

621.79 Петров В. Н.

Сварка и резка нержавеющей стали. Л., «Судостроение», 1969. Стр. 288

**П29** Книга посвящена вопросам металлургии, дуговой сварки и контроля качества сварных соединений, а также резки наиболее распространенных марок нержавеющей стали. Изложены основные требования к оснащению и оборудованию постов для всех способов дуговой сварки. Описаны новые и широко применяемые способы резки. Рассмотрены особенности сборки и сварки конструкций из однородных и разнородных сталей. Приведен анализ дефектов в сварных швах.

Книга предназначена для сварщиков судостроительной промышленности.

Страниц 288, иллюстраций 143, таблиц 41, приложение 1, библиографии 58 наименований.

УДК 621.791.166.14.048

3-18-5

66-69

#### От автора

За последние годы большое развитие и внедрение получили новые способы сварки в защитных газах. Это в первую очередь относится к автоматической и полуавтоматической сварке плавящимся электродом. Оборудование, технология и техника этих способов сварки конструкций из нержавеющей стали имеют свои характерные особенности, знание которых будет способствовать более успешному внедрению новой техники и передовой технологии в промышленность.

Заметно расширился диапазон применимости автоматической и полуавтоматической сварки неплавящимся электродом. В судостроении и в других отраслях промышленности освоена сварка изделий из очень тонкостенных нержавеющей сталей. Сведения об импульсной сварке также полезны при изучении, выборе и внедрении ее в производство.

В связи с внедрением новых марок сталей — заменителей дорогостоящей стали типа 18-8 — выявилась потребность в расширении соответствующих разделов книги, где данных о технологии сварки некоторых нержавеющей сталей было (в первом издании) недостаточно.

Дополнены также разделы книги, в которых приводились сведения о сварке разнородных и двухслойных сталей. Эти дополнения обусловлены расширением области применения нержавеющей сталей и двухслойных сталей и необходимостью экономить никеле-содержащие стали.

В современных условиях массового изготовления оборудования для химических предприятий, а также заметно увеличивающегося объема строительства предприятий химической промышленности и атомных электростанций, где широко используют нержавеющие стали, книга может способствовать более квалифицированной подготовке специалистов.

Многие разделы книги претерпели изменения и сокращения по просьбе читателей — сварщиков, мастеров, технологов и других специалистов, высказавших свои пожелания после ознакомления с первым изданием книги, выпущенным издательством «Судостроение» в 1965 г.

Большую помощь при рассмотрении отдельных специальных вопросов сварки и резки нержавеющей сталей предлагаемой книги оказали инженеры *В. И. Ляшенко, Д. Н. Шерман, Ю. Н. Шевырев, Г. М. Выставной, Р. Ю. Воронин, В. И. Андреев, В. М. Тушин, А. В. Голубцов, А. Б. Чирьев.*

Автор выражает свою признательность рецензенту инженеру *Б. Б. Искозу* и научному редактору канд. техн. наук *В. Н. Тимофееву* за помощь в работе над рукописью второго издания, за советы и предложения, направленные на улучшение книги.

Автор с благодарностью примет замечания по содержанию книги, которые следует направлять по адресу: Ленинград, Д-65, ул. Гоголя, 8, изд-во «Судостроение».

## Глава I

# ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ

## § 1. Области 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 сталей приобретают 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 кованая 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, бадьи и противни морозильных установок, детали насосов для морской воды, крышки, патрубки, фланцы и другие детали котельных установок. Из двухслойной стали (углеродистая, облицованная нержавеющей) изготавливают цистерны для питьевой, дистиллированной и пресной воды. В химической промышленности из нержавеющей стали изготавливают аппаратуру для производства кислот, резервуары для их перевозки и хранения, детали теплообменных аппаратов, фильтров и адсорберов.

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

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 нержавеющей стали, 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.

## § 2. Строение металлов и сплавов

Все металлы представляют собой кристаллические тела. Их атомы располагаются в определенном порядке, образуя атомно-кристаллическую пространственную решетку. Тип кристаллической решетки металла можно определить с помощью рентгеновских лучей.

На рис. 1 показано условное изображение ячейки кристаллической решетки. Атомы представлены в виде шариков, соединенных линиями. У большинства металлов кристаллические решетки очень просты. Например, кристаллическая решетка вольфрама, молибдена, ванадия, хрома имеет форму объемноцентрированного куба. Элементарная ячейка такой решетки показана на рис. 1, а. Медь, алюминий и никель имеют кристаллическую решетку в виде гранецентрированного куба (рис. 1, б). Кристаллическая решетка железа может иметь форму как объемноцентрированного, так и гранецентрированного куба.

Кристаллическая решетка является устойчивой благодаря определенному соотношению сил притяжения и отталкивания

между атомами. Чтобы разрушить кристаллическую решетку, необходимо затратить определенную работу для преодоления этих сил. Такая работа может быть выполнена, например, нагревом.

Перестройка кристаллической решетки вызывает изменение свойств металла и сопровождается выделением или поглощением тепла. Большие группы атомов с определенным взаиморасположением в кристаллической решетке образуют кристаллы.

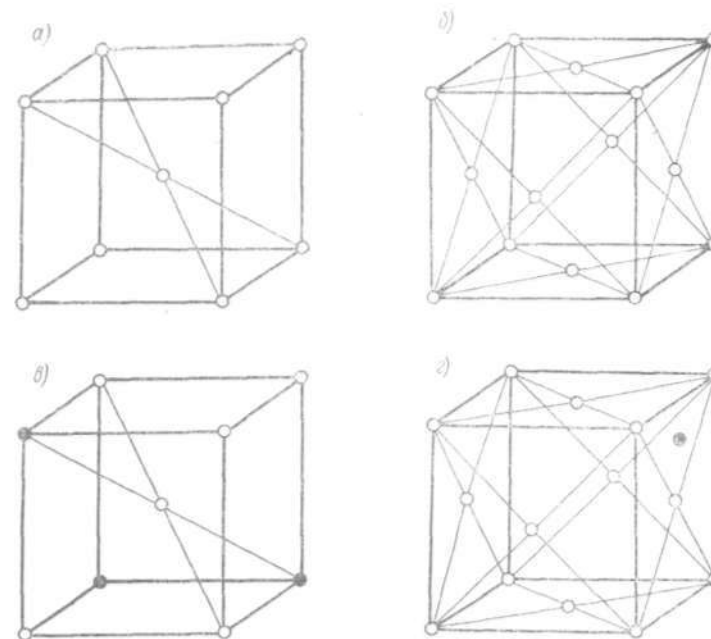


Рис. 1. Кристаллические решетки металлов и твердых сплавов: а — объемноцентрированный куб; б — гранецентрированный куб; в — твердый раствор замещения; г — твердый раствор внедрения.

Форма кристаллов определяется процессом перехода металла из одного состояния в другое, в частности из жидкого в твердое. Образование всех кристаллов идет одновременно. В определенный момент грани соседних кристаллов соприкасаются. Рост кристаллов в местах соприкосновения прекращается, а по другим направлениям они продолжают расти. Поэтому кристаллы чаще всего имеют неправильную внешнюю форму, в этом случае их называют зернами.

Процесс кристаллизации чистых металлов хорошо изучен и достигнута возможность управлять им для получения кристаллов различных форм и размеров.

Однако чистые металлы применяют редко. Они не обладают необходимыми физическими и механическими свойствами, а про-

цесс их изготовления сложен и трудоемок. В технике чаще имеют дело со сплавами.

Сплавы — сложные металлические тела, полученные из двух и более элементов (компонентов). Свойства сплава резко отличаются от свойств исходных компонентов. Даже незначительные добавки одного компонента к другому изменяют свойства первоначального взятого вещества.

У сплавов есть большое сродство с растворами. Как и водные жидкие растворы (сахара, соли и др.) металлические твердые растворы могут иметь различную концентрацию.

Большое влияние на растворимость оказывает температура. С повышением температуры растворимость увеличивается. В металле при понижении температуры происходят почти такие же процессы, как и при обычном растворении соли в воде. В горячей воде можно растворить большее количество соли, чем в холодной. Если охладить насыщенный солью раствор, не имеющий осадка, в нем начнут выпадать кристаллы соли. Если опять нагреть раствор, соль растворится.

Твердый раствор в металле аналогичен охлаждаемому раствору соли в воде в тот момент, когда начинают выпадать кристаллы. Но есть между этими растворами и существенные различия. В жидком растворе атомы растворенного вещества находятся в непрерывном и беспорядочном движении. В твердом растворе атомы растворенного вещества занимают определенное пространственное положение, в зависимости от строения кристаллической решетки.

Различают два основных вида твердых растворов: твердые растворы замещения и твердые растворы внедрения. В первом атомы растворенного вещества (черные шарики на рис. 1, а) занимают в кристаллической решетке места атомов растворителя, во втором — они внедрены в пространстве между атомами растворителя (рис. 1, б). Твердые растворы состоят из однородных по составу и строению кристаллов.

При затвердевании большинство сплавов образуют смеси из кристаллов, различающихся по строению и составу (сплавы меди и висмута, свинца и сурьмы и др.).

При строго определенной концентрации сплав может представлять собой химическое соединение двух или более компонентов. В отличие от чистых металлов и твердых растворов химические соединения имеют сложную кристаллическую решетку, не похожую на кристаллические решетки исходных компонентов.

В сложных твердых сплавах, состоящих из нескольких компонентов, могут одновременно существовать твердые растворы, смеси различных чистых компонентов и химические соединения.

При переходе из жидкого состояния в твердое сплавы испытывают превращения, сопровождающиеся изменением их внутреннего строения (структуры и свойств). Эти структурные превра-

щения для сплавов конкретных составов происходят при определенных температурах.

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.

Железо в твердом состоянии может быть двухфазным и иметь две различные кристаллические решетки:  $\alpha$ -Fe (альфа-железо) — при температуре ниже  $910^\circ\text{C}$  и  $\gamma$ -Fe (гамма-железо) — при температуре выше  $910^\circ\text{C}$ . Кристаллическая решетка  $\alpha$ -Fe — объемноцентрированный куб,  $\gamma$ -Fe — гранецентрированный куб.

Область существования каждой решетки железа можно определить при охлаждении железа от температуры плавления (рис. 2) до нормальной. Температура  $910^\circ\text{C}$  является критической для превращения одного вида решетки в другой.

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

Твердый раствор углерода и примесей (кремния, марганца, серы, фосфора) в  $\alpha$ -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  $\gamma$ -Fe называется аустенитом.

Растворимость углерода в железе неодинакова при различных температурах. При температуре  $1130^\circ\text{C}$  в железе может раствориться  $\sim 2\%$  углерода, при  $723^\circ\text{C}$  — 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 смесь.



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).

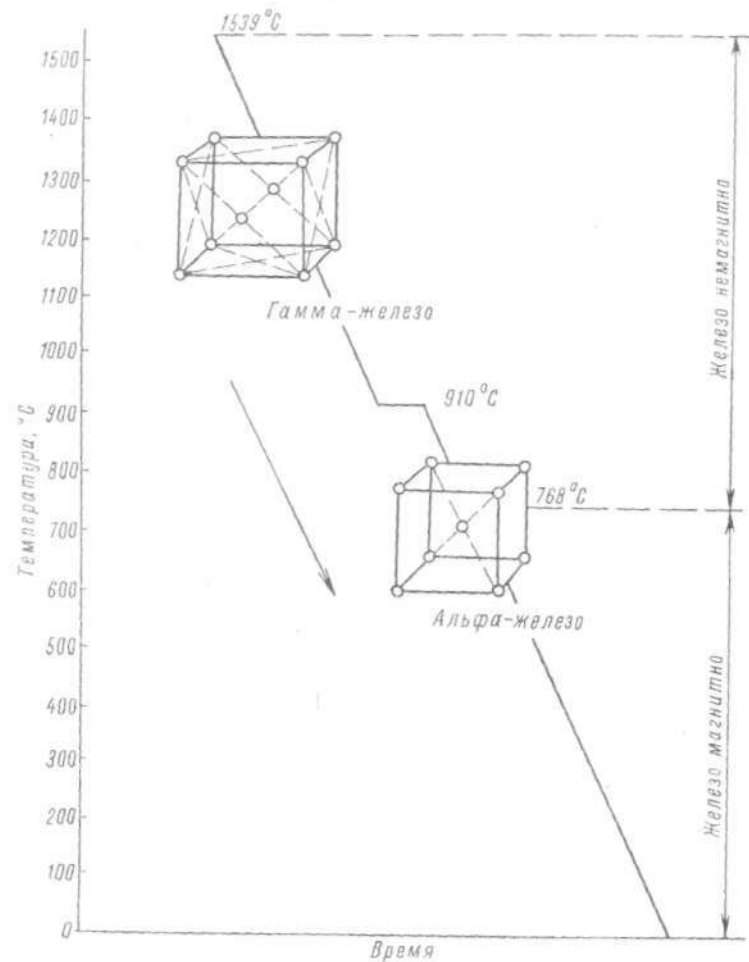


Рис. 2. Кривая охлаждения чистого железа (упрощенная).

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.

### § 3. 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 компонентов. 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 г. По вертикальной линии диаграммы откладывается температура в градусах, по горизонтальной — содержание углерода в процентах. Сплавы, содержащие до 2% углерода, называются сталями, свыше 2% (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 линий *GOS* и *SE* существует одна фаза — аустенит. По линии *GOS* из аустенита начинает выделяться чистое железо (феррит), а по линии *SE* — 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* (см. рис. 3), в жидком сплаве начинают образовываться кристаллы твердого металла. Образование кристаллов продолжается при понижении

температуры до точки 4. В точке 4 весь сплав затвердевает 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.

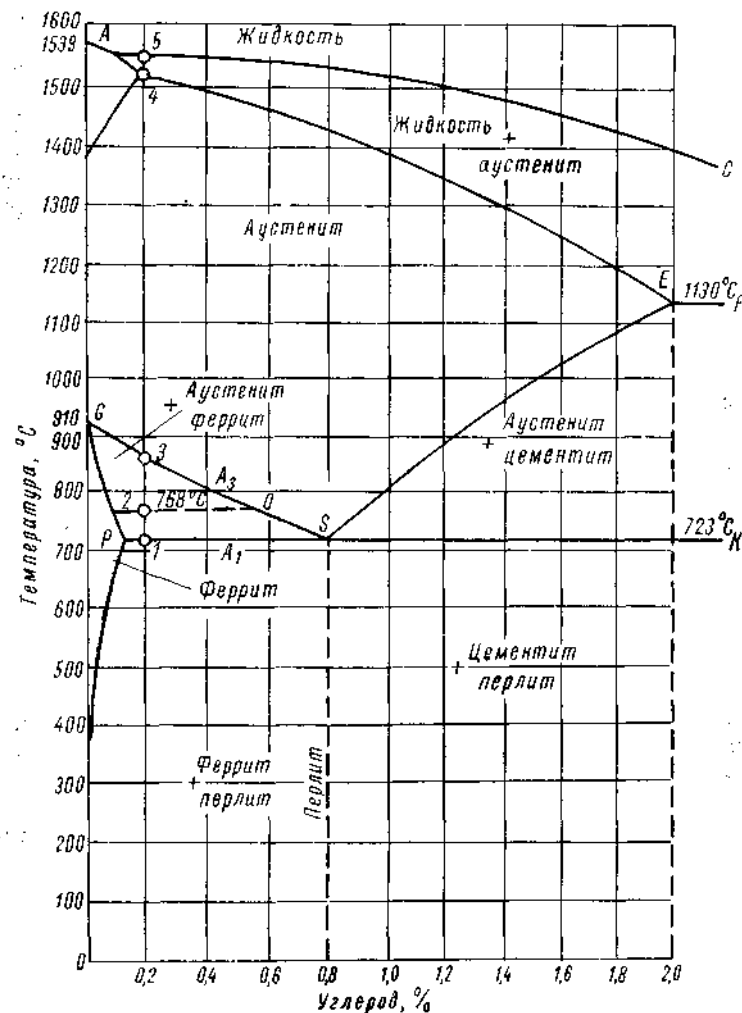


Рис. 3. «Стальной» участок диаграммы состояния сплава железа с углеродом (упрощенный).

