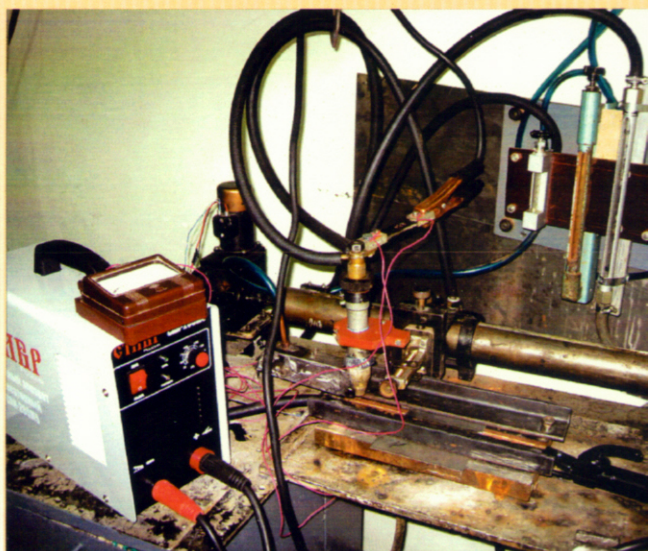


В.В. Масаков
Н.И. Масакова
А.В. Мельзитдинова

СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Учебное пособие



Тольятти
ТГУ
2011

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Автомеханический институт
Кафедра «Оборудование и технология сварочного
производства и пайки»

В.В. Масаков, Н.И. Масакова, А.В. Мельзитдинова

СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Учебное пособие

Тольятти
ТГУ
2011

УДК 621.791.75:669.14

ББК 30.61:34.327

М31

Рецензенты:

д.т.н., профессор Пензенского государственного университета

А.Е. Розен;

к.т.н., доцент, главный сварщик ООО «Тольяттиэнергоремонт»

В.А. Иевлев.

Научный редактор д.т.н., профессор *В.П. Сидоров.*

М31 Масаков, В.В. Сварка нержавеющей сталей : учеб. пособие / В.В. Масаков, Н.И. Масакова, А.В. Мельзитдинова. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 184 с. : обл.

В пособии отражены вопросы дуговой сварки наиболее распространенных марок нержавеющей сталей. Изложены краткие сведения о свойствах нержавеющей сталей. Описаны способы дуговой сварки этих сталей. Рассмотрены особенности технологии сборки и сварки тонколистовых и тонкостенных конструкций, оборудование и оснащение постов для сварки. Представлены сведения о сварочных материалах, рекомендуемых режимах, технике ведения сварки, дефектах сварных швов и методах контроля качества сварных соединений. Даны основные представления об организации рабочего места сварщика и мероприятиях по обеспечению безопасных условий труда при выполнении сварочных работ.

Предназначено для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» и подготовки магистров по направлению 150700.62 «Машиностроение». Может быть полезно сварщикам, специализирующимся на дуговой сварке нержавеющей сталей, и специалистам машиностроительных предприятий.

УДК 621.791.75:669.14

ББК 30.61:34.327

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», 2011

От авторов

Основными показателями, определяющими технико-экономический уровень сварки нержавеющей сталей, являются оборудование и технология сварки, используемые сварочные материалы и квалификация персонала, участвующего в процессе изготовления сварных конструкций.

Последний показатель становится наиболее важным в условиях возрастающего насыщения сварочного производства новейшим оборудованием, расширения применения в сварных конструкциях нержавеющей сталей разных марок, использования прогрессивных методов сварки, ранее не применявшихся столь широко, кроме оборонных отраслей промышленности. Вместе с тем существующий профессиональный уровень специалистов, занятых в сварочном производстве, не всегда отвечает специфическим требованиям, возникающим при сварке материалов различных классов, например нержавеющей сталей.

Данное пособие предназначено оказать помощь работникам сварочного производства, в том числе сварщикам, не имеющим опыта дуговой сварки в инертных газах, в их профессиональной подготовке и повышении квалификации в области аргодуговой сварки неплавящимися электродами нержавеющей сталей. Кроме того, данное пособие может быть полезно и студентам средних и высших технических учебных заведений.

В основу учебного пособия легли материалы, подготовленные для теоретических занятий с квалифицированными сварщиками в рамках программы обучения рабочих сварке нержавеющей сталей по заданию и на базе Автономной независимой организации «Головной аттестационный центр Средневолжского региона» (АНО ГАЦ СВР) (Тольятти).

Авторы выражают свою признательность рецензентам и научному редактору доктору технических наук, профессору В.П. Сидорову за помощь в работе над рукописью.

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ

1.1. Область применения нержавеющей сталей

Нержавеющими называются стали, обладающие высокими механическими свойствами, окалиностойкостью, жаропрочностью, стойкостью против атмосферной, жидкостной и газовой коррозии. Эти свойства обусловлены химическим составом сталей, способом их производства и обработки.

Особые свойства, получаемые в результате изменения химического состава стали, зависят прежде всего от количества содержащегося в ней определенного легирующего элемента. Например, хром при содержании свыше 5% повышает прочность и теплоустойчивость стали, а при содержании свыше 12% придает ей антикоррозионные свойства. Никель при содержании свыше 8% в сочетании с 18% хрома повышает пластичность стали и придает ей немагнитность; 1,5–2,5% кремния значительно увеличивают жаростойкость; марганец увеличивает прочность стали и т. п.

Стали одинакового состава, но выплавленные различными способами (в электрических дуговых, высокочастотных и вакуумных печах), также различаются по свойствам.

Особые свойства нержавеющей сталям придают различной обработкой после выплавки. После выплавки нержавеющей стали имеют крупнозернистую структуру и относительно низкие механические свойства. В результате горячей или холодной прокатки с последующей термической обработкой они приобретают повышенные механические свойства, значительно отличающиеся от свойств литой стали. Послековки возможны снижения некоторых механических свойств, но благодаря уплотнению ковкая сталь приобретает особые свойства, выгодно отличающие ее от катаной. На свойства нержавеющей сталей влияют термическая обработка и сварка.

Нержавеющие стали нашли широкое применение во всех отраслях промышленности. В судостроении из нержавеющей сталей изготавливают трубопроводы и арматуру, гребные винты, крыльевые устройства, столы, шнеки, баббы и противни морозильных установок, детали насосов для морской воды, крышки, патрубки, фланцы

и другие детали котельных установок. Из двухслойной стали (углеродистая сталь, облицовочная нержавеющая сталь) производят цистерны для питьевой, дистиллированной и пресной воды. В химической промышленности из нержавеющих сталей делают аппаратуру для производства кислот, резервуары для их перевозки и хранения, детали теплообменных аппаратов, фильтров и адсорберов.

В котло- и турбостроении из нержавеющих сталей изготавливают роторы, диски, детали паровых котлов; в угольной, нефтяной и газовой промышленности – шахтные насосы и аппаратуру. Нержавеющие стали и сплавы широко используются в авиастроении в качестве конструкционного материала. Расширяются масштабы применения нержавеющих сталей для медицинского инструмента, аппаратуры, оборудования текстильной и пищевой промышленности (аппаратура для переработки молока, рыбы, овощей и фруктов, котлы для варки пищи, узлы холодильных камер и т. п.).

1.2. Основы металловедения

Чтобы правильно выбрать сварочные материалы и разработать технологию сварки, понять требования, предъявляемые к технике выполнения сварки, выявить причины возникновения дефектов в швах, необходимо изучить свойства нержавеющих сталей, их строение, знать влияние легирующих элементов и обработки на эти свойства, изучить поведение этих сталей при обычных и высоких температурах, т. е. необходимо знать основы металловедения.

Температуры, при которых начинается или заканчивается структурное превращение в сплаве, называются критическими. При критических температурах атомы сплава перестраиваются и образуют новую кристаллическую решетку. Вновь образовавшаяся разновидность сплава по структуре отличается от предшествующего состояния этого же сплава.

В сплаве могут быть две и более структурные разновидности, отделенные одна от другой поверхностями раздела. Однородная часть сплава, отделенная от остальных частей поверхностью раздела, называется фазой. Изменения в структуре сплава при изменении температуры называются структурными, или фазовыми превращениями.

Чистый металл при обычной температуре является однофазным твердым веществом. В расплавленном состоянии чистый металл также является однофазным жидким веществом. Однако при переходе из жидкого в твердое состояние чистый металл имеет одновременно две фазы – жидкую и твердую.

Все металлы представляют собой кристаллические тела. Их атомы образуют кристаллическую решетку, располагаясь в определённом порядке. Тип кристаллической решетки определяют с помощью рентгеновских лучей. Впервые рентгеновское излучение для исследования кристаллической решетки применили английские физики У.Г. Брэгг и У.Л. Брэгг (отец и сын). В 1915 году они были удостоены Нобелевской премии по физике.

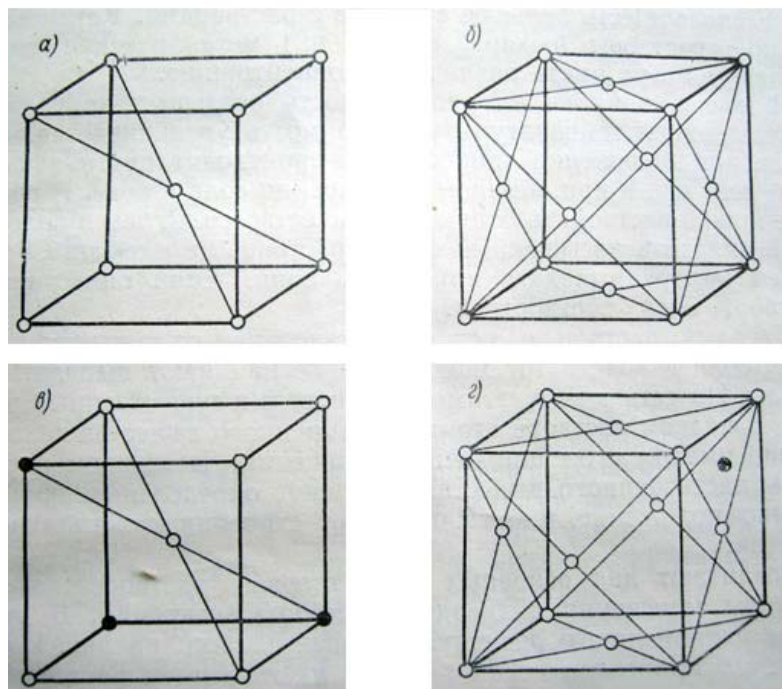


Рис. 1. Схемы кристаллических решёток металлов и твердых сплавов:
а) объёмноцентрированный куб; б) гранецентрированный куб;
в) твердый раствор замещения; г) твердый раствор внедрения

Железо в твердом состоянии при нормальном давлении может быть двухфазным и иметь две различные кристаллические решетки:

α -Fe (альфа-железо) при температуре ниже 911°C и γ -Fe (гамма-железо) при температуре выше 911°C . Кристаллическая решетка α -Fe – объемноцентрированный куб; γ -Fe – гранецентрированный куб (рис. 1).

Область существования каждой решетки железа можно определить при охлаждении железа от температуры плавления (рис. 2) до нормальной. Температура 911°C является критической для превращения одного вида решетки в другой.

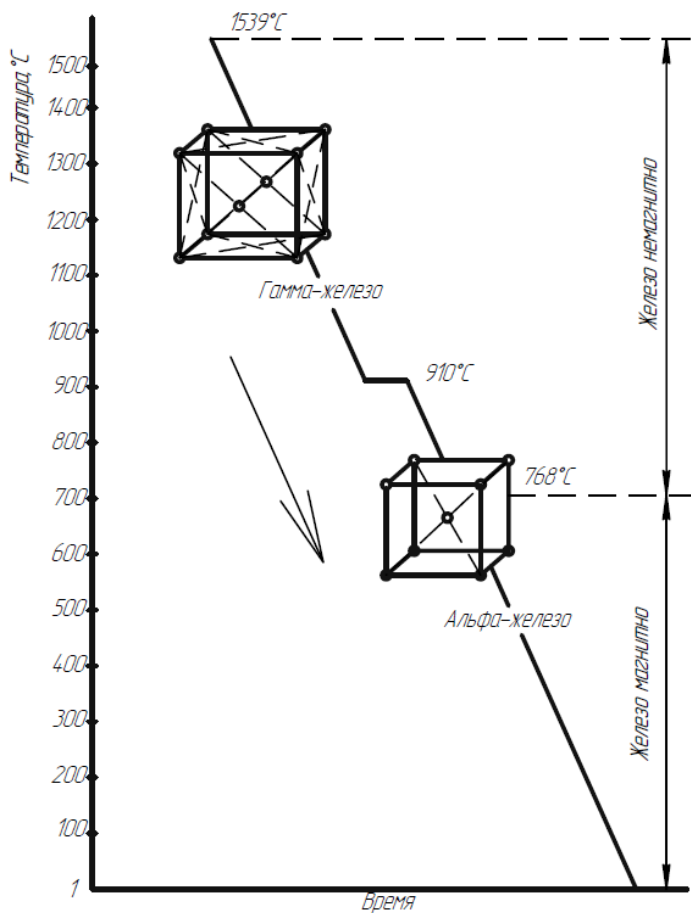


Рис. 2. Упрощенная кривая охлаждения чистого железа

Химическое соединение железа с углеродом называется цементитом (карбид железа), смесь феррита с цементитом – перлитом.

Таким образом, в сплавах железа с углеродом (т. е. в углеродистых сталях) железо, углерод и примеси могут образовывать **твердые растворы** (феррит, аустенит), **химическое соединение** (цементит) и **смесь** (перлит).

В легированных сталях образуются химические соединения легирующих элементов с углеродом, которые называются карбидами (карбид хрома, карбид титана и др.). Кроме того, в легированных сталях образуются химические соединения железа и легирующих элементов с азотом, которые называются нитридами.

В отличие от чистых металлов в сплавах наблюдается большое количество превращений. В сплавах железа с углеродом (углеродистых сталях) железо и углерод взаимодействуют, образуя различные твердые растворы, химические соединения и механические смеси.

Твердый раствор внедрения углерода и примесей в α -Fe называется ферритом. От чистого железа феррит отличается только тем, что в его кристаллической решетке, кроме атомов железа, есть небольшое количество атомов углерода и примесей.

Твердый раствор углерода и примесей в γ -Fe называется аустенитом. Растворимость углерода в железе неодинакова при различных температурах. При температуре 1130° С в железе может раствориться ~2% углерода, при 723° С – не более 0,8% углерода. С понижением температуры углерод выделяется из раствора и может соединяться с другими компонентами сплава. Кроме того, углерод может соединяться с железом, образуя химическое соединение и механическую смесь.

1.2.1. Диаграмма состояния сплава железа с углеродом

В технике применяется огромное количество различных сплавов. Чтобы изучить все существующие сплавы и их свойства, необходимо запоминать большое количество цифр. Облегчить эту работу удалось с помощью диаграмм состояния сплава.

Диаграмма состояния сплава – это схематическое изображение состояния сплава при различных температурах. Диаграмма охватывает ряд сплавов, которые могут быть получены из двух и более компо-

ментов. По такой диаграмме можно определить критические температуры (точки) сплава и структурные превращения в твердом состоянии, а также сделать выбор режима термической обработки сплава.

Диаграмма состояния «железо – углерод» впервые была построена в 1899 году. По вертикальной линии диаграммы откладывается температура в градусах, по горизонтальной – содержание углерода в процентах. Сплавы, содержащие до 2% углерода, называются сталями, а свыше 2,14% (до 6,67%) – чугунами. Наличие в сплаве железа с углеродом небольших количеств обычных примесей (серы, фосфора, кремния и марганца) существенно не влияет на положение критических точек на диаграмме, поэтому углеродистые стали всегда рассматривают как двойной сплав железа с углеродом. В связи с тем что в промышленности нашли применение сплавы с малым содержанием углерода (менее 2%), в дальнейшем мы будем рассматривать левый («стальной») участок диаграммы состояния «железо – углерод», упрощенно представленный на рис. 3.

Выше линии AC сплав находится в жидком состоянии и представляет собой раствор углерода в железе. Линия AC характеризует начало, а линия AE – конец затвердевания сплава. Все линии, расположенные ниже линии AE , соответствуют изменениям, которые происходят в стали в твердом состоянии. При температурах выше линии GS и ES существует одна фаза – аустенит. По линии GS из аустенита начинает выделяться чистое железо (феррит), а по линии ES – цементит. По линии PK оставшийся аустенит превращается в смесь феррита с перлитом (в районе линии PS), в чистый перлит (под точкой S) или в смесь цементита с перлитом в районе линии SK .

Для примера возьмем сталь с содержанием углерода 0,2% и проследим, что происходит с нею при охлаждении. Если провести на диаграмме вертикальную линию из точки, соответствующей содержанию углерода 0,2%, то точки пересечения этой линии с кривыми диаграммы будут критическими. В них начинается или заканчивается превращение в данном сплаве.

При температуре, соответствующей точке 5 (рис. 3), в жидком сплаве начинают образовываться кристаллы твердого металла. Образование кристаллов продолжается при понижении температуры до точки 4. В точке 4 весь сплав за-твердевает и при более низких

температурах превращается в аустенит. При дальнейшем понижении температуры до точки 3 аустенит сохраняется и только в точке 3 в сплаве начнется образование феррита, т. е. происходит структурное превращение. Этой температуре соответствует критическая точка A_3 данного сплава. Выделение феррита заканчивается при температуре A_1 (точка 1 на линии PSK). В точке 2 нового превращения не происходит – немагнитная сталь ниже температуры A_2 (768°C) становится магнитной.

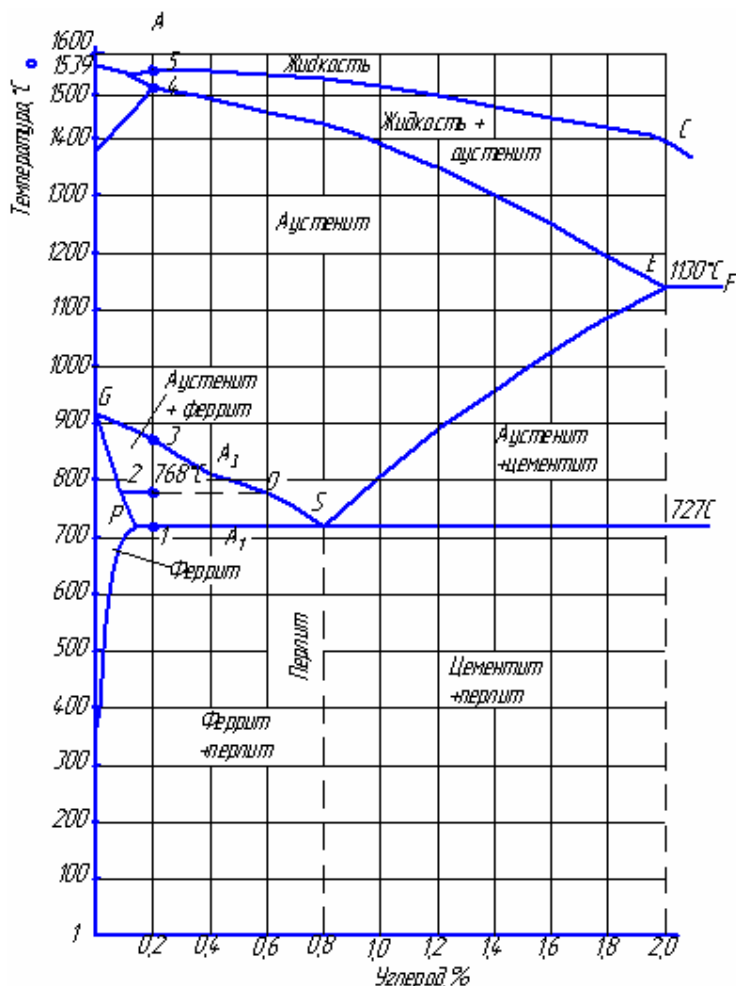


Рис. 3. Участок диаграммы состояния сплава железа с углеродом

При охлаждении сплава с малой скоростью ниже температуры 723°C (точка 1) никаких структурных изменений не произойдет. При больших скоростях охлаждения стали ниже температуры 727°C может образовываться **мартенсит** — *пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в альфа-железе*. Это объясняется тем, что углерод при быстром охлаждении не успевает выделяться из феррита и атомы углерода остаются в решетке альфа-железа.

На примере рассмотренных превращений видно, что аустенит неустойчив и существует в сплаве железа с углеродом только в определенном интервале температур. В сплаве, содержащем 0,2% углерода, аустенит существует в интервале температур от 1520 до 870°C , при температуре ниже 870°C он начинает распадаться. В сплаве с содержанием углерода 0,8% аустенит существует в интервале температур от 1400 до 727°C .

Введение легирующих элементов влияет на положение критических точек и линий диаграммы состояния «железо – углерод». Например, железоуглеродистый сплав, легированный никелем, может сохранять аустенитную структуру даже после охлаждения ниже A_1 .

Превращения в сталях, легированных одним элементом, изучают по тройным диаграммам: железо – углерод – легирующий элемент; легированных двумя элементами и более – на четверных диаграммах и т. д. Но тройными и четверными диаграммами пользоваться на практике очень трудно. Поэтому при изучении легированных сталей используют двойные диаграммы состояния «железо – легирующий элемент» и рассматривают влияние легирующих элементов на положение точек и линий диаграммы состояния «железо – углерод», или рассматривают разрез тройной (четверной) диаграммы с определенным содержанием основных легирующих элементов.

1.2.2. Диаграмма состояния легированной стали

На рис. 4 показана диаграмма состояния легированной стали (18% хрома, 8% никеля и до 0,5% углерода). Рассмотрим превращения в этой стали при медленном охлаждении. Возьмем сплав с содержанием 0,1% углерода. В точке 3 заканчивается выпадение кристаллов аустенита из жидкого раствора, сплав затвердевает

и приобретает аустенитную структуру. При дальнейшем охлаждении в точке 2 по границам зерен аустенита за счет выделения углерода из твердого раствора начнется образование карбидов. Оно продолжается до точки 1. Выпадение карбидов из твердого раствора снижает стабильность аустенита из-за уменьшения количества углерода в растворе и приводит к образованию феррита, в основном по границам зерен аустенита (ниже точки 1).

Большая часть зерен сохраняет аустенитную структуру. В результате полного охлаждения получается сплав (сталь) с аустенито-ферритной структурой.

В сталях с большим содержанием никеля (более 8%) по границам зерен аустенита также выпадают карбиды, но феррит ниже точки 1 не образуется. Такие стали имеют только аустенитную структуру. Если аналогично рассмотреть сталь, содержащую 0,025% углерода, можно убедиться, что в этом случае карбиды из твердого раствора не выпадают. Весь углерод переходит в твердый раствор, и сталь сохраняет аустенитную структуру после полного охлаждения. Условно она называется чисто аустенитной.

На рис. 5 показана диаграмма состояния железоуглеродистого сплава с 12% хрома. Превращения при медленном охлаждении в этом сплаве отличаются от превращений в предыдущем сплаве.

Возьмем сплав с содержанием 0,15% углерода (хромистая сталь). В точке 3 заканчивается выпадение кристаллов аустенита из жидкого раствора. Затвердевший сплав сохраняет аустенитную структуру при охлаждении до точки 2, в которой начнется образование феррита. В точке 1 при обычной скорости охлаждения весь аустенит превратится в феррит с одновременным образованием мартенсита (закалочной структуры).

Сплав, содержащий менее 0,1% углерода при том же количестве хрома (~13%), не претерпевает последнего превращения с образованием мартенсита, т. е. не закаливается и сохраняет после полного охлаждения ферритную структуру.

Превращение аустенита в мартенсит при охлаждении сплава сопровождается изменениями объема вследствие расширения кристаллической решетки. Это приводит к возникновению больших напряжений, которые часто являются причиной появления трещин

(после сварки). Подогрев перед сваркой и отжиг после сварки призваны уменьшить величину напряжений или вовсе снять их.

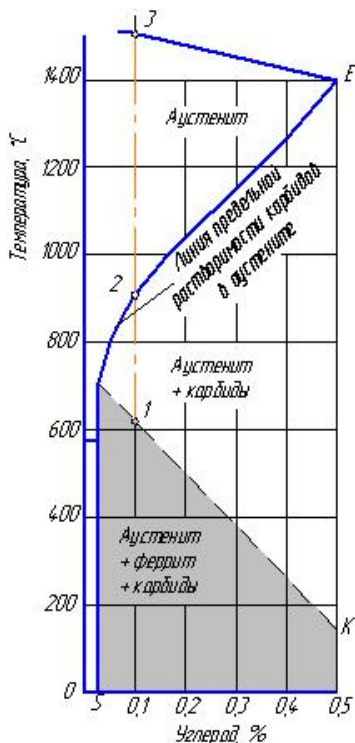


Рис. 4. Схема диаграммы состояния стали 08X18N9 с разным содержанием углерода

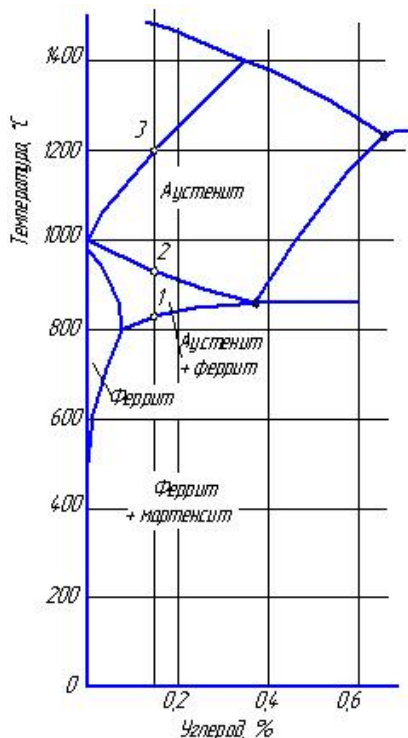


Рис. 5. Упрощенная диаграмма состояния сплава «железо – углерод» с 12% хрома

1.3. Обозначение легирующих элементов и маркировка нержавеющей сталей

Марки легированных сталей составляются из чисел, указывающих среднее (или примерное) содержание углерода и легирующих элементов, и букв русского алфавита, обозначающих легирующие элементы.

Значения букв следующие: А – азот; Б – ниобий; В – вольфрам; Г – марганец; Д – медь; Е – селен; К – кобальт; М – молибден; Н –

никель; Р – бор; С – кремний; Х – хром; Т – титан; Ф – ванадий; Ю – алюминий.

Основные компоненты стали (железо, углерод) буквами не обозначаются. Обычные примеси (сера, фосфор, кремний и марганец), присутствующие в стали в ограниченных количествах, также не обозначаются.

Цифры, стоящие после буквенных обозначений элементов, указывают среднее содержание элемента в процентах. Элементы, присутствующие в стали в малых количествах (титан, бор, азот), цифрами не обозначают. Цифры, стоящие перед буквами, обозначают содержание углерода в стали в десятых долях процента.

Например, в стали марки 20Х13 содержится в среднем 0,2% углерода и 13% хрома. В стали марки 12Х18Н9 – не более 0,12% углерода, в среднем 18% хрома и 9% никеля. В стали марки 08Х18Н10Т – не более 0,08% углерода, в среднем 18% хрома, 10% никеля и небольшое количество титана. В стали марки 04Х18Н10 не более 0,04% углерода, 18% хрома и 10% никеля.

В отличие от марок конструкционных сталей в марке стали, из которой изготовлена сварочная проволока, цифры перед буквами обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, в проволоке марки Св-0Х19Н10Б содержится в среднем 0,08% углерода, 19% хрома, 10% никеля и небольшое количество ниобия.

Стали с очень длинными обозначениями при частом написании их марки сокращенно обозначают цифрами, указывающими на приблизительное содержание легирующих элементов.

Стали, содержащие свыше 10% легирующих элементов, относятся к высоколегированным сталям.

1.4. Влияние легирующих элементов и примесей на структуру и свойства сталей

Легирующие элементы и примеси по влиянию на структуру сталей делятся на две основные группы: аустенизаторы – элементы, способствующие получению аустенитной структуры в стали, и ферритизаторы – элементы, способствующие получению ферритной или аустенито-ферритной структуры (при наличии аустенитной структуры).

К аустенизаторам относятся углерод, никель, азот и марганец, к ферритизаторам – хром, титан, ниобий, молибден и кремний.

Свойства стали в значительной степени определяются соотношением в ней аустенизаторов и ферритизаторов. Например, аустенизаторы снижают коррозионную стойкость и повышают пластичность стали, а ферритизаторы повышают коррозионную стойкость и упрочняют ее.

Влияние углерода. Углерод является сильнодействующим аустенизатором (действует в 30 раз сильнее, чем никель). Это основной легирующий аустенитообразующий элемент. С увеличением количества углерода в определенных пределах заметно повышается прочность стали, незначительно увеличивается твердость, а относительное удлинение и сужение почти не меняются.

Углерод активно соединяется с железом и хромом, образуя карбиды. Выпадение карбидов хрома по границам зерен аустенита вызывает межкристаллитную коррозию. Поэтому содержание углерода в стали строго регламентируют и тщательно проверяют соответствие требованиям ГОСТ.

Установлено, что 1% углерода в хромистой или хромоникелевой стали связывает в карбиды 16% хрома. При выпадении карбида из твердого раствора такое же количество хрома отнимается от основной структуры твердого раствора. Практически в нержавеющей стали содержится не более 0,3% углерода. Но если даже такое количество углерода выделится в форме карбида, в стали с 14% хрома в основе структуры останется только 9% хрома, а 5% будет израсходовано. Сталь с таким содержанием хрома (9%) уже не является нержавеющей.

Хромоникелевые стали, содержащие до 0,06% углерода и имеющие добавки титана или ниобия, как правило, не склонны к межкристаллитной коррозии, даже без термической обработки. В сварочной проволоке, предназначенной для сварки ответственных конструкций, допускается содержание углерода более 0,06%. Для сварки ответственных конструкций, работающих в тяжелых условиях коррозионной среды, лучше применять проволоку, содержащую менее 0,06% углерода независимо от наличия в стали титана, ниобия и других карбидообразующих или стабилизирующих эле-

ментов. Чем ответственнее конструкция, тем выше должно быть качество шва и тем меньше должно содержаться углерода в стали, предназначенной для проволоки.

Влияние никеля. С увеличением содержания никеля обычно повышаются пластические свойства стали. Аустенизирующее действие никеля зависит от содержания хрома в стали. У наиболее распространенных хромоникелевых аустенитных сталей с содержанием никеля более 8% соотношение количеств хрома и никеля обычно составляет 2:1 (точнее, 1,8:1), при этом структура стали не всегда получается однофазной, чисто аустенитной. Для обеспечения чисто аустенитной структуры в ряде случаев это соотношение должно быть значительно меньше, чем 1,8:1. Например, сталь 20X25N20C2, у которой около 25% хрома и около 20% никеля, всегда обладает чисто аустенитной структурой.

Швы с чисто аустенитной структурой склонны к образованию горячих трещин. Кроме того, вызывая аустенизацию сварных швов, никель снижает стойкость швов против межкристаллитной коррозии, особенно при отсутствии в стали титана или ниобия.

Влияние азота. Азот является сильнодействующим аустенизатором. Для получения однофазного аустенитного строения стали 20X23N13 достаточно ввести в нее 0,25% азота. В некоторые нержавеющие стали азот вводится для экономии никеля. Однако такие стали, как правило, нестойки против межкристаллитной коррозии. Швы, насыщенные в процессе сварки азотом воздуха, могут подвергнуться межкристаллитной коррозии, несмотря на наличие в стали титана. Соединяясь с азотом, титан образует нитриды, в результате чего количество титана в стали оказывается недостаточным для связывания углерода. Введение азота в небольших количествах (около 0,05%) способствует измельчению структуры стали. Такая сталь менее подвержена межкристаллитной коррозии.

Влияние марганца. Марганец улучшает сварочные свойства стали, повышает её прочность, пластичность и способствует образованию аустенитной структуры. Однако марганец менее сильный аустенизатор, чем никель (приблизительно в два раза слабее). Содержание марганца в хромоникелевых сталях обычно не превышает 2%. Чтобы за счет марганца получить чисто аустенитную структуру

в швах на стали 08X18H10, необходимо в проволоке из такой же стали иметь не менее 5–6% марганца.

Влияние хрома. Хотя хром является ферритизатором, в присутствии никеля и углерода он способствует образованию аустенитной структуры. В результате этого в сплавах, содержащих хром, аустенитная структура образуется при меньшем содержании никеля.

Хромистые стали без сильных аустенизаторов являются ферритными или мартенситными. Такие стали, содержащие свыше 5% хрома, обладают повышенной коррозионной стойкостью и стойкостью против окисления в атмосферных условиях. В сочетании с молибденом, титаном, ниобием и другими элементами добавка 5–10% хрома повышает механические свойства стали, ее теплоустойчивость, стойкость против окисления в горячих средах. При содержании более 12% хром придает стали высокие антикоррозионные свойства. С увеличением количества хрома в стали повышаются ее прочность и коррозионная стойкость, но при содержании его более 20% заметно снижается пластичность.

Отрицательное действие хрома стремятся снизить аустенизаторами. Сталь с повышенным, по сравнению со сталью 08X18H10, содержанием хрома и никеля обладает более высоким сопротивлением окислению и более стойка против коррозии при работе в агрессивных средах.

Влияние титана и ниобия. Титан и ниобий являются эффективными ферритизаторами, но они вводятся в сталь в основном как активные карбидообразователи, препятствующие выпадению карбидов хрома в области «опасных» температур. Количество этих элементов в стали должно быть небольшим, так как они способствуют превращению аустенитной структуры в аустенито-ферритную и снижают пластичность стали. Если титана или ниобия содержится в стали соответственно в 6 и 10 раз больше, чем углерода, сталь становится нечувствительной к межкристаллитной коррозии.

Действие карбидообразователей типа титана, по существу, сводится к связыванию углерода в устойчивые карбиды и снижению его подвижности. Образующиеся карбиды могут перейти в твердый раствор только при очень высоких температурах, близких к температуре плавления стали, или при длительном нагревании.

В отношении титана это справедливо при условии, что он связывает весь углерод в карбиды. В практике нередки случаи, когда сталь, содержащая титан, склонна к межкристаллитной коррозии. В этих случаях не весь углерод (при определенных условиях) соединяется с титаном – часть его соединяется с хромом.

Титан измельчает структуру швов и повышает стойкость стали против горячих трещин. И наоборот, ниобий в однофазных чисто аустенитных швах способствует образованию трещин.

Влияние молибдена. Добавка молибдена благоприятно действует на свойства стали: повышаются коррозионная стойкость, прочность и пластичность сварных швов. С целью повышения пластичности металла шва на сталях, не содержащих молибдена, с успехом применяют сварочную проволоку с молибденом. Однако молибден способствует образованию ферритной фазы, поэтому, чтобы сохранить аустенитную структуру стали, повышают содержание в ней никеля. Стали, содержащие от 2 до 4% молибдена, должны содержать от 9 до 14% никеля. Вот почему в проволоке Св-04Х19Н11МЗ больше никеля.

Влияние кремния. Кремний предохраняет хром от окисления. Большинство аустенитных сталей, предназначенных для сварки, содержат до 1% кремния. В швах сталей 12Х18Н9 кремний способствует образованию феррита и упрочняет металл шва. Увеличение содержания кремния в такой стали до 2% увеличивает ее стойкость против трещин и повышает общее сопротивление коррозии. Наоборот, в чисто аустенитных швах стали 20Х25Н20С2 кремний вызывает образование горячих трещин, отчего прочность и пластичность шва снижаются.

Влияние серы и фосфора. Сера и фосфор являются вредными примесями и количество их в стали должно быть минимальным (табл. 1). Эти примеси способствуют образованию трещин в швах, причем действие фосфора проявляется более интенсивно, чем серы. При высоких температурах в процессе кристаллизации сера и фосфор скапливаются по границам зерен, где и зарождается разрушение, приводящее к образованию горячих трещин в сварных швах.

Таблица 1

Химический состав некоторых нержавеющей сталей

Марка стали	Содержание элементов в % (остальное – железо)							
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Сера	Фосфор	Прочие элементы
						Не более		
Стали мартенситного класса								
14X17H2	0,11–0,17	Не более 0,8	Не более 0,8	16–18	1,5–2,5	0,025	0,03	–
Стали мартенсито-ферритного класса								
12X13	0,09–0,15	Не более 0,6	Не более 0,6	12–14	–	0,025	0,03	–
Стали ферритного класса								
08X13	0,08	0,06	0,06	11–13	–	0,025	0,03	–
08X17T	0,08	0,08	0,07	16–18	–	0,025	0,03	Титан 0,5–0,8
Стали аустенито-мартенситного класса								
08X17H7Ю	0,08	0,8	0,8	14–16	7,0–9,4	0,025	0,035	Алюминий 0,7–1,3
Стали аустенито-ферритного класса								
08X21H5T	0,08	0,8	0,8	20–22	4,8–5,8	0,025	0,035	Титан 0,3–0,8
Стали аустенитного класса								
08X18H10T	0,08	0,8	1–2	17–19	9–11	0,022	0,035	Титан 0,4–0,6
12X18H10T	0,12	0,8	1–2	17–19	9–11	0,02	0,035	Титан 0,5–0,7
08X18H12Б	0,08	0,8	1–2	17–19	11–13	0,02	0,035	Ниобий 0,4–0,12

Сопоставляя влияние различных элементов и примесей на структуру и свойства стали, можно сделать вывод, что наилучшими свойствами обладают стали, имеющие двухфазную аустенито-ферритную структуру с относительно небольшим количеством феррита. Помимо высоких механических и технологических свойств такие стали обладают высокой антикоррозионной стойкостью. Это объясняется тем, что растворимость карбидов в аустените и феррите различна. Феррит в отличие от аустенита способствует собиранию

карбидов внутри зерен, а не на их границах. Поэтому, если коррозия и возникнет на границах отдельных зерен, то рядом расположенные ферритные зерна будут препятствовать сквозному разрушению. Однако все эти положительные качества проявляются при строго определенном количестве феррита в аустенитной структуре стали и в определенных условиях эксплуатации.

Наиболее универсальной является сталь, содержащая от 2 до 8% феррита. С уменьшением количества феррита резко снижается сопротивляемость стали образованию горячих трещин в металле шва при сварке. С увеличением количества феррита в аустенитной стали повышается склонность к старению и потере пластичности с течением времени и при высоких рабочих температурах. Кроме того, двухфазные аустенито-ферритные стали хуже сохраняют свою структуру в условиях высоких температур, чем однофазные чисто аустенитные.

1.5. Классификация и химический состав высоколегированных сталей

В зависимости от основных свойств высоколегированные стали, согласно ГОСТ 5632-72, делятся на три группы. Первая группа – коррозионностойкие нержавеющие стали. К ним относятся стали, обладающие стойкостью против электрохимической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой, морской и др.). Вторая группа – жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы, к которым относятся стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550° С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии. Третья – жаропрочные стали и сплавы, предназначенные для работы в нагруженном состоянии при высоких температурах.

Кроме того, коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные стали подразделяются на шесть структурных классов. Химический состав некоторых из них приведен в табл. 1.

Из сталей, указанных в табл. 1, наиболее распространены во многих отраслях промышленности нержавеющие хромоникелевые, содержащие 18% и более хрома, и нержавеющие хромистые, содер-

жащие около 13% хрома. В дальнейшем этим сталям будем уделять основное внимание.

В зависимости от условий работы конструкции сталь должна обладать определенными свойствами: физическими, химическими и механическими, эксплуатационными.

В результате многочисленных опытов удалось оценить эффективность действия на структуру сварного шва того или иного элемента по сравнению с действием основных легирующих примесей аустенитных сталей: основного ферритообразующего элемента – хрома и основной аустенитизирующей примеси – никеля.

Если принять эффективность действия хрома за единицу, то эквивалентная концентрация хрома в сварочной ванне $C_{г_3}$ может быть рассчитана по формуле

$$C_{г_3} = Cr + Mo + 2Al + 2Ti + Nb + W + 0,5Ta + 1,5Si.$$

В правой части уравнения химические символы означают процентное содержание того или иного элемента в металле шва.

Эквивалентная концентрация никеля Ni_3 рассчитывается по другой формуле:

$$Ni_3 = Ni + 30C + 30N + 12B + Co + 0,5Mn.$$

Пользуясь приведенными уравнениями и зная химический состав шва, можно приближенно определить характер его микроструктуры. Для этого служит так называемая структурная диаграмма, предложенная Шеффлером (рис. 6).

Эта диаграмма построена на основании опытов, полученных при ручной сварке электродами с качественным покрытием. Аналогичные данные применительно к сварке под флюсом или аргонодуговой сварке отсутствуют, что все же не препятствует использованию структурной диаграммы и для этих видов сварки. Зная состав исходных материалов (стали R_m и проволоки R_3), режим сварки и типичное для него соотношение долей основного γ и электродного $(1 - \gamma)$ металлов в металле шва, а также величину изменений концентраций того или иного элемента (ΔR) в результате взаимодействия с флюсом или газом, можно наперед рассчитать химический состав сварного шва $R_{ш}$, прибегнув к известной формуле

$$R_{ш} = \gamma R_m + (1 - \gamma)R_3 + \Delta R.$$

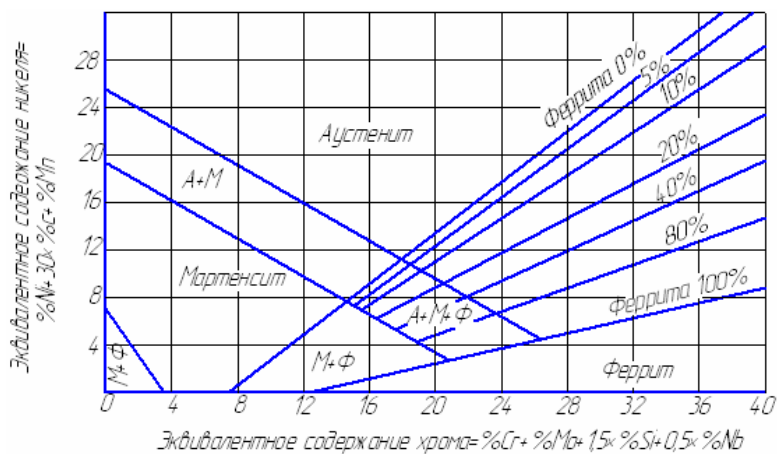


Рис. 6. Структурная диаграмма сварных швов (по Шеффлеру)

Расчет эквивалентных концентраций хрома и никеля по структурной диаграмме, можно установить тип микроструктуры сварного шва и приблизительно оценить количество ферритной составляющей в нем.

