



ТЕХНОЛОГІЯ І ОБОРУДОВАННЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕННЯМ

(по матеріалам учебника Акулова А.И., Бельчука Г.А., Демянцевич В.П.
Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов.
М., «Машиностроение», 1977. – 432 с.)

Автор: д. т. н. Лузан С.О.

Лекция 10. Сварка низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей (тема 5)

План лекции

- 1. Состав, свойства, основные сведения о свариваемости, области применения**
- 2. Образование шва и околошовной зоны, основные сведения о свариваемости**
- 3. Особенности техники и технологии сварки различными способами**

Состав, свойства, основные сведения о свариваемости, области применения

Углерод является основным легирующим элементом в углеродистых конструкционных сталях и определяет механические свойства сталей этой группы.



Повышение его содержания **усложняет технологию сварки** и затрудняет возможности получения равнопрочного сварного соединения без дефектов.

Стали с содержанием **углерода до 0,25 %** относятся к низкоуглеродистым.



Состав, свойства, основные сведения о свариваемости, области применения

По качественному признаку углеродистые стали, разделяют на две группы:

1. - по ГОСТ 380 – 88 поставляют сталь без термической обработки в горячекатанном состоянии и для изготовления сварных конструкций применяют, стали всех степеней раскисления, поставляемые по механическим свойствам и химическому составу с гарантией свариваемости марок Ст1св, Ст2св, Ст3св

2. - по ГОСТ 1050 – 88 и по ГОСТ 4543 - 71 поставляют качественные, углеродистые стали с нормальным (марки 10, 15, 20) и повышенным (марки 15Г, 20Г) содержанием марганца.



Состав, свойства, основные сведения о свариваемости, области применения

Конструкционные углеродистые качественные стали, содержит пониженное содержание серы.



Стали этой группы, для изготовления сварных конструкций применяют в горячекатаном состоянии и в меньшем объёме после нормализации или закалки с отпуском (термоупрочнения).

Механические свойства этих сталей зависят от термической обработки.



Состав, свойства, основные сведения о свариваемости, области применения

Стали, содержащие специально введённые элементы, которые отсутствуют в углеродистых сталях, называют **легированными**.



Легировующие элементы, вводимые в сталь, образуя с железом, углеродом и другими элементами твёрдые растворы и химические соединения, **изменяют её свойства**.

Труба электросварная
(сталь низколегированная 09Г2С)

В промышленности при производстве сварных конструкций широко используют, низкоуглеродистые низколегированные стали марок 14Г, 14Г2, 09Г2, 09Г2С, 12ГС, 16ГС, 09Г2С, 14ХГС, 10ХСНД, 15ХСНД и др. Суммарное содержание легировующих элементов в этих сталях не превышает 5 % (не считая углерода), а углерода 0,25 %.



Состав, свойства, основные сведения о свариваемости, области применения

Для изготовления сварных конструкций **низколегированные стали**, используют в **горячекатаном состоянии**. Термическая обработка улучшает, механические свойства стали, которые, однако, зависят от толщины проката.



Конструкция из низколегированной стали

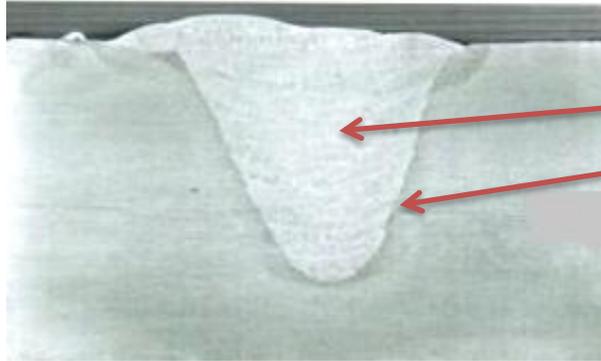
Особенно важно, что при этом может быть достигнуто значительное **снижение порога хладноломкости**. Поэтому некоторые марки низколегированных сталей для производства сварных конструкций используют после упрочняющей термической обработки.

Области применения конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей все отрасли промышленности и машиностроения, строительство.



Образование шва и околошовной зоны, основные сведения о свариваемости

Технология их сварки обеспечивать определённый комплекс требований, основными из которых являются равнопрочность сварного соединения с основным металлом и отсутствие дефектов в сварном соединении.