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  $A_2$  ( $768^\circ\text{C}$ ) становится магнитной.

При охлаждении сплава с малой скоростью ниже температуры  $723^\circ\text{C}$  (точка 1) никаких структурных изменений не произойдет. При больших скоростях охлаждения стали ниже температуры  $723^\circ\text{C}$  может образоваться мартенсит — пересыщенный твердый раствор 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  $870^\circ\text{C}$ , при температуре ниже  $870^\circ\text{C}$  он начинает распадаться. В сплаве с содержанием углерода 0,8% аустенит существует в интервале температур от  $1400$  до  $723^\circ\text{C}$ .

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 — на четверных диаграммах и т. д. Но тройными и четверными диаграммами пользоваться на практике очень трудно. Поэтому при изучении легированных сталей пользуются двойными диаграммами 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.

#### § 4. 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 зёрен сохраняет аустенитную структуру. В результате полного охлаждения получается сплав (сталь) с аустенито-ферритной структурой.

В сталях с большим содержанием никеля (более 8%) по границам зёрен аустенита также выпадают карбиды, но феррит



Рис. 4. Псевдобинарная диаграмма состояния стали типа 18-8 с разным содержанием углерода (упрощенная).

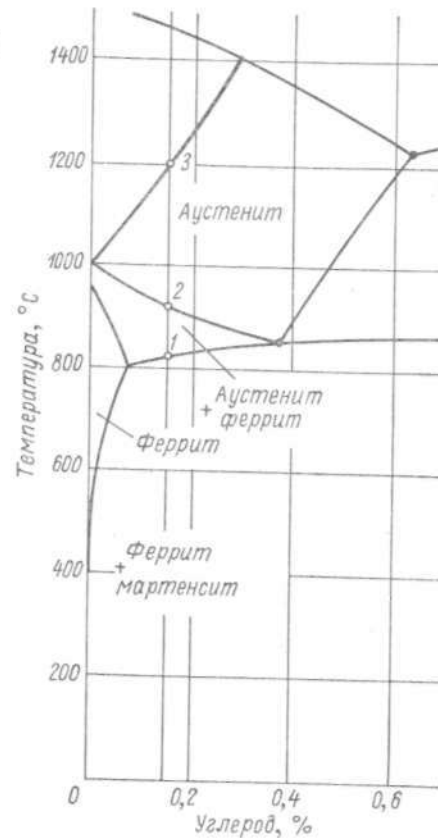


Рис. 5. Диаграмма состояния сплава железо—углерод с 12% хрома (упрощенная).

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 IX13). 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 изменением 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.

## § 5. 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
- Т — титан
- Ф — ванадий
- Х — хром
- 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. При содержании в стали более 0,09% углерода без ограничения по нижнему пределу цифры не ставят, при содержании углерода до 0,08% перед буквами ставится 0, при содержании до 0,04% — 00.

Например, в стали марки 2Х13 содержится в среднем 0,2% углерода и 13% хрома. В стали марки Х18Н9 — не более 0,12% углерода, в среднем 18% хрома и 9% никеля. В стали марки 0Х18Н10Т — не более 0,08% углерода, в среднем 18% хрома, 10% никеля и небольшое количество титана. В стали марки 00Х18Н10 — 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.

Некоторые марки легированных сталей обозначаются дополнительно буквами и цифрами, заключенными в скобки. Это первичное обозначение сталей. Буквы ЭИ означают «электросталь исследуемая», а цифры, стоящие после этих букв, — порядковый номер исследуемой стали (ЭИ914). После испытаний стали ЭИ914 были получены удовлетворительные результаты и опытная сталь стала стандартной. Обозначение ее изменилось: вместо ЭИ914 — 0Х18Н10Т.

Стали с очень длинными обозначениями при частом написании их марки сокращенно обозначают цифрами, указывающими на приблизительное содержание легирующих элементов. Стали, содержащие около 18% хрома и около 8% никеля, обозначают цифрами 18-8, содержащие около 25% хрома и около 7% никеля — 25-20 и т. п. Хромистые стали сокращенно обозначают буквой и цифрой, например: типа Х13, типа Х17 и т. п.

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

## § 6. Классификация и химический состав высоколегированных сталей

В зависимости от основных свойств высоколегированные стали согласно ГОСТ 5632—61 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 (окалино-

Таблица 1

Химический состав нержавеющих сталей

Марка стали	Содержание элементов в % (остальное — железо)								Железо
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Сера	Фосфор	Прочие элементы	
						не более	не более		
Стали мартенситного класса									
1Х17Н2 (ЭИ268)	0,11—0,17	не более 0,8	не более 0,8	16—18	1,5—2,5	0,025	0,03	—	Оси.
Стали мартенсито-ферритного класса									
1Х13	0,09—0,15	не более 0,6	не более 0,6	12—14	—	0,025	0,03	—	Оси.
Стали ферритного класса									
0Х13 (ЭИ496)	не более 0,08	не более 0,6	не более 0,6	11—13	—	0,025	0,03	—	Оси.
0Х17Т (ЭИ645)	не более 0,08	не более 0,8	не более 0,7	16—18	—	0,025	0,035	Титан 5·С—0,8	Оси.
Стали аустенито-мартенситного класса									
Х17Н7Ю (ЭИ973)	не более 0,09	не более 0,8	не более 0,8	14—16	7,0—9,4	0,025	0,035	Алюминий 0,7—1,3	Оси.

и рождение табл. 2

Марка стали	Содержание элементов в % (остальное — железо)							
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Фосфор		Прочие элементы
						Сера	не более	
Стали аустенито-ферритного класса								
0X21H5T (ЭП53)	не более 0,08	не более 0,8	не более 0,8	20—22	4,8—5,8	0,025	0,035	Титан 0,3—0,8
Стали аустенитного класса								
X14Г14НЗТ (ЭИ711)	не более 0,10	не более 0,8	13—15	13—15	2,5—3,5	0,02	0,035	Титан (C—0,02)— —0,6
00X18H10 (ЭИ842)	не более 0,04	не более 0,8	1—2	17—19	9—11	0,022	0,035	Осн.
0X18H10T (ЭИ914)	не более 0,08	не более 0,8	1—2	17—19	9—11	0,022	0,035	Осн.
X18H10T (1X18H9T)	не более 0,12	не более 0,8	1—2	17—19	9—11	0,02	0,035	Титан 5·C—0,6 Титан (C—0,02)× ×5—0,7
0X18H12B (ЭИ402)	не более 0,08	не более 0,8	1—2	17—19	11—13	0,02	0,035	Осн.
0X23H18	не более 0,1	не более 1,0	не более 2,0	22—25	17—20	0,02	0,035	Осн.
X25H20C2	не более 0,2	2—3	не более 1,5	24—27	18—21	0,02	0,035	Осн.

стойкие) 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 в судостроительной и других отраслях промышленности нержавеющие хромоникелевые, содержащие 18% и более хрома, и нержавеющие хромистые, содержащие 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.

## § 7. Физические свойства нержавеющих 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

Таблица 2

Физические свойства сталей

Физические свойства	Марка стали		
	0X18H10T	Ст.3	1X13
Удельный вес, г/см <sup>3</sup> . . .	7,9	7,85	7,75
Температура плавления, °С . . . . .	1400—1450	1500	1480
Теплопроводность при 100° С, кал/см·град·сек . . . . .	0,039—0,040	0,096	0,066
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ при температуре от 0 до 100° С . . . . .	16,6	12	10,1
Электросопротивление при 20° С, ом·мм <sup>2</sup> /м . . . . .	0,73	0,15	0,3
Температура начала интенсивного образования окалины в град. С . . . . .	850—900	550	—
Магнитные свойства . . . . .	Немагнитна	Магнитна	Магнитна



в два раза ниже, коэффициент линейного расширения в полтора раза больше, электросопротивление в пять раз выше, чем у малоуглеродистой стали.

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, предписанным 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 кромок 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. 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 (см. 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.

## § 8. 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 кончая созданием металлоконструкций. Процесс разрушения металла под воздействием среды в технике получил название коррозии. В мире ежегодно теряется от коррозии около 20 млн. т 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 подвержено 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%, 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 GK и GE (см. 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 односторонней 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 многопроходной сварки «тонкими» валиками с полным охлаждением стыка после каждого прохода склонность к коррозионному разрушению заметно меньше, чем при сварке «толстыми» валиками без охлаждения (рис. 6).

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.

Второй способ основан на дополнительном легировании хромоникелевой стали специальными элементами, способными соединяться 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 X18H10T, содержащая 0,12% углерода, сильнее проявляет склонность к межкристаллитной коррозии, чем сталь OX18H10T, 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 выше 980°С 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.

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.

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.

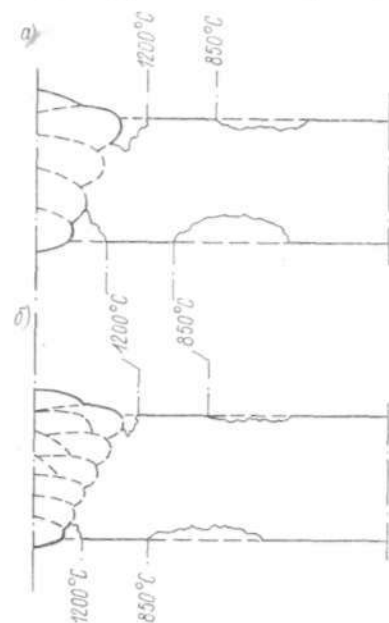


Рис. 6. Схема коррозионного разрушения сварного соединения стали 1X18H10T в растворе азотной кислоты с хромпиком: а — сварка «толстыми» валиками без охлаждения; б — сварка «тонкими» валиками с охлаждением.

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

**Н о ж е в а я к о р р о з и я** — 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  $650^{\circ}\text{C}$ .

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.

Склонность сварных соединений к ножевой коррозии у различных нержавеющих сталей неодинакова. Так, при сварке сталей марок 0X18H10T и X17H13M2T проявляется большая склонность к ножевой коррозии, чем при сварке сталей марок 0X18H12B и 00X18H10.

Скорость коррозионного разрушения различных участков, начиная от линии сплавления, также неодинакова. Наибольшая скорость разрушения характерна для участка сварного соединения, нагретого в интервале температур  $1200\text{—}1500^{\circ}\text{C}$ , 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 околосшовной зоны последнего валика не подвергались длительному тепловому воздействию.

**Т о ч е ч н а я к о р р о з и я** — 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, ржавчина и осадки веществ, содержащих хлор. Эти загрязнения разрушают защитную пленку нержавеющей стали, и сталь начинает активно ржаветь (рис. 8).

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 ржавление.

Хромоникелевые стали типа 18-8 и 12%-ные хромистые стали (типа X13) не обладают достаточной стойкостью против точечной

коррозии в морской воде и подвержены сильной местной коррозии в морском воздухе, насыщенном парами хлористых солей.

Сталь 1X17H2 обладает более высокой коррозионной стойкостью в морской среде (воде и воздухе) и химических средах, чем 12%-ные хромистые стали.

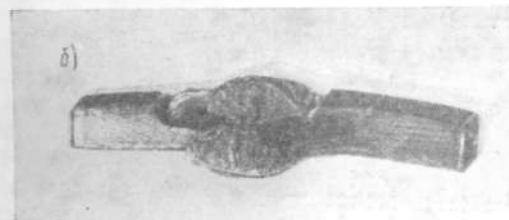
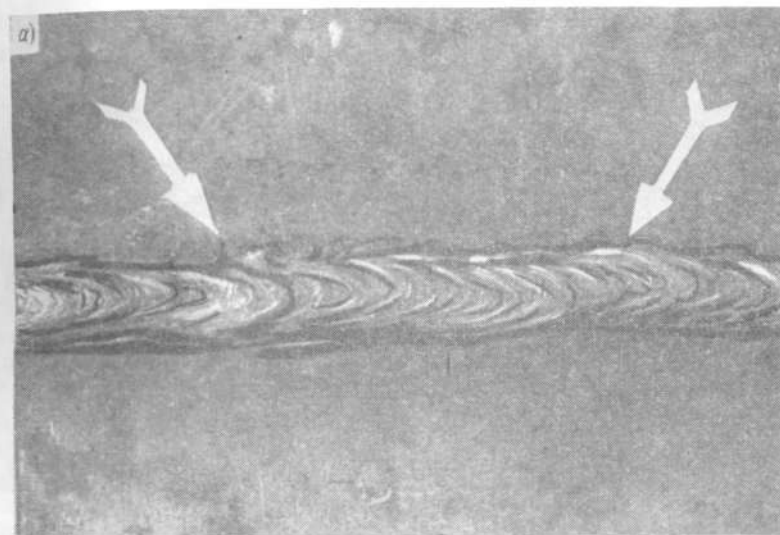


Рис. 7. Вид сварного соединения, пораженного ножевой коррозией: а — внешний вид образца; б — макрошлиф участка, отмеченного стрелками.

**Щ е л е в а я к о р р о з и я** — 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 неспаянных кромок, благодаря усадке, настолько плотное, что щель от неспаянности измеряется микронами и ее можно обнаружить лишь после тщательного шлифования. Вот такое «плотное» соприкосновение при работе (температуре,

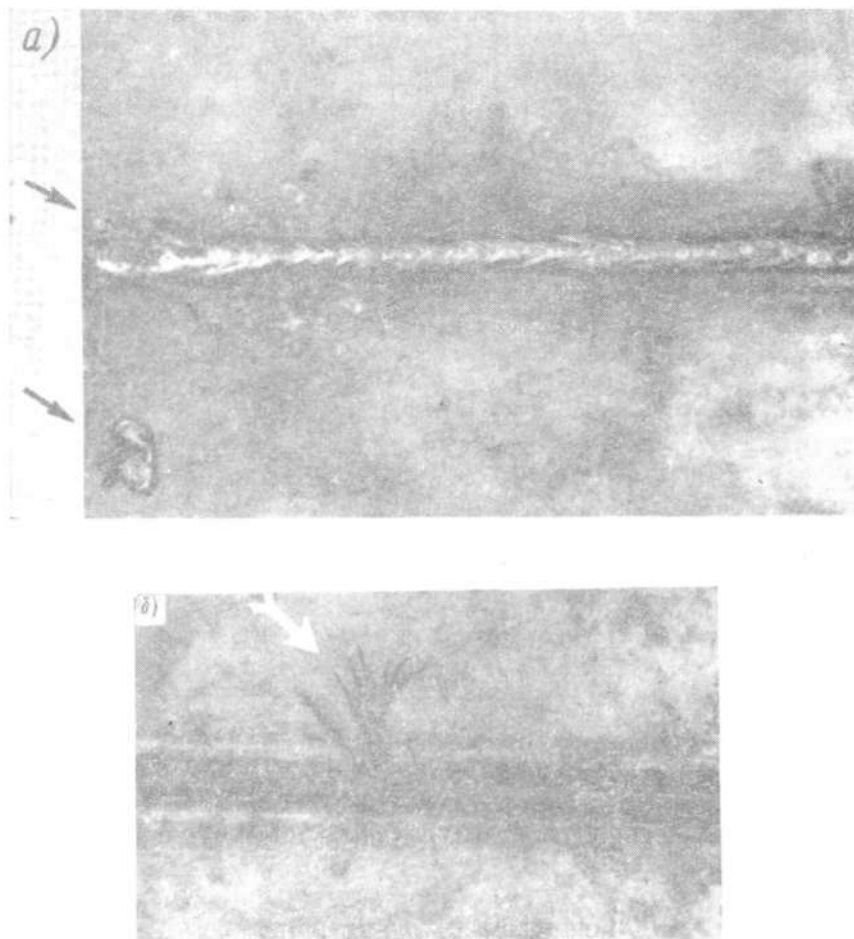


Рис. 8. Вид сварного соединения, пораженного коррозией: а — точечная коррозия; б — коррозия под напряжением.