Пользование структурной диаграммой в известной мере облегчает работу исследователей, а также заводских работников, занимающихся сваркой хромоникелевых аустенитных сталей и этих сталей с обычными конструкционными.

Однако не следует забывать, что структурная диаграмма Шеффлера имеет статический характер – она не может учесть влияния на микроструктуру шва таких важных факторов, как режимы сварки, и особенно скорости сварки, сечения шва и т. д. Диаграмма не учитывает изменений растворимости отдельных элементов, вовсе не учитывает возможности образования эвтектических составляющих в сварном шве при повышенном содержании углерода, кремния, ниобия, бора. Например, судя по диаграмме, повышение содержания углерода в шве, увеличивая эквивалентную концентрацию никеля, должно лишь сместить точку, характеризующую структуру шва, в области стабильного аустенита. Тем не менее структурная диаграмма Шеффлера дает, несомненно, возможность качественной оценки микроструктуры сварного шва. При определении количества ферритной составляющей ею следует пользоваться с осторожностью.

Структурная диаграмма значительно облегчает задачу предварительных расчетов химического состава шва при сварке разнородных сталей. Зная химический состав электродного металла и обеих свариваемых сталей, а также долю участия каждого из трех металлов в шве, можно наперед рассчитать состав шва.

1.6. Физические свойства нержавеющей сталей

Основные физические свойства сталей приведены в табл. 2. Сравнивая физические свойства аустенитных сталей с аналогичными свойствами обычной малоуглеродистой стали марки Ст.3, можно сделать вывод, что теплопроводность аустенитных сталей в два раза ниже, коэффициент линейного расширения в полтора раза больше, электросопротивление в пять раз выше, чем у малоуглеродистой стали.

Таблица 2

Физические свойства сталей

Физические свойства	Марка стали		
	0X18H10T	Ст.3	1X13
Плотность, кг/м ³	7900	7850	7750
Температура плавления, °С	1400–1450	1500	1480
Теплопроводность при 100° С, х 4,19·10 ² , Вт/м·К	16,341–16,76	40,22	27,65
Коэффициент линейного расширения α·10 ⁻⁶ К ⁻¹ при температуре от 0 до 100° С	16,6	12	10,1
Удельное электросопротивление при 20° С, 1·10 ⁻⁶ Ом·м	0,73	0,15	0,3
Температура начала интенсивного образования окалины в град, °С	850–900	550	–
Магнитные свойства	Немагнитна	Магнитна	Магнитна

У хромистых сталей теплопроводность в полтора раза ниже, коэффициент линейного расширения незначительно меньше, а электросопротивление в два раза выше, чем у малоуглеродистой стали.

Знание этих свойств помогает сварщику учитывать поведение сталей при сварке, осознанно корректировать режим сварки и правильно относиться к дополнительным требованиям, предпри-

санным технологическим процессом. Поскольку хромоникелевые стали имеют более низкий коэффициент теплопроводности и высокое электрическое сопротивление, для расплавления их требуется меньше электрической энергии, чем для сварки обычной малоуглеродистой стали.

При сварке на одинаковых токах электрод (проволока) из хромоникелевой стали разогревается заметно сильнее, чем электрод из хромистой стали, и намного сильнее, чем из малоуглеродистой стали. Поэтому электроды из аустенитной хромоникелевой стали делают укороченными. Чрезмерный нагрев электрода или конца проволоки, выходящего из мундштука, затрудняет получение необходимых свойств сварных соединений.

Изменяется также и глубина проплавления. Так, свариваемые кромки хромоникелевых сталей из-за низкой теплопроводности нагреваются быстрее и глубина проплавления при одном и том же режиме будет больше, чем у малоуглеродистой стали. Глубина проплавления кромок хромистых сталей также будет больше, чем у углеродистых, но незначительно, так как теплопроводность этих сталей отличается меньше от теплопроводности малоуглеродистой стали. Особенно заметно это обнаруживается при сварке замкнутых швов малой протяженности, например, на трубах, лопатках, штуцерах и т. п.

Низкие коэффициенты теплопроводности, а также низкий коэффициент линейного расширения хромистых сталей способствуют образованию в сварном соединении собственных напряжений, меньших по величине, чем у хромоникелевых сталей. Эту особенность необходимо учитывать при выборе режимов сварки. При сварке хромоникелевых сталей надо стремиться к минимально возможной силе сварочного тока. Но даже при сварке на самой малой силе сварочного тока в сварном узле из хромоникелевой стали после охлаждения собственные внутренние напряжения всегда будут больше, чем в таких же сварных узлах из хромистых сталей, так как у хромоникелевых сталей больше коэффициент линейного расширения (табл. 2).

Хромоникелевые аустенитные стали немагнитны, если они имеют чисто аустенитную однофазную структуру. Поэтому при их сварке исключается магнитное дутье дуги. Хромистые стали магнитны.

Наличие в аустенитной стали феррита или мартенсита делает сталь частично магнитной. Появлению в аустенитных сталях феррита способствует наклеп. Сильно нагартованная растяжением аустенитная сварочная проволока становится магнитной. Это говорит о том, что даже при комнатной температуре наклеп, полученный в результате сильного растяжения, может вызвать структурные превращения — аустенит частично превращается в феррит.

1.7. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей

Железо и обычная углеродистая сталь при соприкосновении с влажным воздухом ржавеют. Процесс ржавления включает образование окислов, гидроокиси, карбонатов и т. п., в результате чего металл превращается в минералы, из которых он был получен путем длительной переработки начиная от добычи руды и завершая созданием металлоконструкции. Процесс разрушения металла под воздействием среды в технике получил название коррозии. В мире ежегодно теряется от коррозии около 20 млн тонн железа, что составляет примерно 10% всего производимого количества железа.

Известны два основных вида коррозии — химическая и электрохимическая.

Химическая коррозия происходит под действием газов и жидкостей, не проводящих электрический ток (бензин, керосин, смолы и т. п.); электрохимическая — под действием жидкостей, проводящих электрический ток (вода, щелочи, кислоты и т. п.).

Большинство углеродистых сталей подвержены химической и электрохимической коррозии. Для предохранения их от разрушения применяют различные антикоррозионные покрытия (окраску, оцинковку, хромирование, никелирование).

Легированные хромом стали обладают высокой стойкостью против химической коррозии и не нуждаются в антикоррозионных покрытиях. Этими свойствами сталь обладает благодаря пассивности хрома на воздухе. Железо тоже можно сделать пассивным в различных средах (азотной кислоте, некоторых щелочных растворах), но на воздухе оно становится активным. Кроме того, стали, содержащие значительные количества хрома и других легирующих

элементов, хорошо сопротивляются образованию окалины, т. е. являются жаростойкими.

Нержавеющей сталь становится при содержании хрома более 12,5%, когда образуется плотный поверхностный слой окиси хрома, который и предохраняет металл от окисления (ржавления). Большое влияние на сопротивляемость коррозии оказывает физико-химическое состояние хрома в сплаве. Наилучшая сопротивляемость достигается, когда весь хром находится в твердом растворе и сталь имеет однофазную структуру.

Наряду с ценными свойствами нержавеющей стали имеют существенный недостаток — они склонны к межкристаллитному и другим видам коррозионного разрушения.

Межкристаллитная коррозия — это разрушение металлов по границам кристаллов (зерен) под воздействием среды. Нагрев стали может способствовать проявлению этого вида коррозии. В интервале температур 450–850° С по границам зерен аустенита выпадают карбиды хрома, в результате наружные слои аустенитного зерна теряют стойкость против коррозии.

Стальная пластина, подверженная межкристаллитной коррозии, настолько теряет металлические свойства, что при ударе не издает характерного для металла звука.

Карбиды образуются даже при температуре 400° С, но при очень длительной выдержке. Наиболее быстрое образование карбидов происходит при температурах 750–850° С. Нагрев стали выше 850° С приводит к растворению в аустените ранее образовавшихся карбидов хрома.

Температурную область, ограниченную линиями 727° С-КГ и 727–1400° С (рис. 4), называют опасной. При сварке хромоникелевых сталей всегда есть участки основного металла, нагретого до опасных температур. На этих участках может возникнуть межкристаллитная коррозия.

При однопроходной сварке, когда примыкающие к шву участки металла короткое время находятся под воздействием опасного нагрева, склонность к межкристаллитной коррозии проявляется весьма редко. Длительное пребывание в зоне опасного нагрева способствует резкому возрастанию этой склонности. В случае мно-

гопроходной сварки «тонкими» валиками с полным охлаждением стыка после каждого прохода склонность к коррозионному разрушению заметно меньше, чем при сварке «толстыми» валиками без охлаждения (рис. 7,б).

Для предотвращения склонности хромоникелевых сталей к межкристаллитной коррозии принимают специальные меры. Существуют два способа борьбы с этой коррозией. Первый предусматривает снижение содержания углерода в стали до предела растворимости его в аустените при комнатной температуре. Хромоникелевые стали, содержащие 0,02–0,03% углерода, практически невосприимчивы к межкристаллитной коррозии в зоне опасных температур. Однако производство стали с таким малым количеством углерода значительно удорожается, ее прочность снижается и она становится склонной к охрупчиванию под воздействием температур 450–500° С.

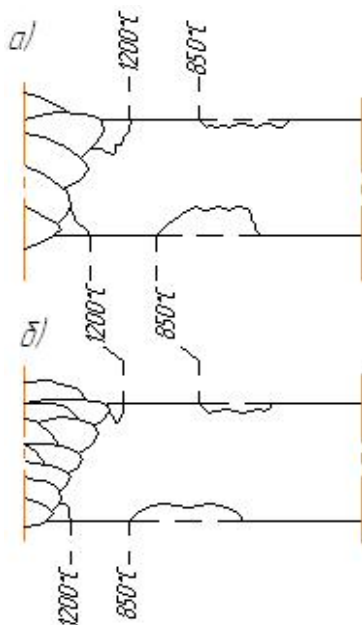


Рис. 7. Схема коррозионного разрушения сварного соединения из стали 08X18Н10Т в растворе азотной кислоты: а) сварка «толстыми» валиками без охлаждения; б) сварка «тонкими» валиками с охлаждением [2]

Второй способ основан на дополнительном легировании хромоникелевой стали специальными элементами, способными соединиться с углеродом быстрее, чем хром. Такими элементами являются титан, ниобий и тантал. Эти элементы соединяются с избыточным углеродом, образуя соответствующие карбиды, при этом содержание хрома в поверхностных слоях зерен аустенита не снижается.

Являясь активными карбидообразователями, титан и ниобий действуют как ферритизаторы. Сталь с чисто аустенитной структурой они превращают в аустенито-ферритную. Количество таких элементов в стали зависит от содержания углерода и должно быть небольшим: титана – в среднем в пять раз больше, чем углерода, ниобия – в среднем в восемь раз больше. В отечественной промышленности отдается предпочтение сталям, легированным титаном. Для большей гарантии содержание углерода в хромоникелевых аустенитных сталях уменьшено до 0,08%, а в проволоке для сварки – до 0,06% и даже до 0,04%.

Хромоникелевые стали с содержанием углерода более 0,1% часто проявляют склонность к межкристаллитной коррозии, несмотря на наличие титана. Например, сталь 12X18H10T, содержащая 0,12% углерода, сильнее проявляет склонность к межкристаллитной коррозии, чем сталь 08X18H10T, содержащая 0,08% углерода. Любая аустенитная сталь, легированная титаном или ниобием, с содержанием углерода до 0,15%, может обладать достаточной стойкостью против межкристаллитной коррозии, если соотношение титана и углерода или ниобия и углерода таково, что весь углерод связан в карбиды титана или ниобия.

Межкристаллитная коррозия может проявляться в основном металле и металле шва или околошовной зоны.

Хромистые стали, как и хромоникелевые, склонны к межкристаллитной коррозии, особенно при перегреве их свыше 980°C и быстром охлаждении, поэтому разрушению подвергается чаще всего зона сплавления.

Легирование 17%-ной хромистой стали титаном или ниобием частично уменьшает склонность ее к межкристаллитной коррозии, а также способствует повышению механических свойств сварных

соединений. Титан как карбидообразующий элемент уменьшает рост зерна в зоне перегрева.

Некоторые нержавеющие стали подвержены ножевой, точечной, щелевой коррозии и коррозии под напряжением.

Ножевая коррозия – сосредоточенная межкристаллитная коррозия, проявляющаяся на границе шва и основного металла. Чаще всего она поражает участки нержавеющей стали, которые претерпевали нагрев до температур, близких к температуре плавления, а после этого подвергались длительному воздействию опасных температур, близких к 650°C .

Особенно быстро происходит разрушение вследствие ножевой коррозии у трубопроводов и сосудов, транспортирующих кипящую азотную кислоту. В этих условиях происходит разрушение металла в зоне сплавления на глубину до 30 мм в год.



Рис. 8. Сварные соединения, поражённые ножевой и щелевой коррозией

Склонность сварных соединений к ножевой коррозии у различных нержавеющих сталей неодинакова. Так, при сварке сталей марок 08X18H10T и 08X17H13M2T проявляется большая склонность к ножевой коррозии, чем при сварке сталей марок 08X18H12Б и 08X18H10.

Скорость коррозионного разрушения различных участков, начиная от линии сплавления, также неодинакова. Наибольшая скорость разрушения характерна для участка сварного соединения, нагретого в интервале температур 1200–1500° С, т. е. рядом со швом. По мере удаления от этой зоны степень разрушения уменьшается (рис. 7).

Склонность к ножевой коррозии зависит не только от состава стали, но и от ее структуры. Однофазные аустенитные стали более склонны к ножевой коррозии, чем двухфазные.

Чтобы предотвратить ножевую коррозию, необходимо выполнять все рекомендации по борьбе с межкристаллитной коррозией. В частности, при сварке многослойных швов валики, обращенные к агрессивной среде, следует выполнять в последнюю очередь, чтобы участки околошовной зоны последнего валика не подвергались длительному тепловому воздействию.

Точечная коррозия – местное (очаговое) разъедание металла. Этот вид коррозии более опасен, так как проявляется очень быстро. Основной причиной точечной коррозии является наличие хлора в рабочей среде (воде, паре, жидкостях). Способствовать возникновению очагов точечной коррозии могут пыль, осадки веществ, содержащих хлор. Эти загрязнения разрушают защитную пленку нержавеющей стали, и сталь начинает активно корродировать.

В некоторых случаях точечную коррозию вызывают местные механические повреждения от резца, кувалды, ломика, напильника и т. п. На поврежденном участке остаются мелкие кусочки обыкновенной углеродистой стали, с которых и начинается коррозия.

Хромоникелевые стали 08X18H10T, 12X18H9 и 12,5%-ные хромистые стали не обладают достаточной стойкостью против точечной коррозии в морской воде и подвержены сильной местной коррозии в морском воздухе, насыщенном порами хлористых солей.

Сталь 14X17H2 обладает более высокой коррозионной стойкостью в морской среде (воде и воздухе) и химических средах, чем 12,5%-ные хромистые стали.

Щелевая коррозия – разъедание металла в местах соприкосновения двух деталей, когда между ними есть жидкость или газ.

Такие условия возникают в щелях фланцевых соединений трубопроводов, в зазорах между подкладным кольцом и внутренней

поверхностью трубы, в местах непроваров на всех видах сварных узлов, работающих в воде, кислотах и парах многих жидкостей. Отмечено, что наибольшая опасность разрушения от щелевой коррозии возникает в зазорах (щелях) менее 0,05 мм. В местах непровара зазор уменьшается приблизительно в 8–10 раз из-за поперечного укорочения (усадки) металла при остывании. Иногда соприкосновение непроваренных кромок, благодаря усадке, настолько плотное, что щель от непровара измеряется микронами и ее можно обнаружить лишь после тщательного шлифования. Вот такое плотное соприкосновение при работе (температуре, давлении, ударах) раскрывается и становится щелью – очагом коррозионного разрушения сварного узла.

Коррозия под напряжением – растрескивание стали под одновременным воздействием коррозионной среды и механических напряжений. К этой коррозии особенно склонны детали и узлы, которые подвергались гибке, штамповке, сварке и т. п.

Часто трещины появляются вблизи шва и на внутренней поверхности трубопровода и других изделиях. Причинами образования трещин служат коррозионная среда и высокие напряжения в трубах, возникающие в результате чрезмерного натяга при сборке (стягивания) и сварке на монтаже трубопровода. Аналогичное растрескивание вызывают остаточные напряжения после гибки и рихтовки сварных конструкций. Известны случаи, когда у аустенитной стали коррозионное растрескивание в воде начиналось при незначительных напряжениях, порядка 35 МПа. Очагами для образования коррозионных трещин являлись микроскопические поверхностные дефекты (язвы, царапины, прижоги и т. п.).

Замечено, что аустенитные стали с более высоким содержанием никеля менее чувствительны к такому растрескиванию. Малочувствительны к коррозии под напряжением стали полуферритного класса, содержащие более 15% хрома. К ним относятся стали марок 12X17, 08X17Г и др.

Коррозии под напряжением часто сопутствует межкристаллитная коррозия. Чтобы исключить возможность ее появления, необходимо строго соблюдать все предписанные меры предосторожности.

Если нет гарантии, что изделие изготовлено при строгом соблюдении мер предосторожности, для предотвращения или уменьшения склонности к любому коррозионному растрескиванию сварной узел следует подвергнуть термической обработке — стабилизации.

Кавитация — механическое разрушение поверхности металла под действием движущейся жидкости. Иногда этому разрушению сопутствует коррозионное разрушение. Степень кавитации в разных жидкостях различна, но известно, что в морской воде и кислотах она выше, чем в маслах. Механизм этого явления еще не изучен, но предполагается, что главной причиной кавитации является неравномерность движения жидкости, в результате которой периодически на различных участках поверхности то возникают, то исчезают зоны пониженного давления с образованием в них паровых карманов. Исчезновение карманов сопровождается ударами под давлением в несколько сот атмосфер на очень малой площади, приводящими к разрушению поверхности.

С повышением твердости кавитация усиливается, поэтому при сварке некоторых нержавеющих сталей необходимо избегать образования хрупкой и твердой околошовной зоны.

1.7.1. Стойкость нержавеющих сталей в агрессивных средах

К агрессивным относятся среды, имеющие некоторые отклонения от нормальных, т. е. естественных сред. Атмосфера, загрязненная продуктами горения (сернистыми соединениями), морская вода с организмами, откладывающимися на поверхности стали, кислоты, соляные и щелочные растворы и т. п. являются агрессивными средами, в которых при нормальных и высоких температурах коррозионное разрушение проявляется намного активнее.

Различные нержавеющие стали сохраняют свои особые свойства в этих средах неодинаково.

Наименьшее содержание хрома, при котором обеспечивается стойкость хромистой стали в незагрязненной атмосфере, составляет 12,5%, в загрязненной — 17%, а вблизи моря и в очень загрязненной атмосфере — 25%. В загрязненной атмосфере надежнее применять хромоникелевые стали с тем же содержанием хрома, например, сталь 12X18H9 вместо 12X17, сталь 20X23H13 вместо 15X28 и т. д.

Еще лучшей стойкостью в загрязненной атмосфере обладают нержавеющие стали, содержащие молибден (около 2–3%).

Рекомендуется периодически очищать поверхность стальных сооружений и протирать сухой тряпкой (ветошью, бязью), а в некоторых случаях даже промывать мыльной водой с последующей протиркой насухо. Периодическая полировка также повышает коррозионную стойкость нержавеющих сталей в любой атмосферной среде, и если не устраняет, то заметно задерживает коррозию.

Коррозионная стойкость нержавеющих сталей в морской воде, по данным иностранной литературы, возрастает с увеличением содержания хрома и стали и особенно — при добавке никеля. Установлено, что стойкость стали 12X18H9T в 20 раз выше стойкости стали 12X17. Однако точечная коррозия на поверхности изделий в морской воде появляется довольно быстро, и чтобы обеспечить надлежащую стойкость, применяют стали с большим содержанием хрома, никеля и молибдена.

Химическая стойкость нержавеющих сталей, работающих в кислотах (холодных и кипящих) и щелочных растворах, зависит в большей мере от содержания никеля, а не хрома. Добавка молибдена здесь также способствует повышению стойкости против коррозии. Наибольшее применение для работы в этих средах получили хромоникелевые аустенитные стали 12X18H10T и 08X17H13M2T с молибденом.

1.8. Механические свойства и методы испытаний нержавеющих сталей

Оценку нержавеющей стали и ее пригодности для заданных условий работы в металлоконструкции в первую очередь делают по комплексу механических свойств, которыми обладает данная сталь в состоянии поставки. При выборе стали для конкретного изделия руководствуются основными сведениями по данной марке стали.

К этим сведениям относятся: марочный химический состав; физические свойства; механические свойства при различных температурах, полученные путем кратковременных испытаний на растяжение, удар, твердость; механические свойства после тепловой выдержки различной длительности (для агрегатов, работающих в условиях высоких температур); механические свойства, характе-

ризирующие сварные соединения или наплавленный металл (металл шва); данные о коррозионной стойкости в рабочих условиях и др.

Механические свойства в состоянии поставки (табл. 3) зависят от вида и режима термической обработки, а также от вида предварительной обработки (прокатка, ковка, литье и т. п.).

Перед запуском в производство обычно руководствуются данными о свойствах сталей по сертификату – сопроводительному документу к каждой партии стали, поступающей на данное предприятие. В отдельных случаях проводят комплекс механических испытаний и различных исследований свойств стали непосредственно перед изготовлением узла (изделия).

Такой комплекс испытаний и исследований может включать химический и металлографический анализы, испытания на растяжение, удар, изгиб (загиб), определение твердости, коррозионные испытания.

Химический анализ. Свойства нержавеющей стали в значительной степени предопределяются их химическим составом. Такие легирующие элементы и примеси, как углерод, хром, кремний, никель, марганец, молибден, ванадий, титан, сера, фосфор, оказывают решающее влияние на прочность, пластичность, твердость, теплоустойчивость, коррозионную стойкость и другие свойства сталей. Определение содержания этих элементов в стали позволяет проверить соответствие химического состава стали техническим условиям или стандартам.

Качественный анализ химического состава производится на пробе в виде стружки, полученной сверлением, точением или фрезерованием. Чтобы выявить наличие легирующего элемента, небольшое количество стружки (около 1 г) растворяют в специальных реактивах – соляной, серной, фосфорной, азотной кислоте или смеси различных кислот. По окраске раствора или характерному осадку судят о наличии данного элемента (хрома, никеля, молибдена, вольфрама).

Количественный анализ химического состава производится на такой же пробе, только исследуемый элемент переводится в определенное химическое соединение путем воздействия на стружку реактивами.

Таблица 3

Механические свойства некоторых нержавеющей сталей в состоянии поставки
(термообработанных) при 20° С

Сортамент металла в состоянии поставки	Марка стали по ГОСТ 5582-75	Предел текучности σ_T ($\sigma_{0,2}$), МПа	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Относи- тельное удлинение δ , %	Относи- тельное сужение ψ , %	Ударная вязкость d_{10}^* Дж/см ² при $T=+30^{\circ}\text{C}$	Твердость НВ, ед.
Тонколистовая сталь, ГОСТ 5582-75	08X13	450	620	17	—	—	—
	08X18H10	400	520	45	—	—	—
	08X21H5T 12X17	500 300	650 490	20 20	—	—	—
Трубы холоднотянутые, ГОСТ 9941-81	08X18H10	240	540	37	70	25	—
	12X18H10T	220	560	35	70	25	—
Трубы горячекатаные, ГОСТ 9941-81	12X18H10T	200	550	40	55	24	170–200

Полученное химическое соединение выделяют и затем определяют процентное содержание элемента в стали. Недостаток этих методов химического анализа — продолжительность процесса и необходимость проведения его в заводской лаборатории.

В промышленности находит широкое применение спектральный или спектрохимический анализ. При этом нет необходимости брать специальную пробу. Достаточно сделать небольшой прижог на поверхности детали с помощью электрической дуги малой мощности. Пары металла при горении дуги излучают свет, который проходит через узкую щель в спектральном аппарате. Количество линий в спектре соответствует количеству присутствующих элементов, причем каждый элемент даст свое изображение. По линейчатому спектру определяют присутствие любого легирующего элемента в стали, т. е. делают качественный анализ. О количественном содержании каждого элемента судят по интенсивности линий спектра.

Спектральный анализ проводят с помощью стилоскопов, стилометров и спектрографов. Различаются эти приборы способом наблюдения спектра и его фиксации. В стилоскопе и стилометре спектр наблюдается в окуляр. Стилоскоп служит для ориентировочного качественного анализа, т. е. для определения марки стали, стилометр — для качественного и количественного анализов, т. е. для определения содержания элементов стали. Более точный анализ можно провести с помощью спектрографа, где спектр фотографируется.

Испытания на растяжение, удар, твердость. Этими испытаниями определяются механические свойства нержавеющей сталей. Знание механических свойств позволяет правильно выбрать материал для той или иной детали.

Прочность нержавеющей стали оценивают применительно к видам нагрузки, которые испытывает деталь при эксплуатации. В зависимости от назначения, конфигурации и характера службы деталей из нержавеющей сталей в них могут возникать постоянные или переменные напряжения. Часто одни и те же детали или узлы испытывают различные напряжения. Кроме того, одна и та же сталь по-разному ведет себя при разных температурах.

Свойства сталей в условиях высоких температур претерпевают большие изменения: снижаются прочность и твердость, меняются

микроструктура, вязкость и пластичность. Например, у хромистой стали 12Х13 в интервале температур от 400 до 550° С временное сопротивление разрыву и предел текучести снижаются почти вдвое. При длительной работе в интервале температур 350–550° С у нержавеющей хромистых и некоторых хромоникелевых сталей может проявляться 475-градусная хрупкость – потеря пластичности с течением времени (старение). Хрупкость вызывается неблагоприятным перераспределением атомов железа и хрома.

Чтобы знать, какие нагрузки может выдержать сталь, необходимо определить ее основные характеристики: прочность, пластичность, вязкость, твердость. Для этого сталь подвергают испытаниям.

Испытание на растяжение позволяет определить упругость, пластичность и прочность. Осуществляют его на плоских или круглых образцах в специальных разрывных машинах.

Свойство металла принимать первоначальную форму после снятия нагрузки называется упругостью. При увеличении нагрузки выше определенного значения образец получит некоторое удлинение, которое останется и после снятия нагрузки (металл «течет»). Если нагрузку, при которой сталь заметно «течет» и образец начинает деформироваться, разделим на площадь поперечного сечения образца, то получим предел текучести. Обозначается он греческой буквой σ_t и измеряется в МПа. У многих легированных сталей заметить момент, когда образец начнет деформироваться, невозможно. Поэтому для них определяют условный предел текучести – то напряжение, при котором образец получает остаточную деформацию, равную 0,2% первоначальной расчетной длины. Условный предел текучести обозначают $\sigma_{0,2}$. Предел текучести нержавеющей сталей изменяется в зависимости от характера термической обработки. Кроме того, с повышением температуры он понижается.

При нормальной (комнатной) температуре предел текучести хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н10Т составляет $\sigma_{0,2} = 196–230$ МПа, ферритной стали марки 08Х13 $\sigma_{0,2} = 400–410$ МПа, аустенито-ферритной стали 08Х22Н6Т $\sigma_{0,2} = 300–370$ МПа.

Если наибольшую нагрузку, которую выдержал образец до разрыва, разделим на первоначальную площадь поперечного сечения образца, то получим временное сопротивление разрыву, кото-

рое обозначается σ_v и измеряется в *МПа*. Временное сопротивление разрыву, как и предел текучести, может изменяться. Временное сопротивление разрыву хромоникелевых аустенитных сталей 12Х18Н10Т равно приблизительно 550 *МПа*, хромистых сталей 08Х13 ~ 500 *МПа*.

При расчете деталей на прочность конструкторы чаще всего пользуются значением предела текучести стали, а не временного сопротивления разрыву. При достижении временного сопротивления разрыву сталь уже настолько удлинится, что деталь изменяет свою форму и разрушается.

Чтобы узнать, является ли данная сталь достаточно пластичной, определяют ее относительное удлинение и относительное сужение. При испытании на растяжение образец (при начале пластической деформации) начнет растягиваться, диаметр его в каком-то месте уменьшается и образуется «шейка». В такой «шейке» при определенной нагрузке впоследствии и произойдет разрыв образца. Измерив длину образца до растяжения и после разрыва, можно определить относительное удлинение стали. Оно обозначается греческой буквой δ (дельта) и измеряется в процентах.

Относительное сужение также измеряется в процентах, для его определения замеряют площади поперечного сечения образца до растяжения и после разрыва (в месте разрыва). Относительное сужение обозначается греческой буквой ψ (пси).

Чем больше относительное удлинение и относительное сужение образца, тем пластичнее данная сталь. Хромоникелевые аустенитные стали отличаются большой пластичностью. Относительное удлинение этих сталей составляет в среднем 40%, относительное сужение – в среднем 60%. Хромистые стали обладают меньшей пластичностью. Относительное удлинение хромистых сталей (с 13% хрома) составляет около 20%, относительное сужение – около 50%.

Чтобы определить способность стали сопротивляться действию ударных нагрузок, проводят испытания на ударную вязкость. Ударная вязкость обозначается a_u и измеряется в *Дж/см²*. Ударная вязкость хромоникелевых аустенитных сталей может меняться в пределах от 70 до 300 *Дж/см²*, хромистых – от 75 до 330 *Дж/см²*.

Иногда для оценки σ_v нужно знать твердость стали. Существует несколько способов определения твердости, но все они основаны на вдавливании какого-нибудь тела в испытуемый металл: стального шарика (твердость по Бринеллю); вершины алмазного конуса (твердость по Роквеллу); вершины алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу). Твердость по Бринеллю обозначают *HB*, по Роквеллу – *HRA*, по Виккерсу – *HV*. Измеряется твердость в условных числах.

В большинстве случаев испытанию на твердость подвергают не образцы, а изделия (детали). Особенно высокой твердостью (свыше 600 *HB*) должны обладать металлорежущие инструменты. Детали из хромоникелевых аустенитных сталей должны иметь среднюю твердость, равную 160–170 *HB*, детали из хромистых сталей – 135–180 *HB*.

Механические свойства стали изменяют с помощью термической обработки. Применяя различные режимы нагрева и охлаждения стали, можно увеличить или уменьшить ее пластичность, повысить прочность и твердость.

Коррозионные испытания. Цель коррозионных испытаний – определить или прогнозировать поведение металла в условиях эксплуатации изделия (в том числе и поведение сварных соединений).

Известны несколько методов испытаний нержавеющей сталей на коррозию. Основными из них являются:

- 1) испытание в жидкости (при полном или переменном погружении);
- 2) испытание в парах;
- 3) атмосферные испытания;
- 4) испытание на межкристаллитную коррозию;
- 5) испытание на кавитацию.

При любом методе испытаний стремятся воспроизвести условия работы (давление, температуру, скорость жидкости, пара и т. п.), а также продолжительность пребывания изделия (образца) в определенной среде. В большинстве случаев о степени коррозии судят по потере веса за единицу времени, из веса образца до испытания вычитают вес образца после испытания.

Методы испытаний выбирают в зависимости от условий работы изделия. Однако есть один метод коррозионного испытания, кото-

рый применяют непосредственно в процессе изготовления (сварки) узла помимо любого другого метода. Это испытание на межкристаллитную коррозию.

Прокат, поковки, литье и трубы из нержавеющей стали перед запуском в производство и при изготовлении некоторых судовых конструкций испытывают на стойкость против межкристаллитной коррозии.

Если сталь (прокат или литье) подвергается термической обработке, образцы перед испытанием на межкристаллитную коррозию также проходят аналогичную термическую обработку.

В тех случаях, когда сталь предназначена для изготовления сварных конструкций или изделий, которые в процессе эксплуатации подвергаются кратковременным или длительным нагревам в интервале 350–500° С, образцы перед испытанием на межкристаллитную коррозию должны быть подвергнуты так называемому провоцирующему нагреву. Образцы при этом укладывают в печь, выдерживают при указанной в ГОСТ температуре два часа и затем охлаждают на воздухе.

Листовой металл проверяют на стойкость против межкристаллитной коррозии на плоских образцах, вырезанных из середины листа. Литье проверяют на образцах, вырезанных из припусков, труб малых диаметров (до 30 мм) – на трубных (кольцевых) образцах, труб больших диаметров (более 30 мм) – на образцах – сегментах, вырезанных из труб.

Перед испытанием на стойкость против межкристаллитной коррозии плоские образцы подвергают механической обработке до размеров: толщина 3–5 мм, ширина 10–20 мм, длина 80–90 мм. Трубные образцы обтачиваются до толщины 3–5 мм (длина 20 мм). Контролируемую поверхность образца перед испытанием шлифуют и обезжиривают бензином или ацетоном.

Метод испытания выбирается в зависимости от химического состава стали и назначения конструкции. При любом методе обезжиренные и просушенные образцы кипятят в специальном растворе. После кипячения образцы промывают, просушивают и подвергают деформации: загибу на угол 90° (плоские образцы) или сплющиванию (трубные образцы) до приобретения овальной формы (до со-

отношения размеров в свету 1:2). Сегментные образцы подвергают двойному выгибу до Z-образной формы.

Деформированные участки образцов рассматривают в лупу с десятикратным увеличением. Металл считается стойким против межкристаллитной коррозии, если на деформированном (растянутом) участке образца нет поперечных трещин межкристаллитного характера. Если же на поверхности обнаружены трещины, практикуется повторное испытание на удвоенном количестве образцов. В случае обнаружения трещин хотя бы на одном из подвергнутых повторному испытанию образцов вся контролируемая партия металла (листовой прокат, литье, трубы) бракуется.

Металлографический анализ. Этот вид испытаний включает макро- и микроскопический анализы (макроанализ и микроанализ).

При макроанализе с помощью лупы, бинокулярного микроскопа или невооруженным глазом осматривают изломы разрывных, изгибных, ударных образцов и поверхность деталей, чтобы выявить различные дефекты: трещины, раковины, пористость, направление волокон, волосовины и т. п. Для лучшего выявления дефектов применяют травление различными кислотами.

Макроанализ является очень важным способом оценки свойств металла. Известны случаи, когда испытания и исследования давали хорошие результаты по химическому составу, механическим свойствам и микроструктуре, а заготовки были забракованы после макроанализа из-за обнаружения на рабочей поверхности мелких трещин.

Кроме выявления различных дефектов, макроанализом можно установить распределение некоторых примесей по сечению детали (заготовки). Например, химическим анализом можно определить только количество серы (0,02–0,05%), а характер расположения ее в металле выясняется с помощью макроанализа – специальной серной пробой. Эту пробу широко используют, например, в энергомашиностроении для проверки отсутствия скоплений серы у ответственных деталей: валов, роторов, дисков и др.

Микроанализ осуществляется под большим увеличением и выполняется на микрошлифах – образцах с плоской и зеркально гладкой поверхностью, обработанной шлифовкой и полировкой. По-

лированную поверхность микрошлифа подвергают тщательному микроскопическому исследованию сначала без травления, затем после травления в различных растворах кислот, в зависимости от химического состава (марки) стали и от того, какую цель ставят при микроисследовании.

Микроанализ нетравленной поверхности шлифа позволяет обнаружить микроскопические трещины и поры, установить наличие или отсутствие шлаковых включений, неметаллических соединений, коррозионного разрушения и других дефектов стали. Излучением травленной поверхности шлифа выявляют строение стали – ее микроструктуру: характер структурных составляющих (аустенит, феррит, мартенсит, карбиды и др.), их форму, величину и расположение зерен. Существенное влияние на структуру и свойства нержавеющей сталей оказывают легирующие элементы и примеси.

2. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ

Прежде чем изучать особенности сварки нержавеющей сталей, необходимо ясно представить себе, как протекает процесс кристаллизации в сварочной ванне. Знание основных закономерностей кристаллизации и металлургических процессов, протекающих при сварке, дает возможность воздействовать металлургическими или технологическими средствами на свойства сварных соединений и структуру сварных швов.

2.1. Кристаллизация металла в сварочной ванне

В состоянии поставки металл, подвергшийся различной обработке, имеет неодинаковую структуру и свойства. Прокат и кованный металл обладают более мелкозернистой структурой, чем литье. Чем крупнее зерно металла, тем ниже его механические свойства. Следовательно, механические свойства кованого металла более высокие, чем у литого.

Сварной шов имеет структуру литого металла. Вместе с тем сварные швы обладают более высокими механическими свойствами, чем металл отливок. Дело в том, что структура сварного шва более мелкозернистая, чем у слитка, так как объем жидкой сварочной ванны значительно меньше, чем объем слитка, и сварочная ванна лучше охлаждается. Сварной шов обычно содержит меньше примесей (серы, фосфора, азота), так как в сварочных материалах эти элементы присутствуют в очень небольших количествах.

Температура металла по сечению шва различна. Наибольшая температура в сварочной ванне достигается в зоне горения дуги (около 2300° С). Края ванны нагреты до температуры плавления (около 1500° С). От краев ванны по мере охлаждения начинают образовываться и расти столбчатые кристаллиты (дендриты). Кристаллиты растут от точки *A*, где самый большой теплоотвод (рис. 9), т. е. от зоны сплавления металла шва с основным металлом. Направление роста кристаллитов всегда противоположно максимальному теплоотводу. Следовательно, кристаллиты растут в направлении к центру

ванны, т. е. к точке O , где температура по мере движения дуги понижается. Но за время, пока кристаллит «движется» к центру ванны, дуга перемещается вперед на некоторую величину. Ось кристаллита поэтому изгибается в направлении сварки и смыкается со встречно растущим кристаллом не в точке O , а в точке O' .

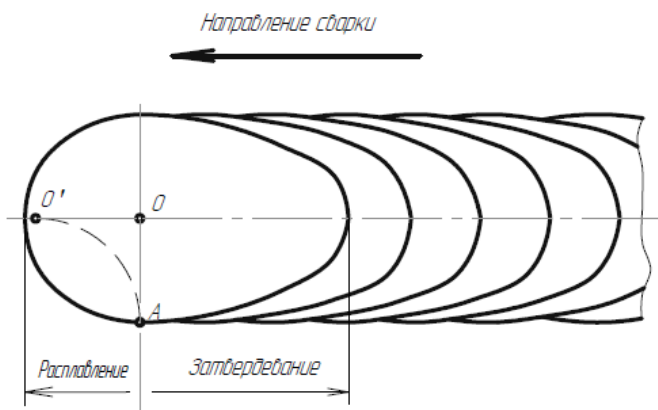


Рис. 9. Схема роста кристаллита в движущейся сварочной ванне (штриховая линия — ось растущего кристаллита)

Кристаллиты растут неравномерно. По мере приближения к середине шва в связи с изменением подвода тепла и теплоотвода скорость роста кристаллитов увеличивается. В центре шва она равна скорости сварки.

Из-за неравномерного охлаждения кристаллиты неодинаковы по сечению. Чем ближе к центру шва, тем они толще и тем больше выгнуты.

Направленность кристаллитов зависит также от формы сварочной ванны. Форма ванны, в свою очередь, зависит от режима и метода сварки. Если при автоматической сварке под флюсом увеличить силу тока и уменьшить напряжение, направленность кристаллитов несколько изменится. Медленное охлаждение способствует укрупнению кристаллитов, вследствие чего ударная вязкость металла шва снижается.

На рис. 10 показана направленная макроструктура шва на стали 12Х18Н9Т. Количество валиков (слоев) может не влиять на направлен-

ность кристаллов по всему сечению шва. Кристаллиты каждого последующего валика являются продолжением кристаллитов предыдущего слоя, поэтому нельзя разграничить кристаллиты по слоям, они как бы перерастают из нижележащего слоя в вышележащий слой.



Рис. 10. Направленная макроструктура шва

При сварке хромоникелевых нержавеющей сталей надо следить за тем, чтобы размер сварочной ванны был минимальным, а охлаждение — быстрым. Следует помнить, что самыми высокими свойствами обладает металл шва с мелкокристаллитной структурой при правильной направленности кристаллитов.

2.2. Структура сварных швов

Структура сварных швов определяется структурой основного металла и кристаллизацией металла шва. Структура основного металла зависит от химического состава стали и ее тепловой и механической обработки. Если основной металл имеет крупнозернистую структуру, шов также будет иметь крупнозернистую структуру, и наоборот, чем мельче зерно свариваемой стали, тем мельче кристаллы шва.

Химический состав или соотношение аустенизаторов и ферритизаторов в шве может оказаться таким же, как и в основном металле, или отличаться от него. Это зависит от способа сварки, состава сварочной или присадочной проволоки и других факторов.

Металл шва может быть просто переплавленным основным металлом, если сварка выполнялась вольфрамовым электродом в за-

щитных газах без присадки. Шов при этом не отличается от основного металла по химическому составу, но отличается по структуре и величине зерен.

При соблюдении всех требований по технике и технологии сварки, разработанных для данного узла из определенной марки стали, величина зерна в металле шва меньше, чем в основном металле, особенно в околошовной зоне (зоне термического влияния).

Основной металл стали 12Х18Н9Т обычно имеет мелкозернистую аустенито-ферритную структуру с включениями карбидов. Феррит вкраплен в виде прожилок и темных точек, карбиды расположены по границам зерен в виде мелких ниточных включений. Зона сплавления состоит из укрупненных зерен аустенита, по границам которых сохраняются мелкие ниточные карбиды. При сварке в результате быстрого нагрева и охлаждения карбиды титана сохраняются (не распадаются), что и препятствует межкристаллитной коррозии. Металл шва по всему сечению имеет аустенито-ферритную структуру с включениями карбидов (рис. 11,а).

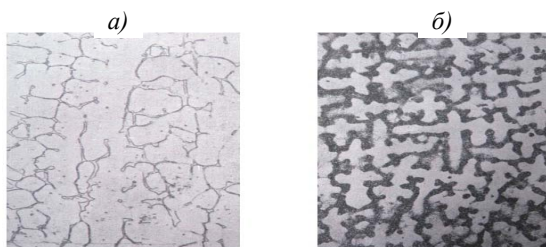


Рис. 11. Структура металла шва: а) шов на стали 12Х18Н9Т; б) шов на стали 20Х25Н20С2 (увеличение – $\times 300$)

Структура основного металла стали 20Х25Н20С2 однофазная чисто аустенитная. Если сварка выполнялась вольфрамовым электродом без присадки, шов также имеет однофазную чисто аустенитную структуру (рис. 11,б) и отличается от основного металла только величиной зерен.

