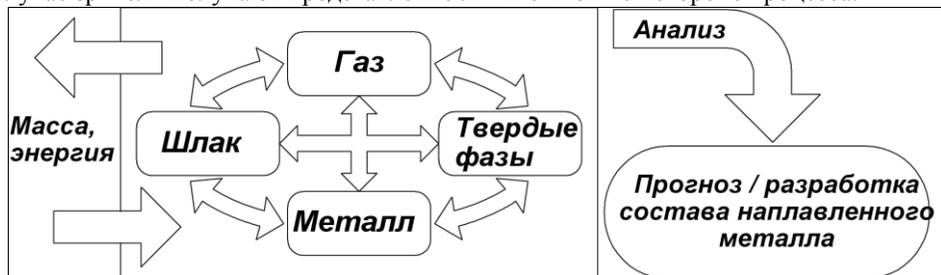
Литература: 14, 17.

Тема 6.5 Технология электрошлаковой сварки

Электродная сварка, получившая широкое распространение благодаря своей относительной простоте, не всегда способна обеспечить стабильное качество структуры сварного шва. Между тем, при изготовлении некоторых видов продукции именно эта характеристика имеет важное значение. Для того чтобы устранить существующий технологический недостаток, была разработана методика электрошлаковой сварки. Сокращённо её называют ЭШС.

Сущность процесса заключается в том, что в подготовленный зазор между соединяемыми деталями помещают специальный химический состав – [сварочный флюс](#), на который воздействуют с помощью электрической дуги. В результате нагрева флюс расплавляется, превращаясь в шлак, который защищает зону обработки от воздействия атмосферного воздуха. При использовании этой технологии расплавленный металл остывает медленно, что создаёт благоприятные

условия для формирования качественной структуры соединительного шва. Понять, что такое электрошлаковая сварка, посмотрев видео, довольно сложно. Ведь в этом случае зрители получают представление лишь о внешней стороне процесса.



Положение шва при сварке стыковых

Электроток проходит по цепи, состоящей из спецэлектрода, шлаковой массы в жидком состоянии и основного металла изделия. Прохождение электротока позволяет обеспечить плавление металла как основного, так и присадочного, помимо этого происходит плавление флюсового состава, который постоянно поступает в сварочную ванну. Образующаяся в сварной ванне шлаковая масса имеет меньшую плотность, что приводит к его всплытию в расплаве. Он в процессе проведения сваривания осуществляет защитную функцию, защищая расплавленный металл от воздействия атмосферы, одновременно с этим расплавленная шлаковая масса способствует очистке металла от вредных примесей.



Рис. 6.6. схема ЭШС

На сегодняшний день разработано несколько технологий проведения сварки электрошлаковой.

! Чаще всего применяется ЭШС при помощи проволочного и пластинчатого электрода, имеющего большое сечение и сварки плавящимися мундштуками.

Электрошлаковая сварка обладает следующими техническими и

экономическими преимуществами:

- устойчивость процесса, которая мало зависит от рода электротока;
- устойчивость процесса при кратковременном прерывании электротока;
- высокая производительность;
- экономичность сварочного процесса;
- отсутствие спецподготовки кромок деталей;
- отличное качество защиты сварного шва от воздействия воздуха;
- высокая распространенность расходных материалов и невысокая их стоимость;
- теоретическая возможность получения шва любой толщины за один проход.

Технология ЭШС имеет несколько недостатков, основными из которых являются следующие:

- возможность проведения сваривания только в вертикальном или близком к нему положении;
- недопустимость полной остановки сварочного процесса до конца сваривания;
- образование крупнозернистой структуры металла в зоне сваривания и снижение ударпрочности сварного шва;
- необходимость подготовки перед процессом сваривания технологических деталей.

ЭШС используется при сваривании прямых и кольцевидных стыков. Минимальная толщина изделий — 25-30 мм.

При сваривании металлических заготовок, имеющих толщину до 200 мм, их торец обрабатывается газорезательной машиной. Это делается для того, чтобы гребни и выхваты не превышали 2-3 мм, при этом максимально допустимое отклонение от прямого угла не должно быть более 4 мм. При сваривании заготовок, толщина которых превышает 200 мм, а также кольцевых швов предварительно проводят обработку стыкуемых поверхностей механическим способом.

Боковые поверхности изделий, изготовленных путем проката, зачищают от окислов и окалины при помощи наждачных кругов. Литые и кованные изделия подвергаются мехобработке на ширину в 80 мм от кромки свариваемого торца.

При сваривании соединений сдвиг кромок не должен быть более 2-3 мм. При сваривании деталей различной толщины более толстая деталь сострогается или на тонкую заготовку монтируют выравнивающую спецпластину, удаляемую после проведения процесса сваривания. Если электрошлаковая сварка используется для сваривания изделий разной толщины, применяются ступенчатые спецползуны. При проведении процесса сваривания перемещение кромок не должно быть больше 1-2 мм.

При сваривании кольцевидных изделий разность в диаметре стыкуемых деталей не должна превышать 0,5 мм, а сдвиг при проведении сварки не должен быть более 1 мм.

Для того чтобы получить точный размер изделия при сваривании его из заготовок, детали требуется собирать с небольшим допуском, который учитывает

деформирование компонентов изделия при сварке. При сварке различают расчетный, сварочный и сборочный допуски. Сварочный допуск может в зависимости от изделия колебаться от 1 до 12 мм. При сборке ориентируются на сборочный допуск, который на начальном участке сварочного шва равен сварному, а в дальнейшем увеличивается на 2-4 мм на 1 м сварочного шва.

Материалы и оборудование при проведении ЭШС

Флюсовые составы, применяемые при проведении ЭШС, должны отвечать определенным требованиям. Среди этих требований основными являются:

- быстрый и легкий запуск электрошлакового процесса при использовании напряжения с широким диапазоном значений;
- обеспечение хорошего проплавления кромок стыкуемых заготовок и качественное формирование сварного шва;
- расплавленная флюсовая масса не должна протекать в зазоре кромок и формирующих сварной шов устройств;
- образующийся шлак должен легко удаляться с поверхности шва;
- способность предотвращения появления пор и нежелательных включений при формировании шва.

Для осуществления ЭШС используют плавные флюсовые массы. При проведении процесса с участием углеродистой или низколегированной стали с обычной прочностью используют флюсы АН-8, АН-8М и АН-22. Эти флюсы характеризуются невысокой скоростью проведения процесса сваривания. Отличные показатели скорости и качества имеет процесс, осуществляемый с использованием флюса АН-348-В, который обладает большой электропроводной способностью и относительно малой температурой плавления. Отличное качество шва обеспечивает на низколегированной стали использование в сварочном процессе флюса с маркировкой АН-47.

Моделирование сварочных процессов

Для сварки изделий, изготовленных из легированной стали высокой прочности, используется флюс марки АН-9. При сваривании изделий из высоколегированной стали применяются флюсы марки АНФ-1, АНФ-7 и флюс 48-ОФ-6. При использовании стали, обладающей коррозионно-устойчивыми свойствами, применяется флюс с маркировкой АН-45.

Для начала процесса сваривания применяется АН-25. Этот состав обладает высокой электропроводностью как в твердом состоянии, так и в жидком. При сваривании изделий из чугуна применяется составы с маркировкой АНФ-15 и АНФ-75.

При проведении сваривания в качестве электрода применяется электродная проволока сплошного сечения, имеющая диаметр 3 мм. Выбор химсостава электродного металла полностью зависит от состава свариваемого металла. Лучшим вариантом является использование проволоки, состав которой идентичен составу свариваемого металла. Такая однородность обеспечивает оптимальные характеристики образующегося сварного соединения. Для этой цели в качестве электрода применяют пластины и стержни, изготовленные из того же сплава, что и основные детали.

Вопросы самоконтроля:

1. В чём состоит сущность электрошлаковой сварки.
2. Назвать виды электрошлаковой сварки.

Раздел 7. Технология электрической сварки легированных сталей

Тема 7.1 Технология сварки низко- и среднелегированных сталей

Низколегированные стали имеют сравнительно небольшую чувствительность к термическому циклу сварки. Поэтому регулированием режима сварки и термического цикла можно обеспечить получение требуемых свойств в околошовной зоне. Такое явление, во-первых, связано с невысоким содержанием углерода в сталях и, во-вторых, низкой степенью легирования. В сталях этой группы содержание углерода не превышает 0,25%, а суммарное легирование - 4%.

Иногда для изготовления разнообразных конструкций в машиностроении используют углеродистые и низколегированные стали, в которых содержание углерода увеличено по сравнению с содержанием углерода в низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталях общего назначения. Поэтому соответствующей термообработкой можно повысить их прочность. Временное сопротивление этих сталей зависит от режима термообработки и составляет 60-150 кгс/мм² (600-1500 МПа). Содержание углерода в них бывает от 0,25-0,5% при суммарном легировании до 3-4%. К этой группе сталей могут быть отнесены следующие стали: 35X, 40X, 35Г2, 40Г2, 50Г2, 30ХГТ, 30ХГНА, 30ХГСА и др. По чувствительности к термомеханическому циклу сварки к этой же группе сталей можно отнести и углеродистые стали марок 30, 35, 40, 45 и 50, а также теплоустойчивые молибденовые, хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые стали марок 20М, 20ХМ, 30ХМА, 38ХМЮА, 25Х1М1Ф и др.

Повышение содержания углерода и степени легирования создает склонность этих сталей во время сварки подвергаться резкой закалке. Поэтому стали этой группы обладают высокой чувствительностью к термическому циклу сварки. При сварке околошовная зона оказывается резко закаленной, а следовательно, хрупкой при всех режимах сварки, хотя при этом обеспечивается удовлетворительное формирование шва.

С целью снижения скорости охлаждения околошовной зоны при сварке этих сталей выполняют предварительный подогрев свариваемой конструкции. Подогрев позволяет получить в околошовной зоне структуру, которая обладает запасом пластичности, достаточным для предотвращения образования трещин под действием термомеханического цикла сварки.

К сталям, которые закаляются в условиях сварки, относятся также низко- и среднелегированные теплоустойчивые стали. Эти стали длительное время сохраняют высокие прочностные свойства при работе в условиях повышенных (450-580°С) температур, оцениваемые пределом ползучести и длительной прочностью.

Теплоустойчивость этим сталям придают введением в них легирующего

элемента молибдена в сочетании с некоторыми другими элементами, например с хромом и ванадием (хром повышает жаростойкость сталей). К таким сталям относятся 15М, 20ХМ, 12Х1МФ, 15ХМ1Ф, 15Х2МФБ, 12Х5МА, 20Х2МА и др.

Образование шва и околошовной зоны. При изготовлении сосудов высокого давления, ответственных машиностроительных изделий и строительных конструкций используют среднелегированные высокопрочные стали. Эти стали после соответствующей термообработки обладают временным сопротивлением 100-200 кгс/мм² (1000-2000 МПа), имея достаточно высокий уровень пластичности. Стали этой группы характеризуются содержанием углерода до 0,5% при комплексном легировании в сумме 5-9%. Эти стали имеют высокую чувствительность к термическому циклу сварки в связи с высоким содержанием углерода.

Вопросы самоконтроля:

1. Технология сварки низколегированных теплоустойчивых сталей.
2. Технология сварки сталей:
 - хромокремниемарганцевых;
 - хромокремниемарганцево-никелевых;
 - хромоникельванадиевых.

Литература: 11, 14.

Тема 7.2 Технология сварки высоколегированных сталей

Высоколегированными называют стали, содержащие один или несколько легирующих элементов в количестве 10 - 55%.

Высоколегированными называют сплавы на железоникелевой основе (железа и никеля содержится более 65%) и на никелевой основе (никеля содержится более 55%).

По ГОСТ 5632 - 72 насчитывается 94 марки высоколегированных сталей и 22 марки высоколегированных сплавов. Несколько марок сталей и сплавов выпускается по различным техническим условиям.

Высоколегированные стали и сплавы классифицируют по различным признакам, главным образом, по системе легирования, структуре и свойствам. По системе легирования высоколегированные стали делят, например, на хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевые, хромоникелемарганцевые, хромомарганцеазотистые. Самые распространенные высоколегированные сплавы - никелевые, никелехромистые, никелехромовольфрамовые и никелехромокобальтовые.

По структуре высоколегированные стали подразделяют на стали мартенситного класса (например, 15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ, 09Х16Н4Б, 11Х11Н2В2МФ - всего по стандарту 20 марок), мартенситно-ферритного класса (15Х6СЮ, 15Х12ВНМФ, 12Х13 и др.), ферритного класса (08Х13, 10Х13СЮ, 12Х17, 15Х25Т), аустенитно-мартенситного класса (такие, как 07Х16Н6, 08Х17Н5М3), аустенитно-ферритного класса (например, 08Х20Н14С2, 08Х18Г8Н2Т) и аустенитного класса (03Х17Н14М2, 03Х16Н15М3Б, 08Х10Н20Т2, 08Х16Н13М2Б, 09Н16Х14Б, 09Н19Х14В2БР, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 45Х14Н14В2М).

В некоторых аустенитных сталях никель, как дефицитный материал, частично или полностью заменяют марганцем и азотом: 10X14Г14НЗ, 10X14Г14Н4Т, 12X17Г9Н4А, 10X14Г15А, 15X17Г14А; всего по ГОСТ 5632-72 выпускается 27 марок аустенитных сталей.

По системе упрочнения высоколегированные стали и сплавы делят на карбидные, содержащие углерода 0,2 - 1,0%, боридные (образуются бориды железа, хрома, ниобия, углерода, молибдена и вольфрама), с интерметаллидным упрочнением (упрочнение мелкодисперсными частицами).