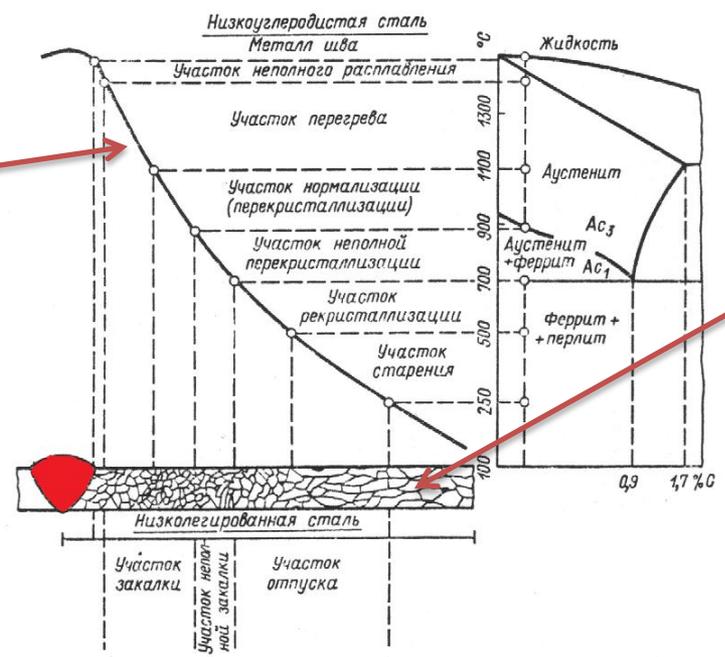
Для этого механические свойства металла шва и околошовной зоны должны быть не ниже нижнего предела механических свойств основного металла.

Свойства сварного соединения зависят не только от свойств металла шва, но и от свойств основного металла в околошовной зоне. Структура и свойства основного металла в околошовной зоне зависят от его химического состава и изменяются в зависимости от термического цикла сварки.



Образование шва и околошовной зоны, основные сведения о свариваемости

На рис. 1 слева схематически показаны кривая распределения температур по поверхности сварного соединения в один из моментов, когда металл шва находится в расплавленном состоянии



и структурные участки зоны термического влияния на низкоуглеродистые и низколегированные стали при дуговой сварке.

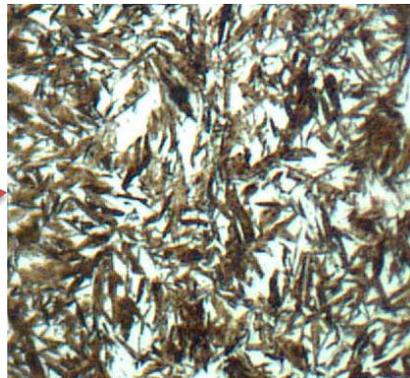
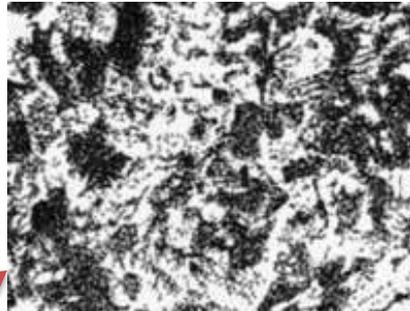
Схема строения зоны термического влияния сварного шва, при дуговой сварке

При сварке в зоне термического влияния на участках, где металл нагревается выше температур точки Ac1, при повышенных скоростях охлаждения могут образовываться закалочные структуры. При этом металл, нагревающийся до температур значительно выше температуры точки Ac3, будет иметь более грубозернистую структуру.



Образование шва и околошовной зоны, основные сведения о свариваемости

При сварке термически упрочнённых сталей на участках рекристаллизации и синеломкости может произойти отпуск металла, характеризующийся структурой **троостита** или **сорбита** отпуска, с понижением его прочностных свойств (разупрочнение стали).



Это разупрочнение тем больше, чем выше прочность основного металла в результате закалки. В этих процессах решающее значение имеет скорость охлаждения металла шва и в первую очередь погонная энергия при сварке.

Повышение погонной энергии при сварке сопровождается снижением твёрдости и расширением разупрочнённой зоны. Околошовная зона, где наиболее резко выражены явления перегрева и закалки, служит вероятным местом образования холодных трещин при сварке низколегированных сталей.