При сварке плавящимся электродом или неплавящимся с присадкой металл шва представляет собой смесь основного металла и электродного (присадочного). Даже в том случае, если в металле электрода (проволоки) преобладают ферритизаторы, шов мо-

жет иметь аустенито-ферритную структуру при наличии чисто аустенитной структуры в основном металле (свариваемой стали). В этом случае основной металл будет иметь однофазную структуру, а шов – двухфазную (рис. 11,а).

Металл шва хромистой стали марки 08X13, выполненного хромистыми электродами со стержнем из стали 08X13, имеет ферритную структуру. Однако в околошовной зоне (ЗТВ) образуется феррито-мартенситная структура, характеризующаяся повышенной твердостью и низким сопротивлением ударным нагрузкам.

Подогревом перед сваркой до 150–250° С и отпуском после сварки можно смягчить неоднородность структуры и повысить пластические свойства металла сварного соединения, но незначительно.

Более благоприятная структура и лучшие свойства получают при сварке хромистых сталей 08X13 аустенитными электродами (ЗИО-8, ЦЛ-11, ЭА395/9 и др.), особенно после отпуска. На рис. 12 показана микроструктура околошовной зоны после сварки и отпуска сварного соединения, выполненного электродами марки ЦЛ-11.

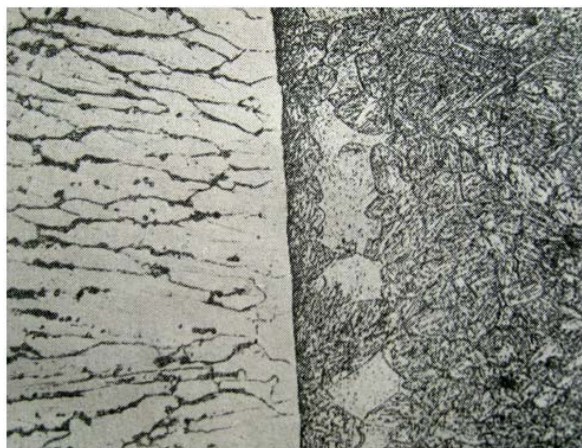


Рис. 12. Микроструктура околошовной зоны сварного соединения из стали 08X13, полученного с использованием аустенитного электрода (увеличение $\times 300$)

Белая полоса по линии сплавления – зона обезуглероженого металла, светлая структура (слева) – типичная структура чисто

аустенитного наплавленного металла, темная (справа) – структура стали 08X13.

Аналогичную структуру имеет шов на 17%-ной хромистой стали (08X17Т), сваренной аустенитными электродами ЦЛ-11 и ЭНТУ-3, ЭЛ395/9.

Металл шва хромистой стали 12Х13 имеет мартенсито-ферритную (или полностью мартенситную) структуру, так как в этой стали углерода более 0,1% и она поэтому закаливается на воздухе. Неоднородность структуры и свойств при переходе от основного металла к шву здесь проявляется еще рельефнее, чем у стали 08X13, независимо от способа сварки и типа сварочных материалов.

Доля участия основного и присадочного металлов в однопроходном шве при неизменном режиме одинакова по всей длине шва.

Ввиду кратковременного пребывания под воздействием высокой температуры металл шва и околошовной зоны аустенитных сталей не претерпевает больших структурных изменений. По сравнению с обычными углеродистыми и хромистыми сталями околошовная зона аустенитных сталей имеет менее сложное строение. Отчетливо различить отдельные участки околошовной зоны можно при однопроходной сварке. Основные зоны сварного соединения аустенитной стали схематически показаны на рис. 13.

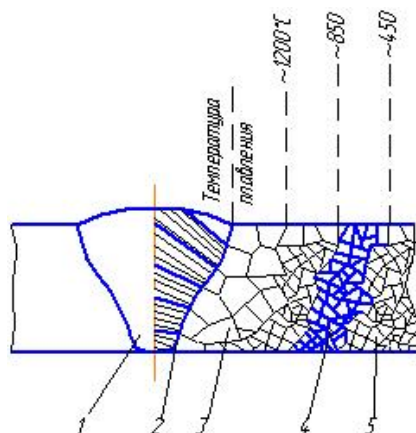


Рис. 13. Схема структурных зон сварного соединения аустенитной стали: 1 – металл шва; 2 – линия сплавления; 3 – зона роста зерна; 4 – зона возможного распада аустенита; 5 – основной металл

Температура 450–850° С может вызвать выпадение карбидов хрома по границам аустенитных зерен, что приведет к снижению стойкости основного металла против межкристаллитной коррозии.

У многослойных швов доли основного и наплавленного металлов меняются. В первых слоях больше основного металла, в последующих – наплавленного.

Химический состав различных слоев многослойного шва также различен даже при одном и том же составе наплавленного металла (отличающемся от основного). Вместе с изменением состава шва меняются и свойства его различных участков (по сечению). Легирующие элемент и примеси по высоте шва, однослойного и многослойного, распределяются неравномерно. Кроме того, концентрация углерода, особенно вблизи границ сплавления, также может изменяться в результате взаимодействия твердого и жидкого металлов при кристаллизации. Все эти изменения химического состава металла шва влияют на его структуру.

На химический состав и структуру металла шва влияют и металлургические процессы, происходящие при сварке.

Каждому способу сварки соответствуют определенные металлургические условия. Например, металлургические условия при сварке под слоем флюса и при сварке покрытыми электродами различны. Эти условия зависят от многих факторов, в том числе от техники выполнения и режима сварки, и могут меняться в процессе сварки. Чтобы шов получился качественным, необходимо создать такие металлургические условия, при которых взаимодействие металла, шлака и газов дает необходимое соотношение углерода, хрома, кремния и других элементов и примесей в металле шва. При этом шлаковые и газовые включения должны быть минимальными.

Основная задача при дуговой сварке нержавеющей сталей – защита жидкого металла от действия кислорода и азота воздуха. Особенно активно окисляются хром, титан и углерод. Первые признаки окисления этих элементов – темный налет на поверхности шва и плохая отделимость шлаковой корки от поверхности шва.

Чем длиннее дуга, тем хуже защита и тем больше окислятся легирующие элементы и примеси. При ручной дуговой сварке покрытыми электродами хром окисляется в основном вследствие непосред-

редственного контакта жидкого металла с воздухом. При сварке под флюсом непосредственного контакта жидкого металла с воздухом нет. Металл надежно защищен оболочкой расплавленного флюса (шлака) и слоем сыпучего флюса, зато во флюсе содержатся окислы кремния и марганца. Отнимая кислород у этих окислов, хром окисляется и удаляется в шлак. Поэтому для уменьшения окисления хрома стремятся применять флюсы, содержащие наименьшее количество окислов кремния и марганца.

Титан при дуговой сварке активно окисляется лишь в зоне открытой дуги при плохой защите от воздуха. Вводить титан в шов через проволоку при шлаковой защите нецелесообразно, так как он почти весь окисляется и только небольшое количество его переходит в металл шва. Поэтому для ручной дуговой сварки и сварки под флюсами редко применяют проволоку, легированную титаном. При газовой защите в процессе сварки титан почти не выгорает и проволоку с титаном применяют широко.

Ниобий меньше подвержен окислению, чем титан. Слабо окисляются при сварке ванадий и вольфрам. Легирование шва ниобием, ванадием и вольфрамом успешно осуществляется через проволоку.

Никель и молибден практически не окисляются при любом способе дуговой сварки.

Степень окисления углерода зависит от его количества в металле. При содержании углерода в стали более 0,2% в шве его остается на 0,04% меньше (при ручной сварке и сварке под флюсом). Если углерода менее 0,2%, уменьшение его после сварки практически незаметно, он почти весь сохраняется в металле шва при всех способах дуговой сварки. При сварке в углекислом газе и ацетилено-кислородной сварке содержание углерода в металле шва несколько возрастает.

В результате окисления элементов и примесей химический состав металла шва отличается от состава исходного переплавляемого металла. Если требуется сохранить химический состав металла шва, необходимо дополнительно легировать шов. Иногда задаются целью получить металл шва, отличающийся по химическому составу от свариваемой стали. Для этого также необходимо легировать шов.

Легирующие элементы вводят в покрытие электродов, флюс, проволоку. Лучшие результаты получаются при легировании шва

через проволоку. Этот способ хорошо изучен, так что, применяя проволоку соответствующего состава, можно обеспечить необходимый состав металла шва.

Металлургические процессы «металл – шлак – газ» при сварке в защитной атмосфере инертных газов (аргон, гелий) практически не происходят. Окисление легирующих элементов хромистых и хромоникелевых сталей при сварке в защитных инертных газах настолько незначительно, что не влияет на качество металла шва. Швы получают высокого качества.

Сварщик может влиять на характер металлургических процессов, протекающих при сварке. Влияет на структуру шва и увеличение напряжения дуги (длины дуги). С увеличением длины дуги усиливается окисление хрома, титана и других ферритизаторов, следовательно, уменьшается их содержание в металле шва. Помимо ухудшения коррозионных свойств стали, потеря этих элементов приведет к укрупнению зерен при кристаллизации сварочной ванны. **Сварщики всегда стремятся получить измельченную структуру сварного шва, так как она благоприятно влияет на многие свойства шва. Поэтому рекомендуется нержавеющие стали сваривать при минимально возможном напряжении – короткой дугой.**

Скорости охлаждения при различных способах сварки различны. Наибольшая скорость достигается при сварке в защитных газах и сварке на медной подкладке. При медленном охлаждении, как и при сварке током повышенной силы или при сварке на пониженной скорости, процесс кристаллизации ванны удлиняется.

Неравномерное распределение легирующих элементов в кристалле увеличивает химическую неоднородность кристаллов. Это отрицательно влияет на коррозионные свойства шва. Необходимо добиваться увеличения скорости кристаллизации металла шва, что положительно скажется на свойствах шва (уменьшится склонность к образованию горячих трещин).

Перегрев стали может вызвать межкристаллитную коррозию сварного шва. Причиной перегрева являются нарушения технологии сварки: ток большой силы, малая скорость сварки, заполнение разделки до окончания остывания предыдущих валиков. В результате длительного воздействия высокой температуры карби-

ды растворяются и перемещение атомов, особенно углерода, в кристаллической решетке ускоряется. Самыми подвижными являются атомы углерода. Они быстрее, чем атомы титана, движутся к поверхностям зерен аустенита и быстрее соединяются с находящимися там атомами титана, образуя карбиды. Для новых атомов углерода, движущихся к поверхности зерна, атомов титана не останется, и углерод начнет соединяться в карбиды хрома. В результате уменьшается количество хрома в пограничных слоях зерен аустенита. Сталь с подобной структурой подвержена межкристаллитной коррозии.

Таким образом, устойчивая против межкристаллитной коррозии сталь в случае её перегрева становится склонной к межкристаллитной коррозии, особенно при работе изделия в зоне температур, близких к 650°C .

При несоблюдении требований к режиму и технике сварки, а также охлаждению сварного шва после сварки может проявиться сигматизация и связанная с ней потеря пластичности металла шва.

Первыми признаками перегретого металла шва являются сглаженная чешуйчатость и увеличенная ширина шва при ручной дуговой и аргонодуговой сварке. Губчатое (металл шва с неровной поверхностью, напоминающей губку) формирование валика без следов чешуйчатости и желтый налет на поверхности шва – характерные признаки перегрева при автоматической и ручной аргонодуговой сварке.

Сварщик должен строго соблюдать режим сварки, добиваться уменьшения размеров ванны, улучшать условия охлаждения металла шва. От этого зависит качество сварного шва и сварного соединения.

3. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

3.1. Классификация процессов сварки

В отечественной промышленности и за рубежом для нержавеющей сталей применяют несколько разновидностей процессов сварки. Основные из них: газовая, контактная, электроннолучевая, радиочастотная, электрошлаковая, диффузионная и электрическая дуговая сварка.

Газовая (ацетилено-кислородная) сварка – простой и универсальный способ соединения узлов из нержавеющей сталей. До освоения дуговой сварки в защитных газах ацетилено-кислородная сварка широко применялась при изготовлении конструкций из тонколистовых сталей. Долгое время этот вид сварки был единственно возможным при соединении тонкостенных труб различных теплообменных аппаратов и энергетических установок.

Достоинства ацетилено-кислородной сварки: простота выполнения швов во всех пространственных положениях; возможность сваривать тонкий металл без прожогов (минимальное проплавление); удовлетворительные механические свойства металла шва и сварного соединения.

В настоящее время для сварки нержавеющей сталей газовую сварку практически не применяют.

Электрическая дуговая сварка – наиболее распространённый вид сварки во всех отраслях промышленности. В принятой классификации процессов дуговой сварки различают несколько **видов, способов и методов сварки.**

Вид дуговой сварки характеризуется техническими признаками и технологическими особенностями процесса. Например, сварка металлическим или угольным электродом в углекислом газе, аргоне, без присадочной проволоки и т. п.

Способ дуговой сварки определяется степенью механизации процесса: ручная, автоматическая или механизированная сварка.

Метод дуговой сварки характеризуется физическими признаками самого процесса, основными свойствами носителя электричес-

кой энергии – электрода. Так, сварка неплавящимся и плавящимся электродами относится к различным методам.

Главной характеристикой любого процесса сварки является способ сварки. С него начинается название всех процессов в технических и технологических документах (например, ручная дуговая сварка неплавящимся электродом с присадкой в аргоне и т. п.).

Способы сварки в защитных газах делятся на две группы в зависимости от типа электрода – сварка неплавящимся (вольфрамовым или угольным) и плавящимся (металлическим) электродом.

К способам сварки неплавящимся электродом относятся ручная, механизированная и автоматическая, а плавящимся – только механизированная и автоматическая.

Ручная аргонодуговая сварка широко применяется при изготовлении ответственных узлов из труб и тонколистовой нержавеющей стали. Схема аргонодуговой сварки показана на рис. 14. Электрическая дуга возбуждается между неплавящимся электродом и изделием.

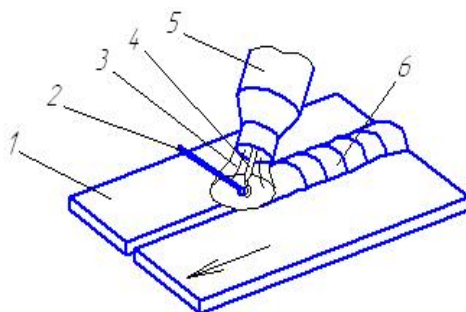


Рис. 14. Схема аргонодуговой сварки: 1 – свариваемое изделие; 2 – присадка; 3 – защитный газ; 4 – вольфрамовый электрод; 5 – сопло горелки; 6 – шов

Поскольку электрод не плавится, легко поддерживать постоянной длиной дуги, а значит, легче управлять сварочной ванной. Сварка на весу (без подкладных полос и колец) стала возможной именно в связи с уменьшением влияния меняющихся свойств дуги при быстрых изменениях ее длины. Это хорошо подтверждается при сварке весьма тонких листов и тонкостенных труб (толщиной 0,5–2 мм). Кратковременное изменение длины дуги в пределах 3 мм не приводит к образованию разрыва ванны и прожогу.

Основные преимущества аргонодуговой сварки

1. Возможность сваривать тонкостенные изделия.
2. Простота техники сварки и возможность наблюдать за этим процессом.
3. Возможность механизации и автоматизации процесса.
4. Высокие свойства металла шва и сварного соединения благодаря хорошей защите сварочной ванны, электрода и присадочного металла от воздействия окружающего воздуха.

Недостатки этого способа сварки – низкая производительность труда и относительная дороговизна аргона. И все же этот способ сварки является весьма эффективным. Это можно показать на примере сварки труб из нержавеющей стали. На торцах труб, подлежащих аргонодуговой сварке, только снимают фаску. При аргонодуговой сварке зачищать поверхность швов нет надобности и не требуется термическая обработка. При общей трудоемкости, считая обработку, сборку, сварку, термическую обработку, зачистку швов, аргонодуговая сварка весьма экономична.

Аргонодуговой способ нашел широкое применение при сварке трубопроводов. Только благодаря этому способу стала возможна сборка труб без подкладных колец и специальных выступов типа усов. Благодаря переходу на сварку сквозным проплавлением значительно повысилось качество швов, особенно стойкость соединений против щелочной коррозии. Естественно, что ровный с плавными переходами к основному металлу валик на внутренней поверхности трубы не может быть очагом коррозии.

При сварке тонкостенных изделий наметилась тенденция к применению импульсной ручной аргонодуговой сварки. В отличие от обычной аргонодуговой сварки здесь две дуги: одна – так называемая «дежурная» – горит непрерывно, другая – прерывисто, импульсами. «Дежурная» дуга характеризуется как вспомогательная, ток при этом не превышает 6...10 А. Ток импульса может меняться в широких пределах начиная от 10 до 200 А. Большие токи при сварке нержавеющей сталей не применяют.

Величина импульса и длительность его включения могут изменяться в широких пределах. Практически используют редкие импульсы (2–3 импульса в секунду). Пульсирующая дуга обладает пе-

ременной мощностью, и количество тепла, подаваемого в металл, колеблется. В результате ванна получается не общей, а очаговой, т. е. жидкий металл в период паузы успевает закристаллизоваться. Это в значительной степени облегчает управление жидким металлом, что особенно важно при сварке неповоротных стыков трубопроводов.

Для создания импульсов служат различные прерыватели тока, включенные в сварочную цепь. Производительность импульсной сварки в среднем в два раза ниже обычной. Поэтому рекомендовать такой способ целесообразно лишь в исключительных случаях, когда невозможно удовлетворить требованиям, предъявляемым к сварным швам, обычным способом.

Механизированная сварка неплавящимся электродом в защитных газах применяется для соединения листовых конструкций при выполнении швов, расположенных на наклонной стенке, вертикальной и горизонтальной, а также кольцевых швов при обеспечении кантовки изделия. Везде, где невозможно использовать сварку под флюсом из-за трудности удержания флюса, целесообразно применять способ сварки в защитных газах, в том числе и механизированную неплавящимся электродом.

В отличие от ручной аргонодуговой сварки, где присадку в сварочную ванну подает сварщик вручную, при полуавтоматической сварке подача присадки механизирована. Электрод – пруток или графитовый стержень. Для сварки ответственных узлов применяют вольфрамовый электрод, который нуждается в защите разогретого конца от воздуха каким-нибудь инертным газом (аргоном, гелием и др.). Угольный электрод не нуждается в защите от воздуха, однако при сварке нержавеющей сталей необходимо защищать от воздуха ванну расплавленного металла и поэтому электрод защищают заодно с расплавленным металлом любым защитным газом. Чаще всего при сварке угольным электродом в качестве защитного газа применяют углекислый газ.

Схема процесса механизированной сварки неплавящимся электродом аналогична ручному аргонодуговому процессу (рис. 14).

Все ответственные узлы из нержавеющей сталей свариваются в аргоне с использованием вольфрамового электрода. Качество швов, как правило, высокое. Производительность процесса в среднем в два раза выше, чем при ручной аргонодуговой сварке.

Автоматическая сварка неплавящимся электродом в защитных газах широко применяется при изготовлении серии однотипных узлов, имеющих стыковые и угловые соединения, доступные для сварки автоматами. Там, где возможно применить автоматическую сварку под флюсом, применять автоматическую сварку в защитных газах неэкономично из-за дороговизны аргона. Однако при выполнении многопроходных швов, когда объем зачистки поверхности валиков от шлака заметно увеличивается, эффективность автоматической сварки в защитных газах становится ощутимой.

Наибольшее применение этот способ сварки нашел при соединении тонких листов (обечайки компенсаторов, щиты экранов и т. п.), где невозможно использовать другие, более экономичные способы сварки, а также при соединении труб и толстостенных обечаек больших диаметров, требующих высокого качества сварного шва.

Как и при механизированной сварке, в качестве электрода используют вольфрамовые прутки и угольные стержни, а в качестве защитных газов – аргон, гелий, углекислый газ или смеси газов. Схема процесса автоматической сварки неплавящимся электродом аналогична ручной аргонодуговой сварке (рис. 14).

Различают две разновидности автоматической сварки: обычную (непрерывно горящей дугой) и импульсную. Как и при ручной аргонодуговой сварке, здесь импульсы способствуют лучшему формированию обратного валика при выполнении однопроходных швов или корневых валиков на швах.

Механизированная сварка плавящимся электродом в защитных газах применяется преимущественно для угловых и тавровых соединений листовых конструкций и стыковых соединений толстостенных труб. При сварке конструкции, имеющей часто пересекающиеся ребрами швы, где практически трудно использовать механизированную сварку неплавящимся электродом из-за наличия мундштука с присадкой, а ручная аргонодуговая сварка является слишком малопроизводительным способом, также применяют этот метод. Часто другие способы являются экономически нераациональными из-за необходимости применять аргон, а не более дешевый углекислый газ.

В качестве электрода используют сварочную проволоку диаметром 0,8–2 мм марки, соответствующей марке свариваемой стали. Для защиты от воздуха используют аргон, гелий, углекислый газ. Применение того или иного защитного газа диктуется техническими требованиями к свариваемому узлу, а также экономическими показателями. Схема процесса показана на рис. 15.

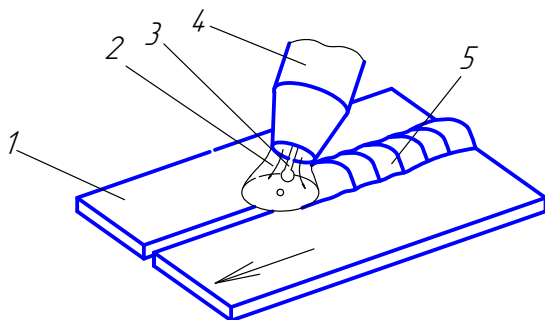


Рис. 15. Схема сварки плавящимся электродом в защитных газах:
1 – свариваемое изделие; 2 – струя защитного газа;
3 – плавящийся электрод; 4 – сопло; 5 – шов

В настоящее время во всех отраслях промышленности, выпускающих сварные узлы из нержавеющей стали различного назначения, где предъявляются высокие требования по стойкости к межкристаллитной коррозии, используют для защиты инертные газы (аргон, гелий и их смеси). В остальных случаях можно использовать углекислый газ. По мере увеличения объема изделий из нержавеющей стали различных марок сварка в углекислом газе плавящимся электродом находит все большее применение в промышленности.

Углекислый газ обеспечивает удовлетворительную защиту нагретого и жидкого металла от воздействия воздуха. При сварке в углекислом газе частично окисляются легирующие элементы: хром, титан, кремний, марганец и др. Окисление хрома и титана может привести к снижению стойкости швов против межкристаллитной коррозии. Во избежание этого применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием легкоокисляющихся элементов. При сварке окисляются и вредные примеси (сера, фосфор и водород), что способствует повышению стойкости сварных швов против образования горячих

трещин и пор. Повышению такой стойкости способствует также науглероживание шва (некоторых чисто аустенитных сталей).

В процессе сварки плавящимся электродом в углекислом газе может меняться содержание углерода в металле шва. Оно увеличивается на 0,02–0,04% только тогда, когда в сварочной проволоке содержится около 0,1% углерода. Если его больше, науглероживания практически не будет, так как избыточный углерод окисляется наряду с другими примесями. Несмотря на небольшую степень окисления легирующих элементов и примесей, на поверхности шва образуется окисная пленка. Пленка прочно связана с металлом шва и удалить ее трудно, особенно если в стали много хрома. Исключить образование такой пленки можно с помощью флюса. Он подается непосредственно в зону дуги или насыпается заранее. Расход флюса невелик – около 30–40 г на 1 *пог. м* шва. Шлаковая корка, образующаяся после расплавления флюса, предотвращает появления окисной пленки, и качество шва заметно улучшается.

Сварка в углекислом газе вследствие технологических преимуществ и дешевизны защитного газа весьма перспективна. Она легко поддается механизации и автоматизации.

Автоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах нашла применение при серийном изготовлении узлов. Характерная особенность этого способа сварки – высокая производительность, особенно при выполнении многоваликовых швов. Наличие газовой защиты вместо шлаковой выгодно отличает эту сварку от автоматической под флюсом, после которой необходимо тщательно удалять остатки шлаковой корки.

Схема процесса автоматической сварки аналогична механизированной (рис. 15). Как при полуавтоматической, так и при автоматической сварке плавящимся электродом возможны три варианта протекания процесса: *струйный*, *крупнокапельный* и *короткими замыканиями*. Различаются эти процессы характером переноса металла расплавляемой проволоки в сварочную ванну.

При струйном процессе достигается большая тепловая мощность в дуговом промежутке благодаря большим значениям тока и напряжения на дуге. Этот процесс возможен лишь в одноатомных газах: аргоне и гелии. В многоатомных газах, таких как углекислый газ

и азот, струйный процесс не возникает. Только аргон и гелий способствуют отделению мелких капель от расплавленного конца проволоки и ускоренному их движению через дуговой промежутки в ванну.

Многоатомные газы требуют больших тепловых затрат на их термическую диссоциацию и получение столба дуги конической формы, необходимой для струйного переноса. Поэтому струйный процесс в многоатомных газах возникает или при слишком больших токах (в азоте), или совсем не имеет места (в углекислом газе).

Если постепенно уменьшать ток, наступает момент, когда струйный процесс прекращается, и ниже определенного значения (критический ток) начнет протекать крупнокапельный процесс. Величина критического тока зависит от марки материала, диаметра проволоки, состава защитного газа и полярности тока. При сварке в аргоне проволокой из стали 08X18N10T диаметром 1 мм на обратной полярности критический ток $I_{кр} = 190 \text{ А}$. Добавкой в аргон кислорода около 1% снижают критический ток до $I_{кр} = 160 \text{ А}$.

Если одновременно уменьшать скорость подачи проволоки (а следовательно, ток) и напряжение на дуге, начнется процесс сварки в режиме коротких замыканий. Этот процесс успешно протекает во всех газах, применяемых для сварки нержавеющей стали, и в смесях, например, 80% аргона и 20% углекислого газа, аргона с кислородом (от 1 до 10% кислорода) и др.

За последнее время установлена возможность создания комбинированного процесса – струйного переноса металла лишь в отдельные моменты сварки, когда осуществляется собственно перенос (при большом токе), в то время как общий нагрев при сварке осуществляется током, величина которого соответствует процессу крупнокапельного переноса (при малом токе). Этот вид сварки назван импульсно-дуговым.

Импульсно-дуговая сварка – это такой процесс, когда на малый, так называемый фоновый ток накладываются мощные импульсы тока малой длительности. Максимальное значение тока импульса устанавливается больше критического тока, обеспечивающего струйный перенос, а длительность импульса подбирается такой, чтобы его энергии было достаточно для отрыва капли металла с конца проволоки и перемещения ее в сварочную ванну. При

малых энергиях импульсов сохраняется крупнокапельный перенос, при слишком больших – капли металла с большой силой падают в ванну, приводя к разбрызгиванию.

Для образования импульсов применяют специальные источники – генераторы сварочных импульсов, подключаемых к дуге параллельно стандартному сварочному генератору.

3.2. Источники питания сварочной дуги

Источник питания и сварочная дуга представляют собой взаимно связанную энергетическую систему. Устойчивость горения дуги является непременным условием процесса дуговой сварки как неплавящимся, так и плавящимся электродом. Источник питания обычно выбирают с соблюдением условий устойчивого горения дуги в зависимости от способа сварки.

Для ручной дуговой и аргодуговой сварки целесообразно использовать источники питания с падающими внешними характеристиками. Колебания длины дуги, возможные при таком способе сварки, не вызовут заметного увеличения или уменьшения силы сварочного тока и обрыва дуги. Чем круче внешняя характеристика источника (кривая P на рис. 16), тем меньше величина отклонения тока и тем устойчивее процесс ручной сварки. Напряжение холостого хода U_{xx} в этом случае значительно превосходит напряжение на дуге U_d в среднем в шесть раз.

При механизированной сварке под флюсом напряжение холостого хода также больше напряжения на дуге, но только в два раза, и если используется источник с падающей характеристикой, то при среднем сварочном токе 220–230 А величина отклонения тока будет заметно больше при таком же изменении длины дуги. Такое изменение тока является полезным, так как при постоянной скорости подачи проволоки у полуавтоматов необходимо регулировать скорость плавления проволоки, которая меняется в зависимости от изменения длины дуги. С увеличением длины дуги ток уменьшается ($l_2' > l_2'$, то $I_2 < I_1$), скорость плавления проволоки также уменьшается, значит, длина дуги тоже уменьшается. Это явление автоматического восстановления первоначальной длины дуги (напряжение)

за счет уменьшения скорости плавления проволоки при постоянной скорости ее подачи называют саморегулированием дуги.

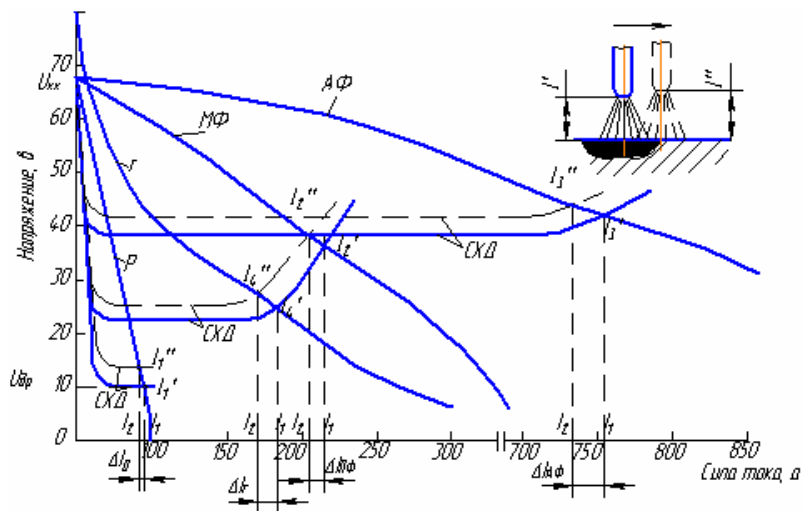


Рис. 16. Вольт-амперные характеристики источников тока и дуги: СХД – статистические характеристики дуги для двух длин l и l' ; P , МФ, АФ и Г – внешние характеристики источников тока для сварки соответственно: ручной дуговой и аргодуговой; механизированной под флюсом; автоматической под флюсом; в защитных газах

При автоматической сварке под флюсом напряжение холостого хода в 1,5–1,7 раза больше напряжения на дуге, и, следовательно, чем выше внешняя характеристика источника, тем интенсивнее происходит автоматическое регулирование напряжения дуги и тем устойчивее процесс сварки ($\Delta I_{АФ} > \Delta I_P$).

При автоматической сварке на постоянном токе высокой плотности (сварка тонкой проволокой), когда статическая характеристика дуги становится заметно возрастающей (I_l), рационально использовать источники питания с жесткой, полого падающей или возрастающей внешней характеристикой (I). Напряжение холостого хода у этих источников равно или меньше напряжения на дуге. Источники с такими характеристиками используются для сварки плавящимся электродом в защитных газах.

Сварка нержавеющей стали может осуществляться постоянным и переменным током. Большое распространение получила

сварка постоянным током. Для питания дуги здесь служат сварочные преобразователи с падающей вольт-амперной внешней характеристикой (табл. 4) и сварочные преобразователи с жесткой и полого падающей характеристикой (табл. 5). Преобразователи типа ПС, САМ, САК, ПАС, ПСМ и т. п. представляют собой агрегаты, состоящие из сварочного генератора постоянного тока и двигателя внутреннего сгорания или электрического, приводящего во вращение ротор генератора. Преобразователи типа ВС, ИПП и т. п. состоят из трансформатора и выпрямителя. Выпрямительный блок, как правило, собирают из селеновых элементов. Трансформатор, выпрямительный блок и аппаратура для регулировки тока размещены в одном корпусе.

Таблица 4

Основные характеристики сварочных преобразователей постоянного тока с падающей характеристикой, применяемых для ручной дуговой и аргодуговой сварки, механизированной и автоматической сварки неплавящимся электродом в защитных газах и для сварки под флюсом

Тип преобразователя или агрегата	Напряжение сети, <i>V</i> или тип двигателя	Напряжение холостого хода, <i>B</i>	Номинальное рабочее напряжение, <i>B</i>	Пределы регулирования силы тока, <i>A</i>
ПСО-120	220/380	48–65	25	30–60 60–120
САМ-250	220	50–76	30	70–340
ПСО-300 ПС-300-М	220/380	47–73 50–76	30 30–35	75–200 180–320 80–380
САМ-400	220/380	60–90	40	120–600
ПС-500 ПСО-500	220/380	60–90 58–86	40 40	120–300 300–600
ПСМ-1000 (многопостовой)	220/380	60	60	Для 9 постов 10–200 Для 6 постов 15–300
ВСС-120-3	220/380	65	25	15–120
ВСС-300-2	220/380	65	30	40–300
ИПП-40 В	380	–	–	5–54
ИПП-200 В	380	–	–	40–330
ИПП-500 В	380	–	–	120–600

Основные характеристики сварочных преобразователей постоянного тока с жесткой и пологопадающей характеристикой, применяемых для сварки плавящимся электродом в защитных газах

Тип преобразователя	Напряжение питающей сети, V	Пределы регулирования напряжения дуги, V	Пределы регулирования силы тока, A	Вольт-амперная характеристика
ПСГ-350	220/380	15–35	50–350	Жесткая, пологопадающая
ПСГ-500	220/380	16–40	50–600	Жесткая, возрастающая
ПСУ-500	220/380	16–40	50–600	Жесткая, падающая
ИПП-120П	380	14–25	40–120	Жесткая
ИПП-300П	380	16–40	60–300	«
ИПП-500П	380	17–50	80–500	«
ИПП-1000П	380	20–60	100–1000	«
ВС-200	380	17–21	30–150	Пологопадающая
ВСК-300-1А	380	14–50	50–400	Жесткая

В силовую цепь источника питания импульсной дуги входят сварочный трансформатор, дроссель насыщения и выпрямительный блок; в цепь «дежурной» дуги – трансформатор с падающей внешней характеристикой и реостат. Для формирования импульсов служит прерыватель в обмотке управления дросселя насыщения.

Импульсы тока определенной длительности и величины чередуются с паузами, также регулируемые по длительности. В момент паузы дуговой промежуток поддерживается за счет «дежурной» дуги, благодаря чему обеспечивается стабильность повторных возбуждений.

Инверторные источники питания

В настоящее время находит всё более широкое применение сварочное оборудование инверторного типа [12]. Благодаря принципиально новой конструкции эти источники обладают массой и габаритами в 6–9 раз меньшими, чем обычные источники питания сварочной дуги. Они имеют коэффициент мощности 0,95...0,98, более высокий КПД, хорошие динамические свойства. На рис. 17

приведена блок-схема инверторного источника питания сварочной дуги. Переменное напряжение питающей сети поступает на низкочастотный выпрямитель НВ и после выпрямления преобразуется инвертором ИНВ в переменное напряжение повышенной частоты 1...20 кГц. Силовой трансформатор T включен между инвертором и выходным неуправляемым высокочастотным выпрямителем ВВ. Трансформация осуществляется на повышенной частоте, что позволяет значительно уменьшить размеры силового трансформатора.

Формирование внешних характеристик и регулирование режима сварки осуществляется системой управления блока обратных связей БОС.

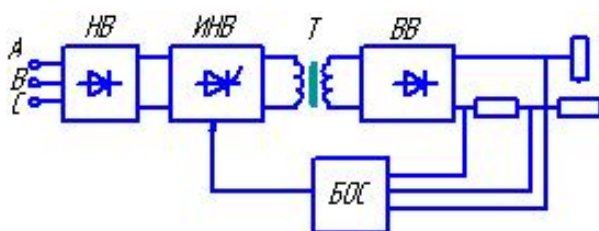


Рис. 17. Блок-схема инверторного источника питания [12]

Такое оборудование в пособии представлено сварочными аппаратами «Форсаж» производства Государственного Рязанского приборного завода. Оборудование сертифицировано Госстандартом и аттестовано отраслевым центром ОАО «Газпром» ВНИИГАЗ. Данное оборудование защищено патентами России № 2018424, 49323, 49324.

Сварочные аппараты «Форсаж» обеспечивают:

- сварку постоянным током прямой и обратной полярности;
- легкий поджиг, устойчивое горение и эластичность дуги;
- плавную регулировку тока для подбора оптимального режима сварки;
- режим «Форсаж» дуги;
- сварку в любом пространственном положении;
- сварку электродами любых типов;
- сварку различных металлов;
- минимальное разбрызгивание металла;
- мелкокапельный и струйный перенос металла;
- устойчивую работу при колебании напряжения в сети.

Достоинства сварочных аппаратов серии «Форсаж»:

- небольшой вес и габаритные размеры при высоких энергетических показателях;
- малое потребление электроэнергии на холостом ходу;
- защита от перегрева и перегрузки;
- эффективное охлаждение.

Характеристики наиболее пригодных для сварки нержавеющей стали инверторных источников питания приведены в табл. 6.

Таблица 6

Основные характеристики некоторых сварочных аппаратов «Форсаж»

«Форсаж»	125	160	160М	160АД
Диапазон регулирования сварочного тока, А	40–125	10–160	10–160	25–160
Напряжение холостого хода (рабочее типовое), В, не более	90(80)	100(75)	95(70)	100
Время выхода на безопасное напряжение холостого хода ($U_{xx} 12В$), сек	–	–	0,5	–
Процент работы (ПР) на максимальном токе, %	40	100	100	100
Величина сварочного тока при ПВ = 100%, А	80	160	160	160
Индикация сварочного тока	–	–	стрелочная	стрелочная
Диаметр электрода, мм	1,6–3,0	1,6–4,0	1,6–4,0	1,6–4,0
Вольт-амперная характеристика	крутопадающая			
Электропитание, В	Однофазная сеть 220 В, 50 Гц			
Ток потребления по фазе, А, не более	16	32	32	30
Максимальная потребляемая мощность, кВА, не более	4	8	8	8
Ток потребления в режиме холостого хода, А, не более	2			
Габариты, мм	330 × 142 × 245	430 × 205 × 350	430 × 205 × 350	440 × 200 × 410
Масса, кг, не более	6,7	11,1	11,1	15,7
Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °С	(-15)–(+40)	(-40)–(+40)		
Гарантийный срок эксплуатации, мес.	12			

«Форсаж-160АД» – сварочный аппарат постоянного тока для аргонодуговой сварки и сварки покрытым электродом до 4 мм.

Аппарат обеспечивает:

- бесконтактное (встроенный осциллятор) или контактное возбуждение дуги;
- регулируемое время нарастания и спада сварочного тока;
- регулируемое время продувки газа до и после сварки;
- непрерывный и импульсный режим работы;
- контроль тока, производимый встроенным амперметром.

«Форсаж-125», «Форсаж-160» – сварочные инверторы могут быть использованы для сварки неплавящимся электродом в среде инертного газа при контактном возбуждении дуги.

Высокая надежность, небольшие габариты и вес делают аппараты «Форсаж» незаменимыми в современном производстве, в том числе в условиях монтажа, а также выездного ремонта.

3.3. Режимы сварки

Режим ручной аргонодуговой сварки характеризуется диаметром вольфрамового электрода, силой сварочного тока, диаметром присадочной проволоки и расходом аргона. Род тока – постоянный, полярность – прямая.

Диаметр вольфрамового электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла и силы сварочного тока. Для каждого диаметра электрода допустима определенная сила тока. При чрезмерном токе заостренный конец электрода быстро плавится, разбрызгивается и попадает в сварочную ванну.

Аргонодуговую сварку неплавящимся электродом применяют в основном для изделий с толщиной стенок до 5 мм. Большая толщина приводит к уменьшению скорости процесса, а следовательно, к снижению производительности труда. Практически возможно применять ручную аргонодуговую сварку и для больших толщин, если производительность труда не является определяющим фактором и по техническим причинам невозможно применять механизированные способы сварки под флюсом или в защитных газах.

Независимо от типа соединения и толщины металла при ручной аргонодуговой сварке можно применять присадочную проволоку

диаметром от 1 до 3 мм. В практике наибольшее распространение получил диаметр 1,6–2 мм. Проволоку диаметром более 3 мм использовать не рекомендуют, так как для ее расплавления требуется большая сила тока, ванна жидкого металла при этом увеличивается в размерах, металл перегревается и хуже формируется, защита его от окисления резко ухудшается.

Величина тока, устанавливаемого для каждого конкретного узла, взаимосвязана со скоростью сварки и характером расплавления основного металла и присадки. Сварщик чаще всего оставляет неизменной скорость сварки и манеру «укладки» присадки в шов и корректирует сварочный ток, хотя в известных пределах можно варьировать и скоростью сварки, и количеством подаваемой присадки.

Расход газа также взаимосвязан со скоростью сварки, но зависит в первую очередь от формы свариваемого узла (типа соединения) и вылета электрода, т. е. расстояния от торца сопла до поверхности узла. В зависимости от доступности сварщик может увеличить или уменьшить длину выступающей части вольфрамового электрода. Чем меньше ток и лучше доступность для электрода, тем меньший расход газа необходим для обеспечения удовлетворительной защиты нагретого металла от окисления. В каждом отдельном случае необходимо корректировать расход защитного газа – это не значит, что будет лучше защита металла.

Форма изделия, положение сопла по отношению к поверхности изделия, режим сварки (ток и скорость), доступность для электрода в процессе сварки являются существенными факторами, влияющими на необходимый фактический расход защитного газа. Ориентировочные режимы ручной аргонодуговой сварки на постоянном токе приведены в табл. 7.

Таблица 7

Режимы ручной аргонодуговой сварки

Толщина металла, мм	Тип соединения	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Расход аргона, л/мин
0,5	Стыковое с отбортовкой кромок	1,0	–	25–35	4

Толщина металла, мм	Тип соединения	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Расход аргона, л/мин
0,8	Стыковое без разделки кромок	1,0–1,6	–	40–50	4
1,0		1,6	–	35–45	4
1,5		1,6–2,0	–	45–65	4–5
2,0		2,0	–	70–85	5–6
3,0		2,0–3,0	–	100–130	6–7
3,0	Стыковое с V-образной разделкой кромок	2,0–3,0	1,6	60–70 ¹ 80–90	6–7
4,0		3,0	1,6–2,0	65–80 90–100	6–7
5,0		3,0–4,0	1,6–2,0	75–85 90–120	7–8

¹ В числителе – сила тока для сварки без присадки, в знаменателе – сила тока для сварки с присадкой.