По свойствам высоколегированные стали и сплавы подразделяют на коррозионностойкие (нержавеющие), обладающие стойкостью против любой коррозии - атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой, межкристаллитной; жаростойкие (окалиностойкие), не окисляющиеся при высоких температурах нагрева (до 1300°C); жаропрочные, способные работать при температурах свыше 1000°C в течение нормированного времени без снижения прочности.

Особенности сварки высоколегированных сталей и сплавов

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями большинство высоколегированных сталей и сплавов обладают пониженным коэффициентом теплопроводности (до 2 раз при повышенных температурах) и увеличенным коэффициентом линейного расширения (до 1,5 раза).

Низкий коэффициент теплопроводности приводит при сварке к концентрации тепла и вследствие этого к увеличению проплавления металла изделия. Поэтому для получения заданной глубины проплавления следует снижать величину сварочного тока на 10 - 20%.

Увеличенный коэффициент линейного расширения приводит при сварке к большим деформациям сварных изделий, а в случае значительной жесткости - относительно крупные изделия, повышенная толщина металла, отсутствие зазора между свариваемыми деталями, жесткое закрепление изделия - к образованию трещин в сварочном изделии.

Высоколегированные стали и сплавы более склонны к образованию трещин, чем низкоуглеродистые. Горячие трещины появляются большей частью в аустенитных сталях, холодные - в закаливающихся сталях мартенситного и мартенситно-ферритного классов. Кроме этого, коррозионностойкие стали, не содержащие титана или ниобия или легированные ванадием, при нагревании выше 500°C теряют антикоррозионные свойства по причине выпадения из твердого раствора карбидов хрома и железа, которые становятся центрами коррозии и коррозионного растрескивания. Термической обработкой (чаще всего закалкой) можно восстановить антикоррозионные свойства сварных изделий. Нагревом до 850°C ранее выпавшие из раствора карбиды хрома вновь растворяются в аустените, а при быстром охлаждении они не выделяются в отдельную фазу. Такой вид термообработки называют стабилизацией. Однако стабилизация приводит к снижению пластичности и вязкости стали. Получение высокой пластичности, вязкости и одновременно анти-коррозийности сварных соединений возможно нагревом металла до температуры 1000 - 1150°C и быстрым охлаждением в воде (закалка).

Содержание углерода в основном металле и металле шва до 0,02 - 0,03% полностью исключает выпадение карбидов хрома, а следовательно, межкристаллитную коррозию.

На практике нашли применение следующие пути предотвращения трещин при сварке высоколегированных сталей: создание в металле шва двухфазной структуры (аустенит и феррит); ограничение в шве содержания вредных примесей (серы, фосфора, свинца, сурьмы, олова, висмута) и введение таких элементов, как молибден, марганец, вольфрам; применение электродных покрытий основного и смешанного видов; создание при сварке менее жесткого состояния изделия.

Практикой сварки аустенитной стали установлено, что с увеличением жесткости при выполнении шва необходимо к аустениту прибавлять феррита в количестве от 2 до 10%. В этом случае пластичность металла шва по сравнению с аустенитным швом повышается и усадка даже при жестком состоянии сварного изделия происходит за счет повышенной пластической деформации металла шва без образования трещин.

Применение электродов с основным или смешанным покрытием с легированием металла шва молибденом, марганцем, вольфрамом придает металлу шва мелкозернистое строение. В этом случае пластические свойства металла возрастают и при усадке горячие трещины в нем не возникают.

Для получения сварных соединений без трещины в процессе сварки рекомендуется свариваемые детали собирать с зазором (рис. 102) и по возможности применять швы с низким проваром (коэффициент формы провара должен быть менее 2). Швы лучше выполнять тонкими электродами диаметром 1,6 - 2,0 мм при минимальной погонной тепловой энергии.

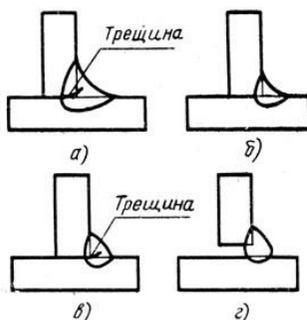


Рис. 7.2. Влияние коэффициента формы провара (а, б) и зазора (в, г) на стойкость аустенитного углового шва против образования кристаллизационных трещин марок высоколегированных сталей и сплавов должен быть строго обоснован

Сварные соединения с неоднородным швом как после сварки, так и после термической обработки обладают меньшей прочностью по сравнению с основным металлом. Кроме того, в таких неоднородных сварных соединениях при эксплуатации с высоким нагревом наблюдаются диффузионные явления между металлом шва и околошовным металлом для выравнивания химического состава, что приводит к появлению холодных трещин в околошовном металле, в зоне металлической связи. Поэтому выбор типа электрода при дуговой сварке различных

Подогрев (общий или местный) до температуры 100 - 300°C рекомендуется при сварке всех высоколегированных сталей и сплавов в зависимости от характера микроструктуры основного металла, содержания углерода, толщины и жесткости изделия. Для мартенситных сталей и сплавов подогрев изделия обязателен; для аустенитных сталей он применяется редко. Подогрев способствует более равномерному распределению температур по изделию в процессе сварки и охлаждению с меньшими скоростями, в результате чего не образуются концентрированные усадочные деформации по сечению сварного соединения и трещины не возникают.

Перегрев (укрупнение зерен) металла шва и околошовного металла при сварке высоколегированных сталей и сплавов зависит от химического состава и микроструктуры, температуры нагрева и длительности пребывания металла при высокой температуре. Обычно при сварке больше перегреваются однофазные ферритные стали.

Высоколегированные стали, содержащие углерода более 0,12% (31X19N9MVBТ, 36X18N25C2, 55X20Г9АН4, 17X18N9 и др.) свариваются с предварительным подогревом до 300°C и выше с последующей термической обработкой сварных изделий.

Сварочная проволока, виды электродных покрытия и типы покрытых электродов для сварки. Для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами применяют сварочную проволоку, например Св-04X19N9, Св-05X19N9Ф3С2, Св-06X19N9Т, Св-07X19N10Б, Св,08X20N9С2БТЮ, Св-10X16N25M6А - всего 41 марка по ГОСТ 2246 - 70.

Электроды берут с основными, рутилоосновными и рутилофлюоритноосновными покрытиями. Дуговая сварка аустенитных сталей электродами с основным покрытием приводит к науглероживанию металла шва, что вызывает снижение стойкости его против межкристаллитной коррозии. Науглероживание происходит за счет разложения мрамора, который содержится в большом количестве в этом покрытии. Науглероживание металла шва исключается при сварке аустенитной стали электродами с рутилоосновным покрытием (например, ОЗЛ-14), содержащего мрамора только 10% вместо 35 - 45% в электродах с основным покрытием (например, УОНИИ-13/НЖ).

Ориентировочный выбор марки сварочной проволоки, вида покрытия и типа электрода при дуговой сварке высоколегированных сталей и сплавов в зависимости от назначения сварного изделия приведен в табл. 7.2.

Табл. 7.2 - Примерный выбор покрытых электродов для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами

Класс микроструктуры и марка свариваемой стали	Марка электрода	Марка сварочной проволоки	Вид покрытия	Условия работы сварного изделия
Аустенитный 12X18H9	УОНИИ-13/НЖ	Св-06X19H9Т	Основной	Слабоагрессивная среда при нормальной температуре
12X18H9	ОЗЛ-8	Св-08X19H9Т	»	То же
12X18H9	ЦЛ-11	Св-04X19H9Б	»	Агрессивная среда при нормальной температуре
12X18H9	ОЗЛ-7	Св-02X19H9	»	То же
12X18H9	ЦТ-15-1	Св-02X12H12Т	»	При температуре 600—650°С
12X18H9	ОЗЛ-14	Св-02X19H9	Рутилоосновой	С нагревом до 350°С
12X18H9	ОЗЛ-17	Св-03X23H28 МЗДЗТ	То же	Сильная агрессивная среда с нагревом до 80°С
12X18H9	ОЗЛ-22	Св-02X18H10	»	Сильная окислительная среда (азотная и другие кислоты)
Мартенситный 20X17H2	УОНИИ-10X17Т	Св-08X17Т	Основной	Слабоагрессивная среда с нагревом до 600°С (аппаратура нефтеперерабатывающих заводов)
20X17H2	АН-В-10	Св-08X17Т	Рутилофлюоритноосновой	То же
11X11H2В2МФ	ЦЛ-32	Св-08X11В2МФ	Основной	»
Аустенитно-ферритный 12X21H5Т	ЦЛ-33		Рутилоосновой	»

ГОСТ 10052 - 75 предусматривает 49 типов покрытых электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами, например, Э-02X19H9Б, Э-04X20H9, Э-07X20H9, Э-06X22H9, Э-06X13H, Э-08X20H9Г2Б, Э-08X14H65M15B4Г2, Э-10X20H70Г2M2B.

Каждый тип электрода включает одну или несколько марок покрытых электродов.

Условное обозначение электродов для дуговой сварки выполняется по ГОСТ 9466 - 75. При этом во второй строке условного обозначения электродов группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, состоит из четырех цифровых индексов для электродов, обеспечивающих аустенитно-ферритную структуру наплавленного металла, и из трех цифровых индексов - для остальных электродов.

Все данные, необходимые для составления группы индексов, берутся из паспортов на электроды конкретных марок.

Газовая сварка аустенитных сталей производится пламенем мощностью 70 - 75 дм³ ацетилена на 1 мм толщины металла. Окислительное пламя не допускается, так как оно влечет выгорание хрома. Для присадки применяют сварочную проволоку марок Свт02X19H9Т, Св-08X19H10Б и других с минимальным содержанием углерода, легированную ниобием или титаном. Тем не менее, при газовой сварке титан почти полностью выгорает и не может обеспечить стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии. Кроме этого, нержавеющие стали при температурах нагрева 500 - 850°С с низкими скоростями охлаждения, которые

сопутствуют газовой сварке, выделяют по границам зерен карбиды хрома, являющиеся центрами коррозии металла.

Диаметр проволоки выбирают приблизительно равным толщине основного металла при толщине листов 1 - 6 мм.

При сварке в большинстве случаев пользуются флюсами, например, марки НЖ-8 такого состава: 28% мрамора, 30% фарфора, 10% ферромарганца, 6% ферросилиция, 6% ферротитана и 20% двуокиси титана. Флюс разводится на жидком стекле и наносится на кромки деталей в виде пасты. Сварка производится после высыхания флюса.

Контрольные вопросы

1. Что такое свариваемость металлов?
2. Как следует разрабатывать технологию на сварку углеродистых сталей в зависимости от содержания в них углерода?
3. Каковы особенности сварки низколегированных сталей?
4. Что такое разупрочнение при сварке термически обработанной стали?
5. Как нужно подбирать покрытые электроды для сварки аустенитных сталей?

Литература: 11, 14.

Тема 7.3 Технология сварки разнородных и двухслойных сталей

Сварка разнородных сталей. Кроме общих положений при сварке разнородных сталей необходимо учитывать ряд дополнительных факторов, которые определяют выбор сварочных материалов, технологических режимов сварки, термической обработки и в целом определяют работоспособность сварочных соединений.

К специфическим трудностям сварки разнородных сталей относятся:

1. появление при сварке кристаллизационных прослоек в зоне оплавления, обусловленных различием структуры и химической неоднородностью свариваемых материалов;

2. возникновение и развитие при эксплуатации или при термической обработке конструкции диффузионных прослоек в зоне сплавления разнородных сталей, что может существенно снизить работоспособность сварного соединения;

3. наличие высокого уровня остаточных сварочных напряжений и возникновение дополнительных термических напряжений при работе конструкций, обусловленных структурной неоднородностью соединенных материалов.

Состав и структура кристаллизационных прослоек переменного состава в зоне сплавления разнородных сталей определяются градиентом легирования соединяемых материалов и режимами сварки. В максимальной степени этот фактор проявляется при сварке сталей разных структурных классов. Очень важен правильный выбор присадочного материала, который исключал бы получение закалочных структур в кристаллизационной прослойке металла. Способ и режимы сварки также влияют на состав образующейся прослойки, поскольку технологический процесс сварки определяет степень проплавления свариваемых кромок, следовательно, определяет долю участия основного металла в образовании сварного шва.

Возникновение и развитие диффузионных прослоек определяются градиентом легирования свариваемых разнородных сталей, температурной эксплуатацией изделия и режимом термической обработки, а в отдельных случаях и режимом сварки. В наибольшей степени это может проявляться в сварных соединениях стали перлитного класса при температуре эксплуатации выше 500°C или при термической обработке при температуре выше 650...700°C. Остаточные сварочные напряжения в сварных соединениях разнородных по структуре и классу сталей носят локальный характер, достигая наиболее высокого уровня и градиента в зоне сплавления.

При сварке различных сталей перлитного класса кроме общих технологических рекомендаций необходимо соблюдать следующие дополнительные положения:

- композицию сварочного материала следует выбирать по менее легированной стали;
- электроды применять только с основным типом покрытия;
- температуру подогрева и режимы сварки назначают по более легированной стали;

- термическую обработку сварных соединений производят по режиму высокого отпуска по более легированной стали.

При сварке стали перлитного класса со сталью мартенситно-ферритного класса (высокохромистой) необходимо: конструкцию соединения выбирать по высокохромистой стали; покрытие сварочных электродов— только основного типа; тепловой режим сварки и термической обработки сварного соединения назначать по высокохромистой стали; в зависимости от температурных условий работы сварного соединения при толщине стенки трубы 10 мм и более применять облицовку кромок высокохромистой стали сварочным перлитным материалом с последующим высоким отпуском; основные швы сваривать с применением перлитной обработкой сварного соединения.

