



СТРУКТУРА СВАРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

Джемилов Денис Игоревич

Магистрант группы М6-21, Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан
<https://doi.org/10.5281/zenodo.8055568>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 14-June 2023 yil

Ma'qullandi: 17-June 2023 yil

Nashr qilindi: 19-June 2023 yil

KEY WORDS

Структура, сварка,
соединение, сталь,
эксплуатация.

ABSTRACT

Сваркой называют технологический процесс получения неразъемных (сварных) соединений из металлов, их сплавов и других материалов (пластмасс, стекла) или разнородных материалов (стекла и металла и т. п.). Соединение, полученное при сварке, характеризуется непрерывной структурной связью и монолитностью строения, достигаемыми за счет образования атомно-молекулярных связей между элементарными частицами сопрягаемых деталей. При этом между поверхностными атомами твердых тел становится возможным межатомное взаимодействие и происходит сопровождаемое диффузией химическое взаимодействие. В данной статье рассматривается послесварочная структура различных марок стали.

Основная часть

Неразъемное монолитное соединение, образуемое при сварке, называется сварным соединением. При сварке плавлением под сварным соединением понимают участок, включающий собственно шов, металл зоны термического влияния и основной металл, не претерпевший под влиянием сварки никаких изменений. Шов является литым сплавом основного и дополнительного металлов, а зона термического влияния представляет собой участок основного металла с измененными в результате сварки свойствами (рис. 1).

Сваркой плавлением можно соединять практически все используемые для изготовления конструкций металлы и сплавы любой толщины. Возможна сварка разнородных металлов и сплавов.

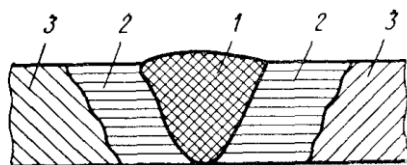


Рис. 1-1. Сварное соединение
1 — металл шва 2 — металл
зоны термического влияния 3 —
основной металл

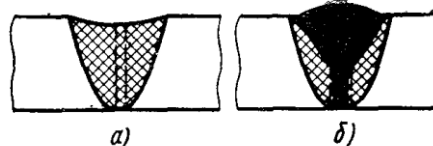


Рис. 1-2. Сварные швы

В процессе изготовления конструкции с использованием сварки плавлением источник теплоты в большинстве случаев передвигается вдоль свариваемого изделия, что позволяет сваривать объекты с неограниченными размерами. Сварку плавлением, в том числе и электрическую, ранее называли автогенной - самопроизвольной сваркой. Затем этот термин начал применяться для обозначения кислородно-ацетиленовой сварки. Сейчас он почти не применяется.

При сварке плавлением металл в месте сварки доводится до жидкого состояния. Локальное расплавление основного металла осуществляется по кромкам соединяемых элементов. Сварка может осуществляться только за счет расплавления основного металла (рис 1, а) или за счет расплавления основного и дополнительного металлов (рис. 1, б). В практике преимущественное применение находит второй вариант. Расплавленные основной или основной и дополнительный металлы самопроизвольно без приложения внешних сил сливаются в общую сварочную ванну, смачивающую оставшуюся твердой поверхность соединяемых элементов. При сварке плавлением требуется локальный нагрев небольшого участка металла, окруженного со всех сторон значительным объемом холодного металла, до температуры, превосходящей температуру его плавления. Это приводит к необходимости использования для электрической сварки большинства металлов и сплавов источников нагрева, имеющих температуру не ниже 3000°C и тепловую мощность, достаточную для образования сварочной ванны.

При электрической сварке плавлением источником нагрева служит электрический ток. Наиболее широкое применение находит электродуговая, электрошлаковая и электроннолучевая сварка. В значительно меньшем объеме используется пока лазерная сварка. Однако масштабы ее применения с каждым годом увеличиваются.