Режим автоматической и механизированной сварки неплавящимся электродом в защитных газах характеризуется диаметром электрода, силой тока, напряжением на дуге, скоростью сварки, скоростью подачи присадки и расходом защитного газа.

Режим сварки первого прохода определяется толщиной свариваемого металла и типом соединения. Чем меньше толщина бескосного соединения, тем меньше ток следует устанавливать при одной и той же скорости сварки. С уменьшением напряжения на дуге (длины дуги) уменьшается ширина разогрева и увеличивается глубина провара при сварке без присадки.

Каждому сочетанию тока и скорости сварки соответствует определенная скорость подачи присадки. При необходимости увеличить сечение наплавляемого валика следует повысить скорость подачи присадки или ее диаметр и соответственно увеличить ток при неизменной скорости сварки. Следовательно, режим сварки второго и последующих проходов с присадкой мало зависит от толщины металла и в большей мере зависит от типа соединения. Например, на соединении с U-образной разделкой режим второго прохода заметно отличается от такового на соединении с V-образной разделкой кромок. Большая толщина подслоя (от первого прохода) на первом соединении позволяет установить большую величину

тока и подачи присадки одновременно и получить валик сечением в 1,5 раза больше, чем на втором соединении.

Присадочная проволока для автоматической и механизированной сварки применяется таких же размеров, как и для ручной аргодуговой.

Расход газа подбирается и корректируется аналогично расходу при ручной аргодуговой сварке. Учитывая неизменность расстояния между соплом и поверхностью изделия при автоматической сварке в защитных газах, расход газа обычно уменьшают на 20–30% по сравнению с полуавтоматической сваркой такого же типа соединения.

Ориентировочные режимы автоматической и механизированной сварки неплавящимся электродом приведены в табл. 8 и 9.

Режим автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах характеризуется диаметром проволоки, напряжением на дуге, скоростью подачи проволоки и связанной с ней силой тока, расходом защитного газа.

Процесс сварки плавящимся электродом в защитных газах может протекать по-разному в зависимости от характера плавления проволоки и переноса жидкого металла в сварочную ванну. Известны три основных процесса плавления и переноса: струйный, крупнокапельный и короткими замыканиями.

Струйный процесс имеет место при сравнительно большой скорости подачи проволоки и, как следствие, большом токе (большем, чем критическая величина сварочного тока (критическим называют ток, при котором начинается струйный процесс и прекращается крупнокапельный)). Напряжение на дуге в этом случае относительно велико, т. е. длина дуги больше, чем при других процессах. Особенности процесса являются: стабильный мелкокапельный перенос металла; большая энергия в дуговом промежутке и, следовательно, большая величина сварочной ванны. Такая ванна допустима лишь на швах, выполняемых в нижнем положении и сравнительно больших толщинах, когда теплоотвод играет существенную роль в распределении энергии дуги.

На швах, выполняемых в вертикальном и потолочном положениях, ванна должна иметь ограниченные размеры, иначе жидкий металл потечет и формирование шва будет неудовлетворительным.

Таблица 8

Режимы автоматической и полуавтоматической сварки стыковых соединений неплавящимся электродом в защитных газах постоянным током прямой полярности с присадкой Св-04Х19Н11М3

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи присадки, м/ч	Расход аргона, л/мин
0,8	1,6	—	60–70	9–10	30–40	25–35	4–5
1,0	1,6–2,0	—	70–90	10–11	25–35	20–30	4–5
1,5	2,0	1,2–1,6	100–130	10–11	20–25	20–25	5–6
2,0	2,0	1,6–2,0	130–160	10–11	20–25	20–25	5–7
2,5	3,0	1,6–2,0	170–190	10–11	15–25	15–20	6–8
3,0	3,0	1,6–2,0	180–200	11–12	15–20	15–20	7–9
5,0	3,0–4,0	1,6–2,0	190–210	11–12	10–15	12–15	8–10

Таблица 9

Режимы автоматической сварки соединений труб неплавящимся электродом постоянным током прямой полярности (присадка Св-04Х19Н11М3, диаметр присадки 1,6 мм, сталь – типа 18-8, защитный газ – аргон)

Размер труб, мм	Вид подготовки кромок под сварку	Сварочный ток, А	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи присадки, м/ч	Расход аргона, л/мин	
					на сварку	на поддув
8×1,0	Отбортовка	30–32	12–15	—	4–5	1,0–1,5
12×1,0	«»	35–40	12–15	—	4–5	1,0–2,5
12×1,5	Осадка	55–60	25–30	—	4–5	1,0–1,5
15×1,5	«»	60–65	20–25	—	4–5	1,5–2,0
15×2,5	Скос под 30°	$\frac{60-65^1}{70-75}$	18–25	12–15	5–6	1,5–2,0
18×2,5	То же	$\frac{80-85}{90-95}$	20–25	12–15	5–6	2,0–2,5
22×1,5	Осадка	60–70	20–25	—	5–6	2,0–2,5
22×2,5	Скос под 30°	$\frac{85-90}{95-100}$	18–25	15–20	6–8	2,0–2,5
32×3,5	То же	$\frac{100-110}{110-120}$	18–20	17–22	8–10	2,0–3,0

Размер труб, мм	Вид подготов- ки кромок под сварку	Свароч- ный ток, А	Ско- рость сварки, м/ч	Скорость подачи присадки, м/ч	Расход аргона, л/мин	
					на свар- ку	на под- дув
36×3,0	«»	100–110 110–120	15–18	15–20	8–10	2,0–3,0
57×3,0	«»	110–120 120–130	15–18	15–20	8–10	3,0–4,0
83×4,0	Скос под 30° с выступом	110–120 120–130	15–18	15–20	8–10	3,0–4,0

¹ В числителе – сила тока для первого прохода (без присадки), в знаменателе – сила тока для второго прохода (с присадкой).

Крупнопанельный процесс протекает при уменьшении скорости подачи и, как следствие, уменьшении тока до значений ниже критической величины. Применительно к нержавеющей стали этот процесс характеризуется чрезмерным разбрызгиванием, что требует дополнительных мероприятий по защите и зачистке прилегающих поверхностей от брызг.

Сварка в режиме коротких замыканий наступает при одновременном уменьшении скорости подачи (и величины тока), а также напряжения на дуге, когда длина дуги настолько уменьшается, что капли металла проволоки не успевают отделиться и замыкают дуговой промежуток. В момент замыкания капля мгновенно отделяется от проволоки, а на ее конце сразу же образуется другая крупная капля, и все операции переноса металла повторяются.

Этот процесс характеризуется непостоянством величины тока и напряжения в течение всех операций по отделению и переносу металла проволоки в ванну, зато все эти операции и изменения параметров режима происходят строго периодически. В начале короткого замыкания напряжение резко падает, а ток возрастает до такой величины, что происходит разрыв шейки капли металла, и капля отделяется. С отрывом капли напряжение возрастает, ток уменьшается, плавление проволоки замедляется. По мере накопления жидкого металла на конце проволоки капля увеличивается в размерах и приближается к ванне, пока не произойдет замыкание, и цикл повторяется.

Периодичность в изменении тока и напряжения, а следовательно, и мощности дуги при сварке в режиме коротких замыканий является положительным качеством этого процесса. Малое количество

тво тепла по сравнению со струйным процессом делает возможным выполнение сварки во всех пространственных положениях шва и при малых толщинах. Точный подбор скорости подачи проволоки и напряжения на дуге, а также использование источника с хорошими динамическими свойствами (большая скорость нарастания тока короткого замыкания) и благоприятной статической характеристикой (жесткой или пологопадающей, рис. 16.) дает возможность получить швы высокого качества с очень хорошим формированием во всех пространственных положениях стыка.

Ориентировочные режимы автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом приведены в табл. 10.

Таблица 10

Режимы автоматической сварки стыковых соединений из аустенитных хромоникелевых сталей плавящимся электродом (проволока Св-04Х19Н11М3)

Толщина металла, мм	Тип соединения	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин
0,5	Внахлестку	0,5–0,6	25–45	–	35–55	5–7
0,8	Внахлестку	0,6–0,8	50–70	15–17	25–45	(аргона – 95%, углекислого газа – 5%)
1,0	«	0,8–1,0	80–100	16–18	20–40	
1,5	«	1,0	110–130	17–19	20–35	
3,5	Встык	0,5–0,6	40–60	13–15	50–70	
1,0	«	0,8–1,0	90–110	16–18	35–55	6–8 (аргон)
1,5	«	1,0	140–180	18–20	20–40	
2,0	«	1,0	140–180	18–20	20–40	
4,0	«	1,6	220–320	22–25	20–40	6–8
6,0	«	1,6–2,0	280–360	23–27	15–30	(аргона – 95%, углекислого газа – 5%)
8,0	«	2,0	300–380	24–28	15–30	
10,0	«	2,0	320–440	25–30	15–30	
2,0	«	1,0	400–450	20–22	20–25	6–8 (аргон)
4,0	«	1,6	180–240	25–30	20–40	10–17 (аргон)

Выбор режима сварки плавящимся электродом кольцевых неповоротных стыков труб, коллекторов, патрубков производится с таким расчетом, чтобы получить стабильный процесс и хорошее формирование валика во всех пространственных положениях шва. На стабильность процесса и качество формирования валика влияют защитный газ, напряжение на дуге, скорость подачи проволоки, скорость сварки

и режим поперечного перемещения электрода (у автоматов типа АСС, ДСП и др.). Все эти параметры режима настолько взаимосвязаны, что варьировать ими в широких пределах не следует.

Защитный газ или газовая смесь обычно задаются технологическим процессом на сварку, а остальные параметры хоть и заданы, но в пределах от наименьшего до наибольшего. Этими параметрами и осуществляется корректировка заданного режима применительно к особым условиям с учетом отклонений по обработке, сборке, толщине кромок (выступов), степени стесненности, режима сварки и т. п.

Устанавливая напряжение на дуге, следует помнить, что стабильность процесса горения дуги зависит от защитного газа, применяемого для сварки. Напряжением на дуге при сварке плавящимся электродом удастся варьировать в очень узких пределах, так как увеличение его приводит к ухудшению стабильности процесса, особенно при сварке в потолочном положении, а уменьшение его ведет к «холодной» сварке, треску, разбрызгиванию. Поэтому оптимальным напряжением на дуге при сварке в гелии можно считать 21–23 В, при сварке в углекислом газе и смеси аргона с углекислым газом ($\text{CO}_2 \approx 30\%$) — около 20–21,5 В.

Независимо от размеров свариваемого изделия оптимальной скоростью подачи проволоки диаметром 0,8–1,2 мм можно считать 400 м/ч. Сила сварочного тока при этом будет около 120–140 А.

Скорость сварки определяется в зависимости от ширины наплавляемого валика и диаметра кольцевого стыка по специальной номограмме, построенной по экспериментальным данным. Зная необходимую ширину валика, по номограмме для заданного диаметра стыка получают скорость. Режим поперечного перемещения электрода (колебания электрода поперек шва) складывается из скорости движения конца электрода V_k и времени задержки у кромки t_s , необходимого для лучшего разогрева и провара кромок, амплитуды колебания A . Чтобы получить валик наиболее благоприятной формы (широкий, плоский, без пропусков), необходимо точно подобрать значения каждого параметра поперечного колебания электрода, соответствующего заданной скорости сварки. Ориентировочное число колебаний при автоматической сварке труб составляет 60–130 колебаний в минуту [2].

3.4. Сварочные материалы

3.4.1. Электроды для сварки в защитных газах

Для сварки в защитных газах в качестве неплавящихся электродов применяются вольфрамовые прутки различных диаметров.

В природе вольфрам встречается как составная часть различных минералов. После химической обработки этих минералов получают окись вольфрама, в результате дальнейшей обработки – порошкообразный вольфрам. Он прессуется, спекается и сваривается. После проковки вольфрам подвергают волочению на нужный диаметр. Таким способом можно изготовить прутки и проволоку диаметром 0,01 мм и более. Вольфрам является тугоплавким и тяжелым металлом. Температура его плавления 3377°C , плотность 19300 кг/м^3 . Вольфрам обладает высокой коррозионной стойкостью на воздухе и в воде и высокой механической прочностью, предел прочности, $\sigma_{\text{в}}$ (850–1100 МПа). Твердость вольфрама – 350 НВ.

При нагревании вольфрам интенсивно окисляется. Поэтому применять его в качестве электрода возможно только в неагрессивной среде (вакуум, инертный газ). Для сварки на переменном токе используют прутки из чистого вольфрама диаметром от 0,5 до 8 мм. При постоянном токе широко применяют лантанированные вольфрамовые электроды марки ВЛ10. В эти электроды введена присадка лантана, который улучшает их технологические свойства. Лантанированные вольфрамовые электроды обеспечивают хорошее зажигание дуги и допускают большую плотность тока при малом расходе вольфрама. В настоящее время находят применение и импортные вольфрамовые электроды марки WC-20, со шлифованной поверхностью, в состав которых входит двуокись церия CeO_2 (1,88%). Эти электроды соответствуют стандарту ISO 6848-1984.

Чтобы исключить блуждание дуги и увеличить интенсивность нагрева путем повышения плотности тока при сварке, конец электрода рекомендуется затачивать как карандаш. Длина заточки должна составлять около пяти диаметров электрода. Диаметр выбирают в зависимости от силы тока (табл. 11).

Заточка ведется на мелком наждачном круге. Специальный станок [2] позволяет механизировать эту операцию. Длительность за-

точки одного конца электрода не превышает трех минут. Качество заточки высокое.

Таблица 11

Ток, А	15–60	20–100	60–150	Свыше 150
Диаметр электрода, мм	1,0	1,6	2,0	3,0

Заточка конца вольфрамового электрода существенно влияет на формирование металла шва, особенно при выполнении корневых валиков.

Острозаточенный электрод *a* (рис. 18) позволяет делать ширину шва меньше, чем тупозаточенный электрод *б* при той же силе сварочного тока. Сравнение проводилось при выполнении корневых валиков на двух соединениях труб $57 \times 3,5$, обработанных одинаково (со скосом каждой кромки под углом 40° с притуплением 1 мм). В обоих случаях применялся сварочный ток 95 А.

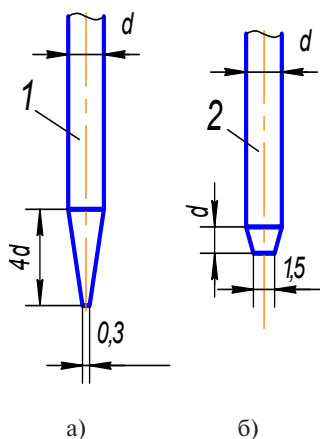


Рис. 18. Виды заточки вольфрамового электрода: *a*) острозаточенный электрод; *б*) тупозаточенный электрод

При сварке электродом *б* (рис. 18) условия возбуждения дуги улучшаются, ее факел получается устойчивым, направление его строго зависит от положения электрода. Все это упрощает технику выполнения сварки и уменьшает опасность замыкания электрода на кромке. Недосток электрода *a* – концентрированный разогрев металла. Это может привести к чрезмерным местным проплавлениям.

ниям, особенно если сварка ведется в стесненных условиях, когда трудно сохранить ее скорость постоянной. Кроме того, малейшее изменение наклона электрода в поперечном направлении влияет на контур сварочной ванны.

При сварке электродом *б* дуга плохо возбуждается, ее факел неустойчив — дуга блуждает. Это усложняет технику выполнения сварки, особенно в разделке, где возможны замыкания электрода на кромки. Зато изменения наклона электрода почти не влияют на контур ванны. Металл подвержен менее концентрированному разогреву, и возможность образования местных чрезмерных проплавлений уменьшается. Шов при этом получается почти в 1,5 раза шире шва, выполненного электродом *а*. Это является недостатком электрода *б*, так как заполнить такую широкую разделку за один проход с присадкой невозможно, а увеличение числа проходов приводит к снижению производительности труда.

Правильное использование преимуществ и знание недостатков по-разному заточенных электродов — важное средство повышения производительности труда.

Расход вольфрама при сварке может увеличиться за счет дополнительных потерь, зависящих от оборудования поста и квалификации сварщика. Потери вольфрама значительно уменьшаются, если при зажигании дуги пользоваться осциллятором. При этом отпадает необходимость разогревать электрод перед сваркой на угольной пластине или на изделии (в результате чего возможны короткие замыкания и отламывание конца электрода). Чрезмерная сила тока приводит к разбрызгиванию вольфрама.

Первый признак окисления вольфрама — желто-зеленый налет на поверхности сопла горелки. Чтобы избежать окисления, необходимо шланг, подводящий газ, подвесить или оградить от случайных заземлений. Нельзя сразу после прекращения сварки выключать газ, так как разогретый вольфрам мгновенно окислится, и на его поверхности могут образоваться раковины.

3.4.2. Сварочная и присадочная проволока

Проволоку для сварки под флюсом и в защитных газах, когда она является плавящимся электродом, принято называть сварочной. Про-

волоку для сварки в защитных газах неплавящимся электродом, когда она подается в зону дуги как присадка, называют присадочной.

Выбор марки проволоки определяется маркой свариваемой стали, способом сварки и условиями, в которых работает сварная конструкция. Нецелесообразно, например, применять проволоку, содержащую титан, для сварки под флюсом и в качестве стержня для электродов при дуговой сварке. Титан в процессе сварки интенсивно окисляется и его полезное действие ослабевает за счет уменьшения его количества в металле шва.

Химический состав некоторых стандартных проволок для сварки приведен в табл. 12.

В отдельных случаях кроме стандартной применяют проволоку, изготовленную по техническим условиям, согласованным с заводом-изготовителем проволоки. Проволока поставляется в бухтах, состоящих из нескольких мотков. Бухта тонкой проволоки диаметром до 2 мм весит от 20 до 60 кг, бухта проволоки диаметром 4–5 мм, как правило, больше 60 кг. К каждой бухте обязательно крепится бирка с указанием завода-изготовителя и условное обозначение проволоки, например Св208Х19Н11М3. Первая цифра 2 указывает диаметр проволоки, остальные цифры и буквы – марку стали, из которой изготовлена проволока. Несколько бухт составляют партию. Каждая партия проволоки снабжается сертификатом, в котором даются более подробные сведения о проволоке (номер плавки, результаты химического анализа и механических испытаний проволоки).

Проволока должна храниться в чистом помещении в условиях, исключающих загрязнение ее поверхности маслом и наждачной пылью. Перед зарядкой в кассеты в случае необходимости ее очищают от грязи и смазки. Загрязненная проволока ухудшает токоподвод и приводит к пористости шва. Присадочную проволоку очищают и обезжиривают ацетоном или уайт-спиритом.

Проволока диаметром до 1,6 мм, предназначенная для автоматической аргонодуговой сварки, нагартовывается растяжением с целью придания ей большей жесткости для лучшего прохождения между роликами и в мундштуке. Очень важно получить нагартовку постоянную по длине и определенной степени.

Таблица 12

Химический состав некоторых марок проволоки для сварки нержавеющей сталей

Марка проволоки	Химический состав, %							Железо
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Сера	Фосфор	Прочие элементы	
					не более			
Св-10X13	0,08–0,15	0,3–0,7	0,3–0,7	12–14	0,6	0,030	–	Осн.
Св-10X17Г	0,12	0,8	0,7	16–18	0,6	0,030	Титан 0,5	Осн.
Св-02X19Н9	0,04	0,5–1,0	1,0–2,0	18–20	8,0–10,0	0,018	–	Осн.
Св-04X19Н9	0,06	0,5–1,0	1,0–2,0	18–20	8,0–10,0	0,018	–	Осн.
Св-04X19Н9С2	0,06	2,0–2,75	1,0–2,0	18–20	8,0–10,0	0,018	–	Осн.
Св-06X19Н9Т	0,08	0,4–1,0	1,0–2,0	18–20	8,0–10,0	0,018	Титан 0,5–1,0	Осн.
Св-08X19Н10Б	0,05–0,10	0,7	1,2–1,7	18,5–20,5	9,0–10,5	0,018	Ниобий 1,2–1,5	Осн.
Св-04X19Н11М3	0,06	0,6	1,0–2,0	18–20	10,0–12,0	0,018	Молибден 2,0–3,0	Осн.
Св-07X25Н13	0,09	0,5–1,0	1,0–2,0	23–26	12,0–14,0	0,018	–	Осн.
Св-08X20Н9Г7Т	0,10	0,5–1,0	6,0–8,0		8,0–10,0	0,018	Титан 0,6–0,9	Осн.

Сильно нагартованная проволока после выхода из мундштука может отклоняться от заданного направления движения. Валик в этом случае получится криволинейным. Слабо нагартованная проволока изгибается и застревает в мундштуке. Нагартовку производят на специальных станках, при небольшом потреблении проволоки – на токарном станке. Один конец проволоки закрепляют на суппорте станка, второй – на неподвижном предмете. Включением самохода суппорта можно легко и точно нагартовать присадочную проволоку.

3.4.3. Защитные газы

Для сварки нержавеющей сталей в качестве защитных газов применяют аргон, гелий и углекислый газ.

Аргон и гелий – инертные газы. Они не горят и невзрывоопасны, не образуют с другими элементами химических соединений и не растворяются в металлах.

Аргон тяжелее воздуха почти в два раза, а гелий легче аргона в десять раз. Аргон получают из воздуха, гелий – из природных газов, углекислый газ – путем утилизации (сбора) отходящих газов.

Воздух состоит из азота, кислорода и небольшого количества других газов, в том числе аргона. После сжатия и охлаждения воздуха получается азотноаргоноокислородная смесь.

Температура кипения азота – самая низкая (-196°C), кислорода – самая высокая (-183°C). Температура кипения аргона занимает промежуточное место (-186°C). Поддерживая в разделительной колонне определенную температуру, можно испарять отдельные газы. После выхода из колонны азот и кислород, как правило, готовы к употреблению, хотя и содержат примеси аргона и других газов. Аргон после выхода из колонны обязательно очищают от примесей. В очищенном аргоне остается небольшое количество азота, кислорода, водорода и влаги.

Гелий получают путем сжатия и охлаждения природного газа. Примеси природного газа сжижаются раньше, чем гелий. Газообразный гелий отбирается из жидкого природного газа и поступает для наполнения баллонов.

Аргон обладает лучшими защитными свойствами по сравнению с гелием вследствие большего удельного веса. Дуга в аргоне харак-

теризуется более высокой стабильностью, чем в гелии. Но в гелии дуга обладает большей проплавляющей способностью вследствие повышения напряжения.

Для сварки применяется аргон различной чистоты. По степени чистоты аргон согласно ГОСТ 10157-79 разделен на два сорта: высший и первый. Химический состав аргона различных сортов приведен в табл. 13.

Таблица 13

Химический состав аргона

Наименование показателей	Сорт (ГОСТ 10157-79)	
	Высший	Первый
Содержание аргона в %, не менее	99,992	99,987
Содержание кислорода в %, не более	0,0007	0,002
Содержание азота в %, не более	0,006	0,01

Аргон высшего сорта предназначается для сварки титановых сплавов, циркония, молибдена, тантала и других активных металлов и их сплавов, а также для сварки особо ответственных изделий из нержавеющей сталей; аргон первого сорта – для сварки плавящимся и неплавящимся электродами алюминиевых и магниевых сплавов.

Вместо аргона иногда применяют смеси аргона с кислородом, водородом, гелием и азотом в различных процентных соотношениях. Например, для сварки плавящимся электродом изделий из нержавеющей сталей применяется смесь аргона с кислородом, аргона с углекислым газом и др.

Гелий для сварки из нержавеющей сталей вольфрамовым и плавящимся электродами применяется как в чистом виде, так и в смеси с аргоном.

Иногда для сварки малоответственных изделий из нержавеющей сталей применяется смесь аргона с углекислым газом или даже один углекислый газ. Добавка 5–10% углекислого газа к аргону уменьшает пористость сварных швов, повышает стабильность дуги и улучшает формирование шва.

Сварку в одном углекислом газе можно выполнять только угольным или плавящимся электродом. Вольфрамовый электрод в углекислом газе активно окисляется и быстро выходит из строя.

Использовать углекислый газ для сварки вольфрамовым электродом можно, применив двойное сопло. По внутреннему соплу следует подавать чистый аргон для защиты вольфрама, по наружному – смесь аргона с углекислым газом или один углекислый газ для защиты сварочной ванны.

3.5. Обработка и подготовка кромок под сварку

Обработка и подготовка кромок под сварку являются ответственными технологическими операциями, и от их качества зависит качество сварного шва и сварной конструкции в целом.

Нержавеющие стали следует оберегать от атмосферных осадков, пыли, грязи, масла и прочих загрязнений и хранить их в закрытых складских помещениях. На открытых площадках необходимо применять специальные настилы и укрывать сталь, используя брезент, толь, рубероид и т. п.

ВНИМАНИЕ! *Недопустимо хранение этих сталей вместе (касанием) с углеродистыми сталями.* При сортировке и транспортировке на заготовительный участок, кантовке, укладке и других заготовительных операциях необходимо принять меры предосторожности против механических повреждений поверхности заготовок, а также против загрязнения их ржавчиной, окалиной, опилками и прочими отходами углеродистых сталей.

Рабочие поверхности оснастки и оборудования, на которых выполняются заготовительные операции, должны быть очищены от ржавчины. Ручную правку следует производить медными или свинцовыми кувалдами, или пользоваться подкладками из этих материалов при ударе стальными кувалдами. Забоины и царапины после правки не допускаются.

Разметку и маркировку заготовок рекомендуется выполнять на столах (площадках) с деревянным или алюминиевым настилом. Укладывать на настил заготовки (детали) следует только после очистки их поверхности от загрязнений.

Маркировка осуществляется с помощью красок или керном, если следы кернов расположены на поверхности, подлежащей удалению механической обработкой или переплаву при сварке. Во избежание перепутывания марок сталей, когда обрабатываются од-

новременно несколько деталей из различных марок нержавеющей стали, рекомендуется при маркировке пользоваться красками следующих цветов:

- сталь марки 08X18H10 и 08X18H10T – желтый цвет;
- сталь марки 12X18H9T и 12X18H10T – красный цвет;
- сталь марки 08X18H12Б – зеленый цвет;
- сталь марки 10X17H13M2T – синий цвет;
- стали хромистые 08X13 и другие – коричневый цвет, но с обязательной надписью марки соответствующей стали, например 08X13.

Поскольку нержавеющие стали не рекомендуется подвергать лишнему раз нагреву, предпочитают применять методы механической резки, а не газопламенной. Этому способствуют также трудности осуществления качественной резки кромок другими методами из-за особых свойств нержавеющей стали.

Прямолинейные кромки на листовых заготовках для бескосых соединений обрабатывают механическим способом – на гильотинных ножницах. Криволинейные кромки – на фрезерных станках. Если кромки были обработаны газомеханическим способом, то для ответственных конструкций после такой обработки кромки необходимо обработать дополнительно механическим способом.

Сложные контуры заготовок обрабатывают зубилом и наждачным кругом. Точность обработки и кривизну контура, а также форму кромки проверяют специальными шаблонами – лекалами. Наибольшую точность обрабатываемых кромок можно получить фрезерованием.

Резку труб из нержавеющей стали осуществляют на токарных и специализированных отрезных станках (с дисковыми фрезами и абразивными кругами) приводными механическими пилами.

В тех случаях, когда трубный узел невозможно установить и закрепить на станке, применяют переносные труборезы. Выбор типа трубореза зависит от диаметра трубы.

В условиях монтажа, когда недопустимо попадание стружки внутрь трубы, резку производят специализированным труборезом, с помощью которого труба вначале разрезается диском не на полную глубину. После предварительной резки производят окончательную резку роликом.

Независимо от толщины металла и способа сварки к качеству обработки кромок для соединения трубных элементов предъявляют более высокие требования, нежели к качеству обработки кромок для сварных соединений других узлов.

Задиры, заусеницы, местные углубления могут быть причиной образования несплавлений. Из углублений трудно удалить масло и прочие загрязнения, которые могут привести к образованию пор.

После механической обработки и контроля качества кромок поверхности деталей подготавливаются под сварку. Подготовка заключается в очистке поверхности от смазки, краски, наждачной пыли и других загрязнений. Удалить загрязнения можно щеткой, наждачной бумагой и ветошью. Затем поверхность обезжиривается ацетоном или уайт-спиритом. Сосуд для хранения растворителей должен закрываться хорошо подогнанной пробкой. Перед сборкой стыка свариваемые кромки протирают хлопчатобумажной тканью, смоченной в растворителе. Для этой цели служат миткаль, ветошь или низкосортная бязь.

Поверхность деталей, прилегающих к свариваемым кромкам, а также расположенные вблизи от места сварки детали перед ручной дуговой сваркой покрывают каолином (мелом) или асбестовой тканью. Такой покров предохраняет поверхность деталей от брызг металла, которые в местах прижога могут вызвать трещины. Каолин (мел) разводят в воде и наносят одним слоем шириной 50–60 мм от кромки стыка. Нужно следить, чтобы каолин не попадал в зазор между кромками и в разделку, для чего их рекомендуется закрывать чистой тканью. После сварки каолин удаляют с поверхности деталей водой или щеткой. Нельзя допускать, чтобы на свариваемые кромки попадала влага, масло и прочие загрязнения.

От выполнения всех этих требований зависит качество сварного шва.

3.6. Сборка под сварку

Сборка является одной из главных технологических операций, от тщательности выполнения которой зависит качество сварных узлов из нержавеющей сталей.

Широко используются два варианта сборки деталей под сварку: сборка с помощью прихваток и с помощью специальной оснастки (прижимов с подкладками, постелями, кондукторов, центраторов и т. п.).

При сборке с применением специальной оснастки фиксация положения подлежащих сварке деталей осуществляется механическим прижатием одной детали к другой или удержанием в определенном положении без прижатия (с выдерживанием заданных зазоров для компенсации укорочения). Для сборки каждого узла или серии однотипных узлов разрабатывают специальную оснастку.

Сборка с помощью прихваток применяется в тех случаях, когда невозможно или неэффективно применять специальные устройства для фиксации подлежащих сварке деталей. Размер, количество, места расположения прихваток и способ сварки, используемый для прихватки, указывают в технологической карте на сварку узла. Выполнение прихватки является ответственной операцией, влияющей на качество шва.

При сборке следует обращать внимание на зазоры между свариваемыми кромками и на смещение кромок. Эти величины обычно оговариваются в технологической документации. Уменьшение зазора может привести к непровару.

В этом случае при автоматической сварке шов получается бугристым, с чрезмерным усилением (рис. 19,а). Наоборот, увеличенный зазор способствует чрезмерному проплавлению и шов получается ослабленным (рис. 19,б). При очень большом зазоре каждая кромка оплавится и автоматическая сварка такого соединения окажется невозможной (рис. 19,в) [10].

Соединение с большим зазором можно сваривать вручную (с поперечными колебаниями электрода или с помощью дополнительных узких валиков). Для хромоникелевых аустенитных сталей сварка с поперечными колебаниями электрода при поддержании общей сварочной ванны нежелательна.

На соединениях «в замок» и на подкладке бывают зазоры двух типов: открытый, технологический – *T* и скрытый – *C* (рис. 19,д). Технологический зазор предусматривается чертежом или технологическим процессом для качественного провара корня шва. Этот

зазор зависит от толщины свариваемого металла и диаметра электрода или проволоки. Скрытый зазор является результатом неточной обработки кромок или плохой сборки соединения. Это даже не зазор, а смещение свариваемых кромок. Он усложняет технику сварки и ухудшает качество шва, приводя к подплавлению острых кромок и подтеканию металла и шлака под них (рис. 19, д, е).

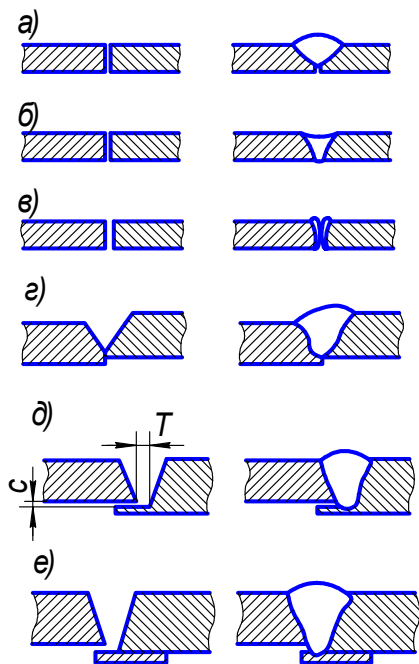


Рис. 19. Точность сборки и качество сварки

Смещение одной свариваемой кромки относительно другой должно быть по возможности минимальным. Для дуговой сварки допустимо смещение, не превышающее 10% толщины свариваемых деталей. Если швы подлежат контролю просвечиванием, необходимо уменьшить допустимую величину смещения. На рис. 19, г показано соединение с большим смещением.

Изображение нерасплавленной кромки на рентгено снимке имеет большое сходство с непроваром, особенно при просвечивании под углом к стыку. Особенно важно обеспечить минимально возможное

смещение кромок на соединениях, выполняемых аргонодуговой сваркой с формированием металла шва на весу без подкладок.

У листовых конструкций минимальное смещение достигается тщательностью сборки. На соединениях тройников, патрубков, фланцев, переходников и других деталей с кольцевыми швами минимальное смещение обеспечивается повышенными требованиями к механической обработке внутренних сопрягаемых диаметров. Чтобы уменьшить допустимое смещение на соединениях труб, трубы перед обработкой сортируют по наружному и калибруют по внутреннему диаметру. Калибровка осуществляется раздачей или расточкой концов труб на глубину 5–7 мм от торца. По диаметрам трубы не сортируют, если их торцы предварительно осаждают обкаткой (роликом) и калибруют расточкой на определённый диаметр, одинаковый для всех стыкуемых труб.

Плоские листовые конструкции относительно небольших размеров и толщин целесообразно собирать в зажимном приспособлении, обеспечивающем не только высокое качество стыковки, но и оптимальный тепловой режим (рис. 20). Вследствие хорошего теплоотвода в медную планку и в охлаждаемую водой подкладку создаются благоприятные условия для предотвращения склонности к межкристаллитной коррозии.

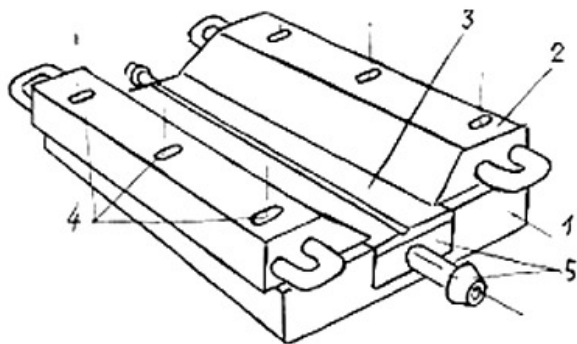


Рис. 20. Сборочно-сварочное приспособление:
1 – основание; 2 – прижим; 3 – планка медная; 4 – пазы для винтовых прижимов-фиксаторов; 5 – подкладка водоохлаждаемая со штуцерами

Продольные стыки обечаек собирают с помощью винтовых стяжек, позволяющих регулировать зазор и смещение кромок, а кольцевые стыки – с помощью радиальных кольцевых стяжек или распорных приспособлений.

Прямые трубы больших диаметров собирают с помощью специальных хомутов, гнутые колена, штуцеры и отростки с прямыми трубами – в призмах с цепными или винтовыми стяжками.

Для сборки прямых труб небольших диаметров можно применять спаренные тиски. Если одни из тисков сделать подвижными во всех направлениях, такое приспособление позволит очень быстро собрать трубы с минимальным смещением и с заданным зазором.

Сборку труб в монтажных условиях или в стеснённых и труднодоступных местах, когда требуется выбирать зазор натяжением, удобно осуществлять с помощью специального приспособления, в состав которого входят струбины и стяжной механизм.

Если приспособление обеспечивает достаточную жесткость и доступность при сварке, её производят даже без прихваток. Но чаще для надёжного фиксирования собранных деталей и узлов применяют прихватки, после чего приспособления снимают.

Независимо от способа ручной или автоматической сварки прихватки выполняют вручную. Для прихватки применяют те же электроды или присадку, которыми в дальнейшем должен быть сварен данный стык. Исключение составляют сварные соединения из чисто аустенитных сталей, когда корневой валик должен быть аустенито-ферритным. В этом случае марка электрода или присадка для прихватки должна быть такой же, как и для формирования корневого валика.

Режимы дуговой прихватки плавящимся электродом не отличаются от режимов сварки.

Аргонодуговую сварку можно выполнять и без присадки путём оплавления кромок.

Режимы ручной аргонодуговой прихватки без присадки отличаются от режимов сварки. Как правило, для прихватки применяют сварочный ток на 10–20 А меньший, чем при сварке изделий такой же толщины.

Выполняя прихватку, не следует стремиться к глубокому провару и допускать сквозное проплавление, особенно в точечных прихватках. Так как, если такая прихватка не переплавится, в ней с обратной стороны могут остаться дефекты типа рыхлости или кратера, возникающие от усадки металла.

К выполнению прихваток предъявляют такие же требования, как и к сварке соединения. Длину прихваток и шаг указывают в технологической документации. Обычно длина прихваток зависит от типа сварного соединения.

Трубы и трубные соединения диаметром до 30 мм скрепляют одной прихваткой длиной не менее 5 мм, свыше 30 мм – двумя-тремя. Обечайки и другие цилиндрические изделия диаметром свыше 800 мм собирают на шести и более прихватках длиной 25–50 мм. Длина прихваток на листовых конструкциях составляет 50–60 мм, шаг – около 500 мм.

Необходимо строго следить за правильностью расположения прихваток по длине стыка. В редко расположенных и малых прихватках вследствие усадочных напряжений от сварки возникают трещины. Начинать сварку двухсторонних швов рекомендуется со стороны, противоположной прихватке. Если сваривается стык, имеющий выводные технологические планки, расстояние крайних прихваток от них должно быть равным половине шага, иначе в этих прихватках возникнут трещины.

Особое внимание следует обратить на заделку кратеров в прихватках. Неправильно выполненная заделка при аргонодуговой сварке вызывает рыхлость или свищ, которые, как правило, не переплавляются при последующей сварке.

Поверхность прихваток перед сваркой должна быть тщательно очищена от окисной пленки при аргонодуговой сварке и от шлака и брызг при дуговой сварке плавящимся электродом.

3.7. Техника сварки

3.7.1. Техника ручной дуговой сварки

Техника ручной дуговой сварки хромоникелевых нержавеющей сталей незначительно отличается от техники сварки углеродистых

сталей. Дуга зажигается точно так же. Сварщики предпочитают способ отрыва электрода после короткого замыкания. Возможность прилипания электрода к изделию из нержавеющей стали несколько большая по сравнению с углеродистой сталью. После прилипания электрод мгновенно нагревается, и его покрытие приходит в негодность. Чем больше разогрет конец электрода, тем меньше опасность его прилипания. Поэтому сварщики после зарядки электрода в электрододержатель «чиркают» по приспособлению и только после этого подносят конец разогретого электрода к месту начала сварки. В этом случае дуга зажигается значительно легче и без прилипания. Нельзя «чиркать» электродом перед зажиганием дуги по изделию, так как в этих местах на поверхности остаются прижоги, которые становятся очагами разрушения.

Короткие швы, которые можно сваривать одним электродом, выполняются «напроход». Длинные швы свариваются участками вразброс или обратно ступенчатым способом, кольцевые швы – участками в диаметрально противоположных местах, причем общее направление сварки сохраняется.

Существует общее правило при ручной сварке всех металлов – поддерживать наименьшую длину дуги. При сварке нержавеющей сталей это правило необходимо выполнять особенно строго. Увеличение длины дуги приводит к разбрызгиванию. Кроме того, ухудшается защита сварочной ванны, в результате хром и кремний окисляются, а металл шва обогащается соединениями азота. Если свариваемая сталь содержит титан, то азот, соединяясь с титаном в нитриды, ослабляет его полезное действие. Выгорание ферритизаторов (хрома, кремния, титана, молибдена) и азотирование металла шва способствуют его аустенизации, что может привести к образованию трещин.

Сварщик, выполняющий сварку углеродистых сталей, для получения широкого шва манипулирует электродом. При сварке нержавеющей сталей необходимо накладывать узкие валики без поперечных колебаний электрода. Выполнением шва узкими валиками достигается наиболее надежная защита металла шва и исключается возможность его перегрева. Ширина валиков должна быть не более трех диаметров электрода.

Скорость движения электрода (сварки) должна быть равномерной, а расстояние между соседними чешуйками – одинаковым (рис. 21, 1). При неравномерном поступательном движении электрода валик получается бугристым (рис. 21, 2). Увеличивая скорость сварки, можно уменьшить ширину шва до величины, превышающей диаметр электрода в 2,5 раза (рис. 21, 3). Дальнейшее увеличение скорости сварки приводит к образованию подрезов и западин, плохому формированию по границам валика (рис. 21, 4).

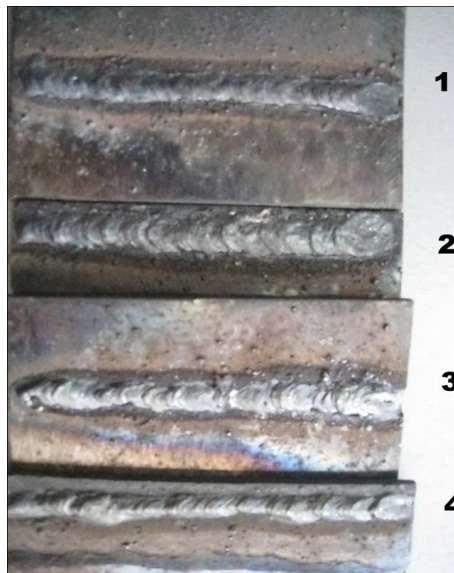


Рис. 21. Внешний вид валиков, выполненных ручной дуговой сваркой:
1 – нормальная скорость сварки при равномерном движении электрода;
2 – нормальная скорость сварки при неравномерном движении электрода;
3 – увеличенная скорость сварки;
4 – очень большая скорость сварки

При очень малой скорости движения электрода вдоль стыка под электродом образуется большое количество жидкого металла, который уменьшает глубину провара. Шов при этом формируется плохо, а металл шва перегревается.

Изделия с толщиной стенки свыше 5 мм сваривают за несколько проходов. Заполнять разделку следует в такой последовательности

(рис. 22,*a*), чтобы между валиками не оставались углубления; в них может скапливаться шлак, который трудно удалить (рис. 22,*б*).