Сварка стали перлитного класса со сталью аустенитного класса должна производиться с учетом следующих рекомендаций:

- конструкцию соединения выбирают по стали аустенитного класса;
- сварные швы выполняются с применением только аустенитного сварочного материала;
- при выполнении стыков труб с толщиной стенки более 10 мм рекомендуется применять предварительную облицовку аустенитным сварочным материалом кромок деталей из сталей перлитного класса с последующим высоким отпуском облицованного конца.

Сварка стали аустенитного класса со сталью мартенситно-ферритного класса производится с соблюдением следующих рекомендаций: сварные швы выполняют с применением только аустенитного сварочного материала; при сварке следует применять предварительный и сопутствующий подогревы детали из высокохромистой стали до температуры 200...250°C; при толщине стенки свариваемых труб более 10 мм целесообразно предварительно облицовывать кромки деталей из высокохромистой стали аустенитным сварочным материалом с предварительным подогревом до температуры 300...350°C и последующим высоким отпуском.

Сварочные материалы для сварки разнородных сталей приведены в табл. 7.3.1. и табл. 7.3.2.

Табл. 7.3.1 – Сварочные материалы для сварки разнородных сталей одного структурного класса

Сочетание марок свариваемых деталей	Сварка в защитных газах		Ручная дуговая сварка	Сварка под флюсом	
	Марка проволоки	Защитный газ	Тип электрода	Марка проволоки	Марка флюса
20+15ГС, 20+14ХГС, 20+15ХМ, 20+12Х1МФ, 20+30ХМА	Св-08Г2С, Св-08ГС	Аргон (75 %) + CO ₂ (25 %); Аргон (75 %) + CO ₂ (20 %) + O ₂ (5 %)	Э42А, Э50А	Св-08А, Св-08ГА, Св-08Г2С	АН-348АМ, ОСУ-45М, АН-60, АН-43
15ГС+14ХГС, 15ГС+12Х1МФ, 15ГС+15Х1М1Ф	Св-08Г2С, Св-08ГСМТ	Аргон; Аргон (75 %) + CO ₂ (25 %); Аргон (75 %) + CO ₂ (20 %) + O ₂ (5 %)	Э50А	Св-08ГА, Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-08Г2С, Св-08ГСМТ	АН-348АМ, ОСЦ-45М, АН-43
15ХМ+12Х1МФ, 15ХМ+15Х1М1Ф, 15Х5М+15Х1М1Ф	Св-08ХМ, Св-08ХГСМА	Аргон	Э-09Х1М	Св-08ХМ	АН-22, АН-43, АН-47
30ХМА+20Х2М, 30ХМА+22Х3М	Св-18ХМА, Св-08ХМ	Аргон	Э-10Х3М, Э-09Х1МФ, Э-10Х5МФ	Св-18ХМА, Св-10Х5М, Св-08Х3Г2СМ	АН-42, АН-43, АН-17М

Табл. 7.3.2 – Сварочные материалы для сварки разнородных сталей разных структурных классов

Марки свариваемых сталей со стали марки 12Х1Н1Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М3Т	Толщина стенки, мм	Тип электрода		Марка проволоки	
		для наплавки стали перлитного класса	для ручной дуговой сварки	для наплавки	для аргонодуговой сварки
20, 14ХГС, 15 ГС	10	—	08Х24Н40М7Г2 (АНЖР-2)	—	Св-06Х25Н40М7
	10	Э-10Х25Н13Г2	Э-07Х20Н9, Э-04Х20Н9, Э-02Х21Н10Г2	Св-07Х25Н13	Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-06Х19Н9Г
	10	Э-11Х15Н25М6АГ2, Э-10Х25Н25М3Г2 (АНЖР-3у), Э-08Х24Н40М7Г2 (АНЖР-2)	Э-06Х19Н11Г2М2, Э-07Х19Н11М3Г2Ф	Св-10Х16Н25АМ6, Св-06Х25Н40М7	Св-04Х19Н11М3, Св-06Х19Н11М3Т
15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф	10	—	Э-11Х15Н25М6АГ2, Э-10Х25Н25М3Г2 (АНЖР-3у), Э-08Х24Н40М7Г2 (АНЖР-2)	—	Св-10Х16Н25АМ6, Св-06Х25Н40М7
	10	Э-08Х24Н40М7Г2 (АНЖР-2)	Э-06Х19Н11Г2М2, Э-07Х19Н11М3Г2Ф	Св-06Х25Н40М7	Св-04Х19Н11М3, Св-06Х19Н11М3Т
15Х5М, 30ХМА, 20Х2М, 22Х3М, 18Х3М8, 20Х3МВФ	—	Э-08Х24Н40М7Г2 (АНЖР-2)	Э-06Х19Н11Г2М2, Э-07Х19Н11М3Г2Ф	Св-06Х25Н40М7, Св-07Х19Н11М3Г2Ф	Св-04Х19Н11М3, Св-06Х19Н11М3Т

Сварка двухслойных сталей. Двухслойная сталь может иметь, например, основной слой толщиной более 6 мм из низкоуглеродистой или низколегированной стали и второй слой толщиной от 1,5 до 6 мм из высоколегированной стали. Двухслойная сталь состоит из двух металлов с разным химическим составом,

физическими и механическими свойствами, которые требуют различной технологии сварки. При сварке каждого слоя возможно проникание одного в другой, что приводит к заметному снижению пластических свойств, коррозионной стойкости металла шва, содержания легирующих примесей и иногда к образованию кристаллизационных и холодных трещин. Для предотвращения проплавления высоколегированного и углеродистого металлов при сварке двухслойной стали накладывают разделительный слой (рис. 7.3), который заваривается со стороны углеродистого металла.

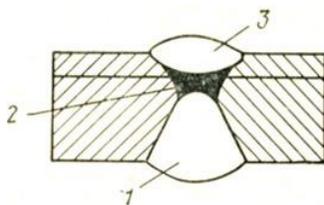


Рис. 7.3 Сварка двухслойной стали с разделительным слоем 1 - слой со стороны основного металла; 2 - разделительный слой; 3 - слой со стороны облицовочного металла

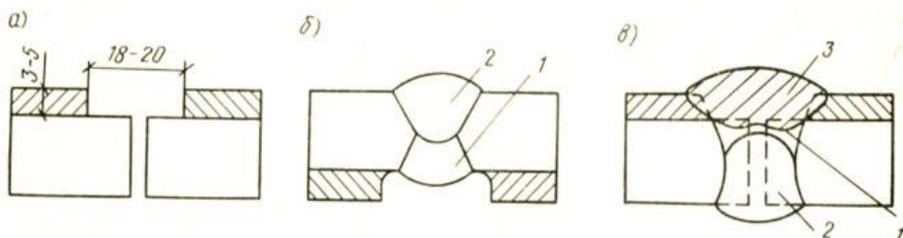


Рис. 7.4 Сварка двухслойной стали без разделительного слоя а - подготовка кромок под сварку; б - сварка основного металла; в - сварка облицовочного металла; 1, 2 - слои основного металла; 3 - облицовочный слой

Допускается сварка и без разделительного слоя, тогда удаляют высоколегированную облицовку, заваривают с двух сторон малоуглеродистый слой, а затем наплавляют высоколегированный слой (рис. 7.4). Для наплавки высоколегированного слоя применяют электроды ЗИО-7, ЗИО-8 и ЦЛ-9.

Вопросы самоконтроля:

1. Технология сварки разнородных сталей одного структурного класса.
2. Технология сварки сталей разных структурных классов.

Раздел 8. Сварка чугуна

Сварка чугуна — технология сварка изделий из **чугуна**. Чугун является трудносвариваемый металлом. Он сваривается плавящимися или неплавящимися электродами с подогревом или без него.

Свойства чугуна

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом. Содержание углерода в чугуне - около 2,14%. Углерод придаёт сплавам железа твёрдость, снижает пластичность и вязкость. Углерод в чугуне содержится в виде цементита и графита.

Температура плавления чугуна — от 1 150 до 1 200 °С, что на 300 °С ниже, чем у чистого железа. Теплопроводность чугуна ниже, чем у сталей, коэффициент теплового расширения такой же. Электропроводность чугуна зависят от распределения включений графита.

При быстром охлаждении чугуна от температуры более 750°С металла, графит превращается в цементит, при это чугун превращается из серого в белый. Образуется закаленная структура с внутренними напряжениями, приводящими к трещинам.

Особенности сварки

Трудности сварки чугуна обусловлены образованием трещин из-за включений графита; выгоранием углерода и образованием пор в шве; образованием тугоплавких окислов с температурой плавления выше, чем у чугуна; его высокая жидкотекучесть.

Чугун сваривается ручной дуговой сваркой плавящимися (ЦЧ-4) или неплавящимися (вольфрамовый, угольные, графитовый) электродами в подогревом или без него. Сварочные напряжения, возникающие в шве при охлаждении металла снимаются проковкой швов.

При холодной сварке чугуна используются электроды марки Zeller:

- Zeller 855 предназначен для сварки и наплавки всех свариваемых видов чугуна: высокопрочного чугуна (с шаровидным графитом) и ковкого чугуна, а так же для сварки чугуна со сталью без предварительного нагрева. Идеально подходит для ремонтной сварки чугунных станин, корпусных деталей: блоков цилиндров, двигателей, коробок передач, штампов из модифицированного чугуна и т.д.
- Zeller 888 предназначен для сварки и наплавки тонких, замасленных деталей из серого чугуна, высокопрочного чугуна (с шаровидным графитом), ковкого чугуна, а также для сварки этих марок чугуна между собой и чугуна со сталью, без предварительного подогрева.
- Zeller 866 предназначен для сварки и наплавки высокопрочного чугуна (с шаровидным графитом) и ковких видов, а также для сварки этих марок чугуна между собой, чугуна со сталью. Рекомендуются для сварки чугуна низкого качества, восстановления дефектов литья. Идеально подходит для соединения промасленного загрязненного примесями и ржавчиной чугуна, за счет более агрессивной сварочной дуги.
- Zeller 800 для наплавки первого связующего слоя на термонагруженный, перенасыщенный углеродом чугун и чугун низкого качества.

При горячей сварке металл предварительно подогревается до 500—700°С. Используются чугунные электроды со стержнями марок А и Б — ОМЧ-1 и УЗТМ-74. Электроды должны быть большого диаметра — от 8 до 16 мм.

Для повышения качества шва при сварке чугуна проводится подогрев детали и ее медленное охлаждение после сварки.

Вопросы самоконтроля:

1. В чём особенность сварки чугуна?
2. Перечислите способы холодной сварки чугуна и применяемые материалы.
3. Рассказать особенности газовой сварки чугуна.

Литература: 11.

Раздел 9. Сварка цветных металлов и сплавов

Тема 9.1 Сварка алюминия и его сплавов

Свариваемость. Особенности сварки [алюминия](#) и его сплавов связана с физическими и химическими свойствами металла. Алюминий имеет малый удельный вес - 2,7 г / см³, высокую электро- и теплопроводность, на его поверхности есть окисная пленка, имеющая высокую температуру плавления 2044°С, температура же плавления самого алюминия - около 660°С. Сплавы алюминия с марганцем, кремнием, магнием и медью обладают большей прочностью, чем сам алюминий.

Тугоплавкая пленка на каплях расплавленного металла, препятствует сплавлению металла, поэтому при сварке необходима защита от воздуха. Такой защитой может быть сварка алюминия в среде с аргоном.

Значительная жидкотекучесть алюминия затрудняет управление сварочной ванной. Для быстрейшего охлаждения металла необходимо использование теплоотводящих подкладок.

Сварочное соединение алюминия и его сплавов склонно к образованию кристаллизационных трещин, что обусловлено растворением в металле водорода. В сплавах алюминия трещины возникают из-за повышенного содержания кремния. Металл обладает большой усадкой, что является причиной деформаций при остывании заготовок. Значительная теплопроводность алюминия требует применения сварочного тока, превосходящего в несколько раз ток при сварке сталей.

Способы сварки

Сварка алюминия производится с разрушением оксидной пленки (очистка и обезжиривание) на его поверхности и защитой с помощью инертных газов. Перед сваркой металл подогревают. Подогрев металла проводится до температуры 250-300°С для заготовок средних толщин, и до 400°С - для толстых. Распространены следующие способы сварки:

- сварка вольфрамовым электродом в инертных газах (режим AC TIG);
- сварка полуавтоматами в среде инертных газов и автоматизированной подачей проволоки (режим DC MIG);
- сварка покрытыми плавящимися электродами **Zeller** без использования защитного газа (режим MMA);

1. **Zeller 480** с 12% содержанием Si и улучшенным покрытием для сварки и наплавки алюминий-кремниевых сплавов. Рекомендуется для сварки алюминиевых листов, профилей, токопроводящих шин, алюминиевого литья, резервуаров, при ремонте картеров и блоков двигателей, а также устранения дефектов литья и т.п.
 2. **Zeller 490** со специальным покрытием для сварки и наплавки алюминий-марганцевых и алюминий-магниевых сплавов с содержанием Mg до 3%. Рекомендуется для сварки в судостроении, цистерн и резервуаров, танкеров для природного газа, профилей, при ремонте картеров и блоков двигателей.
- Сразу после детали промываются водой, а со шва удаляется [шлак](#).

Вопросы самоконтроля:

1. В чём заключаются особенности сварки алюминия?
2. Перечислить способы сварки алюминия с характеристикой каждого способа.

Литература: 13.