Образование шва и околошовной зоны, основные сведения о свариваемости

Все низкоуглеродистые и низколегированные стали, хорошо свариваются всеми способами сварки плавлением

Отсутствие холодных трещин, вызванных образованием в шве или околошовной зоне закалочных структур, обеспечивается расположением их в мягкой ферритной основе.

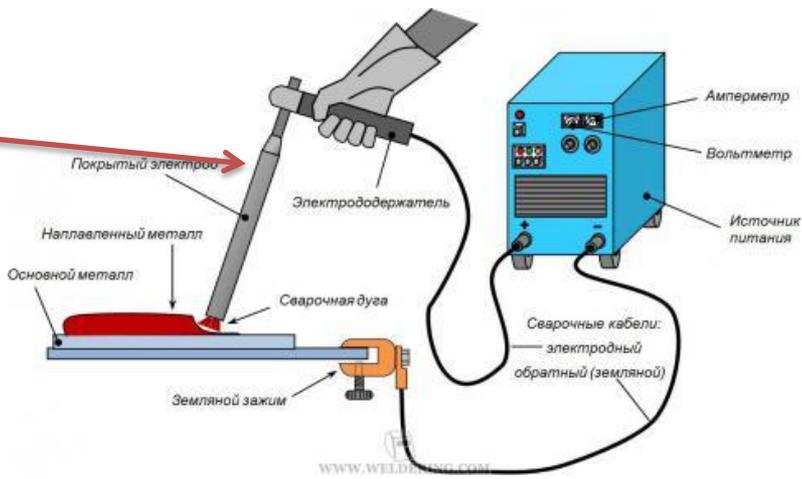
С целью предупреждения трещин производится **предварительный подогрев** до 120 ... 200 °С.

В сталях, содержащих углерод по верхнему пределу и повышенное содержание марганца и хрома, существует **опасность образования холодных трещин** особенно с ростом скорости охлаждения.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами
 конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей – самый простой, доступный и распространённый способ сварки.



Электроды выбирают в зависимости от назначения конструкции и типа стали, в соответствии с пределом прочности. А режим сварки - в зависимости от толщины металла, типа сварного соединения и пространственного положения сварки.

Диаметр электрода зависит от толщины свариваемого металла

Толщина металла, мм	0,5 ... 1,0	1,0 ... 2,0	2,0 ... 5,0	5,0 ... 10,0	10,0 и выше
Диаметр электрода, мм	1,0 ... 1,5	1,5 ... 2,5	2,5 ... 4,0	4,0 ... 5,0	5,0 ... 8,0



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Рекомендуемые для электрода данной марки значения сварочного тока, его род и полярность выбирают согласно паспорту электрода, в котором приводят его сварочно-технологические свойства, типичный химический состав шва и механические свойства.

$$V_{\text{св}} = (\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}) / (\gamma \cdot F_{\text{н}} \cdot 100)$$

$\alpha_{\text{н}}$ - коэффициент наплавки, г/(А·ч)

$I_{\text{св}}$ - сварочный ток, А

γ - плотность наплавленного металла, г/см³

$F_{\text{н}}$ - площадь наплавки заданного прохода, мм²

$V_{\text{св}}$ - скорость сварки, м/ч

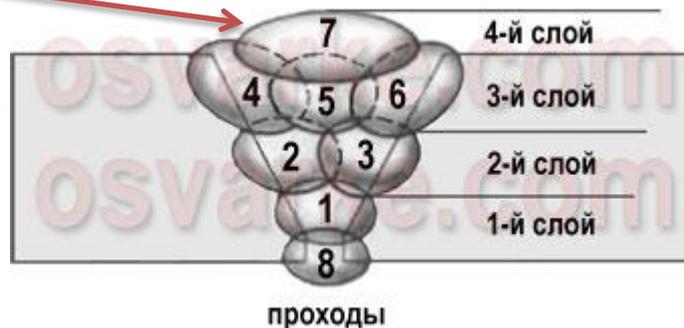
Напряжение на дуге изменяется в пределах 20 ... 36 В и при проектировании технологических процессов ручной сварки не регламентируется.

Скорость сварки может быть определена по формуле:



Особенности техники и технологии сварки различными способами

При сварке многопроходных швов стремятся сварку всех проходов выполнить на одних и тех же режимах. Исключением является **первый проход**, который выполняется электродами диаметром 3 ... 4 мм с целью обеспечения проварки корня шва.