При электрической дуговой сварке нагрев и плавление металла осуществляются энергией, выделяемой дуговым разрядом. При электрошлаковой сварке необходимая для сварки теплота получается при прохождении тока через шлаковую ванну, образуемую при расплавлении флюса. Нагрев и плавление металла при электроннолучевой сварке достигаются за счет интенсивной бомбардировки свариваемого металла быстро движущимися электронами. При лазерной сварке необходимая для плавления металла теплота выделяется световым пучком, являющимся весьма концентрированным источником теплоты.

Сварка углеродистых сталей

Углеродистыми конструкционными (машиноподелочными, или строительными) называют стали, содержащие 0,1-0,7% С. Углерод определяет

прочность этой группы сталей. В углеродистых сталях присутствует также некоторое количество так называемых постоянных (нормальных) примесей, попадающих в металл или специально вводимых в него в процессе производства (плавки) стали. Обычно количество постоянных примесей в углеродистых сталях не превышает (по верхнему пределу) 0,8% Mn, 0,35% Si, 0,04% P, 0,05% S, 0,05% O₂. К постоянным примесям относят также некоторое остаточное содержание водорода и азота.

Помимо постоянных примесей в металле могут находиться в небольшом количестве случайные примеси, попадающие в сталь из шихтовых материалов (медь, мышьяк) или из скрапа (хром, никель). Содержание этих элементов обычно не превышает 0,3% Cu, 0,08% As, 0,3% Cr, 0,3% Ni.

Слиток кипящей стали характерен резко выраженной зональной сегрегацией. Неравномерность содержания примесей сохраняется в прокате, где имеются участки металла с повышенным содержанием серы и в меньшей степени фосфора. Места скопления серы называют сульфидными строчками. Представление о неоднородности структуры кипящей стали дает отпечаток распределения сернистых включений по Бауману. Местная концентрация серы может намного превысить среднее ее содержание и привести к образованию кристаллизационных трещин в металле шва и горячих трещин в околошовной зоне (рис. 2).

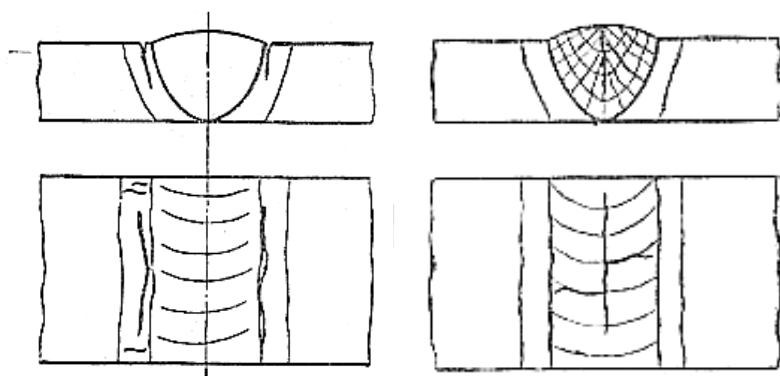


Рис.2. Трещины в околошовной зоне и в металле шва

Опыт эксплуатации сварных конструкций показал, что кипящая сталь, в том числе и мартеновская, склонна к старению в околошовной зоне и к переходу в хрупкое состояние при работе на морозе.

Слиток спокойной стали обычно имеет однородное плотное строение.

Вредные примеси - сера, фосфор распределены в нем более равномерно, чем в слитке кипящей стали. Спокойная мартеновская сталь значительно менее склонна к старению, чем кипящая сталь. При сварке стали, успокоенной алюминием, эффект старения металла околошовной зоны либо вовсе не проявляется, либо проявляется гораздо слабее, чем при сварке кипящей стали.

Полуспокойная сталь занимает промежуточное положение между кипящей и спокойной сталями. Эта сталь раскисляется несколько большим количеством присадок по сравнению с кипящей сталью, благодаря чему обеспечивается меньшее выделение газов при остывании и кристаллизации слитка.

Углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества поставляется по

ГОСТ 380-71 и другим стандартам (ГОСТ 5521-67 на сталь для судостроения, ГОСТ 5520-69 на сталь для котлостроения, ГОСТ 6713-53 на сталь для мостостроения). Углеродистая сталь обыкновенного качества, поставляемая в соответствии с ГОСТ 380-71, подразделяется на три группы: А - поставляемую по механическим свойствам, Б - поставляемую по химическому составу. В - поставляемую по механическим свойствам и химическому составу.