Тема 9.2 Сварка титана и его сплавов

Сварка титана — сварка изделий из титана и ее сплавов. Вклад в разработку технологии сварки титана внёс американский инженер-металлург Уильям Джон Арбегаст, младший.

Особенности сварки

Основная трудность сварки титана — это необходимость надежной защиты металла, нагреваемого выше температуры 400 °С, от воздуха, так как на его поверхности под действием воздуха образуется оксидная пленка. Металл обладает высокой химической активностью по отношению к кислороду, азоту и водороду при его нагреве и расплавлении. Водород в небольшом количестве сильно ухудшает свойства титана.

К основным способам сварки титана и его сплавов относятся:

- дуговая сварка в среде инертных газов неплавящимся или плавящимся электродом;
- дуговая сварка титана под флюсом;
- электрошлаковая сварка;
- электронно-лучевая сварка;
- [контактная сварка](#).

Дуговая сварка титана проводится в среде газа аргона или в его смесях с гелием. Сварку производят под местной защитой. Газ проходит через сопло горелки с насадками, увеличивающими зону защиты. С обратной стороны стыка свариваемых деталей устанавливают медные подкладные планки с канавкой, по длине которой равномерно подают [аргон](#). При сложной конструкции деталей сварка проходит с общей защитой в специальных камерах с контролируемой атмосферой. Камеры могут представлять собой камеры-насадки для защиты части свариваемого узла, жесткие камеры из металла или мягкие камеры, сделанные из ткани и имеющими смотровые окна и встроенные рукавицы для рук сварщика. В камеры

помещаются свариваемые детали, сварочная оснастка и горелка. Для крупных узлов применяют большие металлические камеры объёмом до 350 куб. м., в них устанавливают сварочные автоматы и манипуляторы. Из камеры откачивается воздух, она наполняется аргоном, через шлюзы в камеры входят сварщики в скафандрах и проводят сварку.

Титановые сплавы из-за высокой химической активности сваривают дуговой сваркой в инертных газах неплавящимся и плавящимся электродом, дуговой сваркой под флюсом, электронным лучом, электрошлаковой и контактной сваркой. Расплавленный титан жидкотекуч, его шов хорошо формируется при всех способах сварки.

Дуговую сварку титановых сплавов выполняют плавящимся электродом (проволока диаметром от 1,2 до 2,0 мм) на постоянном электрическом токе обратной полярности в режимах, обеспечивающих мелкокапельный перенос электродного металла. Защитной средой при этом является смесь - 20 % аргона и 80 % гелия или чистый гелий. При этом увеличивается ширина шва и уменьшается его пористость.

Титановые сплавы можно также сваривать дуговой сваркой под бескислородными фтористыми флюсами сухой грануляции марки АНТ1, АНТ3 для толщины 2,5...8,0 мм и марки АНТ7 для толстого металла. Сварка ведется с использованием электродной проволоки диаметром от 2,0 до 5,0 мм с вылетом электрода на 14 - 22 мм на медной подкладке или на флюсовой подушке. Структура металла сварного шва в результате модифицирующего действия флюса получается более мелкозернистой, чем при сварке титана в инертных газах.

Разнородная сварка

Практическое применение находит сварка титана со сталью. При такой сварке важно выбирать материалы и режимы сварки, препятствующие образованию в шве хрупких фаз FeTi и Fe₂Ti.

Сварка титана со сталью проводится в защитном газе аргоном вольфрамовым электродом или через промежуточные вставки. Комбинированные вставки выполняются из тантала и бронзы. При этом бронза сваривается со сталью аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а тантал с титаном сваривается в камерах с контролируемой атмосферой. Используются также комбинированные вставки из бронзы и ниобия. При этом сварка проводится вольфрамовым электродом в камере с контролируемой атмосферой.

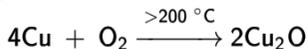
Вопросы самоконтроля:

1. В чём заключается особенность сварки титана?
2. Перечислить способы сварки титана с характеристикой каждого способа.

Тема 9.3 Сварка меди и его сплавов

Сварка меди — сварка изделий из меди и ее сплавов.

Особенности сварки меди обусловлены ее физическими и химическими свойствами. Медь имеет температуру плавления 1080—1083°C. При температурах 300—500°C она обладает горячеломкостью. Жидкая медь растворяет кислород и водород. С кислородом она образует закись меди Cu_2O , температура плавления которой на 20° ниже температуры плавления чистой меди.



Наличие закиси приводит к образованию горячих трещин после сварки. Проявление «водородной болезни меди» обусловлено тем, что при химическом соединении водорода с кислородом образуется стремящийся расшириться водяной пар, то, в свою очередь, приводит к трещинам в металле шва.

Медь имеет высокую тепло- и электропроводность. Теплопроводность меди в 6—7 раз превышающей теплопроводность стали, она имеет также хорошую жидкотекучестью в расплаве.

Удельная электропроводность меди при 20 °C: 55,5-58 МСм/м.

Свариваемость меди максимальна в отсутствии примесей. Примеси свинца, мышьяка и др. затрудняют сварку. При сварке медь не должна загрязняться примесями. Металлы в примеси с медью - хром, марганец, железо и др. способствуют повышению прочности шва.

Особенности сварки

Сварка меди и сплавов может проводиться газовой сваркой. При ручной дуговой сварке покрытыми электродами возможно загрязнение металла шва легирующими компонентами. Из-за большой теплопроводности меди при дуговой сварке надо применять большой ток.

Поскольку при сварке образуется закись меди, то сварку надо проводить быстро, со скоростью около 0,25 м/мин. Для сварки меди толщиной от 6 мм используют предварительный подогрев заготовок.

Особенности дуговой сварки трубопроводов из меди и медно-никелевого сплава. Основные типы, конструктивные элементы и размеры соединений из меди и медно-никелевого сплава описаны в ГОСТ 16038-80.

Разнородная сварка

При сварке меди с алюминием возможно образование хрупкой интерметаллической фазы.

Сварка двух металлов проводится вольфрамовым электродом в аргоне по слою флюса. Перед сваркой проводится очистка свариваемых поверхностей, наносится слой покрытия, активирующего поверхность металлов и улучшающего смачиваемость поверхности меди алюминием. Чаще используется покрытие цинком гальваническим методом. При сварке дугу смещают на медь, как более теплопроводный металл. В качестве присадочного материала используются алюминиевые прутки.



Рис. 9.2 – Сварка титана неплавящимся электродом

Вопросы самоконтроля:

1. Особенности сварки меди.
2. Укажите способы сварки меди и её сплавов. Охарактеризовать каждый способ.

Раздел 10. Режимы сварки

Тема 10.1 Режимы РДС

Сварочный ток – устанавливают в зависимости от диаметра электрода, а диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия и пространственного положения:

Толщина металла, мм.	1-2	3	4-5	6-8	9-12	13-15	16 и более
Диаметр электрода, мм	1,5-2	3	3-4	4	4-5	5	6

С увеличением сварочного тока глубина провара увеличивается, ширина шва почти не изменяется.

Ориентировочный расчет сварочного тока

Диаметр электрода $d=3-6\text{мм}$	Диаметр электрода $d<3\text{мм}$
$I=(20+6d)dk$	$I=30dk$

Коэффициент К	Нижний шов 1	Вертикальный шов 0,9	Потолочный шов 0,8
------------------	-----------------	-------------------------	-----------------------

При увеличении диаметра электрода и неизменном сварочном токе плотность тока уменьшается, что приводит к блужданию дуги, увеличению ширины шва и уменьшению глубины провара. Чем больше диаметр электрода, тем меньше допустимая плотность тока, так как ухудшаются условия охлаждения.

Табл. 10.1 - Допускаемая плотность тока (А/мм^2) в зависимости от покрытия электрода

Вид покрытия	Диаметр электрода, мм			
	3	4	5	6

Кислое	14-20	11,5-16	10-13,5	9,5-12,5
Рутиловое				
Основное	13-18,5	10-14,5	9-12,5	8,5-12,5

Напряжение на дуге зависит от ее длины. Оптимальная длина дуги выбирается между минимальной и максимальной. Длинную дугу применять не рекомендуется:

Минимальная	Максимальная
$L_0=0,5d_3$	$L_0=d_3+1$
d_3 – диаметр электрода (мм)	

С повышением напряжения ширина шва резко увеличивается, а глубина провара несколько уменьшается. Это важно учитывать при сварке тонкого металла. Несколько уменьшается и выпуклость шва. При одном и том же напряжении ширина шва при сварке на постоянном токе (особенно обратной полярности) значительно больше, чем ширина шва при сварке на переменном токе.

Скорость сварки выбирается так, чтобы сварочная ванна заполнялась электродным металлом и возвышалась над поверхностью кромок с плавным переходом к основному металлу без подрезов и наплывов. С увеличением скорости сначала глубина провара возрастает (до 40-50м/ч), а затем уменьшается. При этом ширина шва уменьшается постоянно. При скорости более 70-80 м/ч основной металл не успевает прогреваться, и по обеим сторонам шва возможны подрезы.

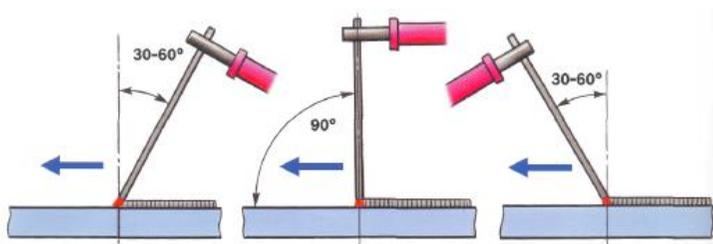


Рис. 10.1. Виды положений при сварке

При сварке **углом вперед** уменьшается глубина провара и высота выпуклости шва, но заметно возрастает его ширина, что позволяет использовать этот способ при сварке металла небольшой толщины. Лучше проплавляются кромки, поэтому возможна сварка на повышенных скоростях.

При сварке **углом назад** глубина провара и высота выпуклости увеличиваются, но уменьшается ширина. Прогрев кромок недостаточен, поэтому возможны несплавления и образования пор.

Вопросы самоконтроля:

1. Влияние режимов на качество, форму и размеры шва.

Литература: 8, 9.

Тема 10.2 Режимы АДС

Аргонодуговой сваркой называют дуговую сварку в среде защитного газа – аргона.

В основе сварочного процесса лежит расплавление кромок свариваемого металла и присадочного материала под действием дуги, которая горит между ними. При этом сама дуга, сварочная ванна, края металла и конец присадочного материала (проволоки) защищены от воздействия окружающей среды газом – аргоном, который подается с помощью горелки. Для повышения качества процесса применяются различные режимы аргонодуговой сварки, зависящие от типа свариваемого металла, от сложности конструкции и от других параметров сварочного процесса.

Особенностью аргонодуговой сварки является то, что движение горелкой совершается только вдоль оси сварного шва – поперечные колебания полностью отсутствуют. Это приводит к тому, что сварной шов получается более узким, чем при применении других методов сварки. А для того чтобы предотвратить излишнее разбрызгивание металла, сварочную проволоку необходимо подавать максимально плавно, сварочная ванна при этом должна быть вытянута в сторону направления сварочного процесса.

Преимущества и недостатки аргонодуговой сварки

Аргонодуговая сварка имеет множество достоинств:

- металл, подвергающийся сварке, нагревается до минимальных необходимых значений
- металл в расплавленном состоянии надежно защищен от воздействия окружающего воздуха, а значит, в нем не появятся соединений, которые будут негативно влиять на качество сварного шва
- повышается скорость сварки за счет увеличения тепловой мощности сварочной дуги
- процесс сварки легко контролируется
- техника такой сварки достаточно проста, а это значит, что от сварщика не требуется высокой квалификации
- такой метод сварки дает возможность сваривать металлы, которые обычно трудно поддаются подобному виду обработки. Также, аргонодуговая сварка позволяет сваривать и разнородные металлы
- процесс сварки может быть полностью механизирован и автоматизирован.

А к недостаткам аргонодуговой сварки можно отнести:

- сложности при работе на открытом воздухе или на сквозняке, так как газовая защита не очень устойчива при таких условиях
- возникновение ультрафиолетового излучения
- усложнение процесса при применении высокоамперной дуги в процессе сварки, так как в данном случае необходимо использовать охлаждение.

Выбор режима аргонодуговой сварки и ее основных параметров

Режимы аргонодуговой сварки выбираются, исходя из условий сварки. А для того чтобы выбрать наиболее подходящий в том или ином случае режим, необходимо обращать внимание на несколько важных параметров.

- **Род и полярность тока**

При аргонодуговой сварке применяют ток прямой полярности. Ток обратной полярности в данном случае не может считаться пригодным, так как он сопровождается следующими особенностями:

1. напряжение дуги увеличивается, а вот ее устойчивость становится меньше
2. также уменьшается стойкость электрода, в результате чего он больше нагревается и быстрее расходуется.

Что касается рода тока, то в большинстве случаев в аргонодуговой сварке используется постоянный ток. Переменный ток применяется только в том случае, если сварке подвергается алюминий, магний, бериллий или их сплавы.

- **Величина сварочного тока**

Величина сварочного тока при аргонодуговой сварке зависит от диаметра электрода, свариваемого металла, а также от рода и полярности тока. Точные значения сварочного тока приведены ниже в таблице:

<i>Диаметр электрода (мм)</i>	<i>Переменный ток (А)</i>	<i>Постоянный ток прямой полярности (А)</i>
1-2	20-100	65-160
3	100-160	140-180
4	140-220	250-340
5	200-280	300-400
6	250-300	350-450

- **Напряжение на дуге**

Этот параметр режима сварки зависит от длины сварочной дуги. Для того чтобы сократить ширину шва до минимальных значений, увеличить глубину проплавления и гарантировать надежную защиту сварочной зоны газом, рекомендуется применять минимально возможную длину дуги при сварке. Идеальной считается дуга длиной от 1,5 до 3 мм – напряжение на дуге такой длины составляет 11-14 В.