Сечение первого прохода (F_1) не должно превышать 30 ... 35 мм² и может быть определено по формуле:

$$F_1 = (6...8) \cdot d_e$$

Последующих проходов (F_c) по формуле:

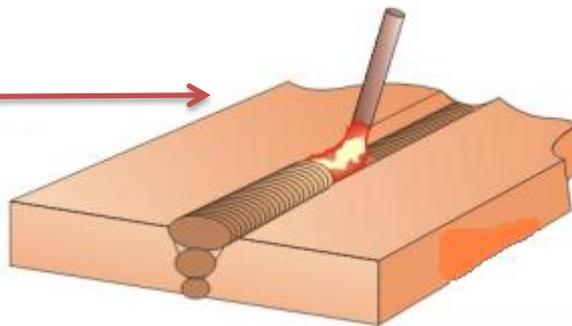
$$F_c = (8...12) \cdot d_e$$

При сварке в вертикальном, горизонтальном и потолочном положениях используют электроды диаметром 4 мм, и сварочный ток принимается на 10 ... 20 % ниже, чем при сварке в нижнем положении. Сварку производят короткой дугой.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

При сварке в
нижнем положении
длина дуги L_d долж-
на составлять:



$$L_d = (0,5...1,1) \cdot d_z$$

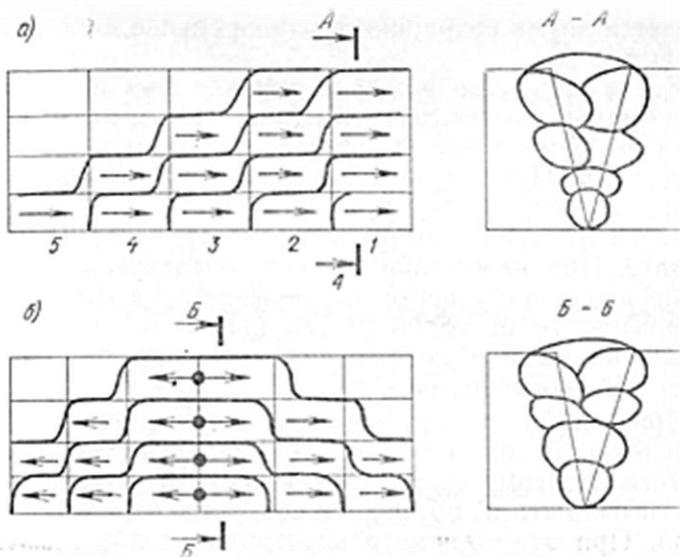
При сварке рассматри-
ваемых сталей
обеспечиваются
высокие механичес-
кие свойства сварного
соединения и поэтому
в большинстве
случаев не требуются
специальные меры,
направленные на
предотвращение
образования в нём
закалочных структур.

Однако при сварке угловых швов на толстом металле и первого слоя многослойного шва для повышения стойкости металла против трещин рекомендуется предварительный подогрев до 120 ... 150 °С.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Техника заполнения швов и определяемый ею термический цикл сварки зависят, от предварительной термической обработки стали.



Очередность наложения швов при многослойной дуговой сварке:
а - каскадным методом; б - «горкой»

Сварка толстого металла каскадом и горкой, замедляя скорость охлаждения металла шва и околошовной зоны, предупреждает образование в них закалочных структур.

Это же достигается при предварительном подогреве до 150 ... 200 °С. Эти приёмы дают благоприятные результаты на нетермоупрочняемых сталях. При сварке термоупрочнённых сталей для уменьшения разупрочнения стали, в околошовной зоне рекомендуется сварка длинными швами по охлаждённым предыдущим швам.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Автоматическую сварку под флюсом конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей производят электродной проволокой $\varnothing 3 \dots 5$ мм.



Автоматическая сварка под флюсом

Полуавтоматическую сварку под флюсом – электродной проволокой $\varnothing 1,2 \dots 2$ мм.