В зависимости от нормируемых показателей сталь каждой группы подразделяется на категории. Сталь группы А имеет три категории, для каждой из которых установлены обязательные показатели и нормы механических свойств. Для сварных конструкций сталь этой группы не применяется. Сталь группы Б подразделяется на две категории. В первой нормируется содержание углерода, марганца, кремния, фосфора, серы, мышьяка, азота. Во второй категории дополнительно нормируется содержание хрома, никеля, меди. Сталь этой группы находит ограниченное применение для сварных конструкций. Сталь группы В имеет шесть категорий.

Как правило, для сварных конструкций применяют сталь марок ВСт2 и ВСт3 всех степеней раскисления. Для ответственных конструкций используют спокойные стали группы В наиболее высоких категорий.

Сталь марки Ст3 групп Б и В выплавляется как полуспокойная, может содержать обычное (0,4-0,65%) и повышенное (0,8- 1,1%) количество марганца. В обозначении марки стали, содержащей повышенное количество марганца, введена буква Г. Стали этого типа также применяют для изготовления сварных конструкций.

В обозначении стали указаны группа, условный номер марки в зависимости от химического состава и механических свойств, степень раскисления, категория стали. Например, ВСт3сп5 обозначает сталь марки Ст3 группы В, спокойная, категория 5. Обозначение ВСт3Гпс4 расшифровывается как сталь марки Ст3 группы В, полуспокойная, с повышенным содержанием марганца, четвертой категории. Следует отметить, что группа А и первая категория в обозначении стали не указываются.

Углеродистая конструкционная качественная сталь поставляется по ГОСТ 1050-60 и отдельным стандартам, разработанным на основе этого стандарта. К этой же группе условно отнесены стали с повышенным содержанием марганца, микролегированные бором (в пределах 0,002-0,006%), и сталь марки С (для судостроения) по ГОСТ 5521-67. Механические свойства сталей установлены в зависимости от характера термообработки.

Низкоуглеродистые конструкционные стали

Краткие сведения о составе и свойствах сталей. К низкоуглеродистым конструкционным сталям, из которых в настоящее время изготавливают большинство сварных конструкций, по принятой в сварочной технике классификации относят стали с содержанием до 0,25% С.

Особенности сварки. Низкоуглеродистые стали относятся к числу хорошо свариваемых металлов. Для этих сталей технологию сварки выбирают из условий обеспечения комплекса требований, главные из которых достижение равнопрочности сварного соединения с основным металлом и отсутствие дефектов в сварном соединении. Для этого механические свойства металла шва, околошовной зоны и

сварного соединения в целом должны быть не ниже минимальных механических свойств основного металла. В ряде случаев с учетом конкретных условий работы конструкции допускается снижение требований к отдельным показателям механических свойств сварного соединения по сравнению с требованиями, предъявляемыми к основному металлу.

В металле швов не должно быть трещин, непроваров, пор, подрезов и других дефектов, они должны иметь требуемые по чертежу размеры и форму. Сварное соединение должно быть стойким против перехода в хрупкое состояние. Изменение формы и размеров (деформация) конструкции должно находиться в допустимых, не отражающихся на ее работоспособности пределах.

В некоторых случаях дополнительно вводят требования высокой коррозионной стойкости сварных соединений, их работоспособности в условиях вибрационных и ударных нагрузок, повышенных или пониженных температур и другие специальные требования

Механические свойства металла шва и сварного соединения зависят от его структуры, определяемой химическим составом, условиями остывания сварной конструкции и термообработкой. При сварке низкоуглеродистой стали металл шва незначительно отличается по составу от основного металла. Это отличие в основном сводится к снижению содержания в металле шва углерода (так как металл электродного стержня или электродной проволоки содержит меньше углерода, чем основной металл) и повышению содержания марганца и кремния.