- **Скорость сварки**

Выбор скорости сварки производится в каждом случае индивидуально – это делает сам сварщик, исходя из формы и размеров сварного шва, который получается в процессе сварки.

- **Расход защитного газа**

Этот параметр зависит от того, какой металл подвергается сварке – существуют специальные нормативы расхода защитного газа для каждого конкретного металла. Количество газа, подготавливаемого для сварки, при этом необходимо подбирать таким образом, чтобы его хватило на весь процесс сварки, а его струя была достаточной для защиты всей сварной ванны.

- **Расстояние между концом присадочного материала (электрода) и соплом горелки.**

Это расстояние выбирается в зависимости от разновидности сварного соединения. При сварке стыковых соединений расстояние между концом электрода и соплом горелки должно составлять от 3 до 5 мм, а если речь идет о тавровых или угловых соединениях, то оно составляет от 5 до 8 мм.

Вопросы самоконтроля:

1. Способы сварки швов в нижнем положении.

Литература: 8, 9.

Тема 10.3 Режимы механизированной сварки в защитных газах

Одним из изобретений в области сварки стала разработка сварки в защитных газах, как разновидности дуговой сварки. Защитный углекислый газ обтекает дугу и сварочную ванну во время работы, благодаря чему свариваемый металл не окисляется под действием кислорода и азота, содержащихся в воздухе.

Особенности сварки

Основополагающим параметром для сварки является полярность тока, сила тока, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр электродной проволоки, вылет электрода и расход защитного газа. Для сварки в основном применяется ток обратной полярности. Переменный и постоянный ток прямой полярности не используются в работе из-за нестабильности процесса сварки и низких параметров получаемого шва.

Электродная проволока при сварке в защитных газах

Так как углекислый газ не нейтрален (под действием высокой температуры он распадается на оксид углерода и свободный кислород), во время сварки металл шва становится пористым и имеет низкие качественные характеристики. Чтобы избежать таких негативных последствий, во время сварки используют электродную проволоку, насыщенную раскисляющими примесями: кремнием и марганцем.

Благодаря таким добавкам сварочный шов получается непористым и с устойчивыми техническими характеристиками. Диаметр электродной проволоки напрямую зависит от толщины заготовок: чем толще заготовка, тем, соответственно, толще и сама проволока. При использовании электродной проволоки разных диаметров, при одних и тех же условиях, изменяются характеристики сварочного шва. Так при увеличении диаметра проволоки получаем меньше наплавки, увеличение ширины шва и уменьшение глубины проплавления металла.

Ток в сварочном процессе

Чем больше сила тока, тем глубже проплавляется металл, одновременно объем наплавленного металла растет медленнее, чем идет проплавка. Соответственно количество электродного металла в сварочном шве значительно меньше. Данный факт увеличивает вероятность возникновения трещин в швах на конструкциях из сталей с повышенным содержанием углерода. При повышении силы тока ширина шва вначале сварочных работ увеличивается, потом же несколько уменьшается. При выборе силы тока следует исходить из параметров максимальной ширины данного шва.

Сварочная дуга

Напряжение дуги влияет на глубину проплавки металла. Чем выше напряжение, тем меньше глубина проплава. При этом немного увеличивается ширина шва, объем наплавного и размер проплавленного металла. Так же следует учесть, что при увеличении напряжения дуги приводит к большему разбрызгиванию металлических капель, тем самым снижается защитная функция потока газа. Что в свою очередь ведет к появлению пор и увеличению концентрации газов внутри шва.

Скорость

Скорость сварки оказывает влияние на размеры швов и объем наплавленного и проплавленного металла. Чем больше увеличивается скорость, тем меньшими становятся швы и уменьшаются объемы проплавленного металла и наплавленного.

Рабочий пост

На рабочем посту обязательно должно быть:

- источник постоянного тока;
- полуавтомат;
- баллон с газом;
- редукторный осушитель;
- подогреватель газа;
- редуктор;
- ротаметр;
- амперметр;
- вольтметр.

Преимущества механизированной сварки в углекислом газе

Механизированная сварка в углекислом газе позволяет осуществлять сварочные работы под любым углом в пространстве и на весу, эффективнее ручной сварки в 2-3 раза. Сам сварочный шов более устойчив к деформации и внутреннему давлению. Механическая сварка, в отличие от автоматической, намного маневреннее и легче, что дает сварщику свободу при перемещении между узлами конструкций. Так же стоит отметить, что у рабочего есть возможность визуально контролировать направление дуги по сварочному шву.

Недостатки этого способа сварки

При работе стоит учесть, что сварка в углекислом газе дает сильное разбрызгивание металла на токах 200-400 А. Это требует дальнейшей зачистки шва и поверхности изделия, да и внешне шов хуже смотрится, чем при сварке под флюсом. Еще одним недостатком является большое выделение газа на месте сварки. Также надо учитывать, что при сильном ветре поток защитного газа сдувается.

Механизированная сварка в углекислом газе – один из уже опробованных с доказанной эффективностью способов крепежа и сборки металлических конструкций любой сложности. Но необходимо соблюдать все меры предосторожности, ведь работа осуществляется не только со сваркой, но и с газами.

Литература: 8, 9.

Тема 10.4 Режимы автоматической сварки под флюсом

Режимы сварки под флюсом имеют основные и дополнительные параметры. К основным относят: ток, его род и полярность, напряжение дуги, диаметр электродной проволоки, скорость сварки. Дополнительные параметры режима - вылет электродной проволоки, состав и строение флюса (плотность, размеры частиц), положение изделия и электрода при сварке.

Параметры режима сварки зависят от толщины и свойств свариваемого металла и обычно приводятся в технических условиях на сварку конкретного изделия и корректируются при сварке опытных образцов. При отсутствии таких данных режимы подбирают экспериментально. Основным условием для успешного ведения процесса сварки является поддержание стабильного горения дуги. Для этого определенной силе сварочного тока должна соответствовать своя скорость подачи электродной проволоки. Скорость подачи должна повышаться с увеличением вылета электрода. При его постоянном вылете увеличение скорости подачи уменьшает напряжение дуги. При использовании легированных проволок, имеющих повышенное электросопротивление, скорость подачи должна возрастать.

Влияние изменения основных параметров сварки на размеры шва

Закономерности относятся к случаю наплавки, когда глубина провара $\leq 0,8$ толщины основного металла. При большей глубине провара ухудшение теплоотвода от нижней части шва приводит к резкому росту провара - вплоть до прожога.

Наибольшее влияние на форму и размеры шва оказывает сварочный ток. При его увеличении интенсивно повышаются глубина проплавления и высота усиления шва, а его ширина возрастает незначительно.

Повышение напряжения на дуге увеличивает ширину сварного шва, глубина проплавления практически не меняется, высота выпуклости снижается.

Влияние скорости сварки на глубину проплавления и ширину шва носит сложный характер. Сначала при увеличении скорости сварки давление дуги всё больше вытесняет жидкий металл, толщина прослойки жидкого металла под дугой уменьшается, и глубина проплавления возрастает. При дальнейшем увеличении скорости сварки (>20 м/ч) заметно снижается погонная энергия и глубина проплавления начинает уменьшаться. Во всех случаях при увеличении скорости сварки ширина шва уменьшается. При скорости сварки $>70...80$ м/ч по обеим сторонам шва возможны несплавления с кромкой или подрезы. Если необходимо вести сварку на больших скоростях, применяют специальные методы (сварка трехфазной дугой, двухдуговая и др.).

Диаметр электродной проволоки заметно влияет на форму и размеры шва, особенно на глубину проплавления. Как видно из табл. 10.4, при отсутствии источников, обеспечивающих необходимый сварочный ток, требуемая глубина проплавления может быть достигнута при уменьшении диаметра используемой электродной проволоки.

Табл. 10.4 - Глубина проплавления шва при различных диаметрах электродной проволоки и величинах сварочного тока (А) (сварка под флюсом).

Глубина проплавления, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А
3	5	450
	4	375
	3	300
	2	200
4	5	500
	4	425
	3	350
	2	300
5	5	550
	4	500
	3	400
	2	350
6	5	600
	4	550
	3	500
	2	400
8	5	725
	4	675
	3	625
	2	500
10	5	925
	4	900
	3	750
	2	600
12	5	930
	4	925
	3	875
	2	700

Род и полярность тока влияют на глубину провара. По сравнению с постоянным током прямой полярности, сварка на постоянном токе обратной полярности на 40 ...50 %, а на переменном, на 25.. .30 % увеличивает глубину проплавления. Изменение температуры изделия в пределах -60...+350°C практически не влияет на размеры и форму шва. При подогреве изделия до более высокой температуры возрастают глубина и особенно ширина шва.

Наклон электрода вдоль шва и положение детали также отражаются на форме шва. Обычно сварку выполняют вертикально расположенным электродом, но в отдельных случаях она может проводиться с наклоном электрода углом вперед или углом назад. При сварке углом вперед жидкий металл подтекает под дугу, толщина его прослойки увеличивается, а глубина проплавления уменьшается. Сварка углом назад уменьшает прослойку, и проплавление возрастает. Сварка на подъем увеличивает глубину проплавления и вероятность прожога.

При сварке на спуск металл сварочной ванны, подтекая под дугу, уменьшает глубину проплавления, поэтому возможно образование несплавлений и шлаковых включений.

Состав флюса, его насыпная масса также изменяют форму и размеры шва. При увеличении насыпной массы флюса глубина проплавления возрастает, ширина шва уменьшается.

Режимы сварки под флюсом и техника сварки швов различных типов

Стыковые швы выполняют односторонней однопроходной сваркой, двусторонней одно- или многопроходной сваркой.

При односторонней сварке металла толщиной до 4...6 мм без разделки кромок зазор при сборке устанавливают минимальным.

Для металла толщиной 10...12 мм стыки собирают с зазором. Тонкие листы (до 10 мм) и цилиндрические конструкции соединяют на стальных подкладках толщиной 3...6 и шириной 30...50 мм, если они не запрещены по условиям работы конструкции.

Соединение "в замок" применяют в ответственных изделиях, при сборке толстостенных крупногабаритных изделий.

Одностороннюю сварку на флюсовой подушке применяют для сварки листовых конструкций и выполнения кольцевых швов как с разделкой, так и без разделки кромок с обязательным технологическим зазором (табл. 10.5).

Табл. 10.5 - Типовые режимы сварки сталей на флюсовой подушке

Толщина металла, мм	Ширина зазора в стыке, мм	d _з	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} , м/ч	Давление воздуха в шланге флюсовой подушки, кПа
2	0... 1,0	1,6	120	24...28	43,5	80
3	0...1,5	2	275 ... 300	28...30	44,0	
		3	400 .. .425	25 ...28	70,0	
5	0...2,5	2	425 .. .500	32.. .34	35,0	100... 150
		4	575.. .625	28.. .30	46,0	108
8	0... 3,5		725 .. .775	30.. .36	34,0	100... 150

Литература: 8, 9.

Раздел 11. Техника сварки в разных пространственных положениях

Тема 11.1 Сварка в нижнем положении

По расположению в пространстве и протяженности существуют следующие

виды сварки:

- В нижнем положении. Когда сварочный шов располагается под углом 0° к поверхности земли;
- В горизонтальном. Сваривание ведется горизонтально, а деталь размещена под углом от 0 до 60° ;
- В вертикальном положении. Сваривание ведется вертикально, а конструкция располагается в плоскости от 60 до 120° ;
- В потолочном. Шов находится над сварщиком, а работы ведутся под углом $120-180^\circ$;
- В «лодочку». Сварка выполняется «в угол», а деталь расположена под наклоном.

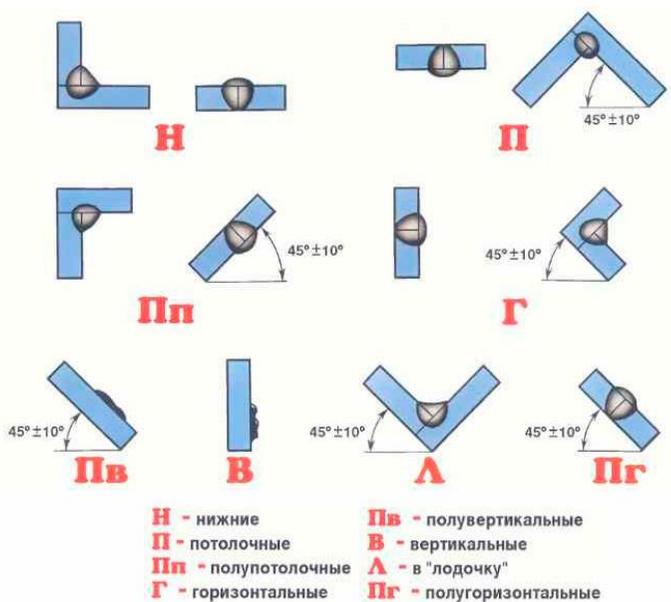


Рис. 11.1 – Виды сварки по расположению в пространстве и протяженности

Сварку нужно стремиться выполнять в нижнем положении, так как при этом создаются наиболее благоприятные условия для получения швов хорошего качества. В этом положении расплавленный металл переносится в сварочную ванну, которая занимает горизонтальное положение, в направлении силы тяжести. При этом сварку в нижнем положении выполнять удобнее и легче наблюдать за процессом.