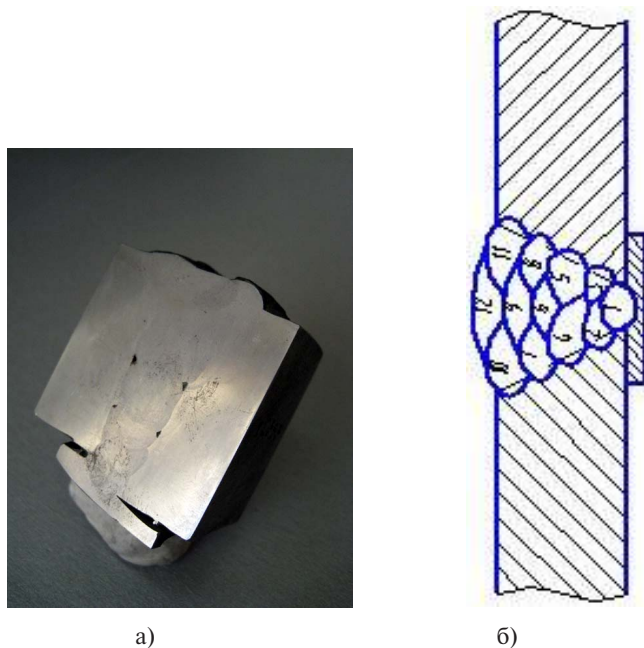


Рис. 22. Заполнение разделки валиками: *a* – последовательность заполнения; *б* – макрошлиф с включениями шлака

Разделку заполняют только валиками (рис. 22,*a*). Заполнять ее слоями не разрешается, так как при этом нужны поперечные движения электродом, что недопустимо. Незначительные колебательные движения электрода допускаются только при выполнении швов в положениях, отличных от нижнего.

Швы, расположенные в вертикальном и потолочном положениях, сваривают при небольших поперечных колебаниях электрода и очень короткой дуге. Важно также правильно подобрать режим сварки этих швов.

Чрезмерно увеличивать силу тока вредно. Сформировать качественно шов в вертикальном или потолочном положениях при сварке большим током не удастся – из-за стекания металла.

Но даже при правильно подобранной силе тока выполнять вертикальные и потолочные швы на хромоникелевых нержавеющей

сталях труднее, чем на углеродистых. Чтобы уменьшить стекание расплавленного металла, сварщик делает резкие движения электродом, быстро меняя место плавления металла. Практически это выполняется так: сварщик зажигает дугу и формирует каплю металла (полочку), затем быстро отрывает дугу в сторону (вверх), формирует вторую каплю металла, опять быстро отрывает дугу и возвращается к первой остывшей капле металла и т. д. Приблизительно такие же движения делает сварщик при выполнении аналогичных швов на углеродистых сталях (елочка), но дуга переносится там более плавно.

Для сварки швов в вертикальном и потолочном положении рекомендуются электроды диаметром не более 4 мм. При сварке электродами диаметром 5 мм и более образуется значительное (избыточное) количество расплавленного металла, который стекает вниз, и валики получаются бугристыми.

Качество шва зависит от умения сварщика правильно заваривать кратер.

Оставлять кратер вогнутым (рис. 23) нельзя, так как в нем могут образоваться трещины. Трещин не бывает на выпуклом кратере, для получения которого необходимо прекратить поступательное движение электрода и уложить несколько капель металла в одну точку.



Рис. 23. Вогнутая форма кратера

Диаметр электрода и силу сварочного тока назначают в зависимости от толщины свариваемого металла и типа сварного соединения.

Стыковые соединения без разделки кромок (бесскосные) можно сваривать электродами диаметром 2–5 мм. Для малых толщин используют диаметры 2–3 мм, для больших – 4–5 мм. Первый про-

ход на стыковых и угловых соединениях с разделкой кромок выполняются электродами диаметром 2–3 мм, последующие – диаметром 4–5 мм.

Применение электрода большого диаметра при сварке первого прохода на соединениях с разделкой кромок приводит к образованию шлаковых включений и непровара в корне шва.

Перед выбором диаметра электрода для выполнения корневого валика необходимо тщательно ознакомиться с собранным стыком: проверить величину зазора и смещения. В местах с малым или нулевым зазором следует менять угол наклона электрода, чтобы увеличить проплавление; в местах с увеличенным зазором, наоборот, нужно уменьшить проплавление, чтобы не было прожога.

Особое внимание следует обратить на скрытые зазоры в соединениях на подкладной полосе, кольце и «в замок» (рис. 19). В такой зазор при дуговой сварке затекает шлак, и швы получаются дефектными. Кроме того, острая кромка оплавляется значительно быстрее, чем тупая. Расплавленный металл и шлак подтекают под кромку, и на снимке при рентгенографировании видна волнистая темная линия — шлаковые включения. Чтобы избежать подплавления острой кромки на соединении «в замок», сварщики наклоняют электрод к острой кромке и направляют дугу на тупую. При зазоре между подкладной полосой и кромками рекомендуется электрод несколько большего диаметра (2,5 мм вместо 2 мм или 3 мм вместо 2,5 мм) и повышенный режим сварки. Большая мощность дуги увеличивает объем сварочной ванны, что способствует меньшему подтеканию шлака и более равномерному оплавлению острых кромок. Заметим, что применение электрода большого диаметра целесообразно только на участке соединения со скрытым зазором.

Техника ручной дуговой сварки хромистых сталей 08X13 аналогична технике сварки малоуглеродистых сталей, если применяются электроды со стержнем из ферритной стали (проволока Св-12X13), или технике сварки аустенитных сталей, если применяются электроды со стержнем из аустенитной стали, но без охлаждения перед выполнением последующих проходов.

3.7.2. Механизированная сварка

При механизированной сварке (в отличие от автоматической) перемещение сварочной дуги по стыку осуществляется вручную. Качество формирования шва зависит в большой мере от умения сварщика равномерно перемещать держатель. Наибольшая точность движения электрода по стыку достигается, если сварка ведется «на себя».

Механизированным методом выполняют в основном угловые и стыковые швы тонкостенных конструкций, а также короткие швы толстостенных конструкций. Наибольшее применение имеет односторонняя полуавтоматическая сварка односторонних и двухсторонних швов. Благодаря применению тонкой электродной проволоки, подаваемой по шлангу, и малым габаритам полуавтомат незаменим при изготовлении тонкостенных изделий, имеющих труднодоступные и криволинейные швы. Кольцевые швы обечаек, днищ, патрубков, фланцев, переходников и других тонкостенных деталей удобно выполнять аппаратом, держатель которого закреплен на штативе.

Точность сборки под механизированную сварку должна быть такая же, как и под автоматическую сварку. В обоих случаях при использовании флюса участки основного металла, расположенные рядом со швом, подвергаются длительному нагреву. Для уменьшения склонности к межкристаллитной коррозии сварку надо производить на максимально возможных скоростях. Шов, обращенный к агрессивной среде, выполняют в последнюю очередь. Если соединение осуществляется короткими многопроходными швами, каждый последующий валик необходимо выполнять после полного остывания ранее выполненного валика или, по крайней мере, до $+100^{\circ}\text{C}$, необходимо помнить, что на кольцевых швах диаметром 130–300 мм при сварке деталей средней толщины (12–15 мм) пауза для остывания металла до -100°C составляет около 20 мин. Следовательно, целесообразнее выполнять сварку одновременно нескольких узлов, даже если потребуются снятие и установка узла во вращателе, манипуляторе и т. п. Обычно время на установку и выверку узла не превышает 5 мин.

3.7.3. Техника сварки в защитных газах

Процесс сварки в защитных газах заметно отличается от процесса сварки под шлаковой защитой. Сварочная дуга здесь открыта и имеется возможность лучше наблюдать за самим процессом. Изменится и характер поведения металла сварочной ванны, так как движения жидкого металла уже не стеснены вязким шлаком. Скорость охлаждения жидкого металла увеличивается вследствие омывания ванны холодным защитным газом. Благодаря этому стала возможной сварка во всех пространственных положениях шва не только вручную, но и всеми механизированными способами. Поэтому техника производства работ коренным образом отличается от техники ручной дуговой сварки и сварки под флюсом.

Техника ручной аргонодуговой сварки предусматривает умение владеть определенными приемами при выполнении сварки, обеспечивающими высокое качество шва.

Перед началом работ следует включить подачу аргона, открыв вентиль на баллоне или на трубопроводе (в случае централизованного снабжения постов газом). Нажатием кнопки на горелке проверить работу расходомера и заодно продуть шланги. Включить подачу воды, если горелка имеет водяное охлаждение, и проверить ее расход по напору на выходе. Установить на реостате величину сварочного тока и по вольтметру проверить величину напряжения холостого хода источника тока. После указанной проверки работы всех элементов сварочного поста можно зажигать дугу. Начинающему сварщику необходимо отработать технику зажигания дуги без коротких замыканий, которые могут привести к порче заточенного конца электрода и засорению металла шва вольфрамовыми включениями.

Дуга возбуждается лучше, если конец вольфрамового электрода разогрет и начался процесс ионизации. Поэтому рядом с местом сварки укладывают угольную или графитовую пластину, на которой и возбуждают дугу. При сварке труб в условиях монтажа графитную пластину крепят в специальной струбцине или клещах, которые устанавливают на трубе. После разогрева электрода на пластине дугу разрывают, и электрод приближают к месту начала сварки. Зажечь дугу теперь можно без касания электродом поверхности изделия. После зажигания дугу удлиняют до 1,5–2 мм.

Полностью избавиться от графитовой пластины можно применением осциллятора. Осциллятор представляет собой устройство, преобразующее ток промышленной частоты и низкого напряжения (40...220 В) в ток высокой частоты (100...300 кГц) и высокого напряжения (2000...6000 В). При подаче импульсов высокого напряжения на промежуток между заготовкой и электродом происходит пробой промежутка искрой, и появляются свободные электроны. Кратковременный искровой разряд развивается в дуговой разряд, создавая условия для горения дуги.

Осцилляторы применяют для бесконтактного зажигания и стабилизации горения дуги при сварке вольфрамовым электродом в защитных газах. Контактное зажигание дуги вольфрамовым электродом не рекомендуется, так как заметно увеличивается расход электрода и возможно появление вольфрамовых включений в металле сварного шва. Используют либо параллельную, либо последовательную схему включения осциллятора в цепь дуги. Технические характеристики некоторых осцилляторов приведены в табл. 14.

Таблица 14

Технические характеристики осцилляторов

Тип	Напряжение, В		Мощность потребляемая, Вт	Частота, кГц	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	Первичное	Вторичное холостого хода				
ОСЦН	220	2300	400	440	390×270×350	35
ОСПЗ-2М	220	6000	44	440	250×170×110	6,5
ОСЦВ-2	220	2300	80	260	300×215×296	16

Однако применение осцилляторов усложняет конструкцию горелки. Необходимо, чтобы все металлические детали горелки были тщательно изолированы от токопровода, а в месте крепления электрода детали корпуса должны быть удалены от него на расстояние не менее 5 мм. В противном случае дуга будет возбуждаться между электродом и корпусом горелки, а не между электродом и изделием.

В процессе освоения техники зажигания дуги без осциллятора не следует злоупотреблять повышением сварочного тока. На повышенном токе дуга возбуждается легче, но зато и вероятность

попадания включений вольфрама в шов заметно возрастает. Следовательно, можно ускорить приобретение навыка в зажигании дуги, но в ущерб качества шва, которое является главным достоинством этого способа сварки.

Наиболее качественно зажигание дуги без осциллятора осуществляется при постепенном нарастании величины сварочного тока. Например, если заранее установить начальную величину тока 30 А и затем после зажигания дуги автоматически повышать ток до заданного значения 90 А, то случаи попадания вольфрама в шов будут исключены.

Хорошие результаты показывает также и ступенчатое нарастание величины сварочного тока после зажигания дуги. Нарастание это на каждой ступени может составлять от 5 до 30 А. Чем больше заданный сварочный ток, тем больше может быть ступень, т. е. в случае, когда рабочая величина равна 150 А, рационально такое ступенчатое нарастание тока: 30–35–45–60–90–120–150 А. Устройствами для автоматического повышения сварочного тока в настоящее время оборудуют специализированные посты для ручной и автоматической сварки.

После приобретения опыта и освоения техники зажигания дуги при сварке на постоянном токе применение осциллятора не обязательно.

Горелку обычно держат в правой руке, присадку — в левой. Сварку ведут справа налево, на присадку. Горелку при сварке располагают так, чтобы хорошо просматривалась сварочная ванна и формирование шва. Если сварку выполняют без присадки или по уложенной на стык присадке, электрод следует держать перпендикулярно к поверхности изделия или с небольшим наклоном от себя. Обычно горелку наклоняют от себя настолько, чтобы был виден конец вольфрамового электрода.

При сварке стыковых соединений одинакового сечения электрод располагают симметрично относительно обеих кромок (рис. 24, а). Сваривая различные толщины, конец электрода слегка направляют на деталь большей толщины, чтобы кромки нагревались от теплового действия дуги одинаково (рис. 24, б). При сварке угловых соединений деталей различной толщины электрод накло-

няют настолько, чтобы обе свариваемые кромки плавилась равномерно (рис. 24,б).

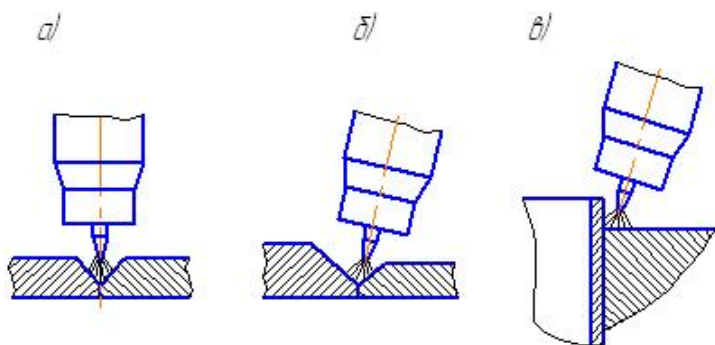


Рис. 24. Влияние вида сварного соединения на наклон электрода

Иначе говоря, сварщик должен уметь правильно распределить тепло, излучаемое симметричным факелом дуги. Наклоном и смещением электрода чуть в сторону от стыка можно добиться различного теплонасыщения свариваемых деталей. Этим широко пользуются сварщики, приваривая тонкостенную деталь к массивной плите. В этом случае можно вовсе не направлять конец электрода на тонкостенную деталь, а краем факела дуги коснуться и расплавить кромку детали, формируя шов на плите.

Сплавление кромок независимо от их толщины должно быть равномерным. В противном случае металл одной детали, которая оплавилась быстрее, может натечь на нерасплавленный металл другой детали, а сплавления не произойдет. Такой дефект часто получается при обварке тонкостенных трубок в трубных решетках, когда обварку выполняет неопытный сварщик. На участках, где трубка оплавилась на большую глубину (по высоте), возможны «прилипание» расплавленного металла трубки к холодному металлу решетки. Макрошлифы такого участка шва, как правило, показывают непровар, т. е. несплавление.

Присадку подают под прямым углом к электроду (рис. 25,а). По мере нагревания присадки от нее периодически отрываются капли металла, которые под действием дуги и поверхностного натяжения укладываются одна к другой, образуя шов с едва заметной чешуй-

чатостью. Металл шва получается плотным и обладает высокими качествами.

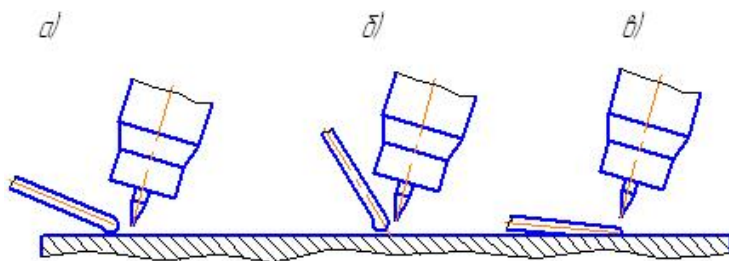


Рис. 25. Расположение присадки относительно электрода

Если угол между присадкой и электродом меньше 90° (рис. 25,б), просмотр сварочной ванны затрудняется. Присадка при этом сильно разогревается. Мощность дуги снижается за счет потерь на бесполезный нагрев присадки. Малейшая неточность в движении сварщика и капля расплавленной присадки может попасть на вольфрамовый электрод. Кроме того, капли присадочного металла, попадающие на нерасплавленные кромки основного металла впереди электрода, плохо сплавляются с основным металлом. При таком положении присадки часто бывают непровары или несплавления между валиками.

Присадка, расположенная под углом больше 90° (рис. 25,в), плавится непрерывной нитью. Сварочная дуга в этом случае переплавляет уже частично расплавленный металл, и на шве почти нет чешуйчатости. Глубина провара при таком положении присадки наименьшая, но одинаковая. Под таким углом располагают присадку при сварке тонкостенных изделий и неповоротных стыков труб с толщиной стойки до 3 мм.

Разогретый конец присадочного прутка нельзя выводить из зоны защиты. Вводить в зону сварки присадочный пруток следует равномерно, без рывков и поперечных колебаний. Резкие движения прутка нарушают спокойное истечение струи газа из сопла горелки, создавая завихрение струн. Завихрения приводят к попаданию воздуха в зону сварки.

После окончания сварки разогретый конец прутка держат под газовой защитой до потемнения металла. Окисленный (черный) конец прутка необходимо удалить. Это особенно важно при сварке ответственных изделий из нержавеющей сталей.

В отличие от других способов аргонодуговая сварка обеспечивает хорошее формирование обратной стороны шва. С обратной стороны, как правило, формируется выпуклый валик. Поэтому термин «глубина провара» применительно к аргонодуговой сварке не точно характеризует сечение шва. При аргонодуговой сварке редко применяются подкладные полосы и кольца. Этот способ заведомо направлен на проплавление, и металл формируется на весу.

Если глубина проплавления недостаточна, получится непровар (рис. 26,а). Наибольшая глубина провара будет, когда кромки полностью расплавятся и сварятся по всей толщине (заподлицо). В идеальном случае внутренний валик не образуется (рис. 26,б). Но добиться такого результата по всей длине шва, особенно в различных пространственных положениях, невозможно. Чаще всего изнутри формируется валик (рис. 26,в). В одном месте он более широк, в другом – узок. Характер формирования внутреннего валика зависит в основном от квалификации сварщика, типа соединения и режима сварки.

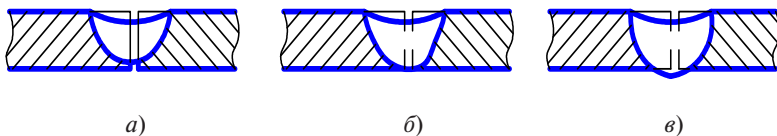


Рис. 26. Схемы формирования шва на весу (поперечные сечения)

Размеры внутреннего валика, выходящего за пределы толщины свариваемых кромок (провара), применительно к сварке неплавящимся электродом принято называть величиной проплавления. Проплавление – это избыточный (чрезмерный) провар. В дальнейшем термин «провар» будет относиться к сечению шва, не выходящему за пределы толщины свариваемых кромок, а термин «проплавление» – к сечению участка шва, выходящего за пределы толщины с обратной стороны шва.

В месте начала сварки, когда сварщик разогревает основной металл, часто образуются чрезмерные проплавления. Они могут быть очагом дефектов – рыхлости, трещин и кратеров с обратной стороны шва. Чтобы предупредить образование дефектов, сварщик должен выработать в себе особое качество – чутье толщины. Тренироваться следует на пластине с аналогичным скосом кромок, на ней проверяется влияние силы тока и времени выдержки на характер провара.

Известно, что чем меньше длина дуги, тем больше глубина провара и, наоборот, с увеличением длины дуги глубина провара уменьшается. На глубину провара и величину проплавления при неизменной длине дуги влияет положение электрода относительно изделия.

Наименьшая глубина провара и величина проплавления получаются при положении горелки с наклоном в сторону, противоположную направлению сварки (рис. 27,а) «углом вперед». Это положение электрода является самым распространенным при сварке всех типов соединений, выполняемых без присадки и с присадкой. Расплавленный впереди электродный металл создает подушку, которая препятствует дальнейшему проплавлению.

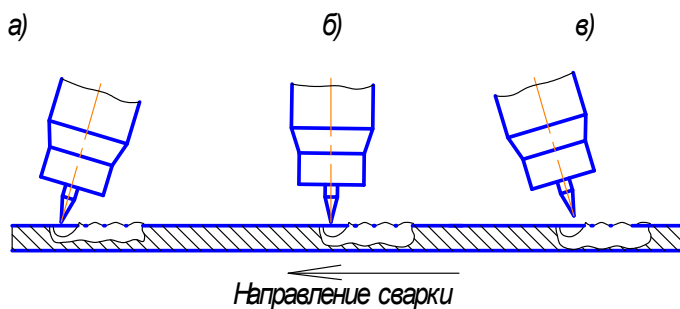


Рис. 27. Влияние наклона электрода на глубину провара

Наибольшая глубина провара и величина проплавления получаются при наклоне электрода по направлению сварки (рис. 27,в) – «углом назад». Расплавленный металл при таком положении электрода под действием дуги «выдувается» из-под электрода, освобождая новый участок основного металла. Вертикальное положение электрода (рис. 27,б) обеспечивает среднее значение глубины провара и величины проплавления.

Рассмотренная зависимость глубины провара от положения электрода в полной мере проявляется при сварке в нижнем положении шва. В процессе сварки «на подъем» наклон электрода меньше влияет на глубину провара. Самостекание расплавленного металла из-под электрода способствует увеличению глубины провара независимо от положения электрода. Правда, в случае, указанном на рис. 27,*а*, глубина провара будет меньше, чем в остальных. Наоборот, при сварке «на спуск» расплавленный металл подтекает под электрод, и глубина провара уменьшается независимо от положения электрода относительно изделия.

Знание зависимости глубины провара и величины проплавления от длины дуги и положения электрода, а также умение использовать эту зависимость особенно важны при сварке неповоротных стыков труб и других ответственных конструкций с различными пространственными положениями швов.

Начиная сварку неповоротного стыка трубы без присадки, электрод направляют радиально, т. е. к центру трубы (рис. 28,*а*). Постепенно переходя от потолочного шва к верхней точке стыка, положение электрода изменяют, отклоняют его от центра трубы вверх (рис. 28,*а*, положение *III*). Наибольшее отклонение электрода будет в положении *II*. Положение электрода при сварке того же стыка с присадкой показано на рис. 28,*б*.

До начала работ сварщик должен ознакомиться с особенностями свариваемого соединения, руководствуясь чертежом или внешним осмотром деталей непосредственно перед сборкой узла.

Для подбора режима сварки необходимо знать тип сварного соединения и толщину свариваемых кромок. Это особенно важно при выполнении корневого валика на деталях с переменным сечением, когда теплоотвод значительно изменяется на протяжении одного стыка.

Для примера возьмем сварное соединение кованых колец (рис. 29).

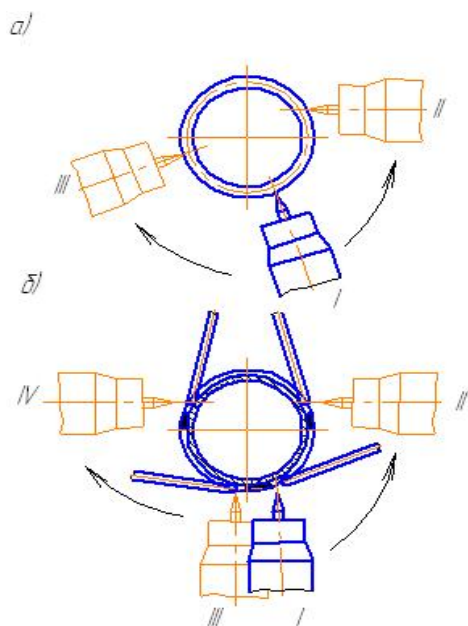


Рис. 28. Положение электрода при ручной аргодуговой сварке неповоротных стыков труб: а) сварка без присадки; б) сварка с присадкой

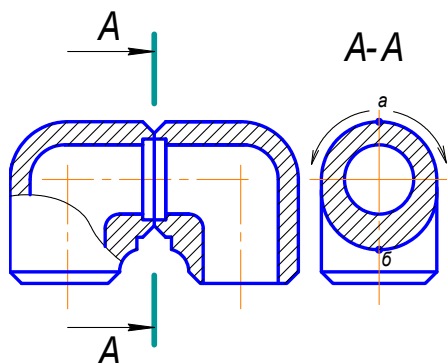


Рис. 29. Сварное изделие с переменной толщиной стенки

В точке *a* свариваемые детали менее массивны, чем в *б*. Если начать сварку в точке *б* и не менять силу сварочного тока или скорость сварки, то по мере приближения к точке *a* величина проплавления будет расти. Причина увеличения проплавления – уменьшение

теплоотода от менее массивных свариваемых кромок и, следовательно, более интенсивный нагрев детали. Если при подборе режима сварки взять за основу степень провара в точке *a*, принять этот режим сварки для всего стыка и начинать сварку в точке *б*, то здесь получится непровар. Правильно будет начинать сварку в точке *a* и двигаться к *б*. Нагрев кромок по мере приближения к точке *б* будет увеличиваться, но постоянно растет и теплоотвод, так как в этой точке детали имеют самое большое сечение. В результате получится равномерное проплавление. После сварки первой половины стыка детали кантуют и выполняют сварку второй половины, начиная с точки *a* и двигаясь к *б*.

Когда корень шва хорошо проварен, сварка последующих валиков, выполненных с присадкой, существенно не влияет на величину проплавления. Поэтому начинать сварку с присадкой после выполнения корневого валика можно в любом месте стыка. Выполнять ее следует на короткой дуге, чтобы размеры сварочной ванны были минимальными. Расплавленный присадочный металл должен формироваться ровным узким валиком с заметной чешуйчатостью. Поверхность валика должна быть светлой, без окисленных участков.

Большое влияние на формирование валика и качество защиты оказывает скорость сварки. При нормальной скорости и хорошем качестве защиты валик имеет плавные очертания. При неравномерной скорости сварки валик получается бугристым. Расплывчатый валик – первый признак пониженной скорости. При очень малой скорости сварки «вразмазку» валика как такового нет, металл шва перегревается, а поверхность шва защищена плохо. Кроме скорости сварки на защиту шва в этом случае оказывает влияние длина дуги. Сварку с поперечными колебаниями электрода и присадки сварщик может выполнять только при увеличении длины дуги в 1,5–2 раза.

Качество шва зависит и от умения сварщика правильно заканчивать сварку, или, как говорят, уметь плавно гасить дугу во избежание свищей. Заканчивая сварку, необходимо постепенно удлинять дугу и увеличивать скорость ее перемещения. Удлинением дуги уменьшается глубина проплавления, и кратер, постоянно следующий за электродом, выходит на поверхность ранее выполненного участка шва. Увеличением скорости сварки уменьшается объем сварочной

ванны, что также способствует выводу кратера на поверхность валика и предотвращает образование свищей и рыхлости.

Значительно ускоряется вывод кратера на поверхность валика при увеличении наклона горелки. Если к моменту разрыва дуга горит как бы по касательной ко шву, следов кратера на валике не обнаруживается.

При выполнении сварки с присадкой гашение дуги начинают после прекращения подачи присадочной проволоки. Очень важно овладеть приемами заполнения присадкой участка шва, где заканчивается процесс сварки. Этот участок, как правило, подвержен наибольшему нагреву. Следовательно, здесь надо ожидать наибольшей усадки металла шва. Расположенные рядом участки относительно остывшего металла сдерживают усадку. В результате на этом участке шва образуется рыхлость — потеря сплошности металла вследствие действия концентрированных усадочных напряжений. Рыхлость может не образоваться, если в конце сварки перед самым гашением дуги увеличить поступление присадочного металла в сварочную ванну. Аналогично поступает сварщик при сварке плавящимся электродом, когда при заделке кратера он прекращает поступательное движение электрода и укладывает несколько капель расплавленного металла в одном месте.

Техника механизированной сварки неплавящимся электродом в защитных газах. Эта техника аналогична технике ручной аргонодуговой сварки с присадкой. Основное различие состоит в том, что здесь подача присадочной проволоки механизирована и сварщик не может влиять на изменение ее количества так точно, как он это делает при ручной сварке.

Однако изменением скорости движения пистолета и тщательной отработкой техники наплавки валика (на пластине) с точной регулировкой скорости подачи проволоки в зависимости от силы тока и типа соединения можно добиться хорошего формирования валика, равномерного по ширине и высоте.

Возможность вести электрод вслед за постепенно плавящейся присадкой, выходящей из мундштука, жестко связанного с пистолетом, значительно облегчает поддержание постоянной длины дуги, чем исключается необходимость держать пистолет на весу.

Эта особенность техники полуавтоматической сварки заметно снижает утомляемость сварщика и способствует повышению производительности труда и улучшению качества сварных швов.

Обычно сварщик держит пистолет в одной руке, а второй слегка поддерживает шланги, одновременно наблюдая за процессом плавления и формирования валика. Если сварка выполняется пистолетом, опертым на присадку, то наблюдать за процессом сварки нет надобности. При выполнении коротких горизонтальных и наклонных стыковых и угловых швов полуавтоматом ПДГ-30843, когда необходимо на ходу менять направление подачи проволоки, целесообразно второй рукой поддерживать головку пистолета в месте крепления направляющих роликов. Такой прием позволяет непрерывно вести обварку штуцера или квадратного наварыша, не меняя положения пистолета и позы сварщика, а только меняя направление подачи проволоки поворотом мундштука (направляющих роликов) вокруг сопла.

Техника механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах по многим особенностям и приемам напоминает технику механизированной сварки под флюсом. Здесь также необходимо стремиться к малому вылету электрода и тщательно подбирать силу тока соответственно принятой скорости подачи проволоки. Также с наклоном электрода (пистолета) уменьшается глубина проплавления, если сварку выполнять «углом вперед», и, наоборот, увеличивается — если «углом назад». Совпадает и влияние полярности тока (при обратной полярности глубина проплавления больше, чем при прямой).

Есть в технике сварки плавящимся электродом и существенные отличия от сварки под флюсом. Основное состоит в том, что процесс плавления металла в защитных газах можно наблюдать, а значит, и управлять формированием валика. Это особенно важно при выполнении сварки многопроходных швов, когда имеют место узкие и глубокие западания между предыдущими валиками, которые легко исправить при наложении последующего.

Существенным отличием является возможность выполнять сварку в защитных газах во всех пространственных положениях, а также возможность варьировать режимами и характером плавления

проволоки, используя различные газы (струйный, крупнокапельный, короткими замыканиями).

Полуавтоматическую сварку швов в нижнем положении желательнее выполнять в гелии, так как возможно создать струйный процесс, характеризующийся спокойным плавлением проволоки, без брызг. Углекислый газ позволяет вести лишь процесс в режиме коротких замыканий. Здесь необходимо особенно тщательно защищать прилегающие поверхности от брызг.

Зажигание дуги является весьма ответственным моментом в освоении техники полуавтоматической сварки в защитных газах. Относительно большая скорость подачи тонкой проволоки при небольшой величине тока приводит к «закорачиванию» электрода. Основная причина этого заключается в недостаточной величине тока короткого замыкания и скорости его нарастания.

Не все источники питания дуги обладают соответствующей способностью быстро реагировать на короткое замыкание и мгновенно расплавлять участок проволоки между мундштуком и изделием. Сварочные преобразователи типа ПС с крутопадающей внешней характеристикой не пригодны для сварки тонкой проволокой. Для этой цели лучше всего использовать преобразователи с жесткой внешней характеристикой типа ПСГ.

Надежное зажигание дуги непосредственной подачей проволоки диаметром 1,2 мм осуществляется при токе короткого замыкания не менее 400 А. Время, в течение которого ток нарастает до этой величины, должно быть около 0,003 сек.

Важно также, чтобы источник питания обеспечивал быстрое нарастание напряжения после короткого замыкания. У источников с жесткой характеристикой пик напряжения после короткого замыкания превышает по величине напряжение холостого хода.

Полуавтоматической сваркой плавящимся электродом выполняют стыковые, угловые и тавровые соединения на конструкциях из нержавеющей стали толщиной свыше 1 мм. Особенно успешно выполняют однопроходную сварку полуавтоматом ПДГ-30843, пистолет которого пригоден для самых труднодоступных мест и снабжен приставками для дополнительной защиты нагретого металла от воздуха.

Техника автоматической сварки неплавящимся электродом в защитных газах имеет свои характерные особенности. При автоматической сварке, как и при ручной аргонодуговой, после включения защитного газа до зажигания дуги выдерживается время, необходимое для продувки шланга и горелки автомата. Если свариваются ответственные конструкции, до включения аргона на сварку следует включить подачу газа на защиту обратной стороны шва. У большинства автоматов подготовительные операции по включению газа, продувке и подаче его на поддув автоматизированы и выполняются по заранее заданной программе.

Отработку техники сварки следует начать с установки вольфрамового электрода, регулировки его вылета и изменения формы заточки конца электрода. Все это имеет большое значение для получения качественного шва, особенно при сварке деталей со скосом кромок. Смещение электрода на 1 мм от линии стыка приводит к непровару по всей длине стыка. Непровар может получиться от непостоянства длины дуги. Если при сварке труб ось автомата не совпадает с осью трубы, электрод на отдельных участках шва удаляется от кромок и получается непровар. Погрешность в настройке и установке электрода особенно сказывается при сварке на малых токах порядка 40–50 А. Например, при сварке труб 12×1 из-за смещения электрода на 0,5 мм получается непровар по всему периметру шва. Увеличение длины дуги или смещение ее по отношению к выступающей кромке даже на 0,5 мм при неправильном положении сварочной головки по отношению к трубе также приводит к непровару или несплавлению кромок на значительном участке шва.

На рис. 30 показано, как изменение расстояния между концом электрода и кромкой штуцера, привариваемого к трубе, может привести к непровару (несплавлению кромок) в корне шва. Причинами изменения расстояния могут быть плохая центровка автомата, когда осевая автомата не совпадает с осевой трубы, и плохая сборка, когда имеет место перекосяк стыкуемых деталей.

Чтобы избежать непроваров, необходимо пользоваться устройством для автоматического поддержания длины дуги или тщательно отрегулировать копирное устройство и проверить положение

ние электрода относительно линии стыка при холостом движении сварочной головки.

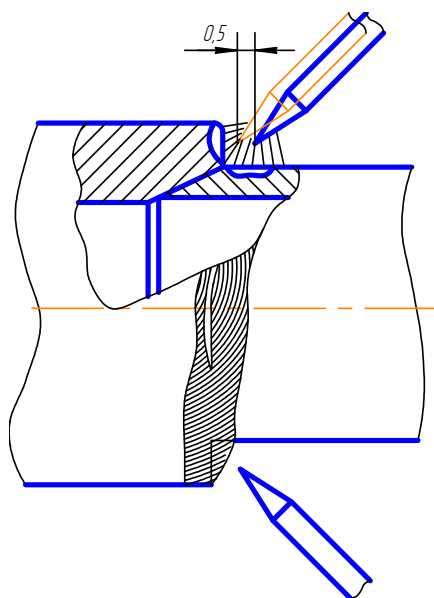


Рис. 30. Несплавление кромок (непровар) в результате смещения электрода

Если на автомате не установлено устройство для автоматического слежения контура соединения, сварщик-автоматчик при сварке плоскостных конструкций с прямолинейными и криволинейными швами регулирует положение электрода вручную. Труднее регулировать движение электрода при сварке кольцевых швов на деталях малого диаметра. Зато кромки кольцевых соединений обрабатываются с большей точностью, чем кромки листовых конструкций. Если электрод установлен правильно, он может сместиться только при наличии дефекта у механизма сварочной головки автомата. Большой дефект кроме непровара может привести и к замыканию между электродом и свариваемой кромкой детали. Чтобы избежать это при «люфтах», следует увеличить длину дуги. Тепловая мощность дуги возрастает, и погрешность в установке электрода играет меньшую роль. Ширина шва увеличивается, а глубина провара

уменьшается. Однако с увеличением длины дуги ухудшается качество защиты металла шва.

Прежде чем начать автоматическую сварку стыка, свариваемые кромки надо прогреть и расплавить. Поэтому после зажигания дуги сварочная головка автомата некоторое время не двигается. Длительность выдержки регулируется с помощью реле времени. Для различных типов сварных соединений эта выдержка различна и зависит в основном от толщины свариваемых кромок. Если выдержка мала, сварка кромок не получается – каждая кромка при этом оплавляется, а зазор между ними увеличивается. Наоборот, длительная выдержка в начале процесса ведет к чрезмерному проплавлению, похожему на кратер. Следовательно, с помощью реле времени надо точно отрегулировать выдержку, обеспечивающую нормальное проплавление для каждой толщины свариваемых кромок.

Величина выдержки в начале сварки листовых и трубных конструкций влияет на образование пор. Замечено, что в большинстве случаев поры образуются в начале шва. Причина этого – недостаточный прогрев кромок в месте образования сварочной ванны. Последняя в начальный момент быстро охлаждается из-за большого теплоотвода в соседние холодные участки металла, и пузырьки газов не успевают выйти на поверхность. У нержавеющей сталей теплоотвод меньше, чем у малоуглеродистых, но не считается с ним нельзя. После зажигания дуги электрод должен стоять на месте до тех пор, пока металл достаточно не нагреется и все пузырьки газов не успеют выйти на поверхность ванны. Дальнейшее движение дуги с оптимальной скоростью обеспечивает достаточную степень теплонасыщения металла, так как несваренные кромки заранее прогреваются движущимся источником тепла.

При сварке стыков труб малого диаметра (до 40 мм) в месте совмещения начала и конца сварки («замка» шва) получается большое проплавление даже при правильно выбранном режиме и соблюдении всех требований по технике сварки. Это происходит потому, что при возвращении электрода к месту начала сварки дуга проходит по ранее нагретому участку трубы. Предварительный нагрев равноценен увеличению силы тока, вследствие чего увеличивается площадь зоны расплавления основного металла.

Есть два способа уменьшить такое проплавление. Первый предусматривает резкое уменьшение (вручную или автоматически) силы тока в конце сварки. Место и величина уменьшения тока определяются опытным путем. Второй заключается в выборе рационального места начала сварки. У трубных соединений с горизонтальной осью наибольшее проплавление получается в верхней точке стыка, т. е. при сварке в нижнем положении (рис. 31).

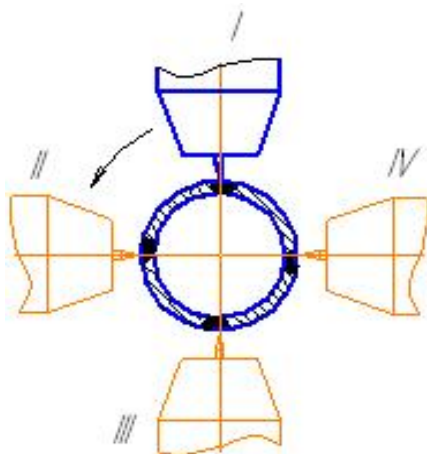


Рис. 31. Схема изменения характера формирования валика и глубины проплавления в зависимости от положения электрода

Наименьшее проплавление получается при сварке в потолочном положении шва. Это объясняется тем, что вес расплавленного металла и давление дуги в нижнем положении шва складываются и по величине и по направлению (вниз), а в потолочном они действуют навстречу друг другу. Если начинать сварку в потолочном положении шва «на спуск» или «на подъем» (положение II–III–IV на рис. 31), избыточного проплавления можно избежать, так как дважды будет нагреваться участок с наименьшим проплавлением (положение II–III).

Участок гашения дуги при окончании автоматической сварки труб должен иметь достаточную протяженность, чтобы обеспечить выведение кратера на поверхность шва.

В процессе сварки с присадкой рекомендуется менять место начала каждого прохода. Для этого свариваемые трубы небольшой длины после выполнения первого прохода поворачивают на 150–200° или (в монтажных условиях) начинают сварку второго прохода в точке, смещенной относительно начала первого на 30° и более.

Большое влияние на качество шва при автоматической сварке неплавящимся электродом оказывает правильность установки присадки. Если присадка касается поверхности изделия, дуга горит между электродом и присадкой. Достаточно сместить присадку в сторону на 1–2 мм, как дуга тоже увлекается за ней, и шов получается криволинейным. В результате этого может образовываться непровар или незаполнение разделки – дефект типа подреза. Это явление чаще всего бывает при сварке стыковых соединений без разделки кромок, у которых нет канавки для направления присадки, и когда применяется сильно нагартованная присадка. При отсутствии канавки на многоваликовом шве присадку следует направлять так, чтобы она постоянно прижималась к впадине между валиками или к боковой стенке разделки. Значительно уменьшается возможность образования криволинейных швов при наименьшем вылете присадки, а также если используется умеренно нагартованная проволока.

В случаях, когда криволинейность швов и подрезы (незаполнения) недопустимы, следует поднять присадку так, чтобы она не касалась изделия.

Характерным признаком шва, выполненного с «висячей» присадкой, является резко выраженная чешуйчатость (рис. 32).



Рис. 32. Внешний вид шва, выполненного с «висячей» присадкой

По внешнему виду это напоминает шов, выполненный импульсной сваркой (рис. 32). Однако необходимо отметить, что металл шва здесь получается более плотным, так как ванна поддерживается постоянной и только импульсами плавится (поддается) присадка. При импульсной же сварке из-за периодичности плавления (кристаллизации) ванна то появляется, то исчезает. Поэтому условия формирования швов в обоих случаях резко отличаются друг от друга. По характеру кристаллизации ванны автоматическая сварка с «висячей» присадкой очень близка к способу ручной дуговой или аргодуговой сварки, когда присадочный металл подается в ванну каплями.

При сварке горизонтальных швов присадку следует устанавливать со смещением вверх относительно электрода. Это исключает образование подрезов в верхней части шва.

Важно также правильно установить присадку по отношению к электроду в продольном направлении, особенно для формирования кольцевых швов.

Если ее недослать под электрод (рис. 33,а, I), то основная мощность дуги в начале сварки расходуется на разогрев основного металла. Даже при нормальной выдержке в этом месте образуется чрезмерное проплавление (рис. 33,а, II). После окончания сварки появляется оседание шва, которое можно исправить только дополнительной подваркой этого участка (рис. 33,а, III).