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. Причинами образования трещин служат коррозионная среда и высокие напряжения в трубах, возникающие в результате чрезмерного натяга при сборке (стягивании) 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  $3,5 \text{ кг/мм}^2$ . 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. Мало чувствительны к коррозии под напряжением стали полуперлитного класса, содержащие более 15% хрома. К ним относятся стали марок X17, 0X17T 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 околосварной зоны.

## § 9. 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 с особыми свойствами 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%, 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 типа 18-8 вместо X17, сталь типа 25-12 вместо X28 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 в стали и особенно — при добавке никеля. Установлено, что стойкость стали типа 18-8 в 20 раз выше стойкости стали типа X17. 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 типа 18-8 и типа 18-8 с молибденом.

Для повышения стойкости нержавеющих сталей в агрессивных средах во всех случаях сварку следует выполнять, тщательно соблюдая все требования технологического процесса, хорошо зачищать поверхность швов и там, где это возможно, сварной узел подвергать термической обработке.

#### § 10. 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, характеризующие 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.

**Х и м и ч е с к и й   а н а л и з.** Свойства нержавеющих сталей 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 по 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. Полученное химическое соединение выделяют и затем определяют процентное содержание элемента в стали.



Таблица 3  
Механические свойства нержавеющей сталей в состоянии поставки (термообработанных) при 20° С

Сортament металла в состоянии поставки	Марка стали по ГОСТ 5632-61	Предел текучести $\sigma_T$ (°0,2), кг/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивле- ние разрыву $\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>	не менее			Ударная вязкость $d_H$ , кг·м/см <sup>2</sup>	Твердость HB, ед.
				Относитель- ное удлинение $\delta$ , %	Относитель- ное суже- ние $\psi$ , %	Относитель- ная вязкость $d_H$ , кг·м/см <sup>2</sup>		
Тонколистовая сталь, ГОСТ 5582-50	1X13 0X18H10 0X21H5T	45	62	17	—	—	—	—
		40	52	45	—	—	—	—
		50	65	20	—	—	—	—
Толстовая сталь, ГОСТ 7350-55	0X13 1X13 0X17T X18H10T 0X21H5T	—	40	20	—	—	—	—
		40	61	19	60	11	180—230	—
		30	46	20	—	1,5	—	—
		22	55	38	65	26	170—190	—
		30	65	30	—	8	—	—
Трубы холоднотянутые, ГОСТ 9941-62	0X18H10 X18H10T	24	54	37	70	25	—	—
		22	56	35	70	25	—	—
Трубы горячекатаные, ГОСТ 9940-62	X18H10T	20	55	40	55	24	170—200	—
Поковки, ГОСТ 5949-61	1X13 X18H10T	43	63	20	60	8	180—215	—
		22	55	40	55	7	130—175	—

Недостаток этих методов химического анализа — продолжительность процесса и необходимость проведения его в заводской лаборатории.

Все большее применение в промышленности находит 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 дает 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 анализа, т. е. для определения содержания элементов стали. С этими приборами могут работать только высококвалифицированные специалисты, так как анализ ведется визуально, по эталонам.

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 1X13 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  $\sigma_T$  и измеряется в  $\text{кГ/мм}^2$  или иногда в  $\text{кГ/см}^2$ . 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 типа 18-8 составляет  $\sigma_{0.2} = 24\text{—}28 \text{ кГ/мм}^2$ , ферритной стали марки 0X13  $\sigma_T = 40\text{—}42 \text{ кГ/мм}^2$ , аустенито-ферритной стали 0X21Н5Т  $\sigma_T = 30\text{—}35 \text{ кГ/мм}^2$ .

Если наибольшую нагрузку, которую выдержал образец до разрыва, разделим на первоначальную площадь поперечного сечения образца, то получим временное сопротивление разрыву, которое обозначается  $\sigma_B$  и измеряется в  $\text{кГ/мм}^2$  или  $\text{кГ/см}^2$ . Временное сопротивление разрыву, как и предел текучести, может изменяться. Временное сопротивление разрыву хромоникелевых аустенитных сталей типа 18-8 равно приблизительно  $52\text{—}60 \text{ кГ/мм}^2$ , хромистых сталей типа X13  $\sim 70 \text{ кГ/мм}^2$ .

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  $\delta$  (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  $\psi$  (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  $a_K$  и измеряется в  $\text{кГ}\cdot\text{м/см}^2$ . Ударная вязкость хромоникелевых аустенитных сталей может меняться в пределах от 8 до  $30 \text{ кГ}\cdot\text{м/см}^2$ , хромистых — от 2 до  $25 \text{ кГ}\cdot\text{м/см}^2$ .

Иногда для оценки  $\sigma_B$  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 — HR и по Виккерсу HV. Измеряется твердость в условных числах.

В большинстве случаев испытанию на твердость подвергаются 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 предугадать поведение металла в условиях эксплуатации изделия (в том числе и поведение сварных соединений).

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

а) испытание в жидкости (при полном или переменном погружении);

- б) испытание в парах;
- в) атмосферные испытания;
- г) испытание на межкристаллитную коррозию;
- д) 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 испытаний.

Методы испытаний выбирают в зависимости от условий работы изделия. Однако есть один метод коррозионного испытания, который применяют непосредственно в процессе изготовления (сварки) узла помимо любого другого метода. Это испытание на межкристаллитную коррозию.

~~Литей~~ 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, трубы малых диаметров (до 30 мм) — на трубных (кольцевых) образцах, трубы 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.

Образцы из нержавеющей стали аустенитного и аустенито-ферритного классов испытывают согласно ГОСТ 6032—58 по методам А, АМ, Б, В, Г и Д. 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 соотношения 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, волосины 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. Полированную 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. Изучением 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.

## § 11. 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 сталях 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 элементов. 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 типа 25-20, 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 типа 24-12 достаточно ввести в нее 0,25% азота. В некоторые нержавеющей 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 ее 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 типа 18-8, 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 типа 18-8, 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-04Х19Н11М3 больше никеля.

**Влияние кремния.** Кремний предохраняет хром от окисления. Большинство аустенитных сталей, предназначенных для сварки, содержит до 1% кремния. В швах сталей типа 18-8 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 сталей типа 25-20 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 (см. 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.

Сопоставляя влияния различных элементов и примесей на структуру и свойства стали, можно сделать вывод, что наилучшими свойствами (во всяком случае для сварных швов) 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 сни-



жается сопротивляемость стали образованию горячих трещин в металле шва при сварке. С увеличением количества феррита в аустенитной стали повышается склонность к старению — 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.

## § 12. Термическая обработка нержавеющей стали

В процессе обработки металла, начиная со стадии изготовления листов, труб, прутков и кончая механической и газопламенной обработкой, ковкой, гибкой, сваркой, происходят изменения свойств стали и качества изделия в целом. В неответственных конструкциях незначительное изменение свойств стали при изготовлении отдельных узлов может оказаться несущественным и не снизит работоспособность изделия. В конструкциях ответственного назначения такое изменение свойств может отрицательно влиять на работоспособность изделия. В этом случае требуется восстановить потерянные свойства или придать изделию новые свойства путем дополнительной обработки. Наиболее распространенным способом улучшения свойств стали является термическая обработка.

Термической обработкой можно восстановить механические, физические и химические свойства стали, повысить ее коррозионную стойкость, изменить структуру. Все эти изменения проводятся с целью повышения работоспособности сварных конструкций.

Термическая обработка состоит из нагрева до определенной температуры, выдержки при этой температуре в течение некоторого времени и охлаждения (рис. 9). Применительно к стали X17H13M2T участок A на рисунке характеризует время поднятия температуры до заданной величины, участок B — время установления и фиксирования температуры в заданном диапазоне по приборам контроля за режимом нагрева, участок C — время выдержки в указанном диапазоне, после которого начинается охлаждение.

Для углеродистых, низколегированных и нержавеющей хромистых сталей различают четыре основных вида термической обработки: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск. Применительно к нержавеющей хромоникелевым сталям некоторые названия видов термообработки видоизменены или дополнены: вместо отжига применяют термин «стабилизирующий отжиг» или «стабилизация», вместо закалки — «аустенизация».

При отжиге, нормализации и закалке сварные изделия нагревают до температуры на 30—50° С выше критической точки  $A_3$  (см. рис. 3). Различаются эти виды термической обработки только характером охлаждения после нагрева. При отжиге изделие охлаж-

дается вместе с печью, при нормализации — на воздухе, при закалке — в воде, масле или в расплавленных солях. Некоторые стали закаляются даже при охлаждении на воздухе, например сталь 1X13.

Любая сталь при нагреве выше  $A_3$  получает аустенитную структуру. Быстрое охлаждение обеспечивает переход аустенита в мартенсит, что придает стали высокую твердость. Наряду с вы-

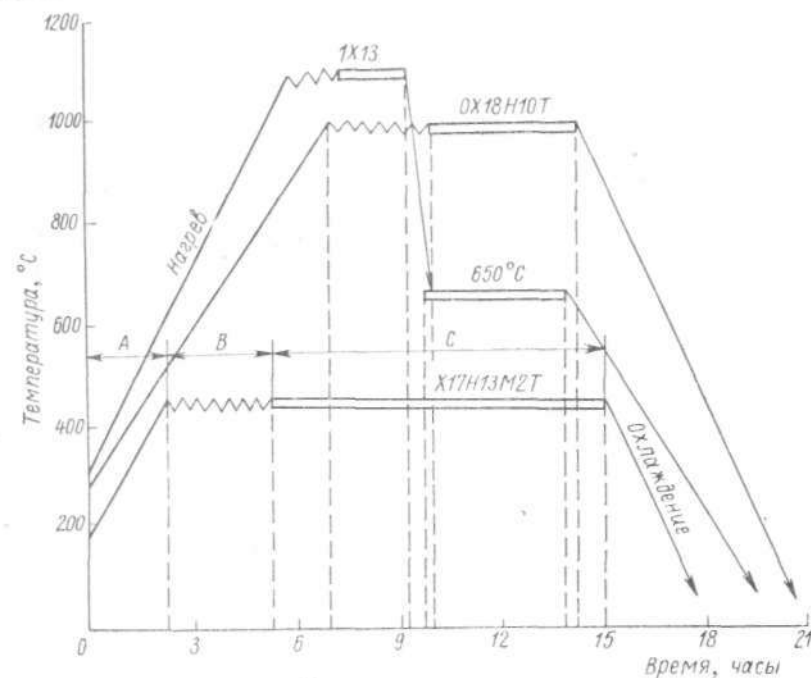


Рис. 9. Режим нагрева и охлаждения при термической обработке сталей.

сокой твердостью сталь приобретает большую хрупкость. Чтобы уменьшить хрупкость, применяют отпуск.

Отпуск — это нагрев ниже  $A_1$  и охлаждение на воздухе или в закалочных жидкостях. Применительно к сталям типа 18-8 в зависимости от температуры различают низкий, средний и высокий отпуск. Низкий отпуск (150—250° С) служит для уменьшения напряжений. Средний отпуск (350—450° С) заметно снижает напряжения и значительно повышает вязкость стали. Высокий отпуск (500—650° С) дает лучшее соотношение прочности и вязкости и полностью снимает остаточные напряжения, возникающие при сварке. Высокий отпуск применяют в тех случаях, когда не требуется обеспечивать стойкость против межкристаллитной коррозии.

При сварке хромистых сталей в различных участках околошовной зоны могут возникать хрупкие прослойки. Целью проведения термической обработки может быть восстановление или частичное улучшение свойств металла в этих зонах.

После сварки трубопроводов из хромоникелевой аустенитной стали необходимо уменьшить вероятность образования трещин в районе границы сплавления особенно в процессе эксплуатации трубопроводов при высоких температурах. Проведение термической обработки позволит улучшить свойства металла и снизить остаточные сварочные напряжения. Локальные разрушения в околошовной зоне свидетельствуют о наличии в сварном узле высоких остаточных напряжений. Одним из надежных средств борьбы с возникновением трещин в этой зоне применительно к стали типа 18-8Т является закалка от 1050—1100°С.

Часто необходимость в термической обработке диктуется требованиями механической обработки с высокой точностью. Например, сварной корпус клапана имеет много сварных швов большого сечения, выполненных многопроходной сваркой. Если не снять напряжения в сварных швах, то после чистовой механической обработки корпус клапана «поведет» и его трущиеся детали заклинятся. Чтобы снять напряжения, корпус клапана после сварки (перед чистовой обработкой) подвергают термической обработке.

В сварных, гнутых и штампованных изделиях при работе может возникнуть коррозия под напряжением. Во избежание этого изделие или отдельные узлы также подвергают термической обработке с целью снятия или снижения напряжений.

Хромистые стали, особенно при содержании углерода около 0,2%, после сварки в околошовной зоне или в так называемой зоне термического влияния (ЗТВ) могут стать хрупкими.

Для улучшения механических свойств сварные узлы из таких сталей термически обрабатывают. Термическая обработка стали 1Х13 состоит из закалки от температуры 950—1050°С с охлаждением в масле (крупные узлы) или на воздухе (мелкие узлы) и последующего высокого отпуска при 750°С. Иногда после сварки применяют только отпуск.

На механические свойства стали 1Х13 большое влияние оказывает температура и длительность нагрева при отпуске. Низкий отпуск при 230—270°С применяется для уменьшения напряжений, высокий при 730—790°С — для снятия структурных напряжений от закалки в процессе сварки. Средний отпуск при 450—550°С для этой стали не рекомендуется, так как он приводит к охрупчиванию.

Сварной узел из стали 1Х13 после закалки и высокого отпуска при 700—750°С обладает умеренной прочностью, достаточной пластичностью и с успехом используется в паровых турбинах.

Если требуется полное смягчение, например до твердости 135—170 НВ, необходимо применить полный отжиг (нагрев до 840—900°С и охлаждение со скоростью 15°С в час до 600°С вместе с печью, а затем охлаждение на воздухе).

Аустенито-ферритная сталь 0Х21Н5Т при комнатной температуре обладает более высокими прочностными свойствами чем аустенитные, но зато имеет более низкие показатели пластичности и ударной вязкости.

Заметное влияние на изменение свойств оказывает соотношение аустенитной и ферритной фаз, которое зависит от режима термической обработки. Наилучшие сочетания свойств у сталей типа 21-5 при равенстве  $\gamma$ - и  $\alpha$ -фаз получается после закалки с 950—1000°С. Так, например, листы толщиной 5—10 мм после закалки имеют:  $\sigma_b = 64—66$  кг/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_t = 28—30$  кг/мм<sup>2</sup> и  $\delta = 20—30\%$ .

После кратковременного пребывания в зоне высоких температур, а также длительного пребывания при 475°С сталь 0Х21Н5Т получает склонность к охрупчиванию.

При сварке хромоникелевых нержавеющей сталей, не содержащих карбидообразователей (титана и других), в зоне опасных температур могут образоваться карбиды хрома, вследствие чего сварные швы окажутся склонными к межкристаллитной коррозии. Возвратить стали стойкость против межкристаллитной коррозии можно с помощью термической обработки.

Наконец при продолжительном нагреве хромоникелевых сталей до 500—800°С снижаются ударная вязкость и другие механические свойства. Однако, применяя различные режимы нагрева и охлаждения стали, эти свойства можно восстановить.

Обработка аустенитных сталей, проводимая по режимам отжига, нормализации, закалки и отпуска, дает другие, чем для углеродистых и низколегированных сталей, часто даже противоположные результаты.

Наибольшую твердость и прочность аустенитные стали имеют после наклепа (нагартовки). Холодная штамповка увеличивает прочность в 2—2,5 раза и в 5 раз снижает пластические свойства. После закалки аустенитные стали вследствие получения аустенитной структуры приобретают наименьшую твердость. Поэтому термин «закалка» к аустенитным сталям неприменим.

Высокие пластические свойства, потерянные сталью вследствие наклепа, можно восстановить путем ее закалки при 1100°С на аустенит (быстрым охлаждением в воде или на воздухе). Закалку на аустенит называют аустенизацией. Для аустенитных сталей иногда применяют стабилизирующий отжиг — нагрев до 850—950°С и охлаждение на воздухе. Такая термическая обработка называется стабилизацией.