Способ сварки в нижнем положении угловых швов называется сваркой «в лодочку». Существуют различные способы сварки швов. Выбор их зависит от длины шва и толщины свариваемого металла. Условно принято швы длиной до 250 мм называть короткими, 250—1000 мм — средними, более 1000 мм — длинными. Для коротких швов рекомендуется способ сварки «напроход» (рис. 11.2,а), швов

средней длины — сварка от середины к краям или обратноступенчатый способ (рис. 11.2, б, в), швов однопроходных стыковых соединений, первого слоя многопроходных швов и угловых швов — от середины к концам обратноступенчатым способом (рис. 11.2, г, д).

Сварка обратноступенчатым способом при правильном выборе длины ступени является наиболее эффективной, так как уменьшает неодновременность выполнения однопроходного шва и поэтому приводит к меньшим остаточным деформациям. При сварке стыковых или угловых швов большого сечения шов накладывается несколькими слоями. При этом каждый слой средней и верхней части может быть получен за один, два и более проходов. При сварке толстого металла не рекомендуется делать каждый слой «напроход», так как это может привести к значительным деформациям и появлению трещин в первых слоях. Для предотвращения образования трещин при сварке толстого металла закладывать слои следует на еще не остывшие предыдущие слои. Это достигается при сварке блочным (рис. 34,в) и каскадным методами (рис. 34,а). При блочном методе весь шов по длине делится на равные участки — блоки длиной около 1 м, каждый блок заваривает определенный сварщик. Свар-32. Сварка «в лодочку»

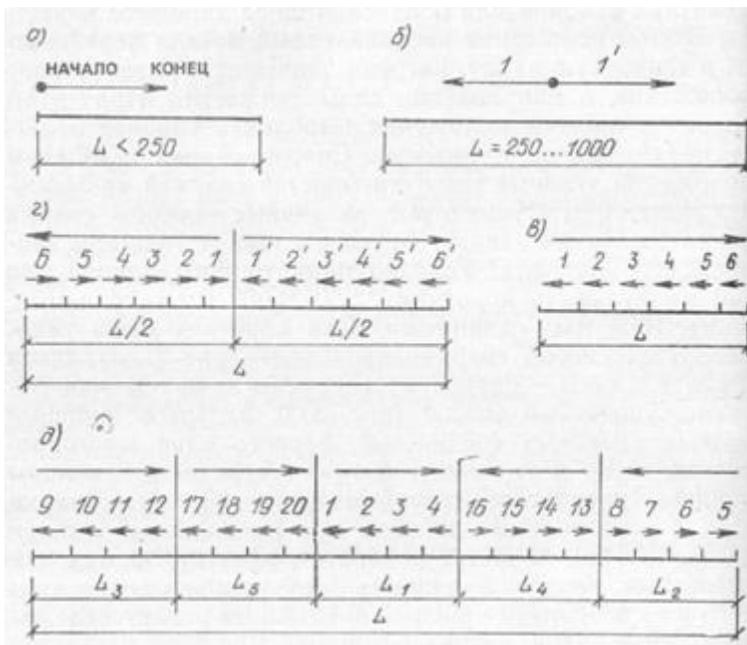


Рис. 11.2 Способы выполнения швов по длине

а — «на проход»; б — от середины к краям; в — обратноступенчатый; г, д — обратноступенчатый от середины к краям

начинают со среднего блока. Сразу после первого прохода на первом участке сварку начинают еще два сварщика и т. д., пока все участки по длине не будут закреплены за сварщиками.

Каскадный метод заключается в сварке участков по 200 мм, на которые разбит весь шов, таким образом, чтобы по окончании первого слоя первого участка без остановки продолжать сварку первого слоя на соседнем участке. Сварка «горкой» (рис. 11.3,б) является разновидностью и ведется двумя сварщиками одновременно, от середины к краям.

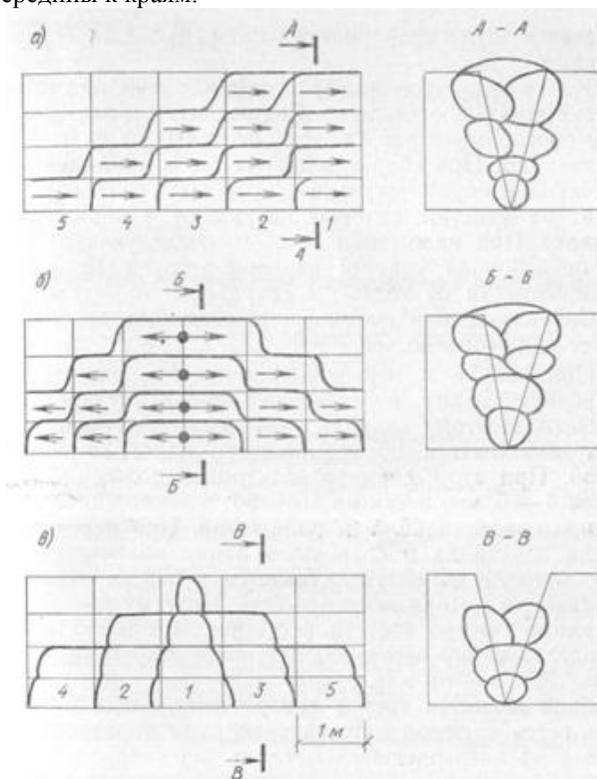


Рис. 11.3. Сварка длинных многослойных швов
 а — каскадным методом; б — «горкой»; в — блочным методом

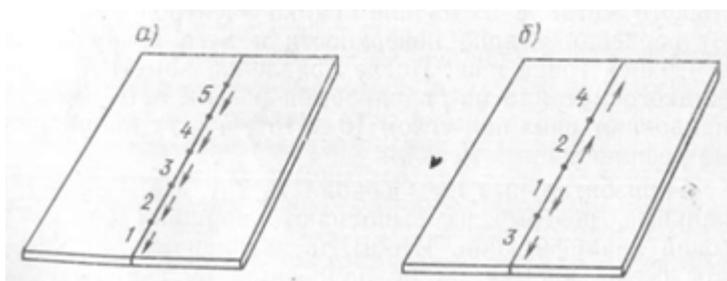


Рис. 11.4. Порядок (1—5) наложения швов
 а — сварка от кромки; б — сварка от середины шва

Как и при дуговой сварке, нижние швы при газовой сварке выполняются легко. Сварка ведется левым и правым способами в зависимости от толщины свариваемого металла. При сварке длинных швов применяют ступенчатый и обратноступенчатый методы (рис. 11.4). Швы делят на участки, которые сваривают в определенном порядке. При наложении каждого последующего участка предыдущий участок перекрывают на 10 — 20 мм в зависимости от толщины свариваемого металла.

При ручной сварке в нижнем положении основная проблема состоит в том, чтобы обеспечить полное проплавление сечения без образования прожогов.

На рисунке приведены различные варианты выполнения швов в нижнем положении. При сварке односторонних швов на весу (рисунок А), как правило, очень трудно избежать непроваров или прожогов, поэтому для односторонних швов обычно применяют способы удержания сварочной ванны:

- сварка на съемной медной подкладке (рисунок Б);
- сварка на остающейся стальной подкладке (рисунок В);
- наложение подварочного шва (рисунок Г);
- вырубка непровара с последующей заваркой корня шва (рисунок Д).

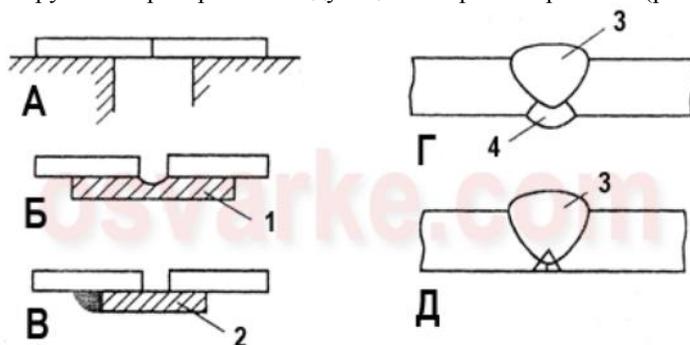


Рис. 11.5. Способы удержания сварочной ванны

1 – съемная медная подкладка; 2 – остающаяся стальная подкладка; 3 – основной шов; 4 – подварочный шов

Вопросы самоконтроля:

1. Способы сварки швов в нижнем положении.

Литература: 15, 16, 17.

Глава 11.2 Техника сварки вертикальных швов, горизонтальных, швов в потолочном положении

Как варить вертикальный шов? Когда выполняется сварка вертикальных швов, металл подготавливается так, что учитывается тип соединения и толщина элементов. После чего они фиксируются в нужном положении, и прихватываются небольшими поперечными стежками, которые не дают деталям смещаться.

Вертикальный шов сваривается двумя способами: снизу вверх и в обратном направлении. Получить высокое качество вертикального шва легче, когда работаешь снизу вверх, так как сварочная ванна поднимается дугой и не дает ей опускаться.

Сварка вертикального шва снизу вверх без отрыва дуги предполагает движение электрода в одном направлении без смещения по горизонтали. Он наклоняется к плоскости под углом 80-90°. Сварочная дуга оказывает прямое воздействие на деталь, что облегчает управление процессом.

Алгоритм сварки:

В нижней точке возбуждается дуга;

Подготовка горизонтальной поверхности, равной сечению шва — движение электрода: полумесяцем, «елочкой» или зигзагом;

Удержание сварочной ванны осуществляется давлением дуги, которая контролируется наклоном электрода.

Движения электродом должны осуществляться довольно быстро, необходим полный контроль над процессом. Если сварочная ванна начинает вытекать с одного края, переходите к другому с одновременным движением вверх.

Важно! Не перегревайте металл и не останавливайтесь. Ванна может выпасть, последствием чего может быть прожог.

Свои особенности имеет сварка углового вертикального шва. Сначала наплавляют полочку, затем неспешными манипуляциями электрода наплавляют металл. Формируется готовый шов при проходе «лесенкой», т.е. подняли электрод вправо вверх, капля расплавленного металла застывает между кромками, далее ведем кончик электрода по краю шва влево и вверх, тем самым формируя «чешуйки» надежного соединения.

При сварочных работах с отрывом дуги движения выполняются из одной стороны в другую небольшими поперечными стежками или петельками.

Сварка горизонтальных швов

Горизонтальные швы на вертикальной поверхности свариваются справа налево и наоборот. Ванна в этом случае будет также стремиться вниз, стекать в нижнюю кромку. Электрод наклоняется под большим углом, который зависит от параметров тока. Ванна обязательно должна оставаться на месте.

! При сварке толстого металла идет скок (разделка) только верхней кромки, нижняя при этом, удерживает расплавленный металл в сварочной ванне.

Советы и рекомендации при сварке в горизонтальном положении:

- предпочтительно варить слева направо, так лучше видна сварочная ванна;
- положение электрода немного назад, на шов;
- возбуждение дуги происходит на нижней кромке, далее переводят на верхнюю;
- траектория движения электродом осуществляется по спирали.

При стекании металла вниз необходимо увеличить скорость движения и уменьшить нагрев металла. Можно выполнять отрывы дуги. В эти промежутки времени металл чуть остывает и прекращается его стекание. Такой же эффект дает снижение силы тока. Только пользуйтесь этими приемами поэтапно.

Совет! Если варить горизонтали для вас в новинку, не наплавляйте много

металла, постарайтесь выполнить качественно тонкий шов. Затем, по необходимости, сделайте проход над первым.

Горизонтальные угловые швы в нахлесточных соединениях свариваются достаточно просто, техника выполнения повторяет сварку в нижнем положении.

Как варить потолочный шов электросваркой? Такие ситуации могут привести в замешательство неопытных новичков.

Сварщик в этом случае находится в неудобном положении, а капли раскаленного металла с потолка будут срываться вниз. Электрод при таком виде работ расположен перпендикулярно к поверхности. Он должен совершать круговые движения с небольшой скоростью, чтобы расширить соединение. Электрическая дуга обязательно короткая. При длинной дуге будут образовываться подрезы.



Рис. 11.2 – Способы выполнения потолочных швов

Сварка потолочных швов осуществляется по такому же принципу — металл должен затвердеть максимально быстро. Для такого вида работ используются электроды с особым тугоплавким покрытием. Вместе с круговыми движениями электродами совершаются и вертикальные. При отдалении от ванны дуга гасится. Энергия перестает поступать. Происходит остывание металла и его кристаллизация, сварочная ванна уменьшается. Таким образом, плавление осуществляется коротким замыканием.

К потолочной сварке прибегают в случаях крайней необходимости, когда нет возможности расположить более удобно свариваемые детали. Нагрев металла осуществляется снизу, при этом пузырьки, поднимаясь из сварочной ванны, оказываются в корне шва, и ослабляют его.

Вопросы самоконтроля:

1. Приемы сварки вертикальных, горизонтальных швов.
2. Как и для чего меняются режимы сварки в этих пространственных положениях?

Литература: 15, 16, 17.

Раздел 12. Сварка швов разной протяженности

Сварные швы по протяженности делят на три группы. Протяженность сварных швов имеет большое значение для выбора порядка их выполнения.

Короткие швы сваривают способом «на проход», т. е. непрерывным движением дуги от одного конца шва к другому в одном направлении. При

многослойной сварке каждый последующий слой накладывают в направлении, противоположном предыдущему.

Швы средней длины сваривают от середины шва к краям, либо обратноступенчатым способом. Такой порядок наложения швов уменьшает внутренние напряжения и деформации. Деформации, возникающие при наложении двух соседних коротких швов, имеют противоположное направление.