Снижение прочности металла шва вследствие уменьшения содержания в нем углерода при дуговой сварке полностью компенсируется за счет увеличения скорости его остывания и легирования металла через проволоку, покрытие или флюс марганцем и кремнием. В сварочной практике обеспечение равнопрочности металла шва при дуговой сварке низкоуглеродистой стали не вызывает затруднений. При электрошлаковой сварке для обеспечения равнопрочности металла шва с основным металлом обычно применяют низколегированную проволоку марки Св-10Г2.

Среднеуглеродистые и высокоуглеродистые стали

Краткие сведения о составе и свойствах среднеуглеродистых конструкционных сталей. К среднеуглеродистым конструкционным сталям по классификации, принятой в сварочной технике, относятся стали, содержащие 0,26-0,45% С. Отличие составов среднеуглеродистых от низкоуглеродистых сталей в основном состоит в различном содержании углерода. К этой же группе относится сталь с повышенным содержанием марганца (марок ВСт5Гпс, 25Г, 30Г и 35Г).

Среднеуглеродистые стали находят применение в судостроении, машиностроении и других отраслях промышленности. Для сварно-литых и сварно-кованных конструкций находят применение преимущественно стали 35 и 40.

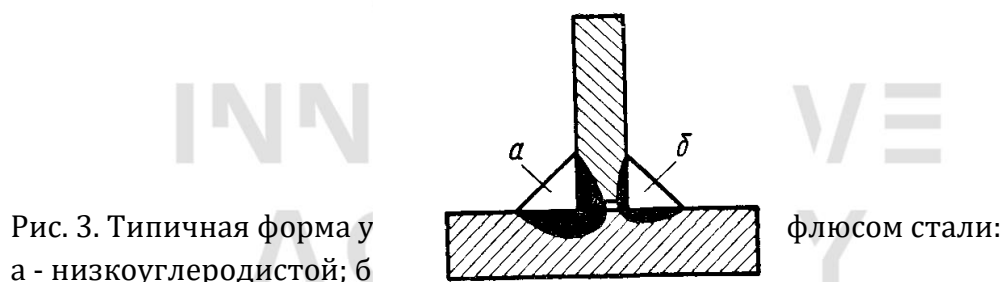
Сварка среднеуглеродистых сталей. Повышенное содержание углерода предопределяет значительные трудности сварки этих сталей. К ним относятся низкая стойкость металла шва против кристаллизационных трещин, возможность образования малопластичных закалочных структур и трещин в околошовной зоне и трудность обеспечения равнопрочности металла шва с основным металлом.

Для преодоления этих трудностей и в первую очередь для повышения стойкости

металла шва против кристаллизационных трещин при всех видах сварки плавлением стремятся снизить содержание углерода в металле шва. Это обычно достигается за счет применения электродных стержней и электродной проволоки с пониженным содержанием углерода и уменьшения доли основного металла в металле шва. Стремятся также обеспечить получение швов с большим значением коэффициента формы и применяют предварительный и сопутствующий подогрев, двухдуговую сварку в раздельные ванны и модифицирование металла шва.

Для сварки среднеуглеродистых сталей чаще всего применяют предварительный подогрев до температуры 250-300° С. За счет предварительного подогрева удается повысить на 0,01-0,02% допустимое содержание углерода в металле шва, при котором еще не образуются трещины, и предупредить образование закалочных структур в околошовной зоне. Однако сварка с подогревом обладает серьезными эксплуатационными недостатками. Кроме того, чрезмерный подогрев может вызвать образование трещин вследствие увеличения провара основного металла и связанного с этим повышения содержания углерода в металле шва.

Для снижения доли основного металла в металле шва дуговую сварку среднеуглеродистых сталей, как правило, ведут с разделкой кромок на режимах, обеспечивающих минимальное проплавление основного металла и максимальное значение коэффициента формы шва. Для иллюстрации сказанного на рис. 3 показаны угловые швы, сваренные под флюсом на режимах, типичных для сварки низкоуглеродистой (а) и среднеуглеродистой (б) стали.