Стабилизация положительно влияет на коррозионную стойкость сварного соединения, способствуя равномерному распре-

делению карбидов и исключая межкристаллитную коррозию в металле шва и ЗТВ. После нагрева свыше  $800^{\circ}\text{C}$ , определенной выдержки при такой температуре и последующего охлаждения нержавеющая сталь становится невосприимчивой к межкристаллитной коррозии, несмотря на наличие карбидов.

Стабилизация почти полностью снимает напряжения в стали, претерпевшей холодную деформацию. Температура стабилизации в основном зависит от содержания углерода в стали.

При выборе температуры стабилизации пользуются диаграммами состояния. Согласно диаграмме (см. рис. 4) для стали с содержанием 0,1% углерода температура стабилизации равна  $930\text{--}950^{\circ}\text{C}$ , для стали, содержащей 0,2% углерода,  $1050\text{--}1100^{\circ}\text{C}$  и т. п. При таких температурах полностью растворяются карбиды и восстанавливается однофазная аустенитная структура стали, так как эти температуры лежат выше линии предельной растворимости карбидов в аустените. Если нужно только снять напряжения, достаточно нагреть сталь до температуры, лежащей ниже этой линии. Нельзя злоупотреблять высокой температурой стабилизации, так как нагрев выше  $1100^{\circ}$  приводит к снижению предела текучести за счет роста зерен.

Большое влияние на свойства металла оказывает скорость охлаждения после нагрева. Если изделие из хромоникелевой аустенитной или аустенито-ферритной стали охлаждается медленно, оно может оказаться очень хрупким. В интервале температур  $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$  у хромоникелевых и хромистых сталей из твердого раствора выделяется новая структурная составляющая (химическое соединение) — хрупкая и твердая  $\sigma$ -фаза (сигма-фаза) и поэтому сталь приобретает хрупкость. Особенно высокая хрупкость появляется, когда  $\sigma$ -фаза выделяется по границам зерен феррита или на границе феррита с аустенитом. Сигматизацию аустенитных хромоникелевых сталей можно значительно ослабить, снизив содержание феррита до 5%. Чем больше ферритной фазы в металле, тем больше склонность к тепловому охрупчиванию.

Тепловое охрупчивание может наступить и при относительно низких температурах ( $300\text{--}500^{\circ}\text{C}$ ), если при такой температуре сварная конструкция (узел) находится длительное время. В этом случае операция растворения  $\sigma$ -фазы является обязательной. Чтобы полностью растворить  $\sigma$ -фазу, сварной узел необходимо нагреть до  $1100\text{--}1150^{\circ}\text{C}$ .

Режим отпуска аустенитных сталей для обработки изделий практически не применяется. Такой режим термической обработки используется только перед испытанием образцов как провокационный двухчасовой нагрев до  $650^{\circ}\text{C}$ , вызывающий активную склонность к межкристаллитной коррозии.

### § 13. Металлургические и технологические особенности сварки

Прежде чем изучать особенности сварки нержавеющих 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.

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 литые. 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  $2300^{\circ}\text{C}$ ). Края ванны нагреты до температуры плавления (около  $1500^{\circ}\text{C}$ ). От краев ванны по мере охлаждения начинают образовываться и расти столбчатые кристаллиты (дендриты). Кристаллиты растут от точки А, где самый большой теплоотвод (рис. 10), 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 О, 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 О, а в точке О'.

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

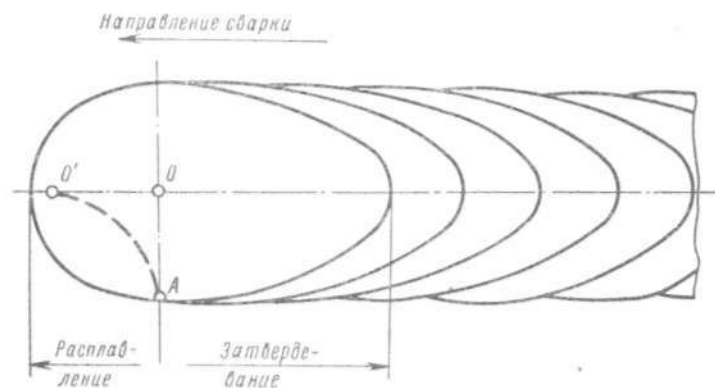


Рис. 10. Схематическое изображение оси кристаллита, растущего при кристаллизации металла в условиях сварки.

кристаллитов несколько изменится. Медленное охлаждение способствует укрупнению кристаллитов, вследствие чего ударная вязкость металла шва снижается.

На рис. 11 показана направленная макроструктура шва на стали типа 18-8. Количество валиков (слоев) может не влиять на



Рис. 11. Направленная макроструктура шва.

направленность 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.

При сварке хромоникелевых нержавеющей сталей надо следить за тем, чтобы размер сварочной ванны был минимальным, а охлаждение — быстрым. Следует помнить, что самыми высокими свой-

ствами обладает металл шва с мелкокристаллитной структурой при правильной направленности кристаллитов.

Структура сварных швов определяется структурой основного металла и кристаллизацией металла шва. Структура основного металла зависит, в основном, от химического состава стали и от 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 защитных 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 типа 18-8 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. 12, а).

Структура основного металла стали типа 25-20 однофазная чисто аустенитная. Если сварка выполнялась вольфрамовым электродом без присадки, шов также имеет однофазную чисто аустенитную структуру (рис. 12, 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 может 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 (см. рис. 12, а).



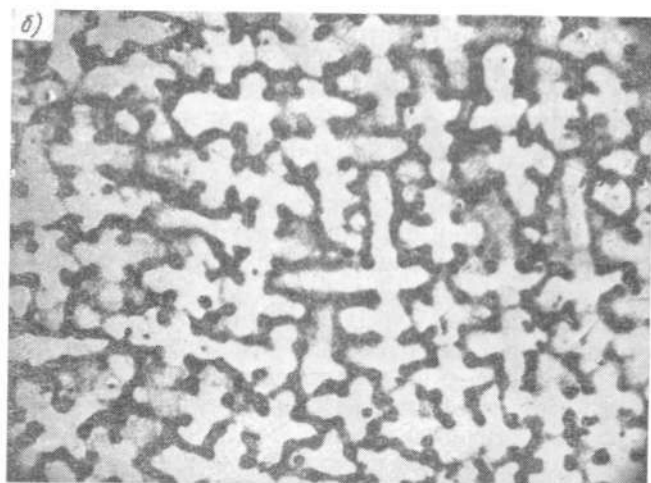
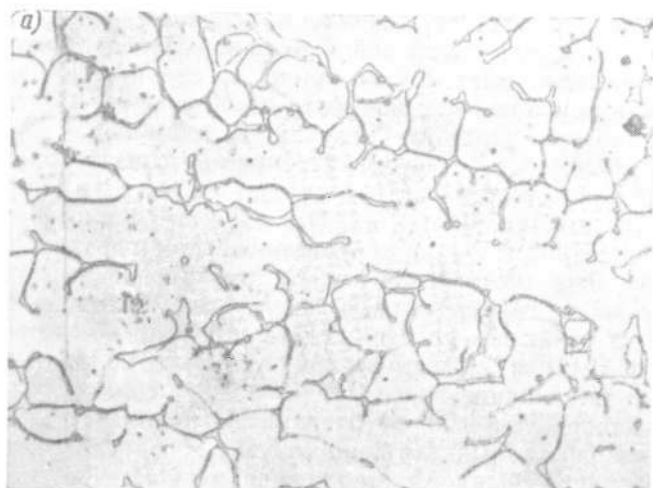


Рис. 12. Структура металла шва: а — на стали типа 18-8;  
б — на стали типа 25-20.

Металл шва хромистой стали марки 0X13, выполненного хромистыми электродами со стержнем из стали 0X13, 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.

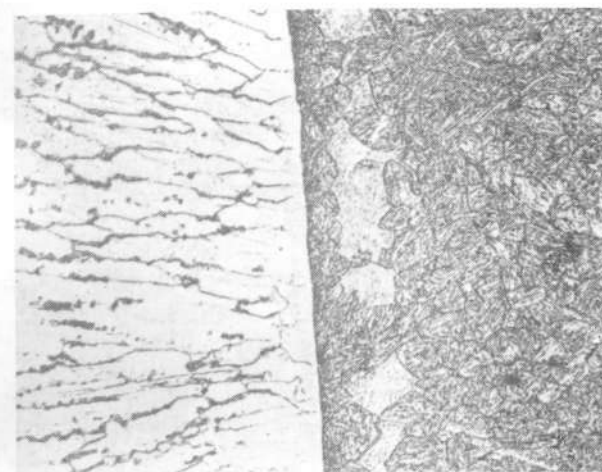


Рис. 13. Микроструктура околошовной зоны стали типа X13, сваренной электродами ЭА395/9 с последующим отпуском при 740° С.

Более благоприятная структура и лучшие свойства получаются при сварке хромистых сталей типа X13 аустенитными электродами (ЗИО-8, ЦЛ-11, ЭА395/9 и др.), особенно после отпуска. На рис. 13 показана микроструктура околошовной зоны после сварки и отпуска сварного соединения, выполненного электродами марки ЭА395/9. Белая полоса по линии сплавления — зона обезуглероженного металла, светлая структура (слева) — типичная структура чисто аустенитного наплавленного металла, темная (справа) — структура стали типа X13.

Аналогичную структуру имеет шов на 17%-ной хромистой стали (0X17T), сваренной аустенитными электродами ЦЛ-11 и ЭНТУ-3, ЭА395/9.

Металл шва хромистой стали 1X13 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 0Х13, 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.

Строение околошовной зоны аустенитной стали схематически показано на рис. 14.

Температура 450—850°C 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). Легированные элементы 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 про-

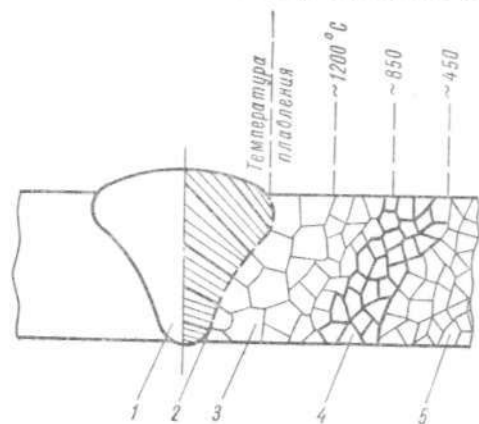


Рис. 14. Строение околошовной зоны сварного шва аустенитной стали.

1 — металл шва; 2 — линия сплавления; 3 — участок роста зерна; 4 — участок возможного распада аустенита; 5 — основной металл.

цессе 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 непосредственного 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.

Шлак, образующийся при расплавлении обмазки электрода или флюса, создает металлургические условия, способствующие благоприятному переходу легирующих элементов из проволоки в шов. Интенсивность такого перехода зависит от качества шлаковой защиты, что в свою очередь зависит от состава флюса или обмазки, технологии и техники сварки.

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 получаются высокого качества.

В настоящее время в судостроении и других отраслях промышленности большой объем сварочных работ выполняется покрытыми электродами и под флюсом, и потому необходимо изучать влияние металлургических процессов на качество шва.

Сварщик может влиять на характер металлургических процессов, протекающих при сварке. При автоматической сварке под флюсом изменение режима сварки способствует переходу примесей из шлака в металл или из металла в шлак, или тормозит этот переход.

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. Минимальна она при сварке под флюсом и особенно при сварке на флюсовой подушке.

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 (уменьшит 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 карбиды 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 ее перегрева становится склонной к межкристаллитной коррозии, особенно при работе изделия в зоне температур, близких к 650° С.

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

Первым признаком перегретого металла шва является сглаженная чешуйчатость и увеличенная ширина шва при ручной дуговой и аргоно-дуговой сварке. Губчатое<sup>1</sup> формирование валика без следов чешуйчатости и желтый налет на поверхности шва — характерные признаки перегрева при автоматической и ручной аргоно-дуговой 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.

<sup>1</sup> Металл шва с неровной (ноздреватой) поверхностью, напоминающей губку.

## ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

## § 14. Классификация процессов сварки

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

Газовая (ацетилено-кислородная) сварка — простой и универсальный способ соединения узлов из нержавеющей стали. 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.

Для сварки нержавеющей стали применяют присадочную проволоку, содержащую минимальное количество углерода.

В результате интенсивного нагрева свариваемых кромок частично окисляются легирующие элементы, особенно с обратной, незащищенной газовым пламенем, стороны шва. Для защиты нагретого металла от окисления пользуются флюсом НЖ-8, содержащим мрамор, фарфор, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и двуокись титана.

Тщательно размолотые компоненты флюса замешивают на жидком стекле. Полученную пасту наносят на кромки металла с обратной стороны шва, а иногда и на присадочный пруток. Сварку начинают после застывания пасты (через 15—20 мин после нанесения ее на кромки).

Независимо от марки нержавеющей стали сварка должна выполняться нейтральным или слегка восстановительным пламенем из расчета 75 л/ч газа на 1 мм толщины. Большая мощность пламени вследствие чрезмерного разогрева металла в районе шва приведет к деформации узла (короблению). Характер пламени влияет на качество металла шва. При избытке кислорода в пламени окисляются легирующие элементы (хром, титан и другие), что приводит к снижению коррозионной стойкости сварного соединения. Избыток ацетилена в пламени вызывает науглероживание металла шва.

Повышение содержания углерода в металле шва и в околошовной зоне снижает коррозионную стойкость за счет образования карбидов. Для восстановления коррозионной стойкости необходимо термически обработать сварные соединения, чтобы добиться равномерного распределения карбидов. Это усложняет и удорожает изготовление сварных конструкций.

Контактная сварка является самым производительным видом сварки. Особенно широко применяют точечную и роликовую сварку в автомобильной, авиационной, судостроительной и машиностроительной отраслях промышленности.

Нержавеющие стали обладают хорошей свариваемостью при контактной сварке. Благодаря высокому удельному сопротивлению и малой теплопроводности эти стали можно сваривать током меньшей силы, чем при сварке малоуглеродистых. Из-за высокой прочности при высоких температурах нержавеющей стали приходится сваривать с повышенным давлением на электроды.

Чтобы предотвратить выпадение карбидов хрома, приводящее к межкристаллитной коррозии, рекомендуются жесткие режимы сварки и прежде всего малая продолжительность нагрева. Кроме того, малая продолжительность нагрева заметно уменьшает коробление.

Нержавеющие стали удовлетворительно свариваются с малоуглеродистыми, но так как эти стали имеют различную теплопроводность, необходимо искусственно создавать условия для их равномерного нагрева при сварке. При прохождении сварочного тока нержавеющая сталь нагревается сильнее, чем углеродистая. Уменьшить ее нагрев при точечной или роликовой сварке можно увеличением поверхности соприкосновения электрода с деталью. Поэтому площадь электрода (ролика), соприкасающегося с нержавеющей сталью, должна быть увеличена на 50—80% по сравнению с площадью электрода, соприкасающегося с малоуглеродистой сталью.

Трубы из нержавеющей стали с толщиной стенки более 1 мм хорошо свариваются контактной стыковой сваркой. Грат, образующийся внутри труб, удаляют с помощью дорнов или разверток.

Режимы точечной, роликовой и стыковой сварки определяются практическим подбором на технологических пробах. Качество



сварных соединений, выполненных контактной сваркой, как правило, высокое.

Электронно-лучевая сварка применяется для соединения деталей ответственных изделий, когда важно получить особо чистый (по содержанию газов) металл шва. При этом виде сварки энергия, необходимая для плавления свариваемых кромок, выделяется в результате интенсивной бомбардировки свариваемых кромок быстро движущимися электронами в вакууме (рис. 15). Вакуум необходим для снижения бесполезного расхода энергии электронов на ионизацию газов в камере. Чем глубже вакуум, тем более эффективно протекает процесс сварки.