Выступающий за ось электрода конец присадки (рис. 33,б, I) после расплавления приводит к образованию большой капли (рис. 33,б, II). Размеры капли еще увеличиваются после окончания сварки (рис. 33,б, III). Это ухудшает внешний вид шва, а иногда может привести к образованию дефекта – несплавлению. Последнее объясняется тем, что основная тепловая мощность дуги в начале сварки расходуется на расплавление присадки. Металл, расположенный под ней, окажется недостаточно нагретым для хорошего сплавления.

Присадка установлена правильно, если конец ее находится точно под электродом и недослан на 1–1,5 мм (рис. 33,в, I). При таком положении присадка плавится одновременно с основным металлом. После включения движения сварочной головки количество наплавленного металла увеличивается постепенно (рис. 33,в, II),

валик формируется хорошо – нет провалов и несплавлений (рис. 33, в, III).

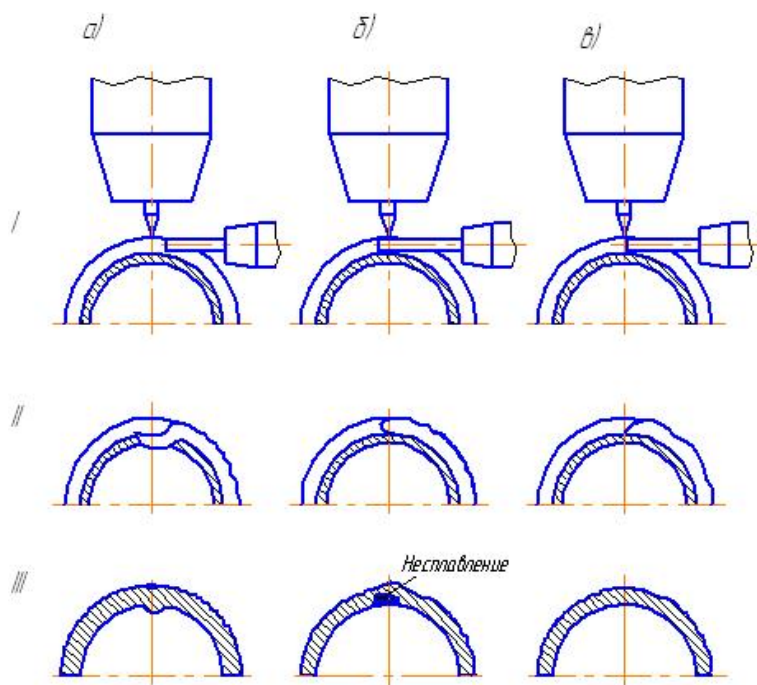


Рис. 33. Положение присадки по отношению к электроду в момент начала сварки: а, б) неправильное положение; в) правильное положение; I – подготовительный период; II – начало сварки; III – окончание сварки

Все сказанное справедливо при правильно отработанной технике перекрытия места начала сварки. Перекрытие при автоматической сварке в отличие от ручной следует предусмотреть в начале сварки. Для этого сварочная головка устанавливается в положение «до микровыключателя» настолько, чтобы окончание подачи присадки произошло в точке, где сформировался нормальный по сечению (очертанию) валик. Перекрытие для каждого кольцевого шва подбирают опытным путем, но, как правило, оно не превышает 5 мм. При этом важно иметь равномерное очертание валика в начале шва. На очертание начального участка валика влияет состояние конца присадки. Часто после выполнения предыдущего

шва на конце присадки остается капля металла. Эта капля образует в начале следующего шва (а при кольцевом шве — в конце сварки) холмик, часто скрывающий в себе несплавление. Чтобы этого не произошло, следует удалять конец присадки после выполнения каждого валика. Рекомендуется удалять конец присадки еще и потому, что он почти всегда окислен.

Выполнение рассмотренных рекомендаций по технике автоматической сварки неплавящимся электродом — залог получения высококачества сварного соединения и хорошего внешнего вида шва.

Техника автоматической сварки плавящимся электродом в защитных газах заметно отличается от техники сварки неплавящимся электродом из-за большой сложности условий протекания процессов плавления и формирования металла шва. Отрабатывая технику сварки на автоматах тракторного типа, можно использовать рекомендации по технике сварки под флюсом с учетом соответствующих требований по обеспечению качественной защиты металла от воздуха.

Отработку техники сварки на автоматах типа АСС, АСП и др., предназначенных для сварки тонкостенных труб и патрубков (с толщиной стенки более 8 мм), следует начать с приобретения навыков в управлении процессом формирования валика во всех пространственных положениях шва. Процесс плавления проволоки и формы ванны во многом определяются режимом сварки: скоростью подачи проволоки, скоростью сварки и режимов поперечного перемещения электрода, напряжением дуги.

3.8. Защита металла при сварке от окружающей среды

Качественное сварное соединение, выполненное любым способом сварки, можно получить, строго соблюдая требования по защите расплавленного металла от воздействия воздуха.

Хром, содержащийся в нержавеющей стали, обладает большим сродством с кислородом. При температуре плавления металла он активно окисляется, соединяясь с кислородом. Если не защитить расплавленный металл от вредного действия воздуха, содержание хрома в стали настолько понизится, что сталь станет ржавеющей, так как потеряет свои антикоррозионные свойства. Такое состояние может

наступить у хромистых сталей 08X13 или 12X13 после окисления не менее 2% хрома, у хромистых сталей 12X17 и хромоникелевых, например 12X18Н9Т – после окисления 5% хрома и более.

Характерным признаком окисления хрома при сварке является потеря блеска металла и образование шлаковидной корки на поверхности шва.

Черный налёт на поверхности валика (рис. 34), плохая отделяемость шлака или окисной плёнки при зачистке свидетельствуют о неудовлетворительной защите металла при сварке.



Рис. 34. Внешний вид шва, выполненного АРДС с некачественной защитой от воздуха при сварке

Эффективность газовой защиты зависит от формы и размеров сопла горелки, расположения сопла над свариваемым изделием, расхода газа и типа сварного соединения.

Форма и размеры сопла должны обеспечивать спокойное истечение газа и достаточно устойчивую зону защиты сварочной ванны. Диаметр выходного отверстия сопла при сварке вольфрамовыми электродами диаметром 1,5–2 мм должен быть не менее 7 мм. Меньшее выходное отверстие не обеспечивает качественной защиты сварочной ванны. С увеличением диаметра сопла и расхода газа до определенных пределов повышается эффективность газовой защиты.

Наиболее распространенными являются сопла с диаметром выходного отверстия 10–15 мм. Сопла могут иметь различные формы в месте выхода газа: цилиндрическую, сужающегося или расширя-

ющегося конуса, овальную, щелевую и др. Широко применяется форма, показанная на рис. 35.

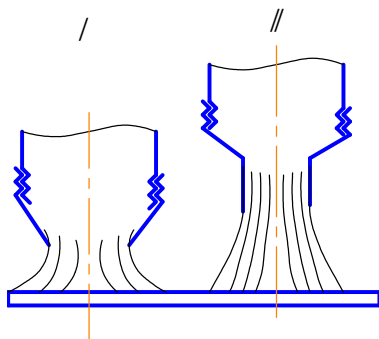


Рис. 35. Форма сопел для сварки в среде защитных газов

Горелка с соплом формы *I* обеспечивает самый большой охват поверхности изделия газовым потоком. Сварщик может свободно манипулировать такой горелкой и присадкой без боязни ухудшить защиту металла сварочной ванны. Хорошая защита обеспечивается на расстоянии не более 10 мм от торца сопла. Плотность газовой струи на большом расстоянии уменьшается и становится недостаточной для защиты от воздуха. Сопло формы *I* устанавливается на горелках для автоматической и аргодуговой сварки недоступных соединений.

Сопло формы *II* применяют при сварке в стесненных условиях. Газовая струя, выходящая из этого сопла, также имеет коническую форму, но высокая плотность ее сохраняется на большем расстоянии от торца. Такая форма сопла позволяет увеличить вылет электрода, что очень важно для сварки швов, расположенных в труднодоступных местах. Например, сварку «носкового» соединения из труб можно осуществить только горелкой с соплом формы *II*. Длина цилиндрической части сопла должна быть примерно равной диаметру выходного отверстия. Такая конструкция обеспечивает лучшую защиту, чем сопло формы *I*, поэтому везде, где есть возможность, следует применять сопло формы *II*.

При монтаже трубопровода и изготовлении теплообменников приходится применять горелку с минимально возможной высотой головки. Для такой горелки лучше применять сопло формы *I*. Зону

защиты поверхности изделия газовым потоком можно увеличить, повысив расход газа.

При аргонодуговой сварке плавящимся электродом применяют сопла формы *I* с диаметром выходного отверстия, равным 14–25 мм.

Большое влияние на эффективность защиты оказывает расположение сопла относительно изделия. Чем меньше расстояние между соплом и свариваемым изделием, тем лучше защита сварочной ванны. Возьмем для примера сопло диаметром 12 мм, а расход газа примем 6 л/мин. На расстоянии 5 мм от изделия такое сопло обеспечивает хорошую защиту зоны шириной до 15 мм. На расстоянии 25 мм от изделия ширина зоны хорошей защиты уменьшается до 7 мм. Фактически весь шов будет окисленным.

Чем больше расход газа, тем эффективнее защита, если при этом не начнется завихрение струи защитного газа. Эта зависимость может наблюдаться, например, при диаметре сопла 20 мм. Увеличение расхода газа при использовании такого сопла улучшает защиту, пока расход не будет около 15 л/мин. Дальнейшее увеличение создает завихрения при истечении газа, что снижает эффективность защиты. При завихрениях наружные слои газа захватывают воздух и загрязняют защитную струю. Следовательно, не всегда можно добиться хорошей защиты увеличением расхода газа.

Положение цанги с электродом в горелке автомата также влияет на эффективность защиты. Подбирая наилучшую защиту шва, следует зафиксировать соответствующее положение цанги (по вылету электрода). Регулирование высоты электрода над изделием у большинства автоматов связано с опусканием или поднятием цанги с электродом.

При сварке без присадки электрод устанавливается обычно на высоте 1–2 мм от поверхности изделия (рис. 36,а). Если используется присадка, электрод приподнимают на высоту 3–4 мм над изделием (рис. 36,б). С поднятием цанги увеличивается сечение выходного отверстия сопла. Это приводит к уменьшению плотности газовой струи при неизменном расходе газа почти в 1,5–2 раза. Защита шва резко ухудшается. Чтобы избежать этого, необходимо сохранять постоянным вылет вольфрамового электрода из цанги при подборе расхода газа и затем в процессе сварки.

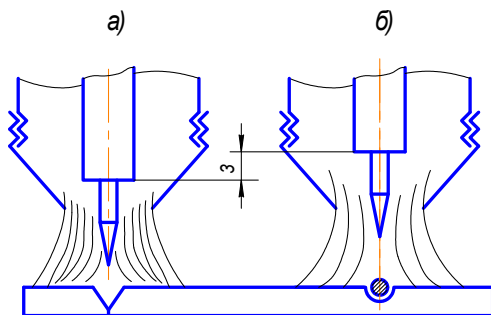


Рис. 36. Влияние положения цанги на эффективность защиты

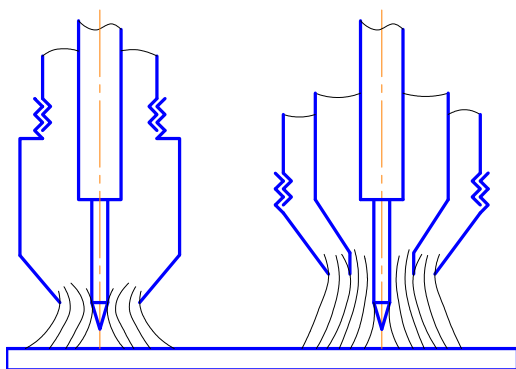


Рис. 37. Форма сопла, исключая влияние положения цанги на эффективность защиты

Можно полностью избавиться от необходимости фиксации цанги и электрода, если применять бочкообразное сопло (рис. 37,а).

Такое сопло в районе перемещения цанги имеет цилиндрическую форму. Подъем или опускание цанги здесь не влияет на изменение плотности газовой струи по всему сечению выходного отверстия, и защита будет одинаковой при сварке без присадки и с присадкой.

Менее чувствительна к изменению эффективности защиты от положения цанги горелка с двойным соплом (рис. 37,б).

Ее использование позволяет уменьшить общий расход газа. В наружное сопло диаметром 20 мм следует подавать газа не более 1,5 л/мин, во внутреннее диаметром 12 мм – около 2,5 л/мин. Для сравнения можно сказать, что горелка с одинарным соплом диа-

метром 15 мм является эффективной, если расход газа составляет не менее 6 л/мин.

Наружная кольцевая струя газа у двойного сопла служит своеобразным экраном для основной, внутренней струи. Оттесняя воздух, наружная струя смешивается с ним, увлекая его и не допуская соприкосновения с разогретым металлом шва. Кроме того, наружная струя газа сжимает внутреннюю и увеличивает ее плотность, что также благоприятно сказывается на качестве защиты. Чрезмерное увеличение подачи газа через наружное сопло усиливает завихрения и резко ухудшает качество защиты. Двойное сопло лучше, чем одинарное, защищает зону сварки от проникновения воздуха со стороны подачи присадки.

У многих горелок подача защитного газа в сопло осуществляется через прорези в цанге. Иногда ширину этих прорезей увеличивают, чтобы улучшить доступ газа к соплу. Такое изменение конструкции цанги не всегда обеспечивает высокое качество защиты. Струя направленного газа, выходящего из прорезей цанги, все равно будет плотнее, чем соседние струи увлекаемого газа.

Общая струя газа, вышедшего из сопла, неодинакова по плотности и не обеспечивает равномерной защиты зоны сварки. Эффективность повышается, если внутри сопла впаять сетку, которая выравнивает плотность газовой струи по сечению. Однако в практике такие сопла не нашли широкого применения. Вместо сетки чаще делают дополнительные отверстия в цанге или в державке для нее. Благодаря этому достигается выравнивание плотности газовой струи перед выходом ее из сопла.

Иногда неточность установки электрода по стыку стремятся компенсировать увеличением ширины шва, т. е. удлинением дуги. При этом заметно ухудшается защита от окисления. Характерными признаками ухудшения защиты является губчатое формирование валика, серый налет, желтые пятна и цепочка открытых пор на черной поверхности шва.

Техника подачи присадки существенно влияет на эффективность защиты. Ударяясь о присадку, струя газа разбивается, и создаются завихрения. Вместе с присадкой в зону сварки подается смесь аргона с воздухом.

Защита улучшается, если сварку выполнять по уложенной в разделку присадке (прутка – для плоских соединений; кольца – для трубных соединений). При автоматической сварке неплавящимся электродом эффективность защиты можно повысить, применяя дополнительную отдувку воздуха из сопла, расположенного со стороны подачи присадки.

Скорость сварки при неизменном расходе газа влияет на эффективность защиты, которая снижается с увеличением скорости. Это особенно важно учитывать при ручном способе.

Резкие движения или изменения скорости сварки нарушают спокойное истечение газа (рис. 38). В результате нагретые участки шва и электрода могут оказаться в среде воздуха и мгновенно окислиться.

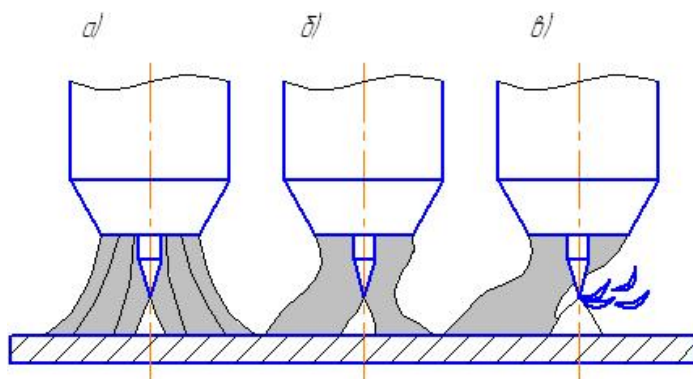


Рис. 38. Влияние скорости сварки на эффективность газовой защиты:
а) нормальная; б) повышенная; в) недопустимо высокая скорость сварки

Степень защиты многопроходных швов во многом зависит от температуры металла после выполнения предыдущих валиков. Чем больше нагрет металл, тем хуже защита поверхности шва. Эту зависимость можно использовать при подборе расхода газа. Валики, выполненные автоматической аргонодуговой сваркой с различной выдержкой времени после остывания трубы, имеют неодинаковую поверхность. Так, на холодной трубе валики всегда будут иметь более чистую, блестящую поверхность по сравнению с теми, которые навариваются на неостывший металл. Защита поверхности последнего валика многослойного шва значительно хуже остальных по качеству.

После зачистки поверхности валиков наждачной бумагой такой образец может служить эталоном для определения качества защиты поверхности шва. Один валик этого эталона должен иметь идеальную защиту, к которой нужно стремиться, другой – недопустимую.

При сварке на ветру или сквозняке следует устанавливать плотные ограждения. Поперечный поток воздуха может отдувать струю газа, что приведет к окислению шва и электрода. Очевидно, что сопло с меньшим отверстием обеспечивает лучшую защиту от воздействия поперечного потока воздуха благодаря более плотной газовой струе.

Эффективность защиты зависит от типа сварного соединения. Изделия с различной поверхностью неодинаково отражают струю защитного газа.

На рис. 39 показаны четыре типа сварных соединений, наиболее часто встречающихся в практике. Для сварки в глубокой разделке (рис. 39,а) требуется весьма небольшой расход газа, чтобы получить хорошую защиту. Свариваемые кромки в этом соединении хорошо отражают струю газа и уплотняют ее, не допуская воздух к сварочной ванне. Шов имеет блестящую поверхность без налета.

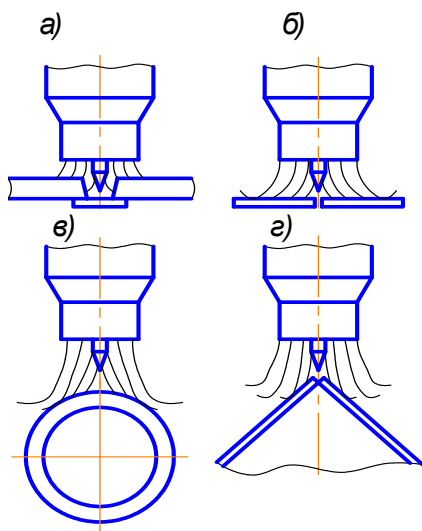


Рис. 39. Влияние вида соединения и формы изделия на эффективность газовой защиты

На плоском соединении без фаски (рис. 39,б) при таком же расходе газа защита шва хуже, чем в предыдущем случае. Отражаясь от плоской поверхности, струя газа задерживается около места сварки и может частично смешаться с воздухом. Еще хуже защита при сварке труб (рис. 39,в) и особенно – листов углом наружу (рис. 39,з). У трубы есть небольшая отражающая поверхность, а соединение листов (в угол) такой поверхности не имеет. Струя газа на таких обтекаемых соединениях не задерживается. Качество защиты в этих случаях можно повысить увеличением расхода газа или применением отражающих экранов.

Уложенные на обтекаемую поверхность пластинки (рис. 40) позволяют значительно улучшить качество защиты с одновременным уменьшением расхода газа в 1,5 раза. Вместо экранирующих пластинок при сварке труб можно применять съёмную камеру (рис. 41).

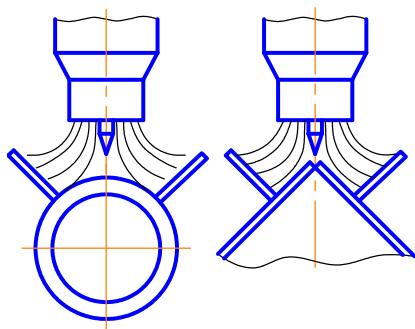


Рис. 40. Повышение эффективности защиты с помощью отражающих экранов

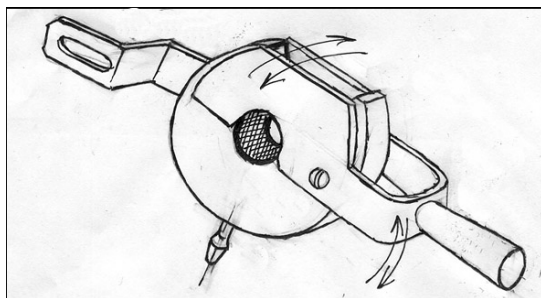


Рис. 41. Съёмная камера для дополнительной защиты при ручной сварке стыков труб



Рис. 42. Горелка с приставкой для дополнительной защиты шва

Качество защиты металла шва при сварке плавящимся электродом может быть значительно улучшено, если горелку снабдить дополнительным устройством (приставкой), которое крепится на сопло. Отверстия в приставке необходимо расположить так, чтобы обеспечивалась наиболее эффективная для данного соединения защита (рис. 42). Расход газа, подаваемого в приставку, подбирается опытным путем.

При формировании шва на весу (со сквозным проплавлением) необходимо предусмотреть дополнительную защиту обратной стороны шва от воздействия воздуха. Наличие окисной пленки на внутренней поверхности у ответственных конструкций недопустимо.

Если обратная сторона шва доступна для подведения шланга, защиту поверхности осуществить просто. К шлангу крепится сапужок – устройство типа раструба, кромки которого касаются изделия, и защитный газ не отдувается потоками воздуха, а удерживается на неостывших участках. Конфигурацию сапужка выбирают в зависимости от очертаний поверхности изделия в районе шва.

В закрытых конструкциях, не имеющих доступа для обдувки с обратной стороны (трубы, малые цистерны, баллоны и т. п.), внутреннюю полость изделия продувают и заполняют защитным газом (поддув). Широкое применение такая защита нашла при сварке трубных узлов. Время продувки полости и расход защитного газа для коротких труб малого диаметра обычно составляет около 1–

2 мин. Например, трубу длиной 6 м с внутренним диаметром 13 мм при расходе газа 2–3 л/мин можно продуть за 5 мин. За это время воздух из трубы будет полностью вытеснен защитным газом, после чего можно начинать сварку. При большем расходе газа время продувки можно сократить, но незначительно. По экономическим соображениям расход газа на продувку труб малых диаметров (до 25 мм) не должен превышать 3–4 л/мин.

По мере увеличения диаметра трубы и ее длины время продувки увеличивается почти независимо от расхода газа. Так, для трубы диаметром 200 мм и длиной 3 м при расходе 10 л/мин время продувки составляет 30 мин, а при расходе 20 л/мин – 25 мин. Ясно, что выигрыш в 5 мин ценой лишних 200 л газа является мнимым, так как стоимость защитного газа значительно превышает экономию пяти минут рабочего времени. Кроме того, лишние 200 л газа, выпущенные в воздух, заметно загрязняют его.

С целью экономии защитного газа часто заполняют не всю полость, а только ее часть, непосредственно примыкающую к шву. В этом случае в районе стыка делают отверстие диаметром 2–3 мм, в которое вставляют трубку (ниппель), соединенную со шлангом. После сварки отверстие заваривают. Расход газа на поддув через такой ниппель составляет в среднем 3–4 л/мин, но зато время на продувку исключается. Недостатком этого экономичного способа защиты обратной стороны шва является малая гарантия получения высокого качества шва при заварке отверстия.

Более эффективными являются способы ограничения объема полости с помощью шайб-заглушек. Устанавливая заглушки вблизи стыка и подавая газ через одну из них в образовавшуюся полость, можно быстро вытеснить воздух из этой полости, так как ее объем составляет всего несколько литров. Например, для трубы диаметром 200 мм объем продуваемой полости длиной 300 мм (между заглушками) составляет 6 л. Продувка такой полости легко осуществляется при расходе 5 л/мин за 6 мин (пятикратная смена объема газа).

Экономия времени по сравнению с первым вариантом плюс экономия защитного газа, составляющая 270 л ($10 \times 30 - 5 \times 6$), являются ощутимыми достоинствами этого способа защиты. Недостатками способа защиты с удаляемыми шайбами являются: 1) неудобство

в протаскивании их к стыку; 2) непригодность их при сварке криволинейных труб; 3) непригодность их для защиты стыков концевой арматуры (штуцеров, фланцев, ниппелей и т. п.).

Устройство для экономичного поддува, показанное на рис. 43, является универсальным, пригодным для прямолинейных и криволинейных труб, для приварки концевой арматуры и сварки отрезков, отводов и патрубков. Заглушками здесь являются шайбы из теплостойкого пенополиуретана (поролона). Балластная емкость служит связующим звеном между шайбами и одновременно заполнителем объема продуваемой полости. Эта емкость может быть гибкой или жесткой.

Гибкая емкость изготовлена из толстостенной резиновой трубки и предназначена для ввода в криволинейные трубы. Жесткая емкость – труба большого диаметра с заглушками по торцам, в центре которых проходит газоподводящая трубка с резьбой на концах. Для защиты швов на соединениях криволинейных труб, а также труб с концевой арматурой применяют жесткую емкость небольшой длины (рис. 43).

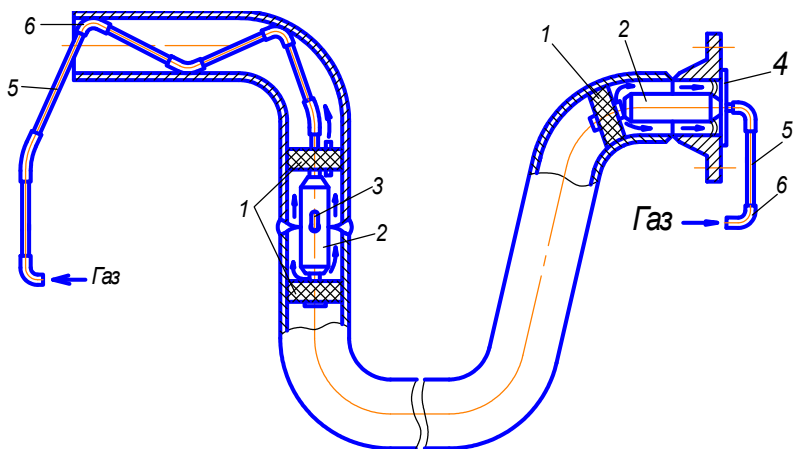


Рис. 43. Схема применения защитных устройств для экономичного поддува: 1 – шайбы пенополиуретановые; 2 – ёмкость балластная; 3 – контакт сигнального устройства; 4 – заглушка металлическая; 5 – трубка металлическая; 6 – трубка резиновая

Для защиты швов на стыковых соединениях прямолинейных труб применяют жесткую емкость большой длины – около 400 мм.

Шланг для подачи газа состоит из металлических трубок, соединенных жесткими резиновыми трубками. Благодаря шарнирам такой шланг позволяет проталкивать защитное устройство внутрь криволинейных труб. Фиксация положения устройства в районе стыка осуществляется с помощью контакта, соединенного со световым сигналом вне полости трубы.

Применение защитных устройств с балластной емкостью позволяет исключить продувку полости труб перед сваркой. Достаточно подать защитный газ в количестве, необходимом на поддув (2–3 л/мин), и в среднем через 1 мин можно начинать сварку стыка труб независимо от их диаметра, длины, кривизны погиби и расположения стыка.

3.9. Сварка тонкостенных изделий

Тонкостенными принято считать изделия из нержавеющей стали толщиной 1 мм и менее 1 мм. Обычно такими изделиями являются детали измерительных приборов (корпуса, мембраны, вставки и т. п.), трубы и соединения труб с арматурой (ниппелями, пробками, штуцерами и т. п.), детали гибких металлических шлангов и сильфонных компенсаторов и других изделий с толщиной стенки 0,1–0,8 мм.

В настоящее время сварка тонколистовых конструкций (экраны, обечайки компенсаторов, мембраны цилиндрические) выполняется контактным, электронно-лучевым и аргонодуговым способами. Выбор способа зависит от конфигурации изделия и доступности места соединения, а также от условий работы и требований к сварному соединению. Из-за нахлесточного соединения и щелей, которые при этом остаются на изделии, контактная роликовая сварка может применяться в тех случаях, когда допускается наличие щелей по краям шва. Кроме того, при контактной сварке трудно осуществить контроль качества швов, так как возможно образование слипания вместо сварки, которое трудно выявить известными в технике способами контроля. Электронно-лучевая сварка

лишена указанных недостатков, но процесс этот является малопродуктивным, а оборудование слишком дорогим и громоздким.

Наиболее универсальным и широко применяемым способом сварки для соединения как тонколистовых конструкций, так и тонкостенных изделий (труб с арматурой, обечаек с фланцами, мембран с корпусами и т. п.) является аргонодуговая сварка. Швы, выполненные этим способом, отличаются высоким качеством и хорошим внешним видом. Однако получение устойчивого качества швов при сварке является трудной задачей. Малейшее нарушение техники и технологии при обработке, сборке и сварке ведет к прожогам, оплавлению кромок и образованию других дефектов, не подлежащих исправлению.

Основная причина чрезмерной склонности к оплавлению и прожогам заключается в наличии малого объема жидкого металла и коробления (деформации) кромок в процессе сварки. Коробление является следствием местной потери устойчивости свариваемых кромок. Величина прогиба кромок зависит от толщины металла, расстояния между прижимами и ширины зоны пластических деформаций. Выход кромок из плоскости в зоне пластических деформаций влечет за собой выход кромок из плоскости в зоне упругих деформаций. Например, при сварке стали марки 12Х18Н9Т толщиной 0,3–0,5 мм граница зоны пластических деформаций располагается впереди дуги на расстоянии 3–5 мм, в то время как искривление кромок происходит на расстоянии 16–20 мм.

Коробление кромок – образование так называемого «домика» влечет за собой изменение теплоотвода от свариваемых кромок, что вызывает неравномерный их прогрев по длине стыка. Близлежащие к сварочной ванне участки металла нагреваются до температуры, достаточной для расплавления, а жидкий металл под действием сил поверхностного натяжения стремится принять объем с минимальной (сферической) поверхностью. Происходит увеличение зазора между свариваемыми кромками больше допустимого, что приводит к разрыву (нарушению сплошности) сварочной ванны, т. е. образуется прожог (рис. 44), [10].



Рис. 44. Разрыв (нарушение сплошности) сварного шва и начало образования прожога

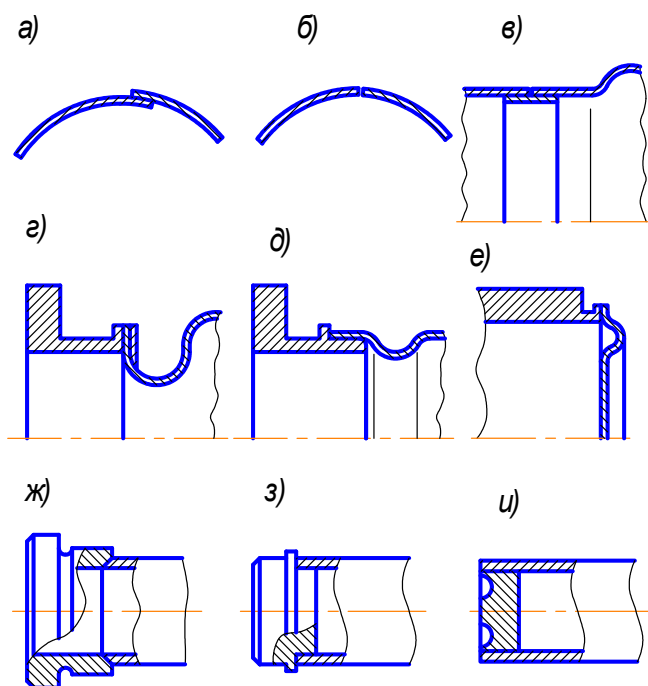


Рис. 45. Типы сварных соединений тонкостенных изделий

Поскольку прогиб кромок зависит от ширины зоны упруго-пластических деформаций, то одним из путей решения проблемы сварки тонколистовых конструкций является применение источников тепла с повышенной проплавливающей способностью (сварка импульсная аргодуговая, сжатой дугой, радиочастотная) и использование сборочно-сварочных приспособлений, обеспечивающих равномерное и плотное поджатие свариваемых кромок к медной подкладке по всей длине стыка, что уменьшает коробление кромок в процессе сварки [11].

Наиболее распространенные типы соединений тонкостенных изделий под сварку показаны на рис. 45.

Нахлесточное соединение обечаек (рис. 45,*а*), выполненное контактной роликовой или аргодуговой сваркой, обычно применяют только для малоответственных компенсаторов, работающих при невысоких температурах и давлении. Утолщение в местах нахлестки снижает деформационную способность всего соединения, и очагами коррозионного разрушения соединения в процессе эксплуатации являются щели.

Стыковое соединение обечаек (рис. 45,*б*) лишено указанных недостатков. Наилучшие показатели по деформационной способности обечаек со швами, выполненными аргодуговой сваркой, достигаются (около 0,1 мм). Это особенно важно при изготовлении многослойных компенсаторов. Обечайки, собранные телескопически (одна к другой), в процессе гофрирования подвергаются пластической деформации растяжением (до 30%). Если усиление более 0,2 мм и шов узкий, возможно местное превышение пластической деформации в основном металле соседней обечайки. В месте выпучивания металл получает сильный наклеп, и металл теряет пластичность, что приводит к образованию надрывов и трещин.

Внешний вид соединительных швов обечаек, а также сильфонного компенсатора, сваренных обычной и импульсной автоматической аргодуговой сваркой, показаны на рис. 46.

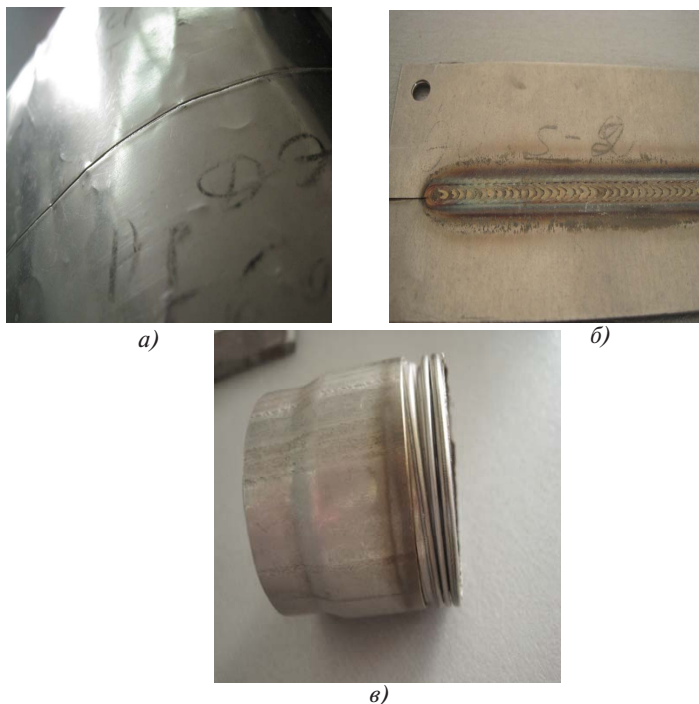


Рис. 46. Сварные узлы, изготовленные из тонколистовой нержавеющей стали: *а)* сварка кольцевого стыка обечайки; *б)* импульсная ПРДС; *в)* сильфонный компенсатор

3.10. Особенности сварки хромистых сталей

Хромистые стали мартенситного, мартенсито-ферритного и ферритного классов (табл. 1) обладают повышенной прочностью, хорошей сопротивляемостью коррозии и окислению при высоких температурах, но относятся к группе ограниченно свариваемых сталей.

При нагревании до температуры 400–900° С хромистые стали, как и хромоникелевые, подвержены межкристаллитной коррозии. Особенно опасен перегрев их свыше 980° С и быстрое охлаждение. Кроме того, хромистые стали мартенситного и мартенсито-ферритного классов склонны к необратимому росту зерна и самозакаливанию в процессе сварки. Помимо повышения твердости и хрупкости металла шва и основного металла, прилегающего к сварному

шву, закалка вызывает дополнительные внутренние напряжения в изделии, что может привести к образованию трещин и надрывов в металле шва и в околошовной зоне. Чаще всего трещины и надрывы образуются в кратере швов. Поэтому кратеры рекомендуется заплывать с избытком присадочного металла. Лишний наплыв затем можно удалить механическим способом.

Чтобы не допустить образования трещин в сварных швах, тщательно подбирают состав металла шва. Кроме того, при сварке сталей марок 08X13 и 12X13 толщиной более 12 мм и 08X17, 08X17T и 12X17H2 толщиной более 8 мм применяют предварительный подогрев до температуры 200–450° С. При сварке изделия подвергают высокому отпуску (700–750° С), чтобы улучшить свойства сварных соединений.

Хромистые стали, содержащие свыше 17% хрома, рекомендуются сваривать узкими валиками на малых значениях силы тока при максимально возможной скорости сварки, так как эти стали склонны к росту зерна вследствие перегрева.

Электроды для дуговой сварки хромистых сталей изготавливают из проволоки, близкой по химическому составу к основному металлу, или из хромоникелевой аустенитной стали (табл. 13).

Наряду с ручной дуговой сваркой хромистых сталей можно осуществлять всеми способами в среде защитных газов.

Для сталей типа 08X13 в защитных газах можно использовать сварочную проволоку марки Св-12X13, а для 12X17 – марки Св-12X17, но лучше – проволоку из аустенитных сталей. Для сварки стали 12X17H2 в углекислом газе применяют проволоку марок Св-20X13 и Св-08X14, а марку Св-12X18H2ГТ – для ответственных конструкций, работающих в условиях действия кипящих неразбавленных кислот. При аргонодуговой сварке сталей 08X13 и 12X17 в качестве присадки применяют проволоку из хромоникелевых сталей 20X23N18 или 20X25H20C2 (рис. 12).

Повышенную твердость и хрупкость, а также пониженную ударную вязкость в закаленном участке сварного соединения уменьшают высоким отпуском (700–750° С).

Медленное охлаждение после нагрева до высоких температур у хромистых сталей, как и у хромоникелевых, приводит к сигма-

тизации – выделению хрупкой σ -фазы по границам зерен феррита и резкому снижению пластичности. В интервале температур 600–800° С из твердого раствора «железо – хром» выделяется фаза, близкая по составу к химическому соединению «железо – хром» (σ -фаза). Основным средством для предупреждения сигматизации у хромистых сталей является быстрое охлаждение в опасном интервале температур.

3.11. Дефекты в сварных швах

Все разрушения сварных узлов и изделий, как правило, происходят из-за наличия дефектов в основном металле или в сварном шве. Любой дефект изделия из нержавеющей стали может служить концентратором напряжений и очагом разрушения при эксплуатации. Сварные узлы, подвергающиеся в процессе работы динамической нагрузке (давлению, ударам и т. п.), не должны иметь ни наружных, ни внутренних дефектов. В сварных узлах неотвественного назначения допускается наличие единичных дефектов, что оговаривается в соответствующих документах.

Дефекты в сварных швах, выполненных любым способом сварки, могут появляться на разных стадиях изготовления изделия, узла и в зависимости от этого их можно разделить на следующие группы:

- 1) дефекты обработки, подготовки и сборки соединения под сварку;
- 2) наружные и внутренние дефекты;
- 3) деформация изделий.

К первой группе относятся такие, как неправильный угол скоса кромок, неравномерное притупление, вмятины, заусенцы, закаты на фаске, загрязнение кромок. Характерными недостатками сборки являются повышенные зазоры, непостоянство зазора по длине стыка, смещение стыкуемых кромок, неправильное положение свариваемых деталей, несоблюдение размеров и мест расположения прихваток.

К наружным дефектам относятся наплывы, подрезы, уменьшение сечения шва (утяжка), непровары, поверхностные трещины, кратеры, свищи, прожоги, рыхлость, прижоги, окисление поверхности шва. Кроме того, сюда входят дефекты формы и размеров шва (неравномерные ширина и высота усиления, неравномерная

чешуйчатость, местная бугристость). Причинами этих дефектов могут быть неправильно выбранный режим сварки, неравномерное поступательное движение электрода, колебание силы тока, неравномерная подача проволоки, нарушение технологии выполнения сварки, неумение точно выполнять технику сварки.

Внутренние дефекты – поры, шлаковые и вольфрамовые включения, трещины, непровары, несплавления между валиками.

Наплывы образуются в результате натекаания расплавленного металла на соседние участки непрогретого основного металла. Причины образования наплывов: чрезмерная сила тока и быстрое плавление электрода или присадки, неправильное расположение конца присадки по отношению к вольфрамовому электроду, неправильные приемы выполнения сварки. При ручной дуговой сварке наплывы могут быть результатом несимметричного положения электрода по отношению к свариваемым кромок.

Подрез – углубление (канавка) на границе сплавления металла шва и основного металла. На стыковых швах подрезы могут быть с двух сторон, на угловых – чаще всего в верхней части шва. Подрезы образуются из-за повышенных значений силы тока и напряжения дуги. При ручной дуговой сварке угловых соединений причиной возникновения этого дефекта часто является неправильная техника выполнения швов, в частности неправильное положение электрода по отношению к оси шва, особенно при работе в стесненных условиях. Иногда подрезы образуются на внутренних валиках швов, выполненных аргонодуговой сваркой. Причиной их образования могут быть плохая сборка (смещение кромок), неточное ведение электрода по разделке, чрезмерная сила тока при сварке.

Подрезы являются недопустимым дефектом, так как уменьшают рабочее сечение сварного соединения и вызывают местную концентрацию напряжений в шве при работе конструкции или узла; в результате сварное соединение может разрушиться.

Уменьшение сечения шва (утяжка) чаще всего образуется при сварке в защитных газах неповоротных стыков труб, когда часть шва выполняется в потолочном положении. На формирование валика на весу влияют тип соединения, кривизна шва, вес металла, размер ванны и поверхностное натяжение жидкого металла.

Наибольшая утяжка образуется на соединениях труб диаметром свыше 25 мм с V-образной разделкой кромок и с притуплением до 1 мм. В нижнем положении шва вес металла способствует усадке жидкого металла в толщу стенки трубы. В потолочном, наоборот, вес способствует провисанию металла наружу. В результате шов, расположенный в нижней части стыка трубы, оказывается вогнутым в виде узкой и глубокой канавки. Последующими валиками такой дефект не исправляется.

При автоматической сварке в защитных газах на внутреннем валике иногда образуется усадочная канавка, расположенная по оси шва. Устранить ее можно уменьшением объема сварочной ванны. Для этого необходимо уменьшить притупление или изменить режим сварки, увеличить ее скорость или уменьшить силу сварочного тока.