Для повышения доли электродного металла в металле шва принимают также меры по увеличению коэффициента наплавки. При механизированных способах сварки это достигается применением сварочной проволоки малого диаметра (2-3 мм) и минимального сварочного тока. Лучшие результаты получаются при постоянном токе прямой полярности. Сварку под флюсом среднеуглеродистых сталей ведут на режимах, не характерных для этого высокопроизводительного способа, в связи с чем он не получил широкого применения при изготовлении конструкций из среднеуглеродистых сталей.

Эффективным и надежным средством достижения равнопрочности металла шва при низком содержании в нем углерода служит дополнительное легирование элементами, упрочняющими феррит. При сварке среднеуглеродистых сталей для достижения равнопрочности достаточно дополнительно легировать шов марганцем и кремнием. Для сварки под флюсом применяют флюсы АН-348-А и ОСЦ-45 и сварочную проволоку

Св-08А, Св-08ГА и Св-10Г2. При этом необходимое повышенное содержание в

шве кремния и марганца достигается частично путем восстановления их из флюса. Этому способствует применение тонкой проволоки и малых токов, при которых восстановление кремния и марганца протекает более интенсивно.

Для ручной сварки среднеуглеродистых сталей применяют электроды с фтористо-кальциевым покрытием УОНИ-13/55 и УОНИ-13/45, обеспечивающие достаточную прочность и высокую стойкость металла шва против образования кристаллизационных трещин. Чтобы избежать образования малопластичных и хрупких закалочных структур в околошовной зоне, при сварке среднеуглеродистых сталей следует замедлить остывание изделий путем снижения скорости сварки, предварительного подогрева металла, сварки двумя и более раздвинутыми дугами. Чем больше содержание углерода в стали, тем выше должна быть температура подогрева металла при сварке. Даже при использовании всех указанных приемов сварные соединения на среднеуглеродистой стали чаще всего получаются недостаточно пластичными, так как закалка основного металла в околошовной зоне полностью не предотвращается.

Сварка низколегированных сталей

По принятой классификации низколегированной называется сталь, легированная одним или несколькими элементами, если содержание каждого из них не превышает 2%, а суммарное содержание легирующих не превышает 5 %. Низколегированные стали, применяемые для изготовления сварных конструкций, делят на три основные группы: низколегированные низкоуглеродистые конструкционные стали, низколегированные теплоустойчивые стали и низколегированные среднеуглеродистые стали.

Низколегированные низкоуглеродистые конструкционные стали, предназначенные для сварных конструкций, поставляют в основном в горячекатаном или нормализованном состоянии. Ряд сталей применяют в термоулучшенном состоянии (после закалки и отпуска), что дает возможность повысить их прочность и стойкость против хрупкого разрушения. Содержание углерода в низколегированных низкоуглеродистых конструкционных сталях не превышает 0,23%. Стали этого типа легируют рядом элементов, например марганцем, хромом, кремнием, ванадием и др., что приводит к некоторому повышению их прочности. Поэтому их часто называют низколегированными сталями повышенной прочности.

Особенности технологии сварки низколегированных низкоуглеродистых сталей

По реакции на термический цикл низколегированная низкоуглеродистая сталь мало отличается от обычной низкоуглеродистой. Различия состоят в основном в несколько большей склонности к образованию закалочных структур в металле шва и околошовной зоне при повышенных скоростях охлаждения. До недавнего времени считали, что металл шва низкоуглеродистых низколегированных сталей, например 17Г1С, 14ХГС и др., имеет только феррито-перлитную структуру. Поэтому предполагали, что структурные изменения в шве при разных режимах сварки сводятся в основном к изменению соотношения между ферритной и перлитной составляющими, а также изменению степени дисперсности структуры.

Стойкость металла шва против кристаллизационных трещин при сварке

низколегированных сталей несколько ниже, чем низкоуглеродистых, в связи с усилением отрицательного влияния углерода некоторыми легирующими элементами, например кремнием. Повышение стойкости против образования трещин достигается снижением содержания в шве углерода, серы и некоторых других элементов за счет применения сварочной проволоки с пониженным содержанием указанных элементов, а также выбором соответствующей технологии сварки (последовательность выполнения швов, обеспечение благоприятной формы провара) и рациональной конструкции изделия.