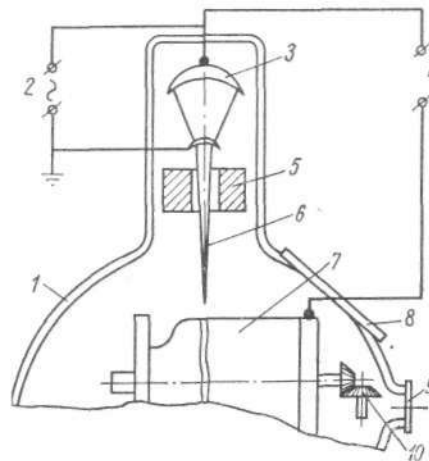


Рис. 15. Схема электронно-лучевой сварки.

1 — камера; 2 — источник разогрева катода; 3 — катод; 4 — источник постоянного тока для усиления эмиссии; 5 — фокусирующее устройство; 6 — электронный луч; 7 — свариваемое изделие; 8 — смотровой люк; 9 — патрубок к вакуумной системе; 10 — привод манипулятора для вращения изделия.

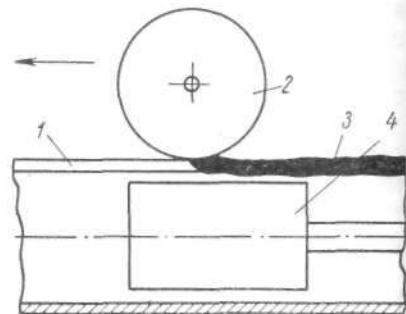


Рис. 16. Схема радиочастотной сварки.

1 — заготовка трубная; 2 — контакты, подводящие энергию; 3 — сваренная труба; 4 — ферритовый стержень для увеличения индуктивного сопротивления контура.

Вольфрамовый электрод, разогреваемый до высокой температуры от трансформатора, является источником электронов. По мере разогрева электрода поток электронов направляется в электромагнитную фокусирующую систему, которая сжимает этот поток до формы луча. Встречая на своем пути изделие, концентрированный поток электронов внезапно тормозится и его кинетическая энергия превращается в тепловую. Кромки быстро нагреваются, и образуется сварочная ванна, размеры которой выгодно отличаются от сварочной ванны, получаемой при дуговой сварке. Благодаря высокой концентрации тепла металл быстро расплавляется на большую глубину при минимальной ширине, а следовательно, и малой зоне термического влияния, что обеспечивает высокое качество сварного шва и высокую производительность (в среднем в 1,5 раза выше дуговой сварки) процесса.

Установки для электронно-лучевой сварки являются сложными и пока имеют ограниченное применение, однако уже в настоящее время возможно сваривать толщины до 50 мм, получая швы самого высокого качества. В дальнейшем область применения этого вида сварки, по-видимому, будет расширяться.

Радиочастотная сварка — разновидность сварки токами высокой частоты. Нагрев токами радиочастоты осуществляется с очень большой скоростью благодаря высокой степени концентрации энергии. Вследствие этого процесс получается очень быстрым, в десятки раз быстрее, чем аргонодуговая сварка. В настоящее время сварка токами радиочастоты широко применяется при изготовлении прямошовных труб из нержавеющей стали (рис. 16).

Энергию к месту сварки подводят и передают с помощью скользящих контактов или ролика. Кромки сформованной трубы сжимаются роликами. Величина давления, приложенного к кромкам, и степень нагрева кромок регулируются в широких пределах, чем определяются необходимые размеры и качество шва. По внешнему виду шов имеет сходство со швами, выполненными сваркой ТВЧ или контактной стыковой сваркой. Грат, образующийся при этом, удаляется известными в технике способами.

Электрошлаковая сварка — бездуговой процесс для соединения заготовок и деталей больших толщин. Этот процесс характеризуется высокой производительностью, не требует специальной разделки кромок при любой толщине металла и обеспечивает удовлетворительное качество сварных соединений.

Схема электрошлаковой сварки показана на рис. 17. На собранные с определенным зазором свариваемые кромки 1 (без фасок) устанавливают охлаждаемые водой формирующие приспособления 2. Сварочный ток подводят к электроду 3 и изделию.

В плавильное пространство между свариваемыми кромками и формирующим приспособлением насыпают флюс. Сварку начинают как обычную дуговую. По мере плавления флюс превращается в жидкий шлак. Одновременно подплавляются и при-

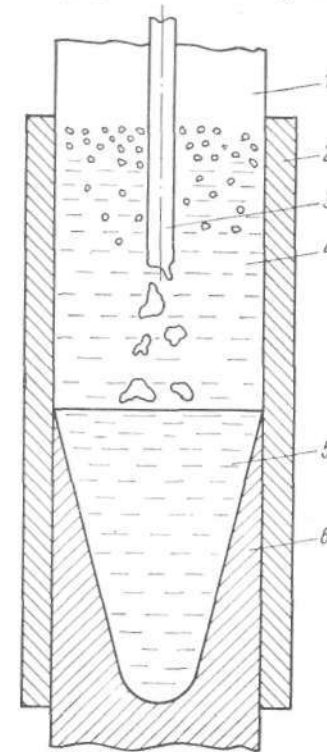


Рис. 17. Схема электрошлаковой сварки.



легающие свариваемые крошки, образуя начало шва. Всплывающий расплавленный шлак способствует быстрому расплавлению подаваемого электрода, и дуговой процесс автоматически прекращается. Дальнейшее плавление электрода и крошек осуществляется теплом, выделенным при шунтировании тока через расплавленный шлак 4. Электродный и основной металл образуют жидкую ванну металла 5. Движущиеся формирующие приспособления охлаждаются ванну, и после затвердевания металла образуется шов 6.

Иногда начинают сварку сразу электрошлаковым способом, для чего в специальном тигле (печи) заранее расплавляют флюс и жидкий шлак выливают в плавильное пространство и одновременно включают подачу электрода и движение каретки, перемещающей электрод.

Лучшие условия для процесса электрошлаковой сварки создаются при вертикальном положении свариваемых крошек деталей. Электродом при сварке служат сварочная проволока, пластины или плавящиеся мунштуки из металла, близкого по химическому составу к основному.

Электрошлаковая сварка может осуществляться на переменном и постоянном токе, однако большее распространение получила сварка на переменном токе.

Основные преимущества этого вида сварки по сравнению с дуговой следующие: более высокая производительность (в 3 раза — при толщине 50 мм и длине шва около 2 м); меньший расход флюса (примерно в 20 раз при длине шва 2 м); меньший расход электроэнергии (примерно в 2 раза); меньшая чувствительность к влаге, ржавчине и загрязнению крошек, и, следовательно, меньшая склонность к образованию пор и шлаковых включений в шве.

Недостатки электрошлаковой сварки нержавеющей сталей — склонность к образованию кристаллизационных трещин в металле шва и на линии сплавления, а также низкая стойкость металла шва и зоны термического влияния против межкристаллитной коррозии вследствие длительного пребывания металла в зоне опасных температур. Если к последнему качеству предъявляются высокие требования, то электрошлаковую сварку применяют только при изготовлении изделий, которые можно подвергать последующей термической обработке.

Диффузионная сварка осуществляется без расплавления свариваемых крошек. Подобно электронно-лучевой сварке здесь также необходимо иметь камеру, из которой выкачивают воздух. После вакуумирования детали нагревают любым способом, чаще индукционным, до температуры 700—800°С и уплотняют приложением внешней нагрузки из расчета 0,5—2 кг на 1 мм<sup>2</sup> площади свариваемых крошек. Благодаря диффузии атомов соединяемых металлов при нагреве в вакууме происходит соединение деталей без применения припоев, флюсов и т. п.

Этот вид сварки нашел применение при соединении разнородных металлов и сплавов, например, вкладышей из стеллита с корпусом клапана из нержавеющей стали, наварышей твердосплавных с втулками и т. п.

Электрическая дуговая сварка — наиболее распространенный вид сварки во всех отраслях промышленности. К настоящему времени появилось много разновидностей электрической дуговой сварки.

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 или механизированная сварка, полуавтоматическая или автоматическая.

Метод дуговой сварки характеризуется физическими признаками самого процесса, основными свойствами носителя электрической энергии — электрода. Так, сварка неплавящимся и плавящимся электродами относится к различным методам.

Классификация процессов электрической дуговой сварки приведена на рис. 18.

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

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами получила наиболее широкое применение. Основное ее достоинство — универсальность, возможность сварки простых и самых сложных конструкций, имеющих швы в стесненных и труднодоступных местах, в любом пространственном положении. При этом способе практически неограничены возможности легирования металла шва через электродное покрытие и за счет применения электродного стержня соответствующего химического состава. Электродное покрытие при расплавлении создает комбинированную шлакогазовую защиту металла шва от воздействия кислорода и азота воздуха.

Шлак, образующийся в результате расплавления покрытия, взаимодействует с расплавленным металлом. Металлургические процессы при сварке покрытыми электродами, как правило, способствуют удалению из сварочной ванны кремния и серы, что повышает стойкость швов против образования трещин. Углекислый газ, образующийся в результате распада мрамора (в покрытии) под действием дуги, обеспечивает газовую защиту расплавленного металла от воздуха. Однако небольшое количество кислорода

из воздуха и покрытия может попадать в сварочную зону, окисляя легирующие элементы. Существует также опасность прижогов на прилегающих поверхностях металла от брызг и чирканья электродом, которые могут быть очагами разрушения металла. Поэтому приходится применять при сварке конструкций дополнительные меры предосторожности: покрытие участков, прилегающих к выполняемым швам, асбестовой тканью, каолином и др.

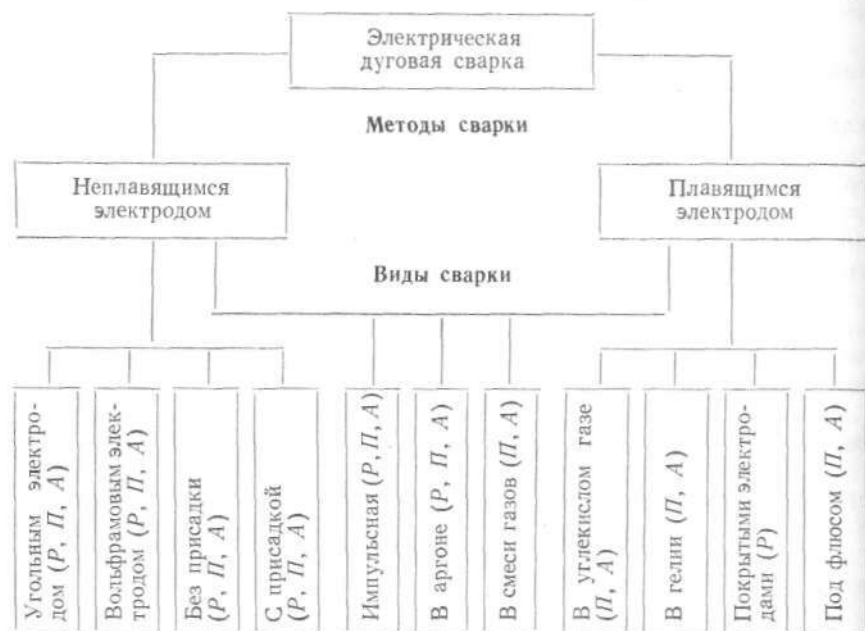


Рис. 18. Классификация процессов дуговой сварки нержавеющей сталей.

Р — ручная сварка; П — полуавтоматическая; А — автоматическая.

Кроме того, ручная дуговая сварка является относительно малопродуктивным процессом. На производительность сварки аустенитных сталей влияют применение укороченных электродов (табл. 4) и паузы для остывания ранее сваренных валиков. Существенным недостатком ручной дуговой сварки является также необходимость применения только постоянного тока в основном из-за наличия плавикового шпата в покрытии.

Полуавтоматическая и автоматическая сварка под флюсом — основной технологический процесс при изготовлении корпусных конструкций (обечаек, цистерн, резервуаров и др.) из нержавеющей сталей толщиной от 4 до 50 мм. Схема сварки под флюсом показана на рис. 19. Высокая производительность, большая глубина проплавления, небольшое коробление, малые потери сварочных материалов и хорошее качество

Таблица 4

Сравнительная длина электродов

Диаметр стержня электрода, мм	Длина обычных (углеродистых) электродов, мм	Длина аустенитных электродов, мм
2	250	200
2,5—3	350	250
4	400 или 450	350
5	450	350 или 450

металла швов и сварных соединений обеспечивают высокую эффективность сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой.

Производительность дуговой сварки зависит от силы сварочного тока. С увеличением силы тока быстрее плавятся и основной металл и сварочная проволока. Это в свою очередь позволяет

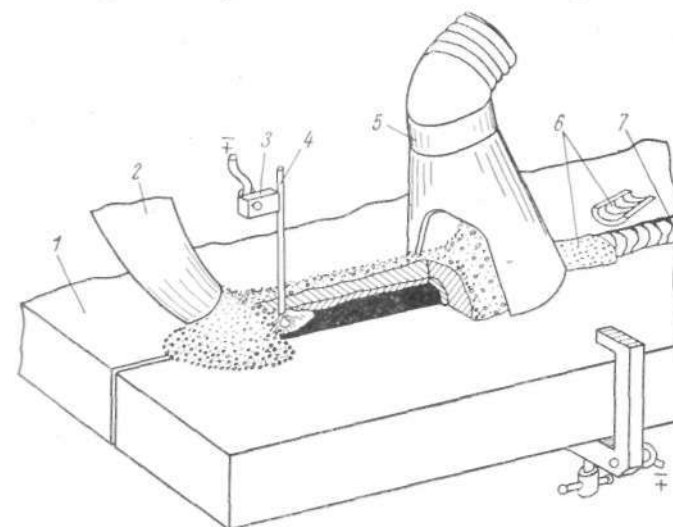


Рис. 19. Схема процесса сварки под флюсом.

1 — свариваемые заготовки; 2 — флюсопитатель; 3 — токоподвод; 4 — электрод; 5 — растроб флюсосборника; 6 — шлаковая корка; 7 — шов.

увеличить скорость сварки, а следовательно, и производительность труда. Однако беспрестанно увеличивать силу тока нельзя, иначе плавление сварочной проволоки будет происходить значительно быстрее, чем свариваемого металла, и качество сварки снизится.

При автоматической сварке под флюсом силу тока можно увеличить в 3—5 раз по сравнению с ручной при одинаковом диаметре

электрода. Уменьшение диаметра электрода (проволоки) позволяет применять ток повышенной плотности.

Высокая производительность процесса под флюсом в основном и достигается благодаря увеличению плотности тока. При ручной дуговой сварке электродами диаметром 4 мм наибольшая сила сварочного тока не превышает 140 а (плотность тока 11 а/мм<sup>2</sup>). При сварке под флюсом электродной проволокой такого же диаметра сила тока составляет 600 а (плотность тока около 50 а/мм<sup>2</sup>), т. е. в 4,5 раза больше, чем при ручной сварке. Если же диаметр уменьшить до 2 мм, то плотность тока еще более возрастет. Глубина провара основного металла при сварке под флюсом значительно больше, чем при ручной. Вероятность непроваров в корне шва при правильно выбранном типе сварного соединения практически невелика.

Процесс протекает без брызг и поэтому не появляются дополнительные местные очаги коррозии. Швы имеют гладкую поверхность с едва заметной чешуйчатостью. Переходы от поверхности шва к основному металлу плавные. При правильном режиме сварки нет подрезов.

Вследствие хорошей защиты жидкого металла от воздействия воздуха качество сварных швов, выполненных под флюсом, более высокое, чем при ручной дуговой сварке. Расплавленный электродный и основной металлы хорошо перемешиваются, и сварной шов представляет собой смесь двух исходных металлов. Соотношение основного и электродного металлов зависит в основном от типа сварного соединения. Например, стыковой шов на соединении без разделки кромок при обычных режимах сварки под флюсом состоит примерно из  $\frac{2}{3}$  переплавленного основного металла и  $\frac{1}{3}$  присадочного.