Равнопрочность сварных соединений достигается подбором флюсов и сварочных проволок и выбором режимов и техники сварки.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Материалы для сварки под флюсом низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Марка или тип стали	Сварочная проволока по ГОСТ 2246 – 70	Марка плавленного флюса по ГОСТ 9087 – 81
Ст2, Ст3, Углеродистая качественная 08, 10, 15, 20, 25	Св – 08, Св – 08А, Св – 08ГА (в ответственных конструкциях)	АН – 348А, АН – 348В, ОСЦ – 45, керамические К – 11, КВС – 19
09Г2	Св – 08ГА	АН – 60
12ГС	Св – 10ГА	АН – 64
16ГС	Св – 08ГСМТ	АН – 22
10Г2С1		
17ГС		
17Г1С		
09Г2С	Св – 08Г2С	АН – 348
	Св – 08ГА	АН – 22
	Св – 10НМА	
	Св – 10ГА	
14Г2АФ	Св – 10Г2	АН – 348А
16Г2АФ	Св – 08МХ	АНК – 30
10ХСНД	Св – 08ГСМТ	АН – 348А
15ХСНД	Св – 10Г2	АН – 348А
	Св – 08ХГСМ	АН - 22



Особенности техники и технологии сварки различными способами

При режимах с малой погонной энергией в околошовной зоне возможно образование закалочных структур с пониженной пластичностью. Предупреждение возникновения закалочных структур достигается увеличением сечения швов или применением двухдуговой сварки.

Опытным путём установлена зависимость между толщиной основного металла и сечением шва или слоя:



Толщина листа, мм	10 ... 19	20 ... 29	30 ... 50
Сечение части металла шва или слоя, образованного за счёт электродного металла, мм ²	50	70	90

При сварке низколегированных термоупрочнённых сталей для предупреждения разупрочнения шва, в зоне термического влияния, следует использовать режим с малой погонной энергией.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Типы и конструктивные элементы, их размеры при сварке под флюсом регламентированы ГОСТ 8713 – 79.



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ.
СОЕДИНЕНИЯ СВАРНЫЕ

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ, КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И РАЗМЕРЫ
ГОСТ 8713-79

ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
Москва

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ.
СОЕДИНЕНИЯ СВАРНЫЕ

Основные типы, конструктивные элементы и размеры

Flux welding. Welded joints. Main types design elements and dimensions

ГОСТ
8713-79

Дата введения **01.01.81**

1. Настоящий стандарт распространяется на соединения из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемых сваркой под флюсом, и устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений.

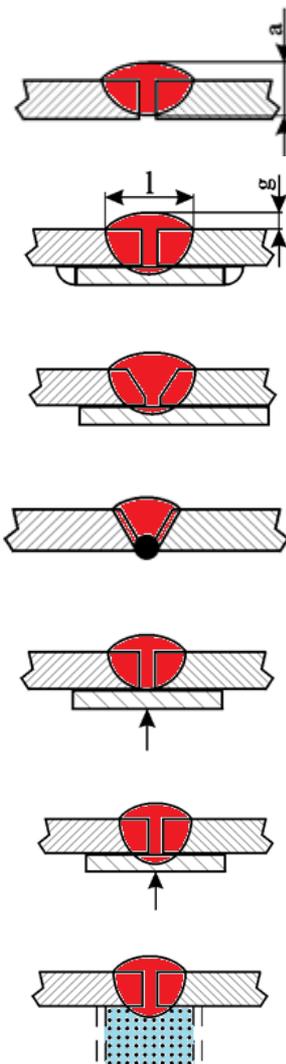
Стандарт не распространяется на сварные соединения стальных трубопроводов по [ГОСТ 16037-80](#).

2. В стандарте приняты следующие обозначения способов сварки под флюсом:



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Односторонняя автоматическая сварка под флюсом без разделки кромок и неполным проваром (сварка на весу) (1) должна выполняться на таком режиме, чтобы непроплавленный слой основного металла мог удерживать сварочную ванну. Режим подбирается из расчёта провара не более 0,6 ... 0,7 толщины свариваемых деталей.



1

2

3

4

5

6

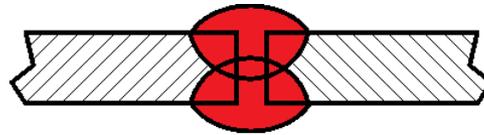
7

Однако в большинстве случаев при односторонней сварке под флюсом требуется обеспечить **полный провар** всего сечения. Поэтому односторонние стыковые соединения сваривают на **стальной остающейся подкладке (2)**, в **замок (3)**, после ручной подварки с обратной стороны стыка **(4)**, на **медной (5)** или **флюсо-медной подкладке (6)**, на **флюсовой подушке (7)**



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Двусторонняя автоматическая сварка (автоматическая подварка) является основным методом получения высококачественных швов.