Технология сварки покрытыми электродами. Технология сварки низколегированных низкоуглеродистых сталей покрытыми электродами мало отличается от технологии сварки низкоуглеродистых сталей. Характер подготовки кромок, режимы сварки, порядок наложения швов практически одинаковы. Прихватки при сборке необходимо выполнять теми же электродами, что и при сварке основного шва, и накладывать только в местах, где располагается шов.

Низколегированные стали сваривают в основном электродами с фтористо-кальциевым покрытием типа Э42А и Э50А, обеспечивающими более высокую стойкость против образования кристаллизационных трещин и повышенные пластические свойства по сравнению с электродами других типов. Для сварки сталей с пониженным содержанием углерода (например 09Г2) в ряде случаев используют электроды с рутиловым покрытием, например АНО-1 (тип Э42Т). Наиболее широко применяют электроды УОНИ-13/45,

Высокая прочность металла шва при сварке электродами типа Э42А достигается за счет перехода легирующих элементов в шов из основного металла и повышенной скорости охлаждения шва. Для сварки кольцевых швов трубопроводов, работающих при температурах до -70°C , например из стали 10Г2, находят применение электроды ВСН-3 (тип Э50АФ) с фтористо-кальциевым покрытием.

Швы, сваренные покрытыми электродами, в ряде случаев имеют пониженную стойкость против коррозии в морской воде, что значительно снижает эксплуатационные свойства сварных сосудов, морских эстакад и других сооружений. Это обусловлено малым содержанием в поверхностных слоях металла шва легирующих элементов (хрома, никеля, меди) вследствие низкой доли участия основного металла в металле этих слоев. Для повышения коррозионной стойкости металл шва следует легировать хромом.

Технология сварки под флюсом. В большинстве случаев применяют те же сварочные материалы, что и при сварке низкоуглеродистых сталей, плавные флюсы АН-348-А, ОСЦ-45 (однородная сварка), АН-60 (многодуговая сварка с повышенной скоростью), а также сварочные проволоки Св-08ГА и Св-10Г2. Для сварки микролегированных сталей, например 15Г2АФ, в ряде случаев применяют низкокремнистый флюс АН-22 в сочетании с проволоками Св-08ХМ и Св-ЮНМА. Однако при этом швы менее стойки против кристаллизационных трещин, вследствие чего сварку рекомендуется выполнять с предварительным подогревом.

Технология сварки низколегированной стали под флюсом мало отличается от технологии сварки низкоуглеродистой стали.

Для обеспечения пластических свойств металла углового шва и околошовной

зоны на уровне свойств основного металла сечение шва следует выбирать в зависимости от толщины свариваемого металла. Иногда сварку выполняют двумя дугами в отдельные ванны. Многослойные швы на толстом металле также рекомендуется выполнять двумя дугами, а при сварке одной дугой перед наложением первого слоя производить подогрев основного металла до

Технология сварки в защитных газах. Это в основном полуавтоматическая сварка в углекислом газе. Технология сварки низколегированных сталей в углекислом газе практически ничем не отличается от технологии сварки низкоуглеродистой стали. На практике применяют те же сварочные материалы, что и для сварки низкоуглеродистой стали. Так, стали 15ХСНД, 14ХГС и 10ХСНД сваривают сварочной проволокой Св-08Г2С. При однослойной сварке и сварке не более чем в два-три слоя можно применять проволоку Св-12ГС.

Полуавтоматическую сварку в углекислом газе выполняют также порошковыми проволоками ПП-АН4 и ПП-АН8. Проволоку ПП-АН8 можно использовать и при автоматической сварке. Швы, сваренные проволокой ПП-АН8, например на стали 09Г2 равнопрочны основному металлу и имеют повышенные пластические характеристики.