С увеличением силы тока соотношение основного и электродного металлов меняется в пользу основного.

Установлено, что дефекты чаще всего бывают в начале или в конце шва. Чем короче швы, тем чаще приходится начинать и заканчивать сварку. Длина участка при ручной сварке — отрезок шва, выполненный одним электродом. Чем длиннее шов, тем больше участков при ручной сварке. У автоматных швов таких участков меньше, так как сварка под флюсом выполняется без перерыва, «напроход». Следовательно, в автоматных швах меньше дефектов.

Сварка под флюсом выгодно отличается от других способов сварки по экономическим и эксплуатационным показателям. Большая экономия достигается благодаря глубокому проплавлению при сварке сталей больших толщин и возможности заполнения за один проход больших сечений. При сварке под флюсом нет надобности в обработке фасок на кромках листовых конструкций толщиной до 15 мм, тогда как для ручной сварки снятие фасок, начиная с толщины 4—5 мм, обязательно. Потери сварочных материалов (остатки проволоки, угар, отходы флюса) также меньше.

Лучшие условия труда сварщика-автоматчика и работающих рядом рабочих других профессий — также весьма существенное преимущество автоматической сварки под флюсом. Отпадает необходимость в защите лица и рук сварщиков и других рабочих (сборщиков, такелажников, подсобников). В помещении значительно чище воздух. Утомляемость сварщика меньше, чем при ручной дуговой сварке. Механизированная уборка флюса исключает вредное действие флюсовой пыли на здоровье людей.

Дуговая сварка под флюсом целесообразна при толщине металла до 50 мм; при большей толщине экономически рациональнее электрошлаковая сварка, однако технически сварка под флюсом остается более простым и доступным способом.

Вопрос об эффективности каждого способа сварки под флюсом должен решаться с учетом характера работ, вида конструкции, требований к готовому изделию и т. п. Полуавтоматическая сварка имеет ряд преимуществ по сравнению с автоматической: является более мобильным способом, близким по маневренности к ручной дуговой сварке; обладает большей универсальностью, т. е. пригодна для сварки длинных и коротких швов, стыковых и угловых и т. п.; обеспечивает более тонкую настройку режима сварки малых толщин и др.

Однако при большой протяженности швов, наличии средних и больших толщин, хорошей организации работ и снабжения поста сварочными материалами, наличии средств механизации (кантователи, подвижные флюсовые подушки, специальные постели) автоматическая сварка под флюсом является самым эффективным процессом из всех способов, применяемых для сварки нержавеющей сталей.

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, полуавтоматическая и автоматическая, а плавящимся — только полуавтоматическая и автоматическая.

Ручная аргоно-дуговая сварка широко применяется при изготовлении ответственных узлов из труб и тонколистовой нержавеющей стали.

Схема аргоно-дуговой сварки показана на рис. 20. Электрическая дуга возбуждается между неплавящимся электродом и изделием. Поскольку электрод не плавится, легко поддерживать постоянной длину 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 аргоно-дуговой сварки следующие:

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.

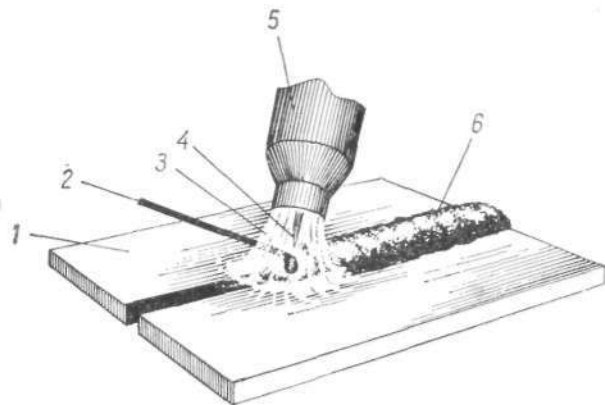


Рис. 20. Схема аргоно-дуговой сварки.

1 — свариваемое изделие; 2 — присадка; 3 — струя защитного газа; 4 — вольфрамовый электрод; 5 — сопло горелки; 6 — шов.

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 аргоно-дуговой сварке, только снимают фаску. Для ацетилено-кислородной сварки, кроме того, концы труб развальцовывают для установки подкладного кольца. При сварке стыков труб ацетилено-кислородным пламенем швы имеют плохой внешний вид и требуют трудоемкой зачистки, а при аргоно-дуговой сварке зачищать их поверхность нет надобности и не требуется термическая обработка. Сварные швы, выполненные ацетилено-кислородной сваркой, термически обрабатывают с целью растворения в металле шва и ЗТВ карбидов, которые образуются вследствие науглероживания в процессе сварки и длительного пребывания металла при высокой температуре. При общей трудоемкости, считая обработку, сборку, сварку, термическую обработку, зачистку швов, аргоно-дуговая сварка более экономична, чем ацетилено-кислородная.

Аргоно-дуговой 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 щелевой коррозии. Естественно, что ровный с плавными переходами к основному металлу валик на внутренней поверхности трубы не может быть очагом коррозии.

В последнее время наметилась тенденция к применению импульсной ручной аргоно-дуговой сварки. В отличие от обычной аргоно-дуговой сварки здесь налицо 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 переменной 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.

Полуавтоматическая 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 полуавтоматическую неплавящимся электродом.

В отличие от ручной аргоно-дуговой сварки, где присадку в сварочную ванну подает сварщик вручную, при полуавтоматической сварке подача присадки механизирована.

Электродом при этом способе сварки может служить вольфрамовый прут 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 стали 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 полуавтоматической сварки неплавящимся электродом аналогична ручному аргоно-дуговому процессу (см. рис. 20).

Сварка угольным электродом открытой дугой имеет ограниченное применение в промышленности из-за наличия повышенной зоны разогрева кромок, блуждания дуги и опасности науглероживания металла шва. Углерод поступает в металл в результате взаимодействия с продуктами окисления угольного электрода в процессе сварки. Применительно к нержавеющей стали науглероживание недопустимо, так как с повышением углерода в металле шва заметно снижается стойкость сварных швов против межкристаллитной коррозии. Применение углекислого газа значительно уменьшает науглероживание металла. Этот способ применяют для соединения конструкций из тонколистовой нержавеющей стали. Сварка осуществляется без присадки или с присадкой.

Быстрый расход электрода и необходимость частой его замены — существенный недостаток сварки угольным электродом. Применение механизмов подачи электрода по мере его расхода усложняет технику и технологию сварки. Однако благодаря простоте и экономичности сварка угольным электродом в углекислом газе может с успехом применяться для соединения ответственных конструкций из нержавеющей стали.

Все ответственные узлы из нержавеющей стали свариваются в аргоне с использованием вольфрамового электрода. Качество швов, как правило, высокое. Производительность процесса в среднем в 2 раза выше, чем при ручной аргоно-дуговой 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, применяют 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 полуавтоматической 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 аргоно-дуговой сварке (см. рис. 20).

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

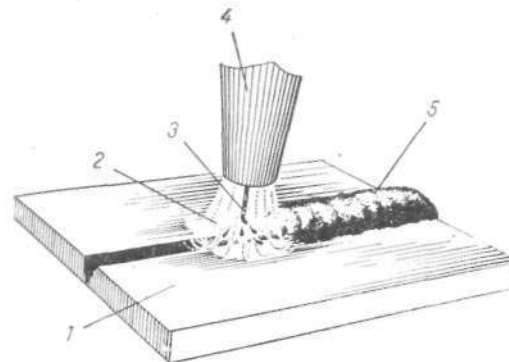


Рис. 21. Схема процесса сварки плавящимся электродом в защитных газах.

1 — свариваемое изделие; 2 — струя защитного газа; 3 — плавящийся электрод; 4 — сопло; 5 — шов.

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах применяется, в основном, для угловых и тавровых соединений листовых конструкций и стыковых соединений толстостенных труб. При сварке конструкции, имеющей часто пересекающиеся ребрами швы, где практически трудно использовать полуавтоматическую сварку неплавящимся электродом из-за наличия мундштука с присадкой, а ручная аргоно-дуговая сварка является слишком малопродуктивным способом, также применяют этот метод. Часто другие способы являются экономически нецелесообразными 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. 21.

В настоящее время во всех отраслях промышленности, выпускающих сварные узлы из нержавеющей стали различного назна-

чения, 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 сталей 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 появление 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 полуавтоматической (см. рис. 21). 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 дуге 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 дугу промежутков 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 типа 18-8 диаметром 1 мм на обратной полярности критический ток  $I_{кр} = 190$  а. Добавкой в аргон кислорода около 1 % снижают критический ток до  $I_{кр} = 160$  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 сталей, 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 пе-

ренос, при слишком больших — капли металла с большой силой падают в ванну, приводя к разбрызгиванию.

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

## § 15. Источники питания сварочной дуги

Источник питания и сварочная дуга представляют собой взаимно связанную энергетическую систему. Устойчивость горения дуги является неперенным условием процесса дуговой сварки как неплавящимся, так и плавящимся электродом. Источник пита-

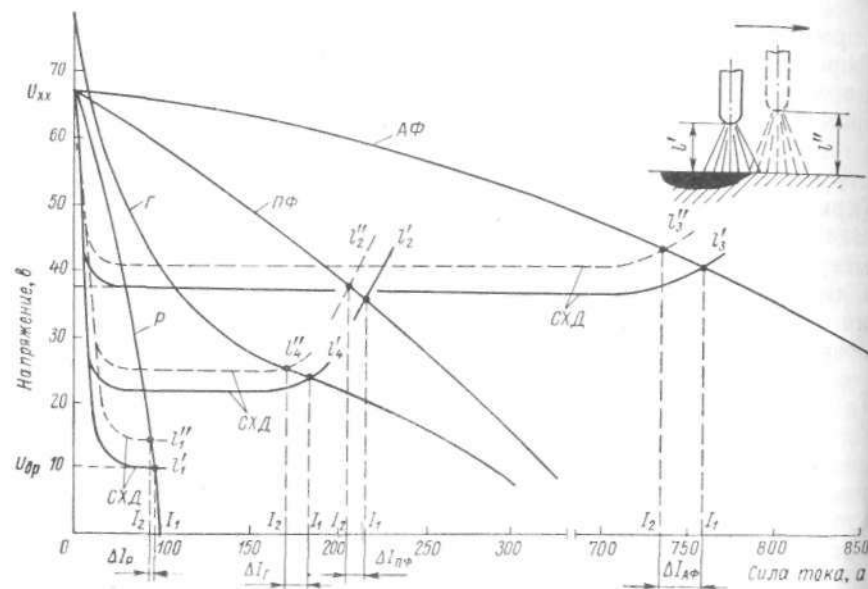


Рис. 22. Вольт-амперные характеристики источников тока и дуги.

СХД — статические вольт-амперные характеристики дуги для двух длин  $l'$  и  $l''$ ; Р, ПФ, АФ и Г — внешние характеристики источников тока для сварки соответственно: ручной дуговой и аргоно-дуговой; полуавтоматической под флюсом; автоматической под флюсом; в защитных газах.

ния обычно выбирают с соблюдением условий устойчивого горения дуги в зависимости от способа сварки.

Для ручной дуговой и аргоно-дуговой 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 Р на рис. 22), тем меньше величина отклонения тока и тем устойчивее процесс ручной сварки. Напряжение

холостого хода  $U_{х.х}$  в этом случае значительно превосходит напряжение на дуге  $U_d$  в среднем в шесть раз.

При полуавтоматической сварке под флюсом напряжение холостого хода также больше напряжения на дуге, но только в 2 раза, и если используется источник с падающей характеристикой, то при среднем сварочном токе 220—230 а величина отклонения тока  $\Delta I_{пф}$  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 уменьшится, значит длина дуги тоже уменьшится. Это явление автоматического восстановления первоначальной длины дуги (напряжения) за счет уменьшения скорости плавления проволоки при постоянной скорости ее подачи называют саморегулированием дуги.

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 ( $\Delta I_{АФ} \gg \Delta I_P$ ).

При автоматической сварке на постоянном токе очень высокой плотности (сварка тонкой проволокой), когда статическая характеристика дуги становится заметно возрастающей ( $l_4$ ), рационально использовать источники питания с жесткой, полого падающей или возрастающей внешней характеристикой (Г). 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 сталей может осуществляться постоянным и переменным током. Большее распространение получила сварка постоянным током. Для питания дуги здесь служат сварочные преобразователи с падающей вольт-амперной внешней характеристикой (табл. 5) и сварочные преобразователи с жесткой и пологопадающей характеристикой (табл. 6). 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.

Питание импульсной дуги постоянного тока осуществляется от источника тока типа ИПИД-150, ИПИД-300, ИИП-1, ГИД-1 и др. В силовую цепь источника питания импульсной дуги

Таблица 5

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

Тип преобразователя или агрегата	Напряжение сети, в или тип двигателя	Напряжение холостого хода, в	Номинальное рабочее напряжение, в	Пределы регулирования силы тока, а
ПСО-120	220/380	48—65	25	30—60 60—120
СУГ-2р	220/380	50—68	30	45—100 75—175 130—320
САМ-250 САМ-250-1	220	50—76	30	70—340
САК-2м-VI САК-2г-III САК-2г-IV	Двигатель бензиновый ГАЗ-МК	50—76 50—68	30 30	75—340 45—100 75—175 130—320
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
ПАС-400-VI ПАС-400-VIII	Двигатель бензиновый ЗИЛ-120	65—105	40	120—400 350—600
ПС-500 ПСО-500 ПСО-800	220/380	60—90 58—86 60—90	40 40 45	120—300 300—600 125—300 250—600 200—500 500—800
ПСМ-1000 (многопостовой)	220/380	60	60	Для 9 постов 10—200 Для 6 постов 15—300

Продолжение табл. 5

Тип преобразователя или агрегата	Напряжение сети, в или тип двигателя	Напряжение холостого хода, в	Номинальное рабочее напряжение, в	Пределы регулирования силы тока, а
ВСС-120-3 ВСС-300-2 ИПП-40В ИПП-200В ИПП-500В	220/380 220/380 380 380 380	65 65 — — —	25 30 — — —	15—120 40—300 5—54 40—330 120—600

Таблица 6

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

Тип преобразователя	Напряжение питающей сети, в	Пределы регулирования напряжения дуги, в	Пределы регулирования силы тока, а	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

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.



Давление в баллоне и величина заданного (рабочего) давления контролируются манометрами. Для аргоно-дуговой сварки применяют специальный редуктор марки ДЗР-1-57 (59) с пределом регулирования от 0,05 до 1,5 *атм*. Можно также использовать для сварки в защитных газах обычные кислородные редукторы следующих марок: РК-53, РК-59, РДС-50, РА-50 и др.

Принципиальная схема редуктора ДЗР-1-59 показана на рис. 24. Газ из баллона попадает в камеру высокого давления 2 и проходит через клапан в рабочую камеру 3. В рабочей камере

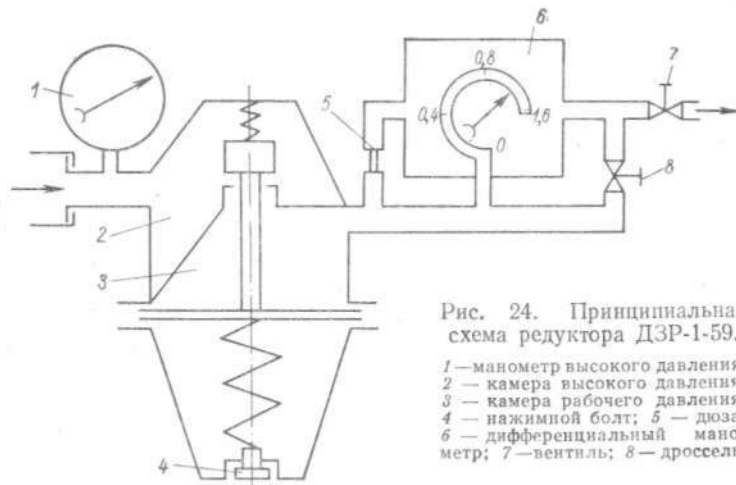


Рис. 24. Принципиальная схема редуктора ДЗР-1-59.