Двусторонняя сварка под флюсом

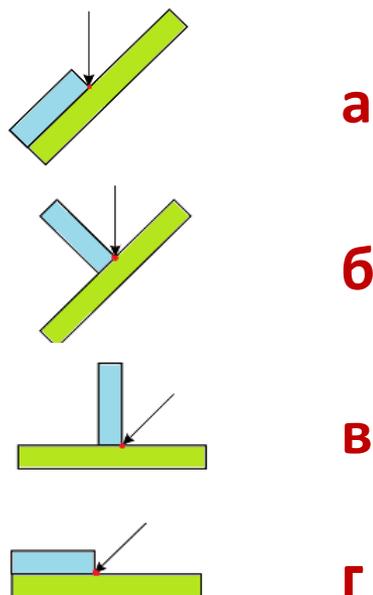
В этом случае стыковое соединение сначала проваривается с одной стороны на весу или на флюсовой подушке так, чтобы глубина проплавления составляла 0,6 ... 0,7 толщины металла.

После кантовки изделия, сварку второго прохода производят с таким расчётом, чтобы был проплавлен корень шва, т. е. швы должны перекрывать друг друга.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Тавровые, угловые и нахлесточные соединения сваривают двумя способами: в «лодочку» (а, б) вертикальным электродом или в нижнем положении (в, г) наклонным электродом.



В зависимости от условий сварки и охлаждения свойства сварных соединений на низкоуглеродистых и низколегированных сталях изменяются в широких пределах.

Схема сварки угловых швов: а, б – тавровых и нахлесточных вертикальным электродом; в, г – тавровых и нахлесточных наклонным электродом

После кантовки изделия, сварку второго прохода производят с таким расчётом, чтобы был проплавлен корень шва, т. е. швы должны перекрывать друг друга.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Изменение свойств сварных соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Сталь	Флюс	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	α_H , (кгс · м)/см ²
СтЗсп	АН – 348А	250 ... 350	440 ... 500	25 ... 30	8 ... 14
10ХСНД	АН – 348А	510	593	26,4	10,3
17Г1С	АН - 60	365	555	27,5	-

Автоматическую и механизированную сварку низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей производят в углекислом газе и смеси газов: $\text{CO}_2 + \text{O}_2$; $\text{CO}_2 + \text{Ar}$; $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{Ar}$. Сварка в аргоне и его смесях находит пока ограниченное применение.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

При сварке в CO_2 низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную легированную проволоку марок Св - 08Г2С, Св - 08ГС, Св - 12ГС по ГОСТ 2246 - 70.



Сварочная проволока Св-08Г2С омедненная

Автоматическую и механизированную сварку низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей производят в углекислом газе и смеси газов: $\text{CO}_2 + \text{O}_2$; $\text{CO}_2 + \text{Ar}$; $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{Ar}$. Сварка в аргоне и его смесях находит пока ограниченное применение

Кремний и марганец, вводимые с проволокой, раскисляют металл шва на стадии кристаллизации, восполняют выгоревшие элементы и подавляют реакцию выгорания углерода. В результате наплавленный металл получается хорошо раскисленным при достаточном содержании кремния и марганца и с высокими прочностными и пластическими свойствами.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Сварочные проволоки для сварки в CO₂ низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей

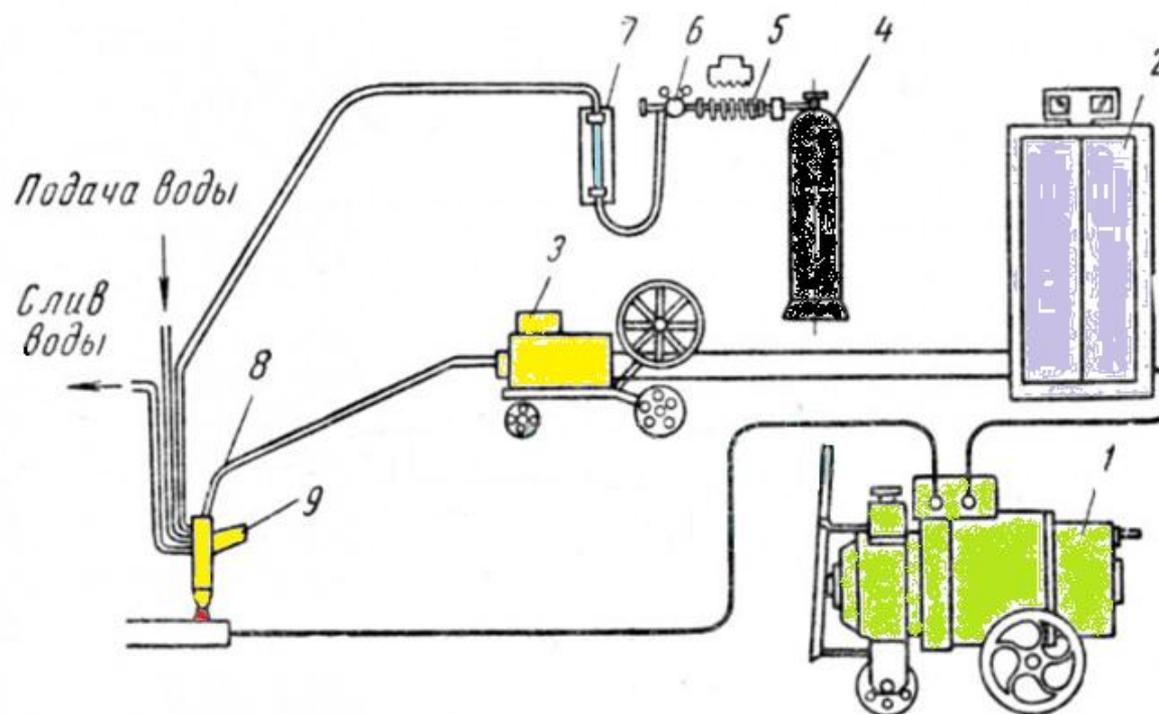
Марка и тип стали	Требования к металлу шва	Марка сварочной проволоки ГОСТ 2246 - 70
Ст2, Ст3 низкоуглеродистая качественная 09, 10, 15, 20, 25	Равнопрочность	Св – 08Г2С Св – 08ГС Св – 12ГС
Низколегированные конструкционные 09Г2, 09Г2С, 14Г2, 12ГС, 16ГС, 10ХСНД, 15ХСНД, 14ХГС и им подобные	Равнопрочность Равнопрочность и коррозионная стойкость в морской воде	Св – 08Г2С Св – 08ХГ2С



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Схема установки для сварки в CO_2 низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей

Сварка в углекислом газе производится на постоянном токе обратной полярности от сварочных выпрямителей с жёсткой внешней характеристикой, что обеспечивает устойчивое и стабильное горение дуги. Переменный ток при сварке в CO_2 не применяется.

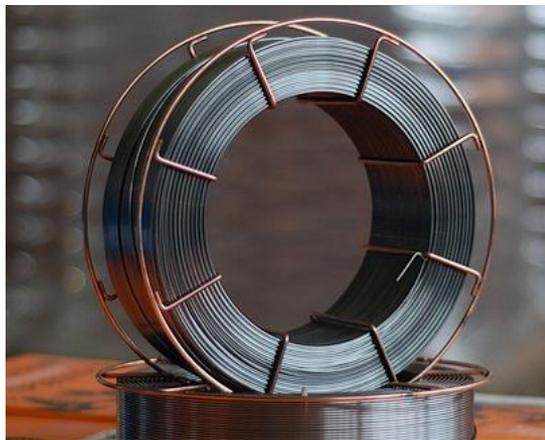


1 – сварочный преобразователь, 2 – аппаратный шкаф, 3 – механизм подачи проволоки, 4 – баллон с углекислым газом, 5 – осушитель углекислого газа, 6 – редуктор, 7 – указатель расхода газа (ротаметр), 8 – гибкий кабель шланг, 9 – сварочная горелка-электрододержатель



Особенности техники и технологии сварки различными способами

На свойства металла шва влияет качество углекислого газа. При повышенном содержании азота и водорода, а также влаги в швах могут образовываться поры. Влияние ржавчины при сварке в CO_2 незначительно. Для сварки применяют двуокись углерода по ГОСТ 8050 – 85 высшего или первого сорта.