Непроваром называют несплавление металла шва с кромками основного металла или несплавления между слоями (валиками). Явление это может быть местным или по всей длине шва и образуется в результате малого угла скоса кромок: слишком большого притупления или смещения кромок; малого технологического зазора; большого диаметра электрода для выполнения первого валика в разделке; недостаточной силы тока и завышенной скорости сварки; подтекания жидкого металла под сварочную дугу, когда кромки или предыдущие валики недостаточно прогреты; увеличения длины дуги или изменения положения вольфрамового электрода в процессе сварки.

Характерное несплавление между валиками образуется при автоматической сварке плавящимся электродом в защитных газах соединений труб, особенно при выполнении валика «на спуск». Жидкий металл, подтекая под электрод, препятствует равномерному прогреву и расплавлению металла.

На соединениях труб, свариваемых в условиях монтажа и собранных поэтому на подкладном кольце, часто образуются несплавления кромок с кольцом. В зазоре между кольцом и трубой может развиваться щелевая коррозия. Основная причина такого непровара плохая сборка: мал зазор между кромками труб на кольце, мал диаметр кольца, велик диаметр электрода или принят неправильный режим колебаний электрода при сварке плавящимся электродом.

Непровары являются опасными дефектами, в особенности непровары в корне шва, так как они уменьшают рабочее сечение и вызывают концентрацию напряжений, что снижает работоспособность сварного соединения.

Незаполнение разделки типа подрезов чаще всего встречается при автоматической сварке, когда неправильно установлен (по разделке) электрод или применяется слишком жесткая присадка, а мундштук расположен далеко от места сварки. Незаполнение может получаться также в случае использования присадки малого диаметра для широкой разделки и при слишком короткой дуге, когда валик формируется узким и высоким.

Кратер – углубление на поверхности шва, остающееся после резкого обрыва сварочной дуги. Если применяется плавящийся электрод, незаделанный кратер может иметь небольшую глубину, если неплавящийся – кратеры, как правило, бывают глубокими. При автоматической сварке вольфрамовым электродом иногда образуются непровары, похожие на кратеры на внутреннем валике. Такие непровары являются результатом неправильной регулировки реле времени, с помощью которого устанавливается длительность прогрева кромок в начале сварки. Малая выдержка для прогрева может привести к образованию неглубокого кратера. Слишком большая выдержка приводит к чрезмерному проплавлению кромок и к образованию кратера. Если с помощью реле времени не удается избавиться от непровара типа кратера в начале сварки, следует изменить вид разделки кромок, в частности уменьшить величину притупления, изменить режим сварки.

Кратеры снижают прочность и плотность шва вследствие уменьшения его сечения и образования трещин и рыхлостей. В большинстве случаев кратеры на швах, выполненных вольфрамовым электродом, имеют сквозной свищ.

Свищ образуется при случайных коротких замыканиях вольфрамового электрода или резком обрыве дуги, а также в результате неправильного гашения дуги при ручной и автоматической сварке. Исправить такой дефект можно только после полного удаления металла шва на этом участке.

Прожоги чаще всего образуются на тонкостенных соединениях или соединениях с подкладными полосами, кольцами, когда сварку выполняют на повышенном режиме или при увеличенном зазоре между кромками. В местах прожога металл окисляется и становится рыхлым, неплотным. По возможности такие участки тщательно защищают до полного удаления некачественного металла. В недоступных для зачистки местах, где могут появиться прожоги, при сварке первого слоя следует обдуть обратную сторону шва защитным газом.

Прожоги являются характерным дефектом сварки тонкостенных изделий: обечаек, сильфонных компенсаторов, труб гибких металлических шлангов, арматуры с трубами [10]. В процессе сборки этих деталей особенно важно соблюдать требования по точности обработки сопрягаемых поверхностей и качеству сборки. Размеры ванны здесь настолько малы, что малейшее нарушение в обработке или сборке приводит к изменению теплоотвода, а значит, к резкому изменению нагрева. В результате чрезмерного нагрева свариваемых кромок ванна мгновенно разрывается, каждая кромка оплавляется самостоятельно и образуется прожог (рис. 47).



Рис. 47. Прожоги при аргонодуговой сварке тонких листов [10]

Одинаковые по природе прожоги могут образовываться на различных соединениях. Прожог на обечайке образуется из-за плохой

сборки, когда одна кромка возвышается над другой (нахлесточное соединение). То же самое получится на соединении трубы с заглушкой, когда кромка трубы не соприкасается с поверхностью заглушки.

Рыхлость появляется в процессе усадки металла при его кристаллизации в сварочной ванне. Нержавеющие стали имеют усадку большую, чем углеродистые. Следовательно, при сварке нержавеющих сталей металл сварочной ванны в результате кристаллизации получает большие деформации растяжения. Чаще всего рыхлость наблюдается при окончании сварки в кратере. Это объясняется тем, что края сварочной ванны остывают быстрее и усадка происходит за счет металла, расположенного в центре ванны. После окончательного остывания металл в центре ванны теряет сплошность.

Для предотвращения этого дефекта необходимо вовремя подпирать ванну дополнительным введением присадочного металла.

Если срезать усиление шва, выполненного аргонодуговой сваркой, то можно обнаружить некоторую рыхлость металла. До снятия усиления никаких признаков рыхлости в кратере обнаружено не было. Аналогичное явление можно наблюдать и в соединениях, выполненных ручной дуговой сваркой, с той лишь разницей, что образование сквозной рыхлости здесь маловероятно. Ручной дуговой сваркой обычно выполняют многоваликовые швы. Рыхлость, образовавшаяся в кратерах, переплавляется последующими валиками.

При автоматической сварке в защитных газах вероятность образования кратеров меньшая, но внезапная остановка (без гашения), а также преждевременное прекращение подачи присадки в момент окончания сварки могут стать причиной образования кратера или рыхлости. Сглаженный валик в месте начала гашения дуги при сварке труб является первым признаком рыхлости.

Прижоги — результат небрежности сварщика. «Чирканье» электродом, плохой контакт между струбиной с обратным проводом и изделием, между рабочим столом и изделием, случайные касания электрододержателем поверхности изделия приводят к мгновенному оплавлению металла. Металл интенсивно окисляется и становится рыхлым. Глубина дефекта зависит от мощности источника тока. Как правило, металл в местах глубокого прижога поражен трещинами.

Основной причиной образования трещин в местах прижога являются усадочные напряжения. Действие этих напряжений заметно проявляется потому, что объем жидкого металла невелик, а площадь его оплавления относительно большая. Расплавленный металл, вследствие большого теплоотвода, охлаждается очень быстро, и усадочные напряжения растут мгновенно. Поэтому место прижога сразу покрывается сеткой трещин.

Не всегда усадочные напряжения достигаются такой величины, чтобы привести к растрескиванию металла. Но всегда прижог — очаг разрушения, так как действие напряжений может проявиться при работе конструкции и привести к коррозии под напряжением. На ответственных тонкостенных конструкциях такие дефекты являются неисправимым браком.

В отдельных случаях прижог можно исправить наплавкой. Для этого поверхность металла в поврежденном месте полируют и подвергают травлению. После тщательного контроля на отсутствие трещин производят наплавку.

Окисление поверхности шва происходит в результате неправильной техники выполнения сварки, низких сварочных свойств покрытия электродов или флюса, использования сопел с малым диаметром выходного отверстия. Причиной окисления может быть также большая скорость сварки и подсос воздуха в струю защитного газа.

Для оценки защиты поверхности шва от окисления применяют эталоны-образцы, качество защиты которых проверяется лабораторными испытаниями.

Поры в сварных швах образуются из-за резкого уменьшения растворимости газа в жидком металле в процессе его кристаллизации. Некоторые газы (например, азот в аустенитной стали) хорошо растворяются в металле. В этом случае поры не образуются. Большинство газов (окись углерода и др.) не растворяются или плохо растворяются в жидком металле. Пузырьки нерастворенного газа, стремясь выйти из затвердевшей ванны на поверхность, затвердевают между растущими кристаллитами и образуют поры. Растворимость водорода в сталях резко уменьшается при кристаллизации и он, выделяясь из жидкого металла, также образует пузырьки газа.

Основной причиной образования пор при сварке нержавеющей сталей является наличие в них водорода. Источниками водорода могут быть масло, загрязнения кромок, влага в электродном покрытии, влага во флюсе, в защитном газе, окружающем воздухе (при нарушении защиты сварочной ванны).

Если сварка ведется в среде защитных газов, на пористость шва большое влияние оказывает состояние поверхности проволоки. В проволоке могут быть закаты, расслоения и другие несплошности, заполненные окалиной, смазкой и другими загрязнениями. Окисленный конец проволоки также является источником порообразования. Если в процессе сварки в среде защитных газов на разогретый конец присадки попадает воздух, сварочная ванна всегда будет загрязнена окислами, которые могут привести к образованию пор. Поэтому сварщик должен строго следить за тем, чтобы разогретый конец присадки всегда был хорошо защищен от окисления. Если присадка окислилась, следует прекратить сварку и удалить окисленный конец.

Вольфрамовые включения могут попадать в шов в результате коротких замыканий при сварке неплавящимся электродом. Характерные признаки замыкания — треск и резкая вспышка дуги. Расплавленный конец электрода при этом разбрызгивается и попадает в жидкий металл в виде включений. Если в момент замыкания металл шва был достаточно затвердевшим, вольфрамовое включение останется на его поверхности. В этом случае его можно удалить с помощью напильника. Чаще всего электрод замыкается при отделении капли присадочного металла во время сварки стыков в различных (неудобных для сварки) пространственных положениях шва. Отделившийся от электрода кусок вольфрама увлекается расплавленным присадочным металлом внутрь шва. Изъять его также можно с помощью напильника. Вольфрам является очень твердым металлом, и напильник скользит по нему, что и является характерным признаком вольфрамовых включений в металле шва.

Трещины — результат пониженной пластичности металла. Трещины, возникающие при сварке нержавеющей сталей, бывают двух видов: холодные и горячие. Оба вида образуются вследствие деформаций растяжения и растягивающих напряжений из-за неравномерного нагрева, усадки металла, внешних нагрузок (натя-

жений, изгибов, кручения) в процессе кристаллизации и остывания металла шва.

Горячие трещины образуются при высокой температуре, близкой к температуре плавления. Доказательством этому служит тот факт, что все горячие трещины на поверхности шва всегда заполнены шлаком. Известно, что шлак уже при температуре 1200° С и ниже становится настолько вязким, что в микрощель – трещину проникнуть не может.

По своей природе горячие трещины являются межкристаллическими, т. е. образуются в прослойках между кристаллами в период кристаллизации. Явление заключается в том, что межкристаллитные прослойки начинают затвердевать и соседние кристаллы вдруг разъединяются, растягивая металл, находящийся в твердо-жидком состоянии. Это же может происходить после завершения кристаллизации, но при весьма высоких температурах. Горячие трещины, возникающие при наличии жидких прослоек в металле, часто называют кристаллизационными. Эти трещины бывают продольными и поперечными. Основная причина – низкая пластичность металла в температурном интервале хрупкости (при температуре плавления) и высокая интенсивность нарастания упруго-пластической деформации по мере снижения температуры. Горячие трещины могут находиться непосредственно в шве и в околошовной зоне. В последнем случае они называются околошовными горячими трещинами.

В стыковых соединениях «в замок» и в угловых соединениях горячие трещины чаще всего бывают продольными, в кольцевых швах – поперечными. Располагаясь на поверхности, они легко обнаруживаются всеми способами контроля. В сварных швах аустенитных сталей горячие трещины часто поражают не весь шов (по сечению), а только его часть и на поверхность не выходят. Выявить такие трещины известными способами контроля сварных швов непосредственно на изделии невозможно. Об их наличии в шве можно лишь судить по пониженным результатам механических испытаний. Первый сигнал о необходимости более тщательной проверки на склонность металла шва к трещинообразованию – пониженное относительное удлинение.

Очагами трещин могут быть непровар, чрезмерное проплавление, подрезы и утяжка на швах.

Холодные трещины являются, как правило, смешанными. Заходясь по границам зерен, они распространяются дальше.

Холодными считаются трещины, которые образуются при остывании металла (обычно ниже 700°C) вплоть до комнатной температуры. Они могут возникать при остывании металла после сварки или спустя несколько часов и даже суток. Процесс этот обычно сопровождается появлением в металле шва хрупких структур (мартенсита и др.).

При комнатной температуре, сразу после сварки и спустя некоторое время, холодные трещины образуются, в частности, в результате структурных превращений остаточного аустенита в мартенсит.

В аустенитных хромоникелевых сталях холодные трещины обычно не образуются. Чаще всего они возникают при сварке хромистых сталей, разнородных и двухслойных.

Однофазные, чисто аустенитные швы более склонны к образованию горячих трещин, чем швы с двухфазной, аустенито-ферритной структурой, которые по возможности стремятся получить. Это достигается применением сварочной проволоки, отличающейся по химическому составу от свариваемой стали. Можно подобрать такое количество ферритизаторов (хрома, кремния, титана, молибдена и др.) в проволоке, что в аустенито-ферритном шве будет некоторое определенное количество феррита. Обычно стремятся получить швы, содержащие не более 10% феррита. Больше количество приводит к охрупчиванию аустенитных швов, которое проявляется в процессе работы изделия при температурах $350\text{--}860^{\circ}\text{C}$. Охрупчивание может произойти также во время сварки, особенно если она выполняется в несколько проходов.

На образование трещин в швах влияет форма валика. Широкие и выпуклые валики обладают более высокой сопротивляемостью образованию горячих трещин, чем узкие и вогнутые.

Деформация сварных изделий появляется из-за местного неравномерного нагрева и охлаждения при сварке или вследствие нарушения последовательности ее выполнения. Величину деформации определяют при помощи мерительного инструмента и специальных шаблонов.

3.12. Контроль качества сварных соединений

В процессе приемки законченных сварных соединений применяют различные виды контроля качества в соответствии с РТМ-1С-93.

Визуальный и измерительный контроль выявляет наружные дефекты. Осмотру подлежат не только швы, но и прилегающая околошовная зона (до и после зачистки). Швы на конструкциях III и IV категорий осматривают обычно невооруженным глазом, I и II категорий – с применением лупы трех- и пятикратного увеличения.

Измерению на швах стыковых соединений подлежат ширина и высота усиления; на тавровых, нахлесточных и угловых соединениях – калибр шва. Измеряют также прямолинейность сваренных труб (величину излома в месте шва). Для такого замера применяют специальную линейку с вырезом в середине. Прикладывая ее ребром к сварному узлу из труб и пользуясь щупом, можно определить величину излома или угла отклонения одной трубы относительно другой.

Контроль люминесцентной или цветной дефектоскопии позволяет вскрыть поверхностные микродефекты, которые невозможно обнаружить внешним осмотром. В процессе эксплуатации узла микродефекты (трещины, рыхлость) могут стать очагом неплотности или разрушения, поэтому очень важно выявить их еще на стадии изготовления и исправить повторной сваркой.

Люминесцентная дефектоскопия основана на способности некоторых смесей светиться под воздействием ультрафиолетовых лучей. Такой является, например, смесь автола, керосина, бензина и дефектоля, которую называют люминофором. После нанесения люминофора на шов, просушки и обтирания шов рассматривают в темном помещении под ультрафиолетовым светом. Если в шве были трещины или другие мелкие наружные дефекты шириной от 0,01 мм и более, то от облучения оставшийся в них люминофор начнет светиться желто-зеленым светом.

Метод красок, в отличие от люминесцентного, не требует никакого специального оборудования и позволяет выявить аналогичные дефекты при дневном свете невооруженным глазом. На поверхность шва наносится подкрашенный слой жидкости, состоящей из керосина, трансформаторного масла, скипидара и краски «Су-

дан». После промывки раствором соды и просушки поверхность шва насухо протирают. Если в шве были трещины, подкрашенная жидкость останется в них. Чтобы выявить трещины внешним осмотром, на протертую насухо поверхность шва наносится тонкий слой каолина. Выделившаяся из трещин жидкость окрашивает каолин в красный цвет.

Контроль сварных швов рентгеновскими и гамма-лучами основан на ослаблении лучей, поглощаемых телом, через которое они проходят. Поры, непровар, шлаковые включения и другие дефекты обладают меньшей поглощающей способностью, чем металл шва. Следовательно, они пропускают большее количество лучей. Различная степень ослабления лучей, проходящих через чистый металл и через металл с дефектами, фиксируется на пленке.

Источником рентгеновских лучей являются специальные электрические аппараты, источником гамма-лучей — естественные и искусственные радиоактивные вещества — изотопы: кобальт-60, цезий-137, иридий-192, тулий-170 и др.

Существуют два основных способа фиксации дефектов в сварных швах с помощью рентгеновских и гамма-лучей: флюороскопический (рассмотрение дефектов на экране); фотографический (фиксация дефектов на фотопленке). Более распространен второй способ.

Пучок рентгеновских и гамма-лучей при просвечивании плоских сварных соединений направляют перпендикулярно изделию, а соединений труб малого диаметра — под углом 30° к оси трубы так, чтобы на пленке получилось изображение в виде эллипса.

Шов на пленке изображается светлой полоской, а дефекты — в виде почернений различной формы и интенсивности: поры — точками (рис. 48), непровар — линиями, шлаковые включения — крупными точками неправильной формы или островками.

Вольфрамовые включения поглощают больше лучей, чем металл шва, поэтому они изображаются на пленке светлой точкой или туманностью (если замыкание электрода было незначительным) и островком (если в результате замыкания часть электрода попала в шов).

При печатании с пленки на фотобумагу цвет изображения дефектов меняется на обратный. Все дефекты, кроме вольфрамового включения, получаются более светлыми, чем шов.

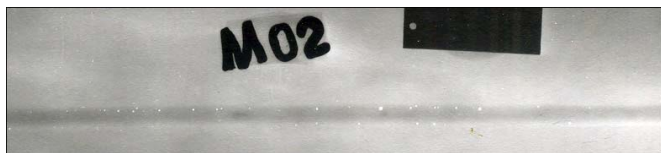


Рис. 48. Рентгенограмма (негатив) сварного соединения: белые точки – поры в шве и на границе сплавления с основным металлом

По снимкам (пленкам) определяют характер, размеры и количество дефектов в шве. Для сокращенного обозначения каждого дефекта применяют следующие знаки: П – поры; Ш – шлаковые включения; Н – непровар; НС – непровар сплошной; ТП – трещины поперечные; ТПР – трещины продольные; ТР – трещины радиальные.

Количество дефектов обозначается цифрами. По характеру расположения дефекты распределяют на группы: А – отдельные дефекты; Б – цепочка дефектов; В – скопление дефектов. Размер дефекта обозначается цифрами, которые ставятся после цифры, обозначающей количество дефектов.

Заключение по снимку записывается в журнале. Например: ПА-1-2 – единичная пора (одна) размером 2 мм; ШБ-3-30 – цепочка шлаковых включений (три) на участке протяженностью 30 мм. Швы оценивают по трехбалльной системе. Количество и величина допустимых дефектов оговорены в технических условиях на изготовление конструкции. Например, узлы конструкции, работающей под давлением и при температуре, считаются узлами I категории ответственности. В такой конструкции баллом 3 оцениваются швы, не имеющие дефектов или имеющие единичные поры и шлаковые включения; баллом 2 – швы, имеющие несколько пор и шлаковых включений, не расположенных в виде сетки по всей длине шва; баллом 1 – швы, имеющие различные дефекты, расположенные в виде сетки (пор, шлаковых или вольфрамовых включений), или отдельные трещины, непровары, подрезы.

Швы, оцененные баллом 3, считаются годными, баллом 1 – забракованными. Швы, оцененные баллом 2, в зависимости от требований к сварному соединению могут считаться или годными, или забракованными.

Узлы конструкций, работающих в среде кислот при различных температурах, оцениваются по другой системе. Швы, оцененные баллами 3, 2 и 1, на этих узлах могут иметь другое количество дефектов. Годность швов в этом случае будет иная, чем в предыдущем.

Испытание швов на непроницаемость производится в соответствии с требованиями чертежа, технологического процесса или технических условий на изделие. Испытание может осуществляться водой, керосином, газом, вакуумированием.

Водой испытывают швы сварных конструкций из тонкостенных нержавеющей сталей: разделительные обечайки, цилиндры, конусы, колпаки, кожуха и другие узлы, для которых этот вид контроля возможно осуществить.

Контролю керосином подвергаются все доступные для этого швы. На сварной шов наносится слой разведенного в воде мела. Обратную сторону шва смачивают керосином. Появление жирных пятен на меловом покрытии свидетельствует о неплотности этого участка шва.

Для испытания на непроницаемость газом применяют воздух или смесь воздуха с аммиаком. Этому виду испытаний подвергают в основном закрытые сосуды и трубопроводы.

Изделия небольших размеров погружают в ванну с водой и наполняют воздухом под давлением. Места течи определяют по пузырькам воздуха, выходящим из изделия.

Изделия больших размеров наполняют воздухом до указанного в чертеже давления, а швы снаружи смачивают мыльной водой. Если на поверхности шва не появляются пузырьки, значит, шов плотный.

На крупногабаритных изделиях швы обдувают струей сжатого воздуха под давлением не менее 40 МПа, а обратную сторону шва смачивают мыльной пеной.

Более чувствительна к неплотностям шва смесь воздуха с аммиаком (99% воздуха, 1% аммиака). Вместо мыльной пены шов покрывают прокладкой из бумажной ленты или медицинского бинта, пропитанной 5%-ным водным раствором азотнокислой ртути или фенолфталеином. Появление черных или фиолетовых пятен на прокладке свидетельствует о неплотности шва.

Определение неплотности вакуумированием является более точным, чем испытание водой, керосином, воздухом и смесью воз-

духа с аммиаком. Для вакуумирования участок шва и прилегающую к нему поверхность изделия очищают от грязи и смачивают пенообразующим раствором – мыльной эмульсией. На подготовленный для контроля участок накладывают камеру – коробку со стеклом, на ребрах которой имеется резина для плотного прилегания камеры к изделию. Если после откачивания воздуха из камеры на эмульсии образуются стойкие пузырьки, шов считается неплотным.

Иногда определение неплотности вакуумированием совмещают с испытанием газом. В этом случае изделие помещают под герметический колпак. Создав вакуум, под колпак подают газ, обладающий большой проникающей способностью, например гелий. Если изделие имело неплотности, гелий проникает в его внутреннюю полость и вакуум уменьшается. Можно сделать наоборот: вакуум создать под колпаком, а гелий подать в изделие. Наличие неплотности фиксируется специальным прибором – гелиевым течеискателем, от которого получил название и способ определения неплотности – испытание плотности швов гелиевым течеискателем.

Плотность швов можно проверить также гидравлическим испытанием, причем одновременно с плотностью в этом случае проверяется прочность сварных конструкций. При гидравлическом испытании сосуд (изделие) наполняют водой под давлением, в среднем в 1,5 раза превышающем рабочее. Отпотевание шва или наличие заметной струйки воды свидетельствует о неплотности сварного шва.

Механические испытания сварных соединений проводятся с целью проверки их прочности и надежности.

Методы механических испытаний свойств металла шва и сварного соединения устанавливаются стандартом. Выбор метода определяется техническими условиями на каждую сварную конструкцию.

Образцы для механических испытаний вырезают непосредственно из изделия или из специально сваренных контрольных проб (образцов-свидетелей). Разделка кромок, условия и режим сварки, материалы для сварки проб и изделия должны быть одинаковыми. Если изделие или отдельный сварной узел подвергается обработке, проба также проходит термическую обработку совместно с изделием (узлом) или отдельно, но по такому же режиму.

Для испытаний на растяжение, изгиб и сплющивание (для труб) вырезают не менее двух образцов, для испытаний на удар – не менее трех.

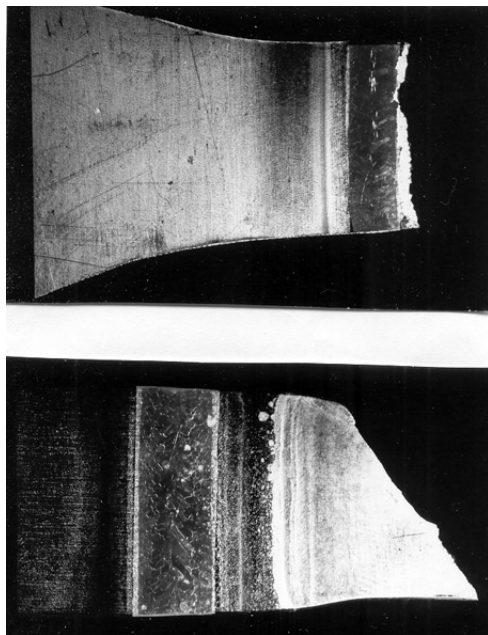


Рис. 49. Характер разрушения сварных образцов при статическом растяжении

Проверке на растяжение подвергают образцы, вырезанные из металла шва и из сварного соединения. Для испытания сварного соединения на растяжение (разрыв) изготавливают плоские (вырезанные поперек шва) образцы без усиления и с усилением шва. После испытания сравнивают показатели прочности сварного соединения (образцы с усилением шва) и металла шва в сварном соединении (образцы без усиления) с прочностью основного металла (плоские разорванные образцы, рис. 49).

Образцы из труб небольшого диаметра (до 30 мм) испытывают целиком, из труб диаметром более 30 мм вырезают сегменты (вдоль оси трубы).

Испытание на изгиб или сплющивание проводится с целью определения пластичности стыкового соединения. Показателем пластичности

тичности является угол загиба – для плоских образцов и степень сплющивания – для трубных образцов. Для сварных соединений из нержавеющей сталей угол загиба должен составлять не менее 100° , а сплющивание – до просвета, равного двум толщинам стенок труб. После изгиба (сплющивания) поверхность швов и околошовная зона в месте растяжения тщательно осматриваются. Считается, что образцы выдержали испытание, если на растянутой поверхности шва не обнаружено трещин.

Испытание на удар проводится для определения ударной вязкости металла при заданной температуре. Этому виду контроля подвергаются обычно сварные соединения из нержавеющей стали толщиной 12 мм и более. Определение твердости чаще всего осуществляется на самом изделии. Если необходимо определить твердость в сечении шва, изготавливают поперечные шлифы. Результаты испытаний на твердость металла шва, зоны сплавления и основного металла позволяют дать некоторую количественную оценку механических свойств соединения. Высокая твердость свидетельствует о высокой прочности и низкой пластичности и наоборот.

Сварные соединения из тонколистового проката (толщиной от 0,1 до 2,0 мм) проверяют на вытяжку сферической лунки (проба по Эриксену). Металл шва и прилегающий основной металл при этом подвергаются одновременно и растяжению, и изгибу. Если изделия также подвергаются аналогичному виду обработки (вытяжке, гофрировке, гибке и т. п., например, обечайки сильфонов), то данный вид испытания образцов является целесообразным.

Плоский образец зажимают между кольцом и матрицей и через отверстие в кольце с помощью пуансона со сферическим наконечником производят вдавливание. Глубина вытяжки в миллиметрах до появления трещин в образце (момент уменьшения усиления вытяжки) является мерой способности образца (металла, соединения) к вытяжке. Чем более пластичен металл сварного соединения и чем более благоприятна геометрия шва, тем глубже вытяжка.

Металлографические исследования включают два вида анализа сварных соединений: макро- и микроанализ.

Макроанализ проводится для определения величины проплавления, правильности перекрытия валиков, характера кристалли-

зации, а также для выявления относительно крупных внутренних дефектов: пор, непровара, шлаковых и вольфрамовых включений. Для макроанализа вырезают образец так, чтобы на нем кроме шва (поперечного сечения) был основной металл. Из образца изготавливают макрошлиф, который после травления раствором щавелевой кислоты или другим реактивом подвергают внешнему осмотру невооруженным глазом или с помощью лупы с увеличением, не превышающим 20-кратное. В случае надобности исследуемая поверхность макрошлифа фотографируется с увеличением до пяти раз. Кроме сварных соединений, макроанализу подвергаются дефектные участки шва до и после заварки дефекта. Макротравлением прилегающей зоны определяют размер дефекта, после чего дефект удаляют, а поверхность подвергают повторному травлению. Убедившись, что дефектный металл удален полностью, можно заваривать участок. После этого наплавленный металл тщательно осматривают и в случае обнаружения сомнительных участков производят травление и макроанализ исправленного сваркой дефектного участка.

Микроанализом определяют структуру сварного шва и зоны сплавления, обнаруживают микротрещины, нитриды и карбиды. Шлифы для микроанализа готовят так же, как и для макроанализа, но с более тщательной полировкой специальными пастами. До травления шлиф просматривают под микроскопом для выявления мелких дефектов (пор, микротрещин, раковин, непровара), а также степени загрязненности металла шва включениями.

3.13. Устранение дефектов сварных швов

Большинство дефектов, обнаруженных в ходе контроля качества сварных швов, исправимо. Исправляемый участок шва необходимо отметить, например мелом или краской. Уточнив размеры и место расположения дефекта, намечают зону сварного соединения, подлежащую удалению. Удаление производится механическим путём: зубилом, механической строжкой, фрезерованием, напильником, наждачным кругом. Выплавлять дефектные участки шва электрической дугой не рекомендуется, так как это может повлечь за собой образование других дефектов.

В зависимости от вида и размера дефекта, места его расположения в шве участок после его исправления можно признать качественным или некачественным. Для обеспечения качественной заварки удаление участка должно производиться так, чтобы угол раскрытия был не менее 55 градусов.

Дефектный участок сварного шва рекомендуется заваривать тем же методом сварки и с теми же сварочными материалами, что применялись при первоначальной сварке. Однако чаще всего дефектные участки шва из нержавеющей сталей заваривают ручной аргонодуговой сваркой, независимо от того, каким методом был выполнен шов.

Заварку следует вести на минимально возможных режимах, применяя электроды и присадочную проволоку наименьших диаметров.

Исправление швов с наплывами и натёками на границе двух валиков или в местах перехода к основному металлу производится обдиркой и шлифовкой дефектного участка наждачным кругом с последующей зачисткой поверхности наждачным полотном.

Исправление швов с подрезами и углублениями между валиками производится шлифовкой дефектного участка до получения плавного очертания шва. Если углубление не превышает допустимой для данной толщины величины, участок не заваривают. Недопустимые углубления в швах после шлифовки исправляются заваркой.

Оставшиеся кратеры всегда завариваются после вырубки и шлифовки и обязательной проверки на отсутствие трещин, пор, надрывов и шлаковых включений в зоне расположения кратера.

Участки швов с непроварами, трещинами, порами, вольфрамовыми и шлаковыми включениями удаляют, затем эти участки заваривают. Перед заваркой обязательно следует убедиться в полном удалении дефекта. Исключение составляют дефекты, расположенные на поверхности шва и небольшой глубине, их удаляют шлифовкой поверхности. Особое внимание следует уделить проверке надёжности удаления трещин и надрывов. Чтобы окончательно убедиться, что трещин после шлифовки не осталось, следует применить цветной или люминесцентный метод контроля.

4. ОБОРУДОВАНИЕ ПОСТОВ ДЛЯ СВАРКИ

Оборудование поста сварщика оказывает большое влияние на производительность труда и качество сварки. Оно делится на основное – источник питания дуги, автомат (полуавтомат), регулятор тока, рабочий стол или манипулятор (кантователь) – и вспомогательное, к которому относятся маска (щиток), редуктор, расходомер, осциллятор, балластные реостаты, импульсные возбудители дуги, пенал для электродов (присадки), банка с обезжиривающей жидкостью (банка с каолином), баллон с газом, электроизмерительные приборы, инструмент – электрододержатель (горелка), кусачки, пассатижи, молоток, стальные щетки, напильники, отвертка, зубило, крейцмессель и др.

Пост ручной дуговой сварки в цеховых условиях оборудован столом (кантователем) стандартным источником питания дуги. Из вспомогательного оборудования – стандартная маска или щиток, пенал для электродов и ящик для огарков. Основным инструментом является электрододержатель. Применяют электрододержатели различных типов, чаще всего пружинного и вилочного. Все части его для сварки нержавеющей сталей должны хорошо изолироваться. Замыкание тока между электрододержателем и изделием («законтачивание») приводит к прижогу, который является очагом разрушения (рис. 50).



Рис. 50. Прижог на основном металле

При работе стандартными электрододержателями типа ЭД-2 сварщик должен защитить от возможного прижога близлежащие детали. В стесненных условиях, когда невозможно изолировать

близлежащие детали, рекомендуется пользоваться специальными электрододержателями с надежной изоляцией, исключающей «за-контачивание».

Пост ручной аргонодуговой сварки оборудуют источником питания дуги и специальной установкой типа ПРС-3 (пост ручной сварки), включающей блок аппаратный, обеспечивающий дистанционное изменение силы сварочного тока, и набор горелок для аргонодуговой сварки (одна с водяным охлаждением, другая – с воздушным). Такую установку можно использовать как в цеховых, так и в монтажных условиях.

Помимо оборудования, показанного на рис. 51, пост должен быть укомплектован газовой аппаратурой: баллоном с газом, редуктором и дополнительным расходомером для контроля защиты обратной стороны шва.

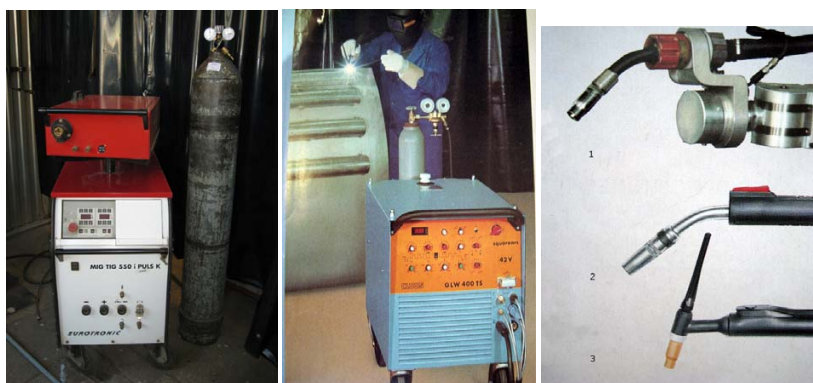


Рис. 51. Пост ручной аргонодуговой сварки: а) общий вид; б) сварка неплавящимся электродом с присадкой; в) горелки для сварки

Баллон служит для хранения и транспортирования газа в сжатом состоянии и представляет собой сосуд, изготовленный из бесшовной трубы. Высота его 1500 мм, вес – около 60 кг. Водяная емкость – примерно 40 л, газовая емкость меняется в зависимости от давления, под которым находится газ. При давлении в 15 МПа баллон типа 150 или 40 л вмещает 6000 л (40×150), или 6 м³ газа.

На закругленную нижнюю часть баллона насаживают квадратный башмак, который облегчает кантование и служит для установ-

ки его в вертикальное положение. В горловину баллона ввертывают запорный вентиль.

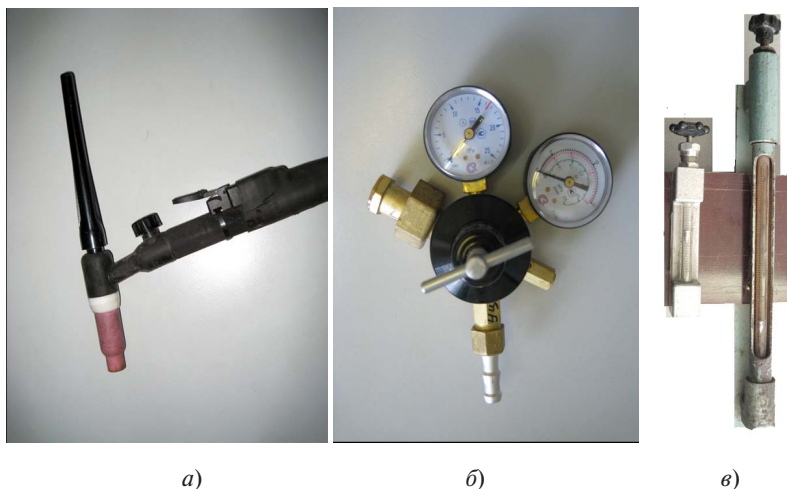


Рис. 52. Аппаратура поста для АРДС: а) малогабаритная горелка для сварки неплавящимся электродом; б) редуктор типа ДЗР; в) ротаметры

Снаружи горловина имеет резьбу для навертывания предохранительного колпака.

Баллоны окрашивают в различные цвета в зависимости от наполняющего их газа. Кроме того, в средней части баллона обязательно делают надпись. Небольшой участок у горловины не закрашивают. Здесь выбивают паспорт баллона: номер, рабочее и пробное давление и дату испытания пробным давлением.

Углекислый газ хранится в жидком состоянии при давлении 5–6 МПа. В стандартном баллоне емкостью 40 л помещается 25 кг жидкой углекислоты, из которой можно получить около 12700 л газа.

Завод – поставщик газа снабжает каждый наполненный баллон сертификатом. Сертификат – это паспорт на газ, в котором указаны емкость наполненного баллона, состав газа и дата наполнения. Расходовать газ следует с таким расчетом, чтобы остаточное давление в баллоне было не менее 0,2 МПа.

Редукторы служат для понижения давления выходящего из баллона газа и автоматического поддержания заданного давления в процессе работы. Ввертыванием регулировочного винта создается

нажатие на мембрану, превышающее усилие отжимной пружины. Клапан открывается и пропускает в рабочую камеру газ из баллона, причем мембрана и клапан находятся в постоянном движении, чем и обеспечивается поддержание давления на заданном уровне. Если же отбора газа нет, давление возвращает мембрану в первоначальное положение.

Разработаны правила хранения, транспортировки и эксплуатации баллонов.

Особого внимания заслуживают изучение и соблюдение требований и правил обращения с баллонами, наполненными инертными газами и ложно считающимися не опасными.

Так как аргон и гелий являются инертными газами, взрыво-опасных смесей с другими газами они не образуют. Поэтому использование их связано с меньшей опасностью по сравнению с другими газами. Но как сосуд, находящийся под высоким давлением сжатого газа, наполненный баллон требует осторожного обращения. Он может взорваться от резких толчков и ударов, при падении, нагреве и т. п. Работая в цехе, сварщик обязан закреплять баллон в специальном стеллаже цепью или откидной скобой. Для быстрого и точного определения газа в баллоне и, соответственно, правил обращения с ним принята опознавательная (отличительная) окраска. Баллоны окрашивают в различные цвета в зависимости от наполняющего их газа и обязательно надписывают в средней части (табл. 14).

Таблица 14

Отличительная окраска баллонов со сжатыми газами,
применяемыми при сварке и резке

Газ в баллоне	Цвет баллона	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черный	Азот	Желтый	Коричневый
Аргон технический	Черный	Аргон технический	Синий	Синий
Аргон чистый	Серый	Аргон чистый	Зеленый	Зеленый
Водород	Темно-зеленый	Водород	Красный	—
Гелий	Коричневый	Гелий	Белый	—

Газ в баллоне	Цвет баллона	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Кислород	Голубой	Кислород	Черный	—
Пропан	Красный	Пропан	Черный	—
Углекислый газ (углекислота)	Черный	Углекислота	Желтый	—
Прочие горючие газы	Красный	Наименование газа	Белый	—

Транспортировать баллон к рабочему месту удобно на тележке облегченного типа с обязательным его закреплением. В случае если на рабочем месте не окажется специального стеллажа или крепления, лучше оставить баллон в тележке.

К рабочему месту наполненный баллон следует перекачивать в вертикальном положении, слегка наклоняя вперед горловину.

Транспортировка баллонов на большие расстояния производится только на транспортных средствах с рессорами; укладывать их следует поперек кузова, вентилями в одну сторону и обязательно с прокладками, исключающими перекачивание и удары баллонов друг о друга.

Хранить и перевозить наполненные и порожние баллоны разрешается только с навернутыми колпаками.

Наполненные баллоны следует защищать от нагрева солнечными лучами. Расстояние до источника открытого огня должно быть не менее 5 м, до нагревательных устройств — не менее 0,75 м.

5. РАБОЧЕЕ МЕСТО СВАРЩИКА

5.1. Организация труда и рабочего места

Рабочее место сварщика, с одной стороны, – простейшая производственная система «человек – машина» в структуре сварочного производства, с другой – часть производственной площади участка цеха или монтажной площадки, оснащенная необходимыми техническими средствами, на которой один сварщик или бригада рабочих выполняет операции по изготовлению сварных конструкций [8].

Основная задача организации рабочего места и его обслуживания – обеспечение условий для наиболее полного использования сварочного оборудования и бесперебойной высококачественной работы сварщика при благоприятных условиях труда.

Организовать рабочее место и труд сварщика – это значит оснастить его сварочным оборудованием, инструментом, приспособлениями, оргтехоснасткой, разместить все элементы в соответствии с требованиями эргономики (рис. 53) и обеспечить бесперебойное обслуживание, *включающее обслуживание рабочей силы (сварщик), средств труда (сварочное оборудование и оснастка), предметов труда (заготовки, узлы, сварочные материалы) и рабочей среды (помещение, окружающая среда)*. Организация рабочего места сварщиков зависит от типа производства. В условиях единичного производства сварщикам приходится выполнять, помимо сварки, самые разные операции, например связанные с обслуживанием и мелким ремонтом сварочного оборудования, особенно на передвижных рабочих местах. Поэтому такие рабочие места оснащают наряду со сварочным оборудованием и инструментом разнообразными дополнительными универсальными приспособлениями.

В зависимости от характера выполняемой работы рабочее место сварщика может быть расположено в специальной кабине или непосредственно у самого изделия.

Кабина, как правило, должна располагаться у стены с окном. Рабочее место сварщика должно быть хорошо освещенным и иметь вентиляцию [2].