1 — манометр высокого давления;  
2 — камера высокого давления;  
3 — камера рабочего давления;  
4 — нажимной болт; 5 — дюза;  
6 — дифференциальный манометр;  
7 — клапан; 8 — дроссель.

давление всегда остается неизменным (1,5 *атм*). Оно регулируется нажимным винтом 4, после чего винт пломбируется. Рабочая камера соединена с дифференциальным манометром 6. На пути движения газа к манометру установлены дюзы. Проходя через дюзу 5 ( $D_1 = 0,6$  мм), газ через манометр 6 и клапан 7 поступает к потребителю. Дюза  $D_1$  обеспечивает расход аргона в диапазоне от 150 до 400 л/ч. Для увеличения расхода пользуются дросселем 8, который имеет набор различных дюз. Регулировка осуществляется поворотом маховика.

Редуктор типа ДЗР 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 *атм*, 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.

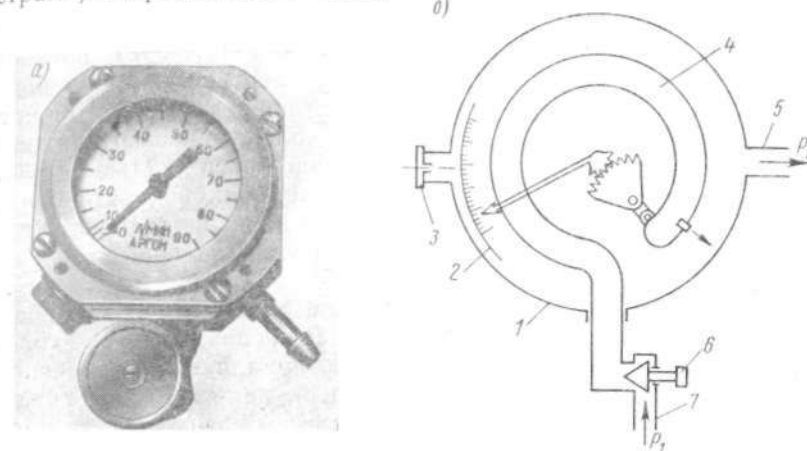


Рис. 25. Расходомер манометрического типа: а — внешний вид; б — принципиальная схема устройства.

1 — корпус; 2 — шкала; 3 — предохранительный клапан; 4 — трубка манометрическая; 5 — ниппель для выхода газа; 6 — регулятор расхода газа; 7 — ниппель для входа газа.

Расходомер манометрического типа (рис. 25) работает по принципу измерения перепада давлений в трубке и внутри корпуса, куда встроена эта трубка. Газ под давлением  $P_1$  через ниппель 7 и регулятор 6 попадает в манометрическую трубку 4 с калиброванным отверстием для выхода его в камеру внутри корпуса, где устанавливается давление  $P_2$ , равное потере напора в трубках и шлангах на пути от расходомера до сопла горелки, т. е. до места истечения газа.

Если потребления газа нет, давление  $P_2 = 0$ , в трубке и внутри корпуса установится давление  $P_1$ , конец манометрической трубки займет нейтральное положение и стрелка покажет нуль на шкале. Если потребление газа началось, давление  $P_1$  внутри корпуса снизится до какого-то значения  $P_2$ . В результате нарушится равновесие (внутри манометрической трубки давление будет больше, чем снаружи), газ начнет вытекать из калиброванного отверстия,

что приведет к смещению конца трубки и стрелка покажет фактический расход, т. е. перепад давлений ( $P_1 - P_2$ ).

Наибольший расход газа будет тогда, когда давление внутри корпуса достигнет заданного регулятором, т. е. когда  $P_2 = P_1$ . Давление  $P_1$  можно изменять в широких пределах, что является главным достоинством расходомера манометрического типа. Винтом регулятора 6 можно установить любой расход газа и изменить его даже в процессе сварки, не меняя давления на редукторе.

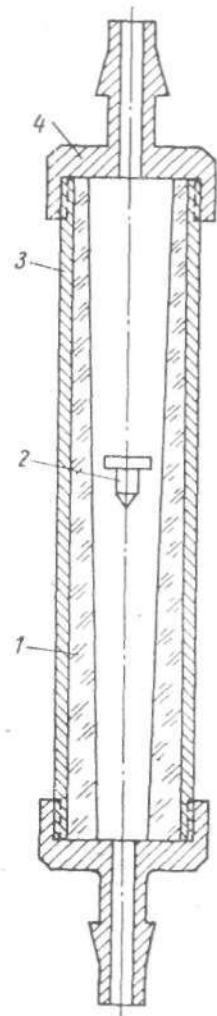


Рис. 26. Расходомер поплавкового типа (ротаметр).

1 — стеклянная трубка; 2 — поплавок; 3 — кожух с вырезами; 4 — гайка накидная с ниппелем.

Ротаметр типа РС (рис. 26) 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 пересчета нанести на графике кривую для аргона.

При одновременной разборке 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 3 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).

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 1845—52) служат для измерения тока и напряжения при сварке. Характеристики этих приборов приведены в табл. 7.

Таблица 7

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	М-340	Для измерения напряжения от 3 до 600 в
Вольтметр переменного тока	Э-30	То же от 15 до 600 в
Амперметр постоянного тока	М-340	Для измерения тока от 1 до 75 а
Амперметр переменного тока	Э-30	Для измерения тока от 1 до 200 а

Оборудуя пост для ручной дуговой, аргоно-дуговой 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 располагать перед лицом сварщика.

Пост для полуавтоматической сварки под флюсом оборудуют источником питания и полуавтоматом, включающим механизм подачи проволоки, сварочную головку с гибким шлангом-кабелем, ящик с аппаратурой для управления работой полуавтомата, флюсоаппаратурой для сбора и пресеивания флюса, набором инструментов. Для сварки нержавеющей сталей под флюсом пригодны известные полуавтоматы шланговые, характеристики которых приведены в табл. 8.

Таблица 8

Основные технические характеристики шланговых полуавтоматов для сварки под флюсом

Технические характеристики	Марка полуавтомата		
	ППШ-54	ПДШ-500	ПДШМ-500
Толщина свариваемого металла, мм	4 и более	4 и более	4 и более
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6—2,0	1,2—2,5	1,2—2,5
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,3—10	1,5—7,5	1,8—7,0
Сварочный ток, а	150—650	150—600	150—600
Род сварочного тока	Постоянный или переменный		
Система подачи электродной проволоки	Постоянная скорость подачи	Автоматически регулируемая скорость подачи	Постоянная скорость подачи
Способ подачи флюса	За счет силы тяжести (самотеком) при помощи воронки, в которую засыпается флюс	Пневматическая подача по шлангу из бункера на аппаратном ящике	

Пост для автоматической сварки под флюсом оборудуют источником питания и автоматом (трактором или сварочной головкой), шкафом с распределительным устройством, флюсоаппаратурой, набором инструмента. К наиболее распространенным автоматам для сварки нержавеющей сталей под флюсом относятся автоматы, характеристики которых приведены в табл. 9.

Пост для полуавтоматической сварки в защитных газах оборудуют источником питания и полуавтоматом. Различают два типа полуавтоматов: для сварки неплавящимся вольфрамовым электродом и для сварки плавящимся электродом. Характеристики первого типа приведены в табл. 10. Основное отличие полуавтоматов состоит в конструкции горелки и устройства, направляющего проволоку. Подача присадочной проволоки вдоль рукоятки горелки ограничивает диапазон применения полуавтомата, так как мундштук затрудняет выполнение сварки коротких стыковых и угловых швов, пересеченных кнцами, ребрами и т. п. В судостроении и машиностроении чаще свариваются небольшие по размерам, но имеющие ребра узлы. Поэтому для таких узлов предпочтительнее применять горелку с поворотным устройством, направляющим проволоку к вольфрамовому электроду с различных сторон. Полуавтомат «Заря-3»

Таблица 9

Основные технические характеристики автоматов для сварки под флюсом

Технические характеристики	Марка автомата			
	ТС-17М	АДС-1000-2	АДС-500	АДФ-500
Толщина свариваемого металла, мм	4 и более	6 и более	4 и более	4 и более
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6—5,0	3,0—6,0	1,6—2,0	1,2—2,5
Скорость подачи проволоки, м/мин	0,84—6,7	0,5—2,0	1,8—7,0	1,5—16,0
Скорость сварки, м/ч	16—126	15—70	15—70	15—80
Сварочный ток, а	200—1200	400—1200	120—600	150—500
Род сварочного тока	Постоянный или переменный	Постоянный		
Система подачи электродной проволоки	Постоянная скорость подачи	Зависимая скорость подачи	Постоянная скорость подачи	

Таблица 10

Основные технические характеристики полуавтоматов для сварки неплавящимся электродом в защитных газах

Технические характеристики	Марка полуавтомата		
	ПШВ-1	А-533	«Заря-3»
Толщина свариваемого металла, мм	0,8—4,0	0,8—3,0	1 и более
Диаметр вольфрамового электрода, мм	1,5—4,0	1,6—2,0	2,0—3,0
Диаметр присадочной проволоки, мм	1,0—2,5	1,2—1,6	1,6—2,0
Скорость подачи проволоки, м/мин	0,1—0,5	0,22—0,67	0,11—0,9
Максимальный сварочный ток, а	300	150	500
Род сварочного тока	Постоянный	Постоянный	Постоянный

(рис. 27) удовлетворяет указанным требованиям. Направляющее устройство, закрепленное на сопле, представляет собой ряд роликов, подводящих проволоку вначале параллельно оси вольфрамового электрода, а затем, вблизи сварочной ванны, перпендикулярно оси электрода.

В комплекте с манипулятором, кантователем, вращателем любой полуавтомат легко модернизировать и превратить в автомат, для чего достаточно закрепить пистолет на штативе или шарнирной

державке. Если требуется сваривать тонкостенные изделия, закрепленный пистолет с неплавящимся электродом необходимо снабдить механизмом поддержания длины дуги, позволяющим начинать сварку без осциллятора. Простейший механизм для поддер-



Рис. 27. Полуавтомат «Заря-3». 1 — реостат балластный; 2 — горелка; 3 — подающий механизм.

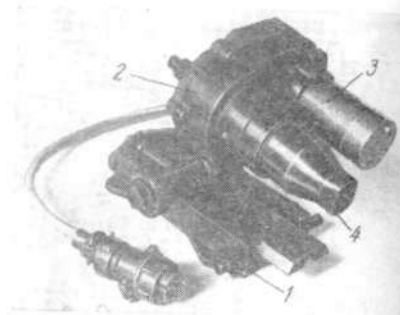


Рис. 28. Механизм для поддержания длины дуги. 1 — кронштейн с салазками; 2 — редуктор; 3 — электродвигатель; 4 — горелка.

жания длины дуги состоит из маломощного электродвигателя, редуктора, винта и гайки, на которой крепится пистолет или горелка (рис. 28), а также электроаппаратуры для управления работой двигателя.

Блок-схема устройства для поддержания длины дуги обычно работает по принципу автоматического регулирования напряжения, которое непрерывно сравнивается с заданным (заранее установленным). Например, при сварке без присадки напряжение дуги устанавливается равным 8 в. Если в процессе сварки на каком-то участке длина дуги увеличилась, значит и напряжение повысилось. Прирост напряжения на 0,3 в изменяет систему питания двигателя, в результате чего он приводит в движение гайку с горелкой по направлению уменьшения длины дуги, т. е. вниз. При

укорочении длины дуги двигатель получает вращение в обратном направлении, так как в цепи установится меньшее напряжение по сравнению с заданным.

Точность регулирования положения электрода в пределах 0,2—0,5 мм при изменении напряжения в пределах  $\pm 0,3$  в является вполне достаточной при сварке деталей толщиной 0,5 мм и более.

Характеристики полуавтоматов для сварки плавящимся электродом приведены в табл. 11.

Таблица 11

Основные технические характеристики полуавтоматов для сварки плавящимся электродом в защитных газах

Технические характеристики	Марка полуавтомата		
	ПШП-21	ПШП-31М	ПРМ-2
Толщина свариваемого металла, мм	1 и более	0,8 и более	1 и более
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8—2,0	0,5—2,0	0,8—2,0
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,7—17,0	1,7—17,0	1,7—11,7
Максимальный сварочный ток, а	300	120	420
Род сварочного тока	Постоянный	Постоянный	Постоянный

Продолжение табл. 11

Технические характеристики	Марка полуавтомата		
	А-447 (607)	ПГШ-3М	ПГТ-2
Толщина свариваемого металла, мм	1 и более	1 и более	2 и более
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8—1,2	1,2—2,0	1,2—1,6
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,7—4,0	1,5—9,0	1,5—9,0
Максимальный сварочный ток, а	200	500	500
Род сварочного тока	Постоянный	Постоянный	Постоянный

Полуавтоматы ПШП-31М снабжены пистолетом со встроенным механизмом подачи проволоки, который комплектуется двумя сменными редукторами планетарного типа, чем обеспечивается



широкий диапазон регулировки скорости подачи проволоки от 100 до 1000 м/ч.

Полуавтоматы ПШП-21 и ПГТ-3 включают сварочный пистолет, механизм подачи проволоки и блок аппаратуры. Отличительной особенностью ПГТ-3 (рис. 29) является наличие шарнира между головкой и рукояткой пистолета, что делает его более удобным в работе, особенно при сварке изделий со сложной криволинейной поверхностью и при наличии ребер жесткости на изделии.

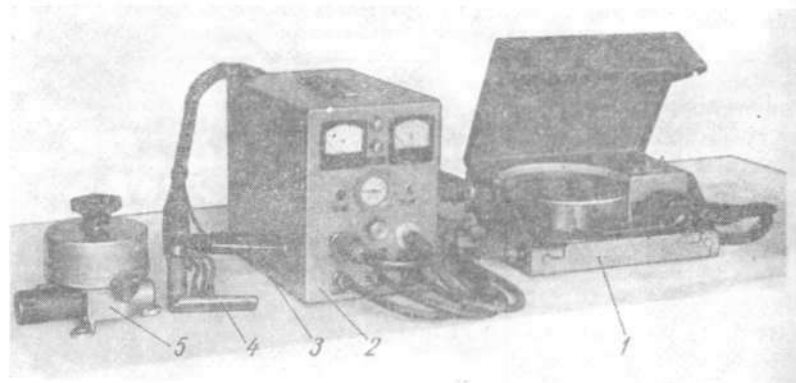


Рис. 29. Полуавтомат ПГТ-3 для сварки плавящимся электродом в защитных газах.

— подающий механизм; 2 — блок аппаратуры; 3 — пистолет; 4 — защитная приставка; 5 — УДР (устройство для дистанционной регулировки напряжения).

Все полуавтоматы пригодны для выполнения сварки стыковых, угловых и нахлесточных соединений конструкций из нержавеющей стали во всех пространственных положениях швов.

Пост для автоматической сварки в защитных газах оборудуют источником питания и автоматом или сварочной головкой. Различают два типа автоматов: для сварки неплавящимся электродом и для сварки плавящимся электродом.

Для сварки листовых конструкций неплавящимся электродом применяют автоматы АДСВ-2, АДНГ-300 и др., а также головки АГВ-2, АГР-1, ГСВ-1 и др. В отличие от автомата, головка выполняет строго определенные функции и, как правило, не может использоваться самостоятельно, а представляет собой автономный агрегат, встроенный в станок, станину, суппорт, колонну или другой элемент автоматической линии. Основные характеристики указанных автоматов и головок приведены в табл. 12.

При автоматической сварке на постоянном токе рекомендуется использовать источник питания типа ИПП, а на переменном — типа ИПК.