Обратноступенчатый способ сварки заключается в том, что весь шов разбивают на участки длиной 200—300 мм (ступени). Длину участка выбирают такой, чтобы провести сварку целым числом электродов. При сварке тонкого металла участки делают короче, при сварке более толстого — длиннее. Сварку каждого участка (ступени) ведут в направлении, обратном общему направлению сварки. Обратноступенчатый способ сварки имеет несколько разновидностей. Швы средней длины сваривают обратноступенчатым способом от одного конца шва к другому. Сварка каждой ступени производится в направлении предыдущего сваренного участка таким образом, что конец каждой ступени сваривают с началом предыдущей.

Швы большой протяженности сваривают обратноступенчатым способом от середины к краям. Если сварку выполняет один сварщик, то он накладывает швы в очередности, показанной на рис. 12 в.

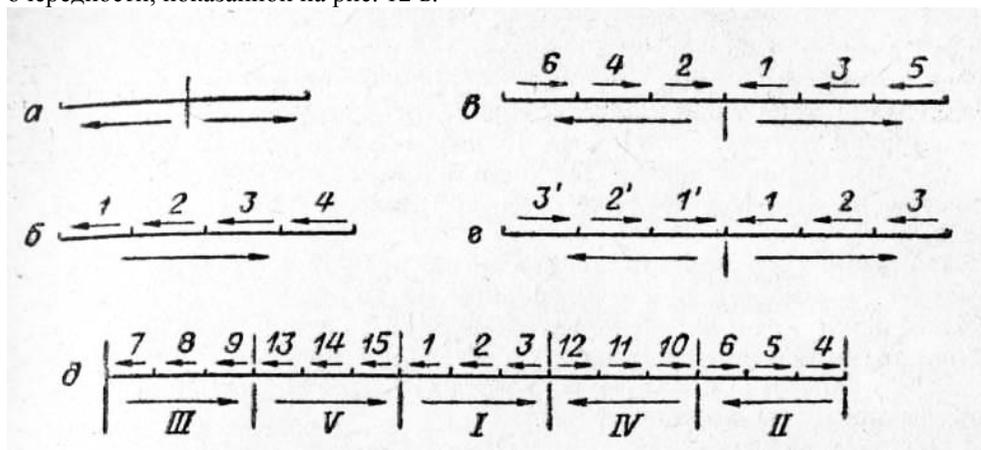


Рис. 12. Сварка швов различной протяженности:

а — от середины к краям шва; б — обратнo-ступенчатым способом от одного конца шва к другому; в, г — обратнo-ступенчатым способом от середины к краям шва; д — обратнo-ступенчатым способом от середины к краям шва вразбивку

Способ, показанный на рис. 60 д, предпочтителен, называется он так: обратноступенчатый способ сварки от середины к краям шва вразбивку. Если сварку выполняют два сварщика, то они накладывают швы в очередности, показанной на рис. 12 г.

При сварке обратноступенчатым способом многослойных швов концы участков (ступеней) в смежных слоях не должны совпадать, и их необходимо сдвигать на 15—20 мм. Это делают потому, что в точках начала и конца швов наиболее вероятно появление дефектов (непроваров, шлаковых включений).

Каждый последующий слой следует выполнять в направлении, противоположном предыдущему.

Вопросы самоконтроля:

1. Сварка швов: малой, средней, большой протяженности.

Литература: 15, 16, 17.

Раздел 13. Сварка однослойных и многослойных швов

По способу заполнения швов по сечению различают однопроходные, однослойные швы (рис. 13.1, а), многопроходные многослойные (рис. 13.1, б) и многослойные (рис. 13.1, в).

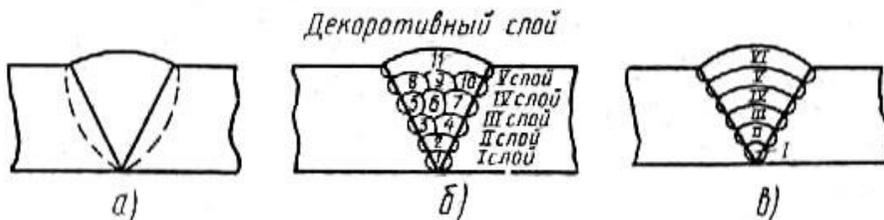


Рис. 13.1 – Сварные швы

Многослойные швы

Если число слоев равно числу проходов дугой, то такой шов называют многослойным. Если некоторые из слоев выполняются за несколько проходов, то такой шов называют многопроходным.

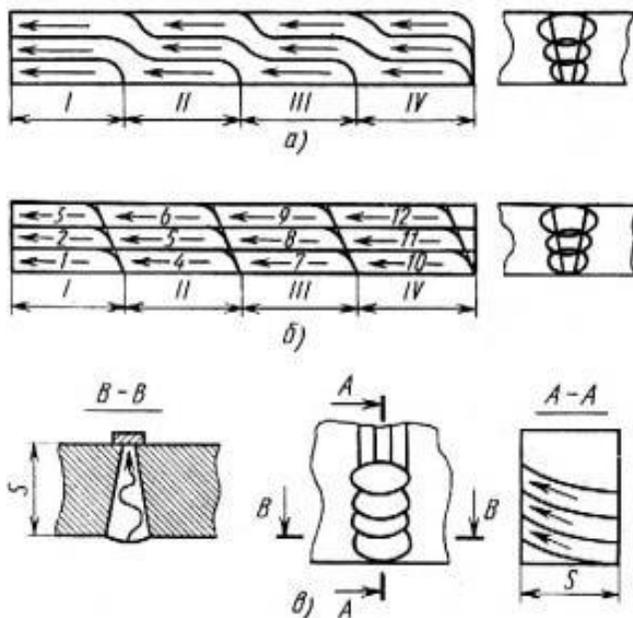


Рис. 13.2. Схемы заполнения шва при сварке:

а — каскадом, б — блоками, в — поперечной горкой: 1 — 12 — слои в шве, I, II, III, IV — ступени шва, S — толщина стыка

Многослойные швы чаще применяют в стыковых соединениях, многопроходные — в угловых и тавровых.

Для более равномерного нагрева металла шва по всей его длине швы выполняют двойным слоем, секциями, каскадом и блоками, причем в основу всех этих способов положен принцип обратноступенчатой сварки (рис. 13.2).

Двойной слой

Сущность способа двойного слоя заключается в том, что наложение второго слоя производится по неостывшему первому после удаления сварочного шлака: сварка на длине 200 — 400 мм ведется в противоположных направлениях.

Этим предотвращается появление горячих трещин в шве при сварке металла толщиной 15 — 20 мм, обладающего значительной жесткостью.

Вопросы самоконтроля:

1. Технология сварки «горной».
2. Технология сварки «каскадным» методом.
3. Что такое на сварных швах:
 - «карманы»;
 - «заход»;
 - «замок».

Литература: 15, 16, 17.

Перечень лабораторных работ

№ темы	Наименование работы
Тема 6.2	Лабораторная работа №1. Ручная дуговая сварка
Тема 1.2	Лабораторная работа №2. Полуавтоматическая сварка
Тема 10.3	Лабораторная работа №3. Электродуговая сварка в защитных газах
Тема 6.4	Лабораторная работа №4. Газовая сварка
Тема 1.2	Лабораторная работа №5. Газовая и электрическая дуговая резка металлов
Раздел 8; Раздел 9	Лабораторная работа №6. Сварка цветных металлов, чугуна
Раздел 11	Лабораторная работа №7. Сварка трубопровода

Вопросы к экзамену МДК.01.01 «Технология сварочных работ»

1. Что называется сваркой металлов. Основные виды сварки плавлением в зависимости от источников нагрева.

2. Классификация способов сварки: по степени механизации, роду тока, типу и состояния дуги, полярности тока, виду электрода, защите сварочной ванны, условиям наблюдения за дугой, виду источников нагрева.

3. Сущность ручной дуговой сварки: плавящимся электродом, неплавящимся электродом.

4. Сущность дуговой сварки под флюсом. Сущность дуговой сварки в защитных газах: плавящимся электродом, неплавящимся электродом.

5. Сущность импульсно-дуговой сварки.

6. Сущность электрошлаковой сварки.

7. Классификация способов контактной сварки.

8. Два способа стыковой контактной сварки (в зависимости от состояния металла в стыке при сварке).

9. Сущность электронно-лучевой, плазменной, лазерной сварки.

10. Что называется электрической сварочной дугой. Устройство сварочной дуги прямой и обратной полярности. Чем переносятся электрические заряды в дуге. Понятие: электрон, нейтральный атом, положительный, отрицательные ионы.

11. Дать понятие: ионизация, ионизированный газ, эмиссия электронов с катода, три вида эмиссии. Три вида ионизации. Факторы, вызывающие ионизацию.

12. Строение сварочной дуги. Температура и напряжение в трёх зонах сварочной дуги. Суммарные: напряжения U_d и длина дуги.

13. Понятие рекомбинации. Условия устойчивого горения дуги. Понятие вольтамперной характеристики дуги. Обоснование формы графика ВАХ (три зоны).

14. Свойства дуги переменного тока. Стабилизаторы и дестабилизаторы сварочной дуги.

15. Формы переноса металла через дугу. Силы, действующие на перенос капель

с торца электрода в сварочную ванну.

16. Влияние магнитных полей на дугу. Что называется магнитным дутьем и методы борьбы с ним.

17. Характеристика импульсной дуги, особенности переноса металла.

Преимущества импульсно-дуговой сварки.

18. Электрическая мощность дуги, полная тепловая мощность, КПД эффективное. КПД нагрева изделия, закон Джоуля-Ленца.

19. Погонная энергия сварки. Определение. Формула энергии q_p .

20. Стальная сварочная проволока ГОСТ 2246-70 – три группы. Обозначение марок проволок. Что означают буквы: Св, Э, О, Ш, ВН, ВД в марках проволок. Расшифровать химический состав следующих марок проволок: Св-08А, Св-08Г2С, Св-30ХГСА, Св-04НЗГСМТА.

21. Порошковая проволока, устройство и назначение. Неплавящиеся вольфрамовые электроды, классификация, химический состав, марки электродов.

22. Электроды покрытые для ручной дуговой сварки. Устройство, назначение покрытия. Шесть групп материалов электродных покрытий, ГОСТы на электроды.

23. Классификация электродов в зависимости от видов сварных сталей: У, Л, Т, В, Н. Классификация электродов по видам покрытий (А, Б, Ц, Р, РА, РБ, и др.), по толщине покрытий (4 вида). Расшифровка типов электродов Э42, Э50А, Э-09МХ.

24. Понятие основных двух параметров электродов. Охарактеризовать марки электродов: УОНИ-13/55, АНО-4, 03Л-6.

25. Назначение флюсов при сварке. Основные марки флюсов, виды флюсов.

26. Газы, применяемые при сварке. Назначение газов. Условия хранения и транспортировки газов. Смесь защитных газов, их назначение.

27. Особенности металлургических процессов при сварке. Диссоциация газов при высоких температурах – химические реакции. Окисление металла при сварке. Средство элементов к кислороду.

28. Три оксида железа с кислородом. Наиболее опасный оксид железа и почему? Окисление железа сложными газами СО, СО₂, парами воды. Химические реакции.

29. Окисление С, Мп, Si, атомарным кислородом и оксидом FeO. Раскисление FeO марганцем и кремнием. Образование силикатов Мп и Fe: $MnO \cdot SiO_2$; $FeO \cdot SiO_2$. Химические реакции.

30. Раскисление FeO титаном. Образование титанатов Мп и Fe ($MnO \cdot TiO_2$; $FeO \cdot TiO_2$). Раскисление алюминием и углеродом. Химические реакции.

31. Взаимодействие железа с азотом. Влияние азота на свойства сварных соединений. Влияние водорода на свойства сварных соединений, дефекты сварных швов от атомов и молекул водорода. Меры борьбы с дефектами.

32. Два вида кристаллизации сварных швов. Структура шва, шесть участков ЗТВ сварного соединения.

33. Горячие и холодные трещины. Причины возникновения. Меры борьбы.

34. Понятие собственных внутренних напряжений. Тепловые и структурные напряжения. Понятие временных, остаточных напряжений и деформаций. Литейная усадка расплавленного металла шва.

35. Мероприятия по уменьшению напряжений и деформаций: конструктивные и технологические.

36. Описать четыре вида сварных соединений. Классификация сварных швов по разным признакам.

37. Обозначение сварных швов на чертежах по ГОСТ 2.312-72.

38. В каких случаях применяют: α – угол скоса кромок, a – зазор между кромками, c – притупление кромок. РДС: в зависимости от чего устанавливается диаметр электрода, рассчитывается сила сварного тока $I_{св}$, подбирается марка и тип электрода.

39. Влияние сварочного тока, напряжения на дуге, рода и полярности тока, скорости сварки, положения шва в пространстве и др. на качество сварных соединений.

40. Техника РДС: стыковых и угловых швов во всех пространственных положениях. Способы РДС швов различной длины и многослойных швов.

41. Сущность сварки под флюсом, виды сварных соединений по ГОСТ 8713-79, подкладочные элементы.

42. Сущность сварки плавящимся электродом в защитных газах по ГОСТ 14Т71-76 (в аргоне Ar, углекислом газе CO₂, смесях Ar + O₂ и др.). Дать понятия ИН, ИНп, ИП, УП.

43. Влияние режимов сварки в защитных газах или их смесях на форму и размеры швов.

44. Устройство поста сварки плавящимся электродом в среде защитных газов; неплавящимся электродом в среде инертных газов.

45. Технология ручной дуговой сварки; сварки в защитных газах; сварки под флюсом низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

46. Понятия о физической и технологической свариваемости. Влияние элементов, содержащихся в сталях, на их свариваемость.