**Порошковая проволока
ПП-АН 8**

В промышленности находит применение сварка в CO_2 порошковыми проволоками общего назначения марок ПП – АН4, ПП – АН8, ПП – АН10, ПП – АН9, ПП – АН13, ПП – АН20, ПП – АН22, ПП – АН21, предназначенными для низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей.



Особенности техники и технологии сварки различными способами

Простота выполнения процесса сварки самозащитными проволоками обусловлена отсутствием необходимости организации дополнительной защиты расплавленного металла. Поэтому возможно применение этого процесса для сварки в полевых и монтажных условиях.



**Порошковая проволока
самозащитная
FABSHIELD X80**

Разработаны самозащитные проволоки нескольких типов: **рутил-органического, карбонатно-флюоритного и флюоритного.** Порошковые проволоки с сердечником рутил-органического типа образуют при плавлении кислые шлаки систем $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-R}_2\text{O}$ или $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2\text{-MgO-R}_2\text{O}$.

Защитная газовая атмосфера при сварке проволоками этого типа создается за счет разложения органических веществ (крахмала, целлюлозы) сердечника. 

Особенности техники и технологии сварки различными способами

31

Механизированная сварка самозащитными порошковыми проволоками общего назначения марок ПП – АН1, ПП – АН3, ПП – АН7, ПП – АН11, ПП – 1ДСК, ПП – 2ДСК и др., позволяет выполнить швы стыковых, угловых, тавровых и нахлёсточных соединений как с разделкой, так и без разделкой кромок.

УДК: 621.791.042 : 669.14 : 006.354 Группа В05

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

ПРОВОЛОКА СТАЛЬНАЯ СВАРОЧНАЯ **ГОСТ**
2246—70

Технические условия
Welding steel wire.
Specifications

ОКП 12 2201, 12 1101 Дата введения 01.01.73

Настоящий стандарт распространяется на холоднотянутую сварочную проволоку из низкоуглеродистой, легированной и высоколегированной стали.

1. МАРКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ

1.1. Проволока должна изготавливаться следующих марок: низкоуглеродистая — Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2; легированная — Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-15ГСТЮЦА (ЭП-439), Св-20ГСТЮА, Св-18ХГС, Св-10НМА, Св-08МХ, Св-08ХМ, Св-18ХМА, Св-08ХНМ, Св-08ХМФА, Св-10ХМФТ, Св-08ХГ2С, Св-08ХГСМА, Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМФА, Св-04Х2МА, Св-13Х2МФТ, Св-08Х3Г2СМ, Св-08ХМНФА, Св-08ХН2М, Св-10ХН2ГМТ (ЭИ-984), Св-08ХН2ГМТА (ЭП-111), Св-08ХН2ГМЮ, Св-08ХН2Г2СМЮ, Св-06НЗ, Св-10Х5М; высоколегированная — Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НВМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14, Св-08Х14ГНТ, Св-10Х17Т, Св-13Х25Т, Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-08Х16Н8М2 (ЭП-377), Св-08Х18Н8Г2Б (ЭП-307), Св-07Х18Н9ТЮ, Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н9С2, Св-08Х19Н9Ф2С2, Св-05Х19Н9Ф3С2, Св-07Х19Н10Б, Св-08Х19Н10Г2Б (ЭИ-898), Св-06Х19Н10МЗТ, Св-08Х19Н10МЗБ (ЭИ-902), Св-04Х19Н11МЗ, Св-05Х20Н9ФБС (ЭИ-649), Св-06Х20Н11МЗТБ (ЭП-89), Св-10Х20Н15.

Издание официальное Перепечатка воспрещена

★

© Издательство стандартов, 1993
Переиздание с изменениями

Для механизированной сварки открытой дугой применяют специальные легированные проволоки по ГОСТ 2246 – 70 марок Св – 20ГСТ10А с добавкой цезия и Св – 15ГСТ10ЦА с добавкой цезия и циркония. Эти проволоки широко используются для сварки арматуры

Самозащитной проволокой можно сваривать металл, покрытый окалиной, небольшим налётом ржавчины, а также со следами масла. Сварку выполняют постоянным током как прямой, так и обратной полярности.



Задание для самостоятельного изучения:



Сварка в защитных газах

Акулова А.И., Бельчука Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1977. – 432 с. (С. 225-227)



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лузан Сергей Алексеевич

E-mail: khadi.luzan@gmail.com

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Тел. 097-174-19-15