Основные технические характеристики автоматов и головок для сварки неплавящимся электродом в защитных газах

Технические характеристики	Марка автомата		Марка головки	
	АДСВ-2	АДНГ-300	АГВ-2	ГСВ-1
Толщина свариваемого металла, мм	0,8 и более	1 и более	0,8—4,0	0,6—3,0
Диаметр вольфрамового электрода, мм	2—6	2—6	2,5	3—6
Диаметр присадочной проволоки, мм	1,0—2,5	1,6—2,5	1,0—2,5	1,0—2,0
Скорость подачи проволоки, м/мин	0,17—1,7	0,3—4,3	0,17—1,3	0,33—1,3
Максимальный сварочный ток, а	400	300	300	500
Род сварочного тока	Постоянный, переменный	Переменный	Постоянный, переменный	Постоянный

Для сварки труб неплавящимся электродом применяют в основном автоматы АГН, АТ, АГВ, АСТА, АДГ и головки ГСТ. Характеристики наиболее распространенных из них приведены в табл. 13.

Большинство из широко известных автоматов для сварки соединений труб являются монтажными, но пригодными для цеховых условий. Необходимость установки сварочной головки автомата на каждый стык, закрепление ее, точная подгонка электрода по стыку и снятие с трубы заметно снижают производительность труда.

Автоматы АСТА (рис. 30) предназначены для сварки стыковых соединений и угловых соединений труб с арматурой (ниппеля, штуцера, муфты, фланцы и т. п.) в цеховых условиях. Свариваемые детали (трубы, труба с ниппелем и т. п.) крепятся в тисках центратора и после проверки правильности сборки к стыку подводится горелка и начинается процесс сварки. Кроме прямых на автомате можно сваривать гнутые трубы, в том числе и с арматурой, что значительно расширяет диапазон применения автомата.

Автомат АДГ (рис. 31) предназначен для сварки угловых соединений труб с концевой арматурой (заглушки, штуцера, ниппеля, переходники и т. п.). Отличительной особенностью этого автомата является пригодность его для выполнения сварки соединений как прямых, так и гнутых труб, причем степень кривизны не ограни-

Основные технические характеристики автоматов для сварки труб неплавящимся электродом в защитных газах

Технические характеристики	Марка автомата			
	АТВ	АСТА	АДГ	АСНС-2
Диаметр свариваемых труб, мм	15—219	6—32	6—70	10—70
Диаметр вольфрамового электрода, мм	2—4	2—3	1,6—3	1,6—3
Диаметр присадочной проволоки, мм	1—2	—	1,2—1,6	1—2
Скорость подачи проволоки, м/мин	Зависит от скорости сварки	—	0,2—0,4	0,25—1,5
Максимальный сварочный ток, а	300	200	200	300
Род сварочного тока	Постоянный	Постоянный	Постоянный	Постоянный
Способ подвода газа	Шланговый	Шланговый	Шланговый	Беспланговый
Назначение	Сварка стыковых соединений труб	Сварка стыковых и угловых соединений труб	Сварка угловых соединений труб с арматурой	Сварка стыковых соединений труб

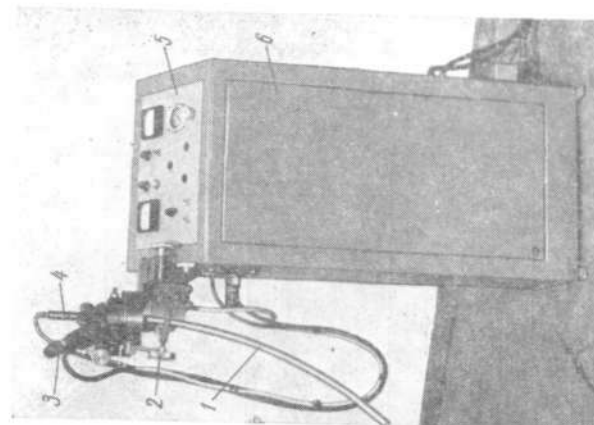


Рис. 31. Автомат АДГ для сварки угловых соединений труб с арматурой.  
1 — свариваемая труба с заглушкой; 2 — центратор; 3 — горелка; 4 — камера для газовой защиты; 5 — пульт управления; 6 — аппаратный шкаф.

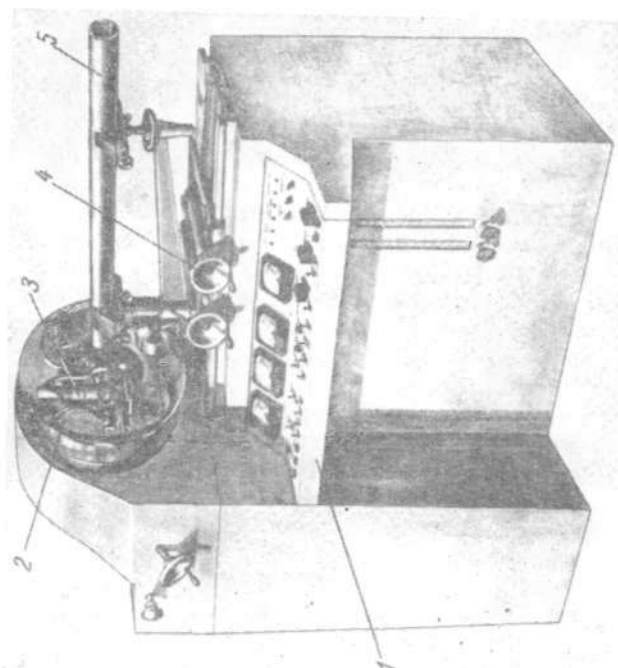


Рис. 30. Автомат АСТА для сварки стыков труб и арматуры с трубами.  
1 — пульт управления автоматом; 2 — планшайба; 3 — сварочная головка с тисками; 4 — суппорт; 5 — свариваемая труба.

чена. В центраторе автомата можно установить даже U-образную трубу с радиусом погиби, равным 40 мм.

Автомат АСНС-2 является наиболее совершенным по сравнению с предыдущими автоматами. Режим в процессе сварки неповоротного стыка трубы может меняться по заранее заданной программе, что обеспечивает одинаково хорошее формирование металла шва во всех пространственных положениях. Автомат представляет собой комплекс агрегатов, основными из которых являются: станок с двумя пневмоцентрираторами, планшайба со сварочной головкой, механизм центровки, газовая камера (беспланговая), панель управления, шкаф с аппаратурой управления.

Свариваемые трубы устанавливают в пневмоцентризаторы с зазором около 2 мм и нажимают кнопку «Центровка». Механизм центровки подгоняет трубы одну к другой, автоматически обеспечивает их соосность и затем автоматически отключается, и начинается процесс сварки: продувка аргоном полости труб, подача аргона в горелку, зажигание дуги, включение привода вращения головки, сварка по программе, выдержка времени после сварки стыка для

обдувки защитным газом остывающего металла, включение всех механизмов после сварки стыка и механизма протяжки трубы.

Для сварки листовых конструкций плавящимся электродом применяют автоматы АДСП, АСВП, АСП, АДПГ, УДПГ и др. и головки АГП, ГСТ и др. Основные характеристики наиболее распространенных из них приведены в табл. 14.

Таблица 14

Основные технические характеристики автоматов и головок для сварки плавящимся электродом в защитных газах

Технические характеристики	Марка автомата		Марка головки	
	АДСП-2	АДПГ-500	АГП-2	ГСТ-60-200
Толщина свариваемого металла, мм	0,8 и более	1 и более	0,8 и более	1 и более
Диаметр электродной проволоки, мм	1,0—2,5	0,8—2,5	1,0—2,5	1,0—2,0
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,7—13,0	1,5—16,0	1,7—13,0	1,7—13,0
Максимальный сварочный ток, а	400	340	400	400
Род сварочного тока	Постоянный	Постоянный	Постоянный	Постоянный

Для сварки соединений толстостенных труб плавящимся электродом применяют автоматы АСП, имеющие механизм колебаний горелки поперек шва. Отличительная особенность автоматов АСП состоит в малой базе крепления, что позволяет использовать их при выполнении сварки на монтаже в труднодоступных местах и стесненных условиях. Применение таких автоматов очень эффективно при сварке больших толщин (порядка 40—80 мм). Например, сварку стыка труб диаметром 360—600 мм и толщиной 50—70 мм можно выполнить за 35—45 ч, в то время как при ручной сварке потребовалось бы не менее 100 ч.

## § 17. Специализированные установки для сварки

Сварку однотипных узлов при массовом, а иногда и мелкосерийном производстве целесообразно выполнять на специализированных установках (автоматах). Благодаря уменьшению времени на настройку, отключению холостого хода сварочной головки, программированию процесса достижения повышения производительности труда в несколько раз при заметном улучшении качества сварки. Одновременно значительно повышается уровень механизации, а следовательно, и культура производства. Сварщик-опера-

тор испытывает меньшие напряжения внимания при выполнении сварки, лучше можно осуществить вентиляцию (отсос газов), легче механизировать уборку флюса, шлака и т. п.

В настоящее время в нашей стране создано много специализированных установок и автоматов, успешно работающих в конвейерах, поточных линиях, на участках комплексной механизации и др. Типовые специализированные установки (автоматы) представлены в табл. 15.

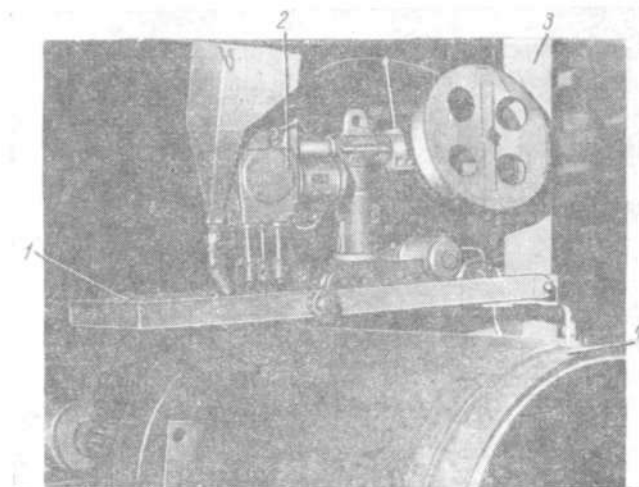


Рис. 32. Установка для сварки кольцевых наружных швов.

1 — площадка поворотная для автомата; 2 — автомат; 3 — колонна с механизмом перемещения площадки; 4 — свариваемое изделие (обечайка с фланцем).

При сварке внутренних кольцевых швов на обечайках, сосудах открытого и закрытого типа важно иметь автомат небольших габаритов и достаточно компактный, чтобы его можно было загружать и вынимать через люки. Такими достоинствами обладает автомат ТС-34 тракторного типа, имеющий механизм для автоматической синхронизации скорости движения трактора со скоростью вращения изделия.

Для сварки наружных кольцевых швов можно приспособить любой автомат (или сварочную головку), который обычно устанавливается на консоли или поворотной штанге (рис. 32). Вращение свариваемого узла осуществляется, как правило, в кантователе или на роликоопоре с приводом.

Станок типа С-55 представляет собой агрегат с вращателем для труб и стационарной головкой, поворотным столом и плавающим пневмоприжимом для сборки и прижима двух половинок

Основные технические данные специализированных установок

Технические данные	Тип		
	ТС-34	С-55	ВУАС-1
Назначение и краткая характеристика	Для сварки под флюсом кольцевых швов цилиндров	Для сварки в углекислом газе в горизонтальном и вертикальном положениях поворотных стыков труб	Для сварки изделий в контролируемой среде (аргоне)
Диаметр проволоки, мм	4,0—5,0	0,8—1,2	0,8—1,6
Диаметр электрода, мм	—	—	—
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,4—2,0	0,8—7,0	1,7—17,0
Максимальный сварочный ток, а	1000	250	300
Род сварочного тока	Постоянный	Постоянный	Постоянный
Габариты изделий	Диаметр 800 мм и более Длина неограниченная	—	Диаметр до 200 мм. Длина до 600 мм

трубных заготовок. Способность выполнять сварку как горизонтально расположенных, так и вертикальных стыков на трубах делает агрегат универсальным и высокопроизводительным.

Установка ВУАС состоит из герметичной камеры, насоса вакуумного типа ВН-1, обеспечивающего разрежение в камере, сварочных головок для сварки плавящимся и неплавящимся электродами и механизма крепления и вращения изделия. После загрузки камеры свариваемым изделием крышку плотно закрывают, выкачивают воздух и впускают аргон. Наблюдение за процессом сварки ведут через смотровой люк. В такой установке целесообразно сваривать лишь изделия повышенной ответственности, где не допускается даже малейшее загрязнение металла шва активными газами — кислородом, азотом и т. п.

Установки типа УСК включают в себя вращатель (манипулятор, роликсопор) и сварочную головку, укрепленную на позиционере (штативе). Положение головки по отношению к месту сварки меняется в широких пределах. Существует много разновидностей этих установок, которые отличаются лишь степенью автоматизации и универсальностью. На рис. 33 показана уста-

(автоматов) для сварки под флюсом и в защитных газах

специализированной установки (автомата)			
УСК-3	АДСК-1	УСПО	«Маяк»
Для сварки в защитных газах кольцевых швов обечаек и днищ с обечайками	Для сварки в защитных газах и под флюсом в вертикальной, горизонтальной и наклонной плоскостях кольцевых швов	Для сварки в защитных газах прямолинейных швов на листах, конических и цилиндрических обечайках	Для сварки кольцевых швов мембран, труб, цилиндров толщиной 0,3 мм и более
0,8—2,0	0,8—2,5	—	1,0—1,6
2—6	—	1,6—3,0	1,0—3,0
0,4—16,0	1,7—20,0	—	1,7—20,0
300	500	500	250
Постоянный и переменный	Постоянный	Постоянный и переменный	Постоянный
Диаметр 200—1000 мм Длина — до 5000 мм	Диаметр 150—550 мм	Длина 150—2000 мм	Диаметр 18—500 мм Длина 40—800 мм

новка для сварки кольцевых (УСК) швов, оснащенная позиционером с площадкой, вертикальное перемещение которой механизировано. На площадке-консоли можно установить автомат, полуавтомат или сварочную головку для сварки под флюсом или в защитных газах.

Управляют процессом сварки с пульта автомата (полуавтомата) обычным способом, но на этом же пульте смонтированы кнопки управления вращателем и позиционером.

Автомат АДСК-1 служит для приварки колец, фланцев и бандажей к цилиндрическим изделиям. Свариваемое изделие крепится в приспособлении на манипуляторе, планшайба которого может наклоняться под любым углом. Сварка плавящимся электродом производится головкой типа АГП-2, которую можно легко укомплектовать бункером для флюса и специальной горелкой. Вместо этой головки на штативе можно закрепить любую горелку для сварки неплавящимся электродом.

Установка УСПО является агрегатом, включающим в себя балки с прижимами для листов и сварочную головку, движущуюся по направляющим рельсам вдоль свариваемого стыка. В боль-



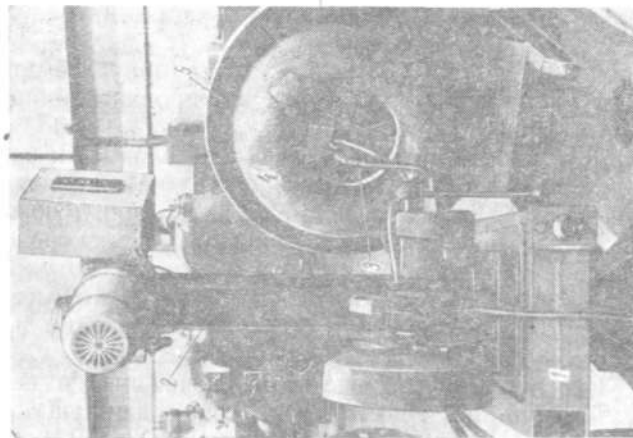


Рис. 33. Установка для сварки кольцевых внутренних и наружных швов.

1 — площадка подвижная с полуавтоматом или сварочной головкой; 2 — колонна с механизмом подъема площадки; 3 — держатель полуавтомата, закрепленный на штативе; 4 — свариваемый узел (дно с горловиной); 5 — вращатель с планшайбой.