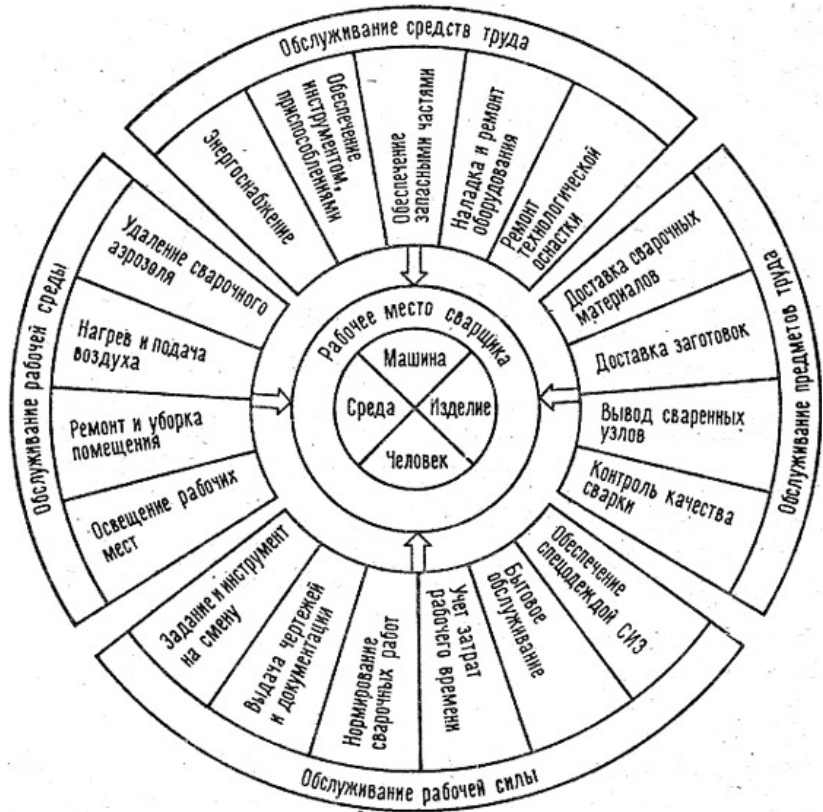


Рис. 53. Схема обслуживания рабочего места [8]

Кабину сварщика оборудуют рабочим столом, винтовым стулом. При серийном и массовом производстве однотипных деталей и узлов вместо стола устанавливают кантователь, манипулятор или специальное приспособление. Устанавливать в кабине сварочные преобразователи не рекомендуется [2].

Вместо индивидуальной кабины рабочее место сварщика может быть оборудовано общим столом с перегородками и откидными шторками.

Если электрододержатель или горелка снабжены кнопкой (рис. 51, 52) для включения сварочного тока, в оборудование поста входит контактор для размыкания сварочной цепи. Желательно на стенке кабины установить измерительные приборы: амперметр,

вольтметр и ротаметр (рис. 52). Баллоны с защитным газом должны быть установлены в стеллажах и обязательно закреплены.

Стол сварщика является опорной площадкой-плитой для сборки, прихватки и сварки, поэтому крышка стола должна быть толстостенной.

ВНИМАНИЕ! На поверхности деталей из нержавеющей сталей не допускаются царапины, поэтому на крышке стола не должно быть заусениц и брызг.

В тумбе стола следует разместить всё необходимое для работы, чтобы не затрачивать лишнее время на поиск инструмента (пасатижи, кусачки, напильники), он должен располагаться в самом доступном месте. Здесь же должны храниться маска, перчатки, ветошь для обезжиривания и банка с ацетоном.

Для удобства в работе и повышения производительности труда на столе необходимо иметь простейшее приспособление для крепления мелких свариваемых деталей типа струбцин, тисков, прижимов и т. п.

Самым удобным для сварщика является винтовой стул со спинкой.

У сварщика, работающего на сборочной площадке, нет стола и стула. Всё оборудование поста в этом случае устанавливается у ближайшей стены или на специальной площадке с ограждением. Для защиты рядом работающих от вредных воздействий сварочной дуги рабочее место сварщика отгораживается переносными ширмами или брезентовым занавесом (рис. 51).

При сварке в защитных газах необходимо предусмотреть защиту сварочной дуги от сквозняков и потоков воздуха. Баллон с защитным газом рекомендуется установить вблизи рабочего места непосредственно на сборочной площадке, так как сварщику часто приходится регулировать расход газа. На сборочных площадках удобнее пользоваться переносным стеллажом для баллонов и аппаратуры.

5.2. Влияние положения зоны сварки на точность управления процессом

Положение зоны сварки в пространстве влияет на рабочую позу, от которой зависит напряжение мышц сварщика. Рабочая поза оп-

ределяет условия наблюдения за процессом и точность движения рабочей руки, и поэтому имеется связь между рабочей позой и эффективностью управления формированием шва (рис. 54) [8].

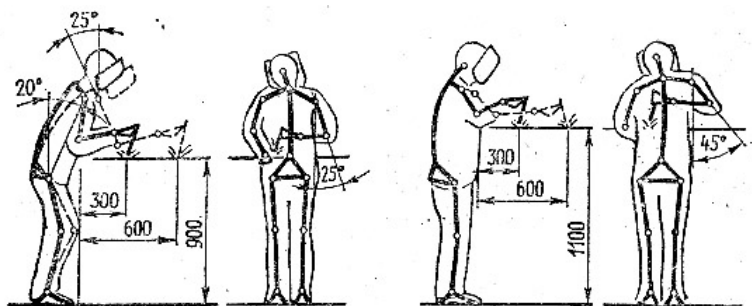


Рис. 54. Рабочие позы сварщика

Существует связь между качеством формирования сварного шва и равномерностью вертикального перемещения электрода по мере его плавления. Снижение точности управления процессом сварки происходит из-за выноса плеча вперед (при изменении положения зоны сварки по глубине). Вынос плеча вперед в большей степени влияет на точность управления процессом, чем отведение его от туловища. Пространственная планировка рабочего места сварщика должна обеспечивать такое расположение зоны сварки, при котором вынос и отведение плеча рабочей руки не превышали бы 35...40 градусов. Величина суставных углов должна быть тем меньше, чем длительнее и чаще сварщик выполняет сварку.

5.3. Пространственная планировка рабочего места

Планировка рабочего места – это взаимное пространственное расположение свариваемого узла, сварочного оборудования, технологической оснастки и сварщика в процессе труда. Пространственную планировку выполняют с учетом антропометрических и биомеханических свойств сварщика, а также характеристик его органов зрения при обеспечении минимальной протяженности переходов, напряженности рабочей позы, экономичного использования производственной площади и безопасных условий труда.

Антропометрические свойства, учитываемые при разработке пространственной планировки рабочего места, выборе оборудования и оснастки, делятся на статические и динамические. Статическими называются размеры, снятые в статическом положении человека, сохраняющего при измерении одну и ту же позу. К динамическим размерам относят углы наклонов, поворотов, вращения в суставах, данные по зонам досягаемости. Примерами использования антропометрических данных могут служить расчеты размеров зон сварки в положении сидя и стоя (рис. 55).

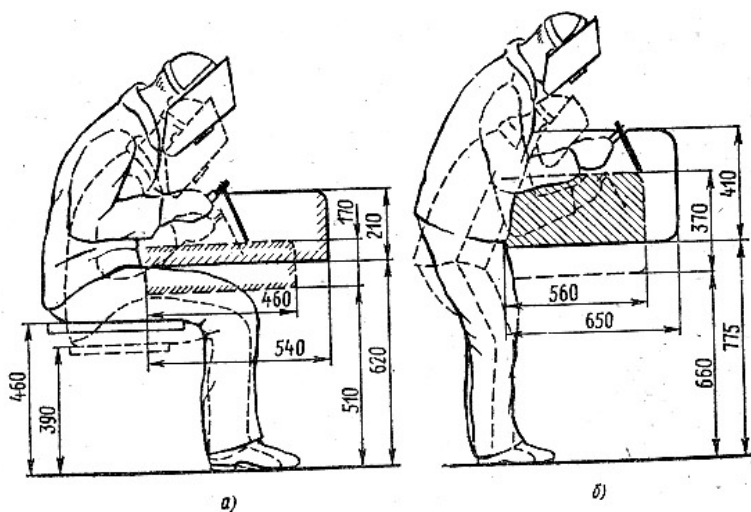


Рис. 55. Размеры и пространственное расположение оптимальной рабочей зоны при сварке: а) сидя; б) стоя

Основными размерами стационарного рабочего места являются высота зоны сварки от пола, глубина её расположения от края стола и высота сиденья и подставки для ног при сварке сидя. Размеры рабочего места выбирают с учетом роста сварщика. Чтобы было удобно работать на одном рабочем месте сварщикам различного роста, высоту (размеры d и l) принимают удобной для сварщика высокого роста, а глубину досягаемости электродом (размер c) — для сварщика низкого роста (рис. 56). Для удобства работы сварщики низкого роста должны применять подставку под ноги. Высоту подставки для ног и сиденья следует выбирать по графикам (рис. 56).

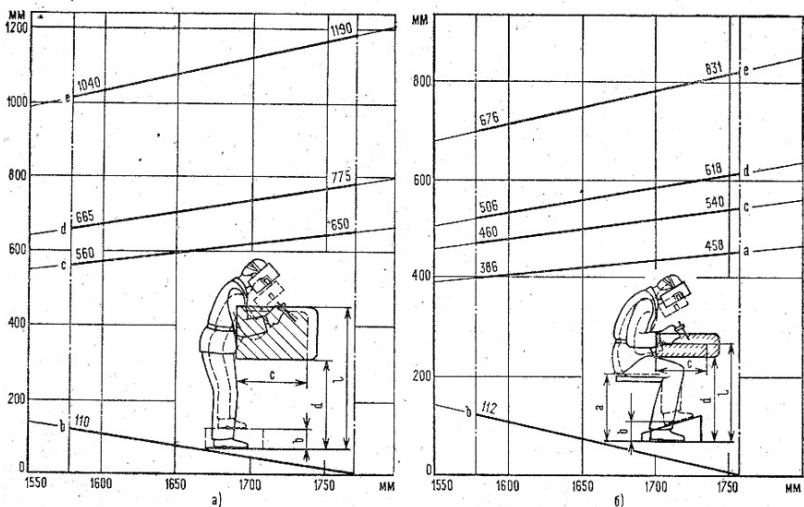


Рис. 56. Параметры стационарного рабочего места сварщика при сварке: а) стоя; б) сидя

При сварке стоя необходимо предусмотреть пространство для размещения стоп ног в случае подхода к столу или оборудованию вплотную. Высота и глубина этого пространства должны быть не менее 150 мм. Такой же глубины должно быть пространство для колен, чтобы они не упирались в стол при наклоне туловища вперед и изгибе ног.

6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ

Целью мероприятий по технике безопасности является предупреждение травматизма – поражений электрическим током, механизмами, ожогов от излучения дуги, от расплавленного металла, отравлений парами металлов и газами, увечий в результате взрывов баллонов и т. п. Меры предосторожности изложены в соответствующих правилах.

Для обеспечения электробезопасности личной и окружающих сварщик должен постоянно выполнять следующие мероприятия.

1. Проверять и требовать исправления изоляции на проводах токоведущей сети от сварочных установок (преобразователей, выпрямителей).

2. Систематически проверять изоляцию проводов и плотность соединения на всех контактах сварочных горелок (пистолетов).

3. Регулярно следить за исправностью измерительных приборов.

4. Не допускать случаев выполнения ремонта сварочной электроаппаратуры лицами, не имеющими допуска к ремонту оборудования и электроаппаратуры. Сварщики-операторы, работающие на автоматах и специализированных установках, имеют право ремонтировать и обслуживать оборудование сами, если они специально обучены и имеют допуск на право эксплуатации установок с напряжением до 1000 В.

Для предупреждения опасности травматизма при работе механизмов и механизированного инструмента необходимо строго соблюдать ограничительные меры и выполнять основные профилактические мероприятия, предписанные соответствующими правилами, а также соблюдать требования по согласованности действий рабочих на смежных операциях.

При подготовке поверхности деталей под сварку пользуются растворителями: ацетоном и уайт-спиритом. Необходимо знать, что эти растворители являются опасными жидкостями, интенсивно испаряющимися, и хранить их можно лишь в небьющейся посуде с узкой горловиной, плотно закрывающейся пробкой.

Растворители разъедают кожу рук, поэтому при обезжиривании необходимо соблюдать осторожность и работать так, чтобы руки не

смачивались. Там, где это невозможно, работать следует в перчатках. Не следует низко наклоняться над деталью, которую обезжиривают. Пары растворителя, попадая в легкие, затрудняют дыхание и раздражают слизистую оболочку рта и носа.

Помещения с низкими потолками следует часто проветривать или периодически включать вентиляцию для обмена воздуха. После обезжиривания нельзя трогать свариваемые кромки руками, так как на поверхности кромок могут остаться грязь и жирные пятна. Если обезжиренные поверхности по какой-то причине не сваривают, их следует предохранять от пыли, брызг, масла и других загрязнений, накрывая тканью или специальной лентой. На участке, в цехе, где выполняются сборочно-сварочные работы, возможны случайные загрязнения обезжиренной поверхности (брызги масла от пневмоинструмента, наждачная пыль, брызги воды и т. п.). Поэтому сварные соединения ответственных узлов (I категория) обычно дополнительно обезжиривают непосредственно перед сваркой независимо от того, были эти поверхности обезжирены ранее или нет.

Сварка нержавеющей сталей в защитных газах требует строгого соблюдения порядка подключения газовой аппаратуры сварочного поста: редуктора, осушителя, расходомера и др.

Известны два варианта снабжения сварочных постов защитным газом. Первый предусматривает использование баллонов, доставляемых на каждое рабочее место сварщика. Таким путем обычно осуществляется снабжение стационарных и переносных постов в монтажных условиях и временных постов в цеховых условиях (на сборочных площадках, при исправлении дефектов и ремонте). Второй вариант предусматривает безбаллонное снабжение защитным газом с использованием газопровода, подающего газ от рампы, куда сразу подключается один или несколько баллонов к постам сварщиков. Таким путем снабжают стационарные посты в цеховых условиях (кабины, сборочные плиты и площадки и т. п.).

Перед присоединением редуктора к вентилю баллона или газопровода необходимо:

- 1) произвести осмотр вентиля (нет ли стружки, грязи, масла, исправна ли резьба);

- 2) произвести осмотр накидной гайки и ниппеля редуктора (исправность резьбы гайки; наличие внутри гайки фибровой прокладки; отсутствие стружки, ризок, забоин или грязи на шарнирной поверхности ниппеля, присоединяемого к штуцеру вентиля);
- 3) проверить срок испытания баллона (по клейму на горловине);
- 4) продуть штуцер вентиля кратковременным (2–3 сек) открыванием вентиля (на четверть оборота);
- 5) присоединить редуктор к вентилю баллона (или газопровода);
- 6) открыть вентиль и проверить исправность манометров редуктора (при неисправности манометров высокого и низкого давления сварочные работы производить запрещается);
- 7) убедиться в отсутствии утечки газов через вентиль и редуктор;
- 8) убедиться в исправности влагоотделителя (при сварке в углекислом газе).

Перед присоединением шлангов к редуктору и расходомеру необходимо тщательно протереть ниппеля салфеткой и убедиться, что отверстия ниппелей не засорены.

Помимо обычных требований, хорошо известных сварщикам дуговой сварки, необходимо выполнять новые требования, появившиеся в связи с внедрением сварки в защитных газах. Если при дуговой сварке покрытыми электродами дуга частично закрыта пленкой жидкого шлака, а при сварке под флюсом — полностью не видна и не вредна для окружающих, то при сварке в защитных газах (ручной, полуавтоматической и автоматической) дуга совершенно открыта и является очень опасной. Подручные сварщика в этом случае, а также подсобные рабочие и сборщики должны работать в защитных очках со светофильтром ВЭС для соответствующей силы тока (ВЭС-2, ВЭС-3 или ВЭС-4) или в очках со стеклами ГС (очки газосварщиков).

Если сварщик работает вне кабины или закрытого помещения (в отсеках, за переборками и т. п.), место сварки необходимо оградить защитными экранами: переносными, навесными (ширмами) и др.

Выполнение всех сварочных работ связано с выделением газов. Активные газы (углекислый и угарный газы, пары и окислы металлов), а также инертные (аргон, гелий и смеси этих газов) могут оказывать вредное действие на организм человека, приводя иногда

к отравлению или удушью. Для уменьшения или исключения вообще воздействия этих газов и паров на организм человека все сварочные операции (прихватку, сварку и заварку дефектов) следует производить в хорошо проветриваемых помещениях, оснащенных общей и местной вентиляцией. Исправность и эффективность вентиляции проверяют постоянно, даже всякий раз перед началом работы.

Если сварочные работы выполняют в закрытых объемах и малых (особенно по высоте) помещениях (отсеки на судах, ниши для трубопроводов), обязательно применяют местные отсосы и периодически контролируют состав воздуха в нижней и верхней точках сосуда вблизи места сварки. Аргон – самый тяжелый газ – обычно скапливается в нижней части неветилируемого помещения; гелий – самый легкий газ – в верхней части помещения. Вытесняя воздух и смешиваясь с воздухом в различных пропорциях, эти газы могут привести к кислородному голоданию, от чего работающие быстро утомляются, чувствуют головные боли и общее недомогание. При большой дозе инертного газа в воздухе и отсутствии обмена может наступить удушье.

При любом способе сварки возможно загорание легковоспламеняющихся и горючих материалов. Чтобы не допустить пожара, необходимо тщательно изучить и строго выполнять правила противопожарной безопасности, предписанные конкретно для помещения, в котором предстоит производить сварочные работы.

Баллоны

Давление в баллоне и величина заданного (рабочего) давления контролируются манометрами. Для аргонодуговой сварки применяют специальный редуктор марки ДЗР-1-57 (59) с пределом регулирования от 0,005 до 15 МПа. Можно также использовать для сварки в защитных газах обычные кислородные редукторы следующих марок: РК-53, РК-59, РДС-50, РА-50 и др.

Редуктор типа ДЗР (рис. 52,б) обеспечивает регулировку расхода аргона в диапазоне от 120 до 1200 л/ч и углекислого газа от 235 до 2940 л/ч. Наличие такого редуктора, расходомера и высокая точность поддержания давления и расхода газа (8%) позволяют считать, что этот прибор отвечает всем требованиям сварки в защитных газах.

У кислородных редукторов шкала контролирующего манометра рассчитана на давление свыше 1 МПа, поэтому рабочее давление газа приходится устанавливать ориентировочно. Более удобными для работы являются кислородные редукторы РК-59Б, у которых манометр низкого давления можно легко заменить манометром с более мелкой шкалой.

Перед присоединением редуктора к вентилю баллона необходимо проверить, не загрязнены ли штуцер и гайка редуктора, затем продуть запорный вентиль, открывая его на 1–2 сек. После присоединения редуктора запорный вентиль на баллоне следует открывать медленно, иначе может выйти из строя клапан редуктора.

Расходомеры – приборы для измерения расхода газа. При сварке в защитной среде применяют расходомеры манометрического, поплавкового (РС-3, РС-5 и др., называемые обычно ротаметрами) и дроссельного типа.

Ротаметр типа РС (рис. 57) действует следующим образом. Проходя через ротаметр, установленный строго вертикально, газ поднимает поплавок в сторону большего диаметра трубки, увеличивая кольцевой зазор между поплавком и внутренней поверхностью трубки. В определенном месте поплавок остановится, уравновешенный напором проходящего газа. Положение поплавка указывает на расход газа (по шкале).

Шкала ротаметров типа РС-3 градуирована на расход воздуха. В паспорте имеется график с кривой расхода воздуха в л/ч. Если используется аргон, который, как известно, тяжелее воздуха, то для него необходимо ввести поправочный коэффициент и после перерасчета нанести на график кривую для аргона.

При одновременной разработке и сборке нескольких ротаметров необходимо помнить, что поплавки изготавливаются из эбонита, стали, алюминия и имеют различные веса, что существенно влияет на показания приборов. Расход аргона, равный 5 л/мин, замеренный ротаметром с эбонитовым поплавком, может увеличиться в три раза, если вместо эбонитового установить стальной поплавок.

Иногда для сварки нужна смесь двух газов: аргона и гелия, аргона и кислорода и др. Например, для повышения тепловой мощности дуги применяют смесь аргона (50%) и гелия (50%). В таких

случаях пост оборудуют двумя ротаметрами (один – с паспортной кривой на аргон, другой – на гелий, с учетом рабочего давления).

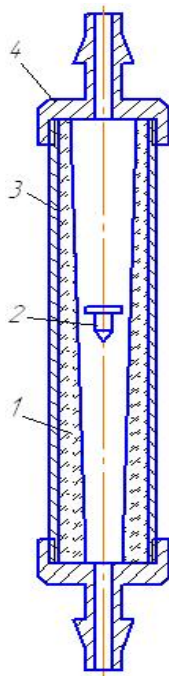


Рис. 57. Ротаметр (расходомер поплавкового типа): 1 – стеклянная трубка; 2 – поплавок; 3 – кожух с вырезами; 4 – гайка накидная с ниппелем

Расходомер дроссельного типа работает по принципу измерения перепада давлений до и после дросселирующей диафрагмы. Диафрагму устанавливают в цилиндрической камере так, чтобы она разделила камеру на две половины. Давление в каждой половине контролируется манометром.

При работе с неизменным расходом газа на выходе редуктора можно установить шайбу с калиброванным отверстием. Такая шайба вполне заменяет расходомеры любого типа. Диаметр отверстия в шайбе подбирается опытным путем. Если в процессе работы иногда приходится менять расход газа, можно пользоваться набором шайб с различными отверстиями. Установка необходимой шайбы длится не более двух минут.

Электроизмерительные приборы стационарного типа (щитовые по ГОСТ 8711-78) служат для измерения тока и напряжения при сварке. Характеристики этих приборов приведены в табл. 15.

Таблица 15

Щитовые приборы для измерения напряжения и тока
при сварке в защитных газах

Наименование прибора	Тип или марка прибора	Назначение прибора и диапазон измерения
Вольтметр постоянного тока	М42264М (аналог М381)	Для измерения напряжения от 3 до 600 В
Вольтметр переменного тока	Э-765	То же от 15 до 600 В
Амперметр постоянного тока	Э42702 (Э365)	Для измерения тока от 1 до 75 А
Амперметр переменного тока	М42300	Для измерения тока от 1 до 300 А

Оборудуя пост для ручной дуговой, аргонодуговой и полуавтоматической сварки в условиях цеха, важно правильно найти место для установки всех приборов, за которыми сварщик должен наблюдать в процессе работы. Согласно требованиям НОТ приборы должны располагаться в таком месте, чтобы сварщик затрачивал меньше усилий и не делал лишних движений, приспособившись наблюдать за показаниями приборов. Лучше всего приборную доску устанавливать перед лицом сварщика.

Библиографический список

1. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин [и др.] ; под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
2. Петров, В.Н. Сварка и резка нержавеющей сталей / В.Н. Петров. – Л. : Судостроение, 1970. – 287 с.
3. Сварка и свариваемые материалы : в 3 т. Т. 1. Свариваемость материалов : справоч. изд. / под ред. Э.Л. Макарова. – М. : Металлургия, 1991. – 528 с.
4. Медовар, Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов / Б.И. Медовар. – М. : Машиностроение, 1966. – 430 с.
5. Земзин, В.Н. Жаропрочность сварных соединений / В.Н. Земзин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 271 с.
6. Сварка и резка материалов : учеб. пособие / М.Д. Банов [и др.] ; под ред. Ю.В. Казакова. – М. : Академия, 2009. – 400 с.
7. ГОСТ 30242-97 «Дефекты соединений при сварке плавлением. Классификация, обозначения и определения» : офиц. текст. – Минск : Межгосударственный стандарт, 2001. – 27 с.
8. Жизняков, С.Н. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология / С.Н. Жизняков, З.А. Сидлин. – М. : ЦТТ ИЭС им. Е.О. Патона, 2007. – 360 с.
9. Инструмент и средства защиты электросварщика / Р.А. Равлусевич [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 96 с. (Б-ка сварщика).
10. Специальные способы сварки и резки : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / М.Д. Банов, В.В. Масаков, Н.П. Плюснина. – М. : Академия, 2009. – 208 с.
11. Столбов, В.И. Образование прожога при сварке тонких листов / В.И. Столбов, В.В. Масаков // Сварочное производство. – 1977. – № 10. – С. 20–22.
12. Столбов, В.И. Временные радиальные перемещения при сварке / В.И. Столбов, В.В. Масаков, В.П. Сидоров // Сварочное производство. – 1980. – № 3. – С. 13–15.
13. Попов, В.А. Дуговая и газовая сварка сталей / А.В. Попов. – Тверь : Центр подготовки персонала ОАО Тверьэнерго, 1997. – 374 с. (Серия «Учебные пособия для подготовки и повышения квалификации персонала»).

14. ГОСТ 12.3.003-86. «ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности» : офиц. текст. // Система стандартов безопасности труда : сб. ГОСТов. – М. : Издательство стандартов, 2008. – 10 с.
15. ГОСТ 29273-92. «Свариваемость. Определение» : офиц. текст. – М. : Издательство стандартов, 2004. – 2 с.

Вопросы для контроля

1. Какой элемент нужно добавить в сталь, чтобы она стала нержавеющей?
2. Какие стали можно отнести к нержавеющим?
3. Что представляет собой аустенит в сталях?
4. Чем отличается от аустенита феррит?
5. В чём различие между свойствами хромистой стали 08X13 и аустенитной стали 08X18Н9Т?
6. Какие виды коррозии могут иметь место при эксплуатации сварных конструкций?
7. Что такое межкристаллитная коррозия?
8. Что дает заточка конца вольфрамового электрода?
9. Какими способами можно зажечь дугу при сварке в аргоне неплавящимися электродами?
10. Как обеспечить качественную защиту металла шва при аргодуговой сварке?
11. Как влияет скорость сварки на качество защиты зоны сварного шва?
12. Как установить заданный расход защитного газа?
13. Какие источники питания дуги рекомендуются для аргодуговой сварки неплавящимся электродом?
14. В чём заключаются преимущества инверторных источников питания дуги перед традиционными?
15. Какими причинами вызвано появление пор в сварных швах?
16. Каковы особенности сборки тонкостенных конструкций под сварку?
17. В чём состоят особенности техники сварки хромистых сталей?
18. Каковы основные расходные материалы при сварке в среде защитных газов?
19. Как определить содержание и состав газа в баллоне?
20. Назовите неразрушающие методы контроля сварных соединений.
21. Какие дефекты сварных швов можно выявить визуально-оптическим контролем?
22. Какие дефекты могут иметь место при аргодуговой сварке тонколистовых и тонкостенных конструкций?
23. Есть ли нормы допустимых дефектов дуговой сварки?
24. Каковы основные требования к безопасности эксплуатации оборудования и технологического процесса аргодуговой сварки?
25. Что предусматривает комплекс мероприятий по охране труда электросварщика?
26. Каковы индивидуальные средства защиты сварщика при дуговой сварке в среде защитных газов?
27. Что составляет рабочее место оператора аргодуговой сварки?
28. Каким требованиям должно отвечать рабочее место сварщика ручной аргодуговой сварки?
29. Какими приспособлениями можно обеспечить качественную защиту зоны сварки при экономичном расходе защитного газа?

30. Перечислите внешние и внутренние дефекты шва.
31. Какие виды трещин могут возникать в сварных швах?
32. Как осуществить контроль рентгеновским методом?
33. В чём заключается контроль сварных соединений методом УЗК?
34. В чём физическая сущность герметичности, чем она проверяется?
35. В чём особенности керосиновой пробы и цветной дефектоскопии?
36. Каковы цели металлографического и механического методов контроля?
37. Как влияет вид соединения и форма изделия на эффективность газовой защиты?
38. В чём особенности конструкций горелок и их сопел для аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом?
39. Каковы причины образования прожога при сварке тонколистовых конструкций?
40. Как изменяются характер формирования валика и глубина проплавления в зависимости от положения электрода?
41. Влияет ли положение цанги в горелке на эффективность защиты?
42. Каков характер разрушения сварных образцов при статическом растяжении?
43. Как оценить оптимальность рабочей зоны при сварке?
44. Для каких целей предназначен ротаметр и на чём основана его работа?
45. Как влияет скорость сварки на внешний вид валиков?
46. Что такое кратер?
47. Как расположить электрод при ручной аргонодуговой сварке неповоротных стыков труб?
48. Как производить сварку замкнутого шва изделия с переменной толщиной стенки?
49. Перечислите структурные зоны сварного соединения из аустенитной стали.
50. Как связать точность сборки и качество сварки?
51. Как растут кристаллиты в движущейся сварочной ванне?
52. Перечислите типы сварных соединений тонкостенных изделий.
53. Какое положение присадки по отношению к электроду является оптимальным в момент начала сварки?
54. Как оценить качество защиты шва, выполненного аргонодуговой сваркой, по его внешнему виду?
55. Что должно входить в состав поста для аргонодуговой сварки?
56. Какими параметрами определяется стационарное рабочее место сварщика?
57. Как определить тип дефекта по рентгенограмме сварного соединения?
58. Как определить химический состав свариваемой стали?
59. Как определить структурный состав свариваемой стали?
60. Как обозначаются легирующие элементы в стали?

Словарь терминов

Термин	Определение
Аустенизация	Получение аустенитной структуры нагревом до температуры выше верхней критической точки и выдержка при этой температуре, необходимая для получения однородного твердого раствора
Аустенит	Твердый раствор углерода и примесей в γ -Fe (гамма-железо)
Выдержка при нагреве	Промежуток времени от достижения изделием заданной температуры до начала охлаждения
Выдержка при охлаждении	Промежуток времени от внесения изделия в охлаждающую среду до извлечения из неё
Герметизация	(От имени легендарного египетского мудреца Гермеса Триждывеличайшего, обладавшего искусством прочной закупорки сосудов) – обеспечение непроницаемости стенок и соединений в изделиях или сооружениях для жидкостей и газов
Горячие трещины	Хрупкие межкристаллитные разрушения сварного шва или околошовной зоны, возникающие в области температурного интервала хрупкости в результате действия термомодеформационного сварочного цикла. Горячие трещины возникают в основном при сварке сталей аустенитного класса
Горячие трещины при сварке сталей аустенитного класса (причины)	Повышенная склонность по сравнению с конструкционными низколегированными сталями к образованию горячих трещин обязана совместному действию трёх факторов: 1) возникновению значительных растягивающих напряжений, вызванных низкой теплопроводностью стали и увеличенной линейной усадкой затвердевающего металла 2) получению в металле шва однофазной крупнокристаллической столбчатой структуры с протяжёнными и непрерывными межкристаллитными границами, обогащенными примесями 3) загрязнению межзёрренных границ элементами, способными образовывать легкоплавкие эвтектики
Граница зерна	Пограничная часть объёма зерна, прилегающая к другим зернам. Состав и свойства границ зерен обуславливают физико-механические свойства металла
Дефектоскопия	Область техники и технологии, занимающаяся поиском дефектов в материале изделия

Термин	Определение
Дефектоскоп	(От лат. <i>defectus</i> – недостаток + греч. σκοπεω – наблюдаю) – прибор для определения на деталях внешних и скрытых (внутренних) дефектов
Деформация	Изменение формы и размеров тела. Деформация может быть двух видов: пластическая, после которой не восстанавливается первоначальная форма тела при снятии нагрузки, и упругая, исчезающая после снятия нагрузки
Динамические испытания	Механические испытания материала с быстрым приложением нагрузки, например испытания на удар
Диффузия	Процесс проникновения одного вещества в другое. Скорость диффузии зависит от температуры и свойств материала
Длительная прочность	Сопротивление материала механическому разрушению под действием постоянной нагрузки, приложенной в течение длительного времени. Длительная прочность обычно испытывается при повышенных температурах (300...1000° С)
Долговечность	Свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния. Время работы изделия до предельного состояния называется ресурсом
Жаростойкость или окалиностойкость	Способность металлов и сплавов противостоять окислению или окалинообразованию при нагреве до высоких температур
Жаропрочность	Способность металлов и сплавов сохранять при повышенных температурах прочность и сопротивляемость деформированию
Излом	Внешний вид поверхности в месте разрушения металла. По характеру излома можно определить качество металла или условия, вызвавшие его разрушение. Различают два основных типа излома: хрупкий (кристаллический) и вязкий (волокнистый). Лучшие механические свойства имеет металл с вязким изломом
Карбид железа	Химическое соединение железа с углеродом; обладает высокой твердостью и низкой пластичностью
Карбид хрома	Химическое соединение хрома с углеродом; нагрев в ходе сварки хромоникелевых аустенитных сталей до температуры 500...900° С приводит к выделению карбида хрома по границам зерен. Это резко повышает при последующей работе сварного соединения в агрессивной среде скорость МКК

Термин	Определение
Коробление	Вид брака, характеризующийся изменением формы изделий при технологической обработке (например, при сварке)
Коррозия	Разрушение металла вследствие воздействия на его поверхность агрессивной среды
Кратер	Кратер представляет собой усадочную, не заполненную металлом раковину (образующуюся при обрыве дуги), на дне которой могут присутствовать трещины, а её металл может быть насыщен азотом и кислородом, поскольку из-за прекращения горения дуги лишённый защиты расплав ещё некоторое время контактирует с атмосферой воздуха. Кратер считается недопустимым дефектом сварных соединений, выполняемых дуговыми способами сварки
Кристаллизация	Образование зародышей кристаллов и их рост до видимых размеров из паров, растворов, расплавов
Кристаллит	Кристалл неправильной формы, не имеющий характерной кристаллической огранки. К кристаллитам относят дендриты, зерна кристаллические металлических слитков
Кристаллическая решетка	Присущее твердым кристаллическим телам (металлам) расположение атомов, характеризующееся периодической повторяемостью в пространстве – в виде пространственной решетки, в узлах которой располагаются атомы
Критическая скорость	Величина, характеризующая наименьшую скорость охлаждения стали, при которой аустенит претерпевает только мартенситное превращение
Критическая точка	Температура, при которой металл или сплав из одного структурного состояния переходит в другое. При закалке это переход структуры металла из одной системы кристаллического строения в другую
Легирующая сталь	Сталь, содержащая один или несколько элементов, специально введенных в неё для придания определённых свойств
Легирующий элемент	Элемент, вводимый в состав сплава для получения требуемых свойств
Ликвация	Неоднородность химического состава сплавов по объёму, возникающая при кристаллизации
Люминесцентный контроль	Вид дефектоскопии для обнаружения поверхностных дефектов. Контроль основан на способности некоторых жидкостей, проникающих в поры или трещины изделия, светиться при облучении ультрафиолетовым светом

Термин	Определение
Магнитный контроль	Контроль качества изделий для обнаружения трещин, волосовин или подобных дефектов посредством намагничивания или окунания в специальные суспензии, твердые составляющие которых осаждаются в месте дефекта
Макроструктура	Структура металла, видимая невооружённым глазом или с помощью лупы. Макроструктура выявляется травлением шлифованного изделия, называемого макрошлифом
Межкристаллитная коррозия (МКК)	Коррозия, развивающаяся по границам зёрен металла (сплава). МКК приводит к нарушению связи между зёрнами и разрушению металла на большую глубину без явных наружных следов коррозии
Металловедение	Учение о строении (структуре) и свойствах металлов
Металлография	Отрасль металлостроения, изучающая внутреннее строение (структуру) металлов и сплавов
Микроструктура	Структура металла или металлического сплава, видимая с помощью микроскопа на специальных полированных и протравленных шлифах, называемых микрошлифами
Наклёп	Поверхностное упрочнение металла при пластической деформации в холодном состоянии, в результате которого изменяются его прочностные свойства, повышаются пределы текучести и прочности, увеличивается твердость и уменьшается вязкость
Неметаллические включения	Мелкие включения неметаллических веществ в стали: оксиды, сульфиды, силикаты и др. Количество и характер распределения неметаллических включений определяют путём сравнения вида поверхности макрошлифа (при увеличении в 100 раз) со специальными шкалами
Остаточный аустенит	Нераспавшийся в процессе термической обработки аустенит, существующий в стали при комнатной температуре. Последующая обработка холодом способствует распаду остаточного аустенита и повышению твердости
Осциллятор	Устройство, преобразующее ток промышленной частоты и низкого напряжения (50 Гц, 220 В) в ток высокой частоты (100...300 кГц) и высокого напряжения (2000...6000 В). При подаче импульсов высокого напряжения на промежуток между заготовкой и электродом происходит пробой промежутка искрой, и появляются свободные электроны. Кратковременный искровой разряд развивается в дуговой разряд, создавая условия для горения дуги

Термин	Определение
Полиморфные (аллотропические) превращения	Способность вещества менять своё кристаллическое строение при определённых температурах. Например, при 910° С в железе кристаллическая решетка объёмно-центрированного куба (α -железа) превращается в решетку гранецентрированного куба (γ -железа)
Предел прочности	Напряжение, равное отношению наибольшей нагрузки, предшествующей разрушению образцов, к первоначальной площади сечения образца
Предел текучести	Напряжение, при котором деформация материалов происходит без возрастающей нагрузки
Перегрев металла	Вид брака, возникающий вследствие нагрева металла выше заданной температуры. При перегреве наблюдаются значительный рост зерна и снижение механических свойств. Дефект исправимый
Пережог металла	Вид брака, образующийся при нагреве металла в окислительной среде до высокой температуры, близкой к температуре плавления. На границе зёрен появляются окислы. Дефект неустранимый
Перекристаллизация	Изменение строения (структуры) сплава с образованием в процессе нагрева или охлаждения новых структурных составляющих
Пластичность	(От греч. <i>plastikos</i> – годный для лепки, податливый) – свойство твёрдых тел необратимо деформироваться (менять свою форму и размеры) под действием внешних сил (механических нагрузок)
Плотность	Физическая величина, измеряемая отношением массы тела к его объёму. Обычно выражается в $кг/м^3$
Ползучесть	Свойство металла медленно и непрерывно деформироваться (ползти) в течение длительного времени при постоянной нагрузке и повышенных температурах
Правка (рихтовка)	Исправление коробления изделий после технологической обработки
Рекристаллизация	Процесс роста одних зёрен поликристаллического тела за счёт других. После рекристаллизации деформированный металл восстанавливает структуру и исходные пластические свойства
Свариваемость (ГОСТ 29273-92 «Свариваемость. Определение»)	Металлический материал считается поддающимся сварке до установленной степени и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем технологическом процессе, чтобы свариваемые детали отвечали техническим требованиям как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют

Термин	Определение
Спектральный анализ	Метод определения химического состава металла по спектру без разрушения или повреждения изделий. Позволяет быстро определять малые концентрации элементов
Сталь	Сплав железа с углеродом и другими элементами; массовая доля углерода не более 2,0%
Статические испытания	Механические испытания материала с приложением постепенно возрастающей нагрузки. Например, испытание образцов на растяжение, испытание на твердость путем вдавливания стального шарика в металл
Структурные превращения	Под структурными превращениями понимают перераспределение дефектов кристаллической решетки, легирующих элементов и примесей и изменение субструктуры существующих фаз. Структурные превращения сопровождаются плавным изменением свободной энергии, энтропии и теплосодержания и скачкообразным — теплоёмкости и не сопровождаются выделением теплоты
Температурный интервал хрупкости (Т.И.Х.)	Интервал температур, заключённый между верхней и нижней температурной границами хрупкого состояния металла
Термостойкость	Сопротивление металла термической усталости
Травление	Химическая обработка поверхности металлических изделий с целью удаления окислов или выявления структуры металла
Ударная вязкость	Способность металла оказывать сопротивление действию ударных нагрузок. Ударная вязкость измеряется количеством работы, затраченной на единицу площади сечения образца стандартного размера с надрезом, в кгс·м/с ²
Усталость металла	Разрушение металла, наступающее после большого числа повторно-переменных нагрузок
Фаза	Фазой (в термодинамике) называют совокупность всех частей гетерогенной системы, ограниченных поверхностью раздела и характеризующихся одинаковыми физическими свойствами во всех своих точках. Например, смесь газов или раствор состоит из одной фазы, а система «лёд — вода — водяной пар» — из трёх фаз

Термин	Определение
Фазовые превращения	Под фазовыми превращениями понимают превращения с образованием новых фаз, отличающихся от исходных атомно-кристаллическим строением, часто составом, свойствами и разграниченных с ними поверхностью раздела (межфазными границами). При образовании новой фазы в её объёме меняется свободная энергия, скачкообразно изменяются энтропия, теплосодержание и в момент превращения теплоёмкость стремится к бесконечности. В связи с этим фазовое превращение сопровождается выделением или поглощением теплоты
Хладноломкость	Способность некоторых металлов или сплавов при пониженных температурах переходить из вязкого состояния в хрупкое. Большинство сплавов железа относится к хладноломким металлам
Хрупкость	Состояние материала, при котором разрушение происходит без заметной пластической деформации
Цвета побежалости	Тонкие плёнки окислов различных цветов на поверхности стали. Образуются при температуре 150...600° С
Эвтектика	(От греч. <i>eutektos</i> – легкоплавящийся) – тонкая смесь одновременно закристаллизовывающихся из расплава при температуре ниже температуры плавления отдельных компонентов или любых других их смесей

Содержание

От авторов.....	3
1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ.....	4
1.1. Область применения нержавеющей сталей.....	4
1.2. Основы металловедения.....	5
1.3. Обозначение легирующих элементов и маркировка нержавеющих сталей.....	14
1.4. Влияние легирующих элементов и примесей на структуру и свойства сталей.....	15
1.5. Классификация и химический состав высоколегированных сталей.....	20
1.6. Физические свойства нержавеющей сталей.....	23
1.7. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей.....	25
1.8. Механические свойства и методы испытаний нержавеющих сталей.....	33
2. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ.....	43
2.1. Кристаллизация металла в сварочной ванне.....	43
2.2. Структура сварных швов.....	45
3. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ.....	53
3.1. Классификация процессов сварки.....	53
3.2. Источники питания сварочной дуги.....	61
3.3. Режимы сварки.....	67
3.4. Сварочные материалы.....	75
3.5. Обработка и подготовка кромок под сварку.....	82
3.6. Сборка под сварку.....	84
3.7. Техника сварки.....	89
3.8. Защита металла при сварке от окружающей среды.....	116
3.9. Сварка тонкостенных изделий.....	128
3.10. Особенности сварки хромистых сталей	132
3.11. Дефекты в сварных швах.....	134

3.12. Контроль качества сварных соединений.....	144
3.13. Устранение дефектов сварных швов.....	151
4. ОБОРУДОВАНИЕ ПОСТОВ ДЛЯ СВАРКИ.....	153
5. РАБОЧЕЕ МЕСТО СВАРЩИКА.....	158
5.1. Организация труда и рабочего места.....	158
5.2. Влияние положения зоны сварки на точность управления процессом.....	160
5.3. Пространственная планировка рабочего места.....	161
6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ.....	164
Библиографический список.....	171
Приложения.....	173

Учебное издание

Масаков Василий Васильевич
Масакова Наталья Ивановна
Мельзитдинова Анна Викторовна

СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Учебное пособие

Технический редактор *З.М. Малявина*
Корректор *Г.В. Данилова*
Верстка *Л.В. Сызганцева*
Дизайн обложки *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 08.07.2011. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 10,7.

Тираж 50 экз. Заказ № 1-114-10.

Тольяттинский государственный университет
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14