Сварка низколегированных теплоустойчивых сталей

Детали эксплуатируемых в энергостроении машин обычно характеризуются сложностью формы, разнообразием конструктивных решений и индивидуальным характером производства. Поэтому наиболее широкое применение находит ручная сварка покрытыми электродами и полуавтоматическая сварка в защитных газах и реже автоматическая сварка под флюсом.

Работа конструкций при высоких температурах способствует протеканию диффузионных процессов. Для того чтобы снизить интенсивность этих процессов в сварном соединении, стремятся максимально приблизить состав металла шва к составу основного металла. Для сварки хромомолибденовых сталей (12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ) применяют электроды типа ЭМХ по ГОСТ 9467-60. Наибольшее распространение получили электроды с руднокислым покрытием ЦП-14 и электроды ГЛ-14 с фтористо-кальциевым покрытием. Электроды последней марки изготавливают из проволоки Св-08ХМ.

Хромомолибденовые стали с малым содержанием углерода Деталь 12ХМ рекомендуется сваривать с предварительным подогревом до 200° С. При более высоком содержании в стали углерода температуру предварительного подогрева повышают до 250-300° С.

Хромомолибденованадиевые стали (20ХМФЛ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф) сваривают электродами ЦЛ-20-63 (тип ЭХМФ) со стержнем из проволоки Св-08ХМФА. В этом случае необходим предварительный и сопутствующий подогрев до 300-350° С. После сварки сварные соединения подвергают высокому отпуску при температуре 700-740° Св течение 2-3 ч.

При сварке в углекислом газе стали 15ХМ и 20ХМ применяют, сварочную проволоку Св-10ХГ2СМА. При использовании этой проволоки прочностные и пластические свойства сварных соединений в интервале температур 20-525° С практически не отличаются от свойств основного металла.

Автоматическую и полуавтоматическую сварку этих сталей в углекислом газе

проводят с предварительным подогревом до температуры 250-300° С. Режимы сварки практически не отличаются от режимов сварки низкоуглеродистой стали. После сварки проводят высокий отпуск конструкции (табл. 1).

Теплоустойчивую сталь 20ХМФЛ сваривают в углекислом газе проволокой Св-08ХГСМФА с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 300-350° С, что обеспечивает повышение стойкости шва против трещин и снижение твердости металла шва и околошовной зоны. После окончания сварки конструкцию подвергают термообработке по режиму, приведенному в табл. 1 (по данным Б. С. Касаткина). Сварное соединение стали 20ХМФЛ, выполненное в углекислом газе проволокой Св-08ХГСМФА, по всем показателям равноценно основному металлу. Автоматическую и полуавтоматическую сварку в углекислом газе сталей 12Х1МФ и 15Х1М1Ф осуществляют проволокой Св-08ХГСМФА с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 250-300° С. После сварки производят высокий отпуск при температуре 70-740° С.

При сварке под флюсом теплоустойчивых сталей, например 12Х1МФ и 15Х1М1Ф, рекомендуется применять проволоку Св-08ХМФА и флюс АН-22. Сварку осуществляют с предварительным подогревом. Можно использовать также флюс АН-17М в сочетании с кремнемарганцовистой проволокой Св-08ХГСМФА. При указанном сочетании сварочных материалов обеспечивается получение металла шва, кратковременные и длительные механические свойства которого (в состоянии после высокого отпуска) при температуре 20-585° С полностью удовлетворяют установленным требованиям.

Литература:

1. Быков М.М., Файзулина Т.С. Газопламенные горелки. - М.: «Машиностроение», 1994.
2. Фролов К.В. Технология сварки, пайки и резки. Машиностроение. Энциклопедия. Москва. 2006.
3. Глизманенко Д.Л. Газовая сварка и резка металлов. - М.: «Высшая школа», 1993.
4. Мотяхов М.А., Электродуговая сварка металлов. Учебное пособие для повышения квалификации электросварщиков. М., «Высш. школа», 1975.
5. Каховский Н.И., Электродуговая сварка сталей. Справочник. «Наукова думка», 1975