47. Определение группы свариваемости низкоуглеродистых и низколегированных сталей по эквивалентному содержанию углерода. Четыре группы свариваемости сталей в зависимости от процентного значения Сэкв.

48. Технология ручной дуговой сварки, в ЗГ, под флюсом теплоустойчивых сталей.

49. Классификация высоколегированных сталей и сплавов в зависимости от их основных свойств; в зависимости от структуры.

50. Понятие межкристаллической коррозии (МКК). Причины возникновения и развития МКК. Меры борьбы с МКК.

51. Понятие структурной диаграммы Шеффлера. Назначение, величины на осях диаграммы. Элементы аустенизаторы и ферритизаторы.

52. Технология ручной дуговой сварки аустенитных сталей. Технология сварки в защитных газах неплавящимся и плавящимся электродами аустенитных сталей.

53. Горячие трещины при сварке аустенитных сталей. Меры борьбы с ними.

54. Различие свойств аустенитных и перлитных сталей.

55. Технология сварки сталей аустенитного класса со сталями перлитного класса.

56. Причины разрушения сварных соединений из разнородных сталей (аустенитных с перлитными).

57. Определение металла чугуна. Два основных вида чугунов. Отличия видов.

58. Холодная сварка чугуна и её разновидности. Сварка чугуна чугунными,

стальными, медными, медностальными электродами.

59. Холодная сварка чугуна электродами из никелевых сплавов. Полуавтоматическая сварка чугуна CO_2 и сварка порошковыми проволоками.

60. Технология горячей сварки чугуна.

61. Основные свойства цветных металлов, затрудняющих сварку плавлением.

62. Свойства алюминия. Классификация алюминиевых сплавов, их маркировка. Свойства алюминия и его сплавов, затрудняющих их сварку. Подготовка под сварку алюминиевых деталей: основных и сварочных материалов.

63. Технология ручной, полуавтоматической, автоматической аргодуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом. Технология автоматической и полуавтоматической сварки, РДС и под флюсом алюминиевых сплавов.

64. Свойства титана и его сплавов. Технология сварки титановых сплавов: три группы защитных камер. Главное свойство титановых сплавов, ухудшающее технологию сварки. Влияние O_2 , N, H на свойства титана. Технология РДС титановых сплавов неплавящимся электродом в инертных газах.

65. Свойства меди, отрицательно влияющие на её сварку. Технология сварки меди плавящимися и неплавящимися электродами. Дуговая сварка меди под флюсом, в среде защитных газов.

66. Технология и особенности сварки латуней: РДС угольным, вольфрамовым и металлическим электродами. Технологи сварки бронз плавящимися и неплавящимися электродами и под флюсом.

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Необходимым этапом самостоятельной работы для студентов заочной формы обучения над программным материалом является выполнение одной контрольной работы по предложенному варианту. Зачётная контрольная работа предъявляется до экзамена.

Контрольная работа - это самостоятельная работа студента с литературой, ответы на поставленные вопросы и выполнение конкретных заданий, она должна показать умение студента кратко и четко отвечать на поставленные в теме вопросы, подбирать и использовать необходимые для ответа материалы.

Цель конкретной работы - привить навыки самостоятельного изучения учебного материала, закрепление знаний по изучаемой дисциплине.

Контрольная работа должна быть выполнена в установленные учебным графиком сроки, по правильному варианту и выполнена в соответствии с требованиями.

К выполнению работы следует приступить только после тщательного изучения теоретического материала согласно содержанию программы.

Ответы на вопросы нужно начинать с новой страницы. Вопросы необходимо переписывать полностью. Ответы на них должны быть четкими и конкретными, содержать необходимые иллюстрации (схемы, графики, таблицы), ссылки на литературу.

Получив контрольную работу после проверки, студент должен ознакомиться с рецензией и с учетом замечаний доработать отдельные вопросы.

Незачтенная контрольная работа возвращается студенту, выполняется новая контрольная работа по указанному преподавателем варианту и сдается этому же преподавателю на проверку с незачтенной контрольной работой.

Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета. Студенты, не выполнившие контрольные работы или получившие за них отрицательную оценку (незачет), к сдаче экзамена не допускаются.

При написании и оформлении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

1. Текст печатается на стандартных листах формата А4 с одной стороны шрифтом TimesNewRoman размером 14 кеглей (через 1,5 интервала), сноски, таблицы (шрифт – 12, через 1 интервал), с оставлением полей: слева – 30 мм, сверху – 25 мм, справа – 10 мм, снизу – 25 мм.

Расстановка переносов – автоматически, абзац – 1,25, выравнивание – по ширине без отступов.

2. В работе используется сквозная нумерация страниц, включая библиографию и приложения. На первой странице (титульном листе) номер не ставится, оглавление работы нумеруется цифрой 2. Номер страницы проставляется арабскими цифрами в правом верхнем углу страницы.

Каждая часть, библиография, приложения начинаются с новой страницы.

3. Для контрольной работы используется титульный лист установленной формы (форма утвержденного титульного листа общая для всех контрольных работ

находится на сайте техникума)

4. Таблицы, рисунки должны иметь порядковый номер и название;
5. Приложения должны иметь порядковый номер (Приложение 1 и т.д.)...,
6. Объем работы от 10 до 15 страниц без приложений.
7. Завершает работу список использованных источников, который должен быть оформлен строго в соответствии с установленными правилами.
8. В конце контрольной работы следует поставить дату выполнения контрольной работы и свою подпись.
9. Выбор варианта.

Вариант контрольной работы определяется по последней цифре студенческого билета. Например, ваш шифр 149, следовательно, номер варианта 9. Контрольная работа состоит из 2 частей: теоретических вопросов и практического задания.

Контрольная работа

Теоретическая часть

1. Физические основы сварки.
2. Классификация процессов сварки.
3. Нагрев металла сварочной дугой.
4. Нагрев металла плазменной дугой.
5. Нагрев металла газовым пламенем.
6. Нагрев основного металла при электрошлаковой сварке.
7. Нагрев основного металла при дуговой сварке и наплавке.
8. Плавление металла при дуговой сварке.
9. Нагрев стержней при контактной сварке.
10. Металлургические реакции при сварке.
11. Влияние параметров режима на состав металла шва.
12. Взаимодействие металла с газами при сварке.
13. Выделение газов из сварочной ванны и образование пор.
14. Взаимодействие металла со шлаком.
15. Кристаллизация сварочной ванны.
16. Процессы в околошовной зоне.
17. Критерии выбора технологии и режимов сварки и последующей термической обработки сварных соединений.
18. Свариваемость и структура металла сварного соединения.
19. Ручная дуговая сварка плавящимся электродом.
20. Сварка под флюсом.
21. Сварка в защитных газах.
22. Электрошлаковая сварка.
23. Способы контактной сварки и область их применения.
24. Удаление поверхностных плёнок при контактной сварке.
25. Дефекты сварки и причины их образования.
26. Основы выбора режимов сварки.
27. Газопламенная сварка и кислородная резка металла.
28. Электрическая резка металла.
29. Перечислите специальные виды сварки. Кратко их охарактеризуйте.
30. Плазменная сварка металла.

Табл. 4.1 – Перечень вопросов в соответствии с выбранным вариантом

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номера вопросов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	18	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Практическая часть

Задача 1. Опишите режимы ручных и механизированных способов сварки. Выполните расчёт режимов ручной дуговой сварки стыкового соединения без скоса

кромки, при толщине металла (значение толщины металла возьмите из табл. 4.2, в соответствии с номером своего варианта).

Табл. 4.2 - Примерное соотношение диаметра электрода и толщины свариваемых деталей

Толщина свариваемых деталей, мм	1-2	3-5	4-10	12-24	30-60
Диаметр электрода, мм	2-3	3-4	4-5	5-6	6-8

Табл. 4.3 – Исходные данные к решению задач

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Толщина металла, мм	2	4	6	8	10	12	4	6	8	5

Методические указания к решению задачи

Для расчета параметров воспользуйтесь формулами:

Силу сварочного тока для ручной дуговой сварки определяют по формуле

$$I = (20 + 6dэ) dэ,$$

где I — сила сварочного тока,

$dэ$ – диаметр электрода

Скорость сварки определяется по формуле

$$V = \alpha_n I / (3600 \gamma F),$$

где v - скорость сварки, м/ч;

α_n - коэффициент наплавки, г/(А·ч);

I - сила сварочного тока, А;

γ - плотность наплавленного металла, г/см³;

F - площадь поперечного сечения шва, см².

Табл. 4.4 – Выбор марки электрода в зависимости от варианта

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Марка электрода	АНО -4С	УОНИИ 13/55	УОНИИ 13/45	ЦМ -7	АНО -4С	УОНИИ 13/55	УОНИИ 13/45	ЦМ -7	АНО -4С	ЦМ -7

Табл. 4.5 - Коэффициенты наплавки для различных марок электродов

Марка электрода	Напряжение на дуге, В	Коэффициент наплавки, г/А·ч
УОНИИ 13/45	20 – 25	8,0
УОНИИ 13/55	22 – 26	7,0 – 8,0
ЦМ - 7	27 – 30	10,0
АНО – 4С	32 - 34	8,0 – 8,3

5. ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Коротков В.А. Сварка специальных сталей и сплавов. Учебно-методическое пособие / В.А. Коротков. — Саратов: Вузовское образование, 2013. — 31 с.
2. Конюшков Г.В. Специальные методы сварки плавлением. / Г.В. Конюшков, В.Г. Конюшков, В.Ш. Авагян. — М.: Дашков и К, Ай Пи Эр Медиа, 2014. — 144 с.
3. Федосов, С.А. Основы технологии сварки [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С.А. Федосов, И.Э. Оськин. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2014. — 125 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/63218> .
4. Чернышов, Г.Г. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Г. Чернышов, Д.М. Шашин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 464 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/> .
5. Гаспарян В.Х. Электродуговая и газовая сварка [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Х. Гаспарян, Л.С. Денисов. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2013. — 304 с. — 978-985-06-2371-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24088.html> .
6. Дедюх Р.И. Технология сварки плавлением. Часть II. учебное пособие / Р.И. Дедюх. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 170 с.
7. Лупачёв В.Г. Ручная дуговая сварка: учебник / В.Г. Лупачёв. — Минск: Вышэйшая школа, 2014. — 416 с.

Дополнительная литература:

8. Сергеев Н.П. Справочник молодого электросварщика. — М.: Высшая школа, 1980. — 192 с.
9. Сварка (основные сведения). Часть 1. / Лазарсон Э. В., Мочалова Т. Ф., Тыткин Ю. М., Щицын Ю. Д. Под редакцией Сигаева А. А. – Пермь, ПГТУ, 2001. – 165 с.
10. Шебеко Л.П. Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки. Учебник для техн. и проф.-техн. училищ. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М: Высш. Школа, 1975. - 351 с.
11. Оботуров В. И. Сварка стальных трубопроводов. – М.: Стройиздат, 1991 . – 287 с.
12. Банов М.Д., Казаков Ю.В., Козулин М.Г.. Сварка и резка материалов. – Москва: «Академия», 2009.
13. Козулин М. Г.. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учебное пособие.- Тольятти: 2002.-287с.
14. Красовский А. И.. Основы проектирования сварочных цехов: учебник для вузов.– М.: Машиностроение, 1980. - 395с.
15. Куркин С. А., Николаев Г. А.. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: учебник для вузов. – М.: Высшая школа. 1991.- 421с.

16. Маслов В.И.Сварочные работы. Уч. пособие для УНПО, Гриф Допущено Минобразованием России, ИЦ Академия, 2008г., 240 стр.

17. Юхин Н.А. Под ред. О.И.Стеклова. Газосварщик. Уч. пособие для УНПО, Гриф Допущено Минобрнауки России, ИЦ Академия, 2007г., 160 стр.

18. Чернышов Г. Г., Полевой Г.В., Выборнов А.П. и др. Справочник электрогазосварщика и газорезчика. Уч. пособие для УНПО, Гриф Допущено Минобразованием России ИЦ Академия, 2008г., 400 стр.

19. Чернышов Г. Г.Сварочное дело: Сварка и резка металлов. Уч. пособие для УНПО, Гриф Рекомендовано Экспертным советом по профессиональному образованию Минобразования России, ИЦ Академия, 2008г., 496 стр.

20. Справочник под ред. В. А.Винокурова. Сварка в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1979, т.3.- 418с.

21. Справочник под ред. Е. С.Ямпольского. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. – М.: Машиностроение, 1974, т.3. – 393с.

Электронная библиотека	- Электронно-библиотечная система "Iprbookshop" http://www.iprbookshop.ru/6951.html .
------------------------	--

Периодические издания:

22. Информационно-технический журнал «Сварщик»;

23. Журнал «Автоматизированная сварка» - <http://patonpublishinghouse.com/rus/journals/as> ;

24. Информационно-технический журнал «Сварщик в России» - <http://booktech.ru/journals/svarshchik-v-rossii/2341-svarshchik-v-rossii-2013-06.html> .

Интернет-ресурсы:

25. Портал «Сварка, резка, металлообработка». [Электронный ресурс]: Режим ввода: <https://www.autowelding.ru/> ;

26. Портал сварных конструкций. [Электронный ресурс]: Режим ввода: www.svarkov.ru ;

27. Информационный портал «Сварка и Пайка». [Электронный ресурс]: Режим ввода: <http://svarkaipayka.ru/o-sayte> ;

28. Сборник видео по сварке. [Электронный ресурс]: Режим ввода: <https://www.youtube.com/channel/UCIgbfMKZSIKN8SI-aCT2o2g> ;

29. Форум сварщиков. [Электронный ресурс]: Режим ввода: <http://websvarka.ru/talk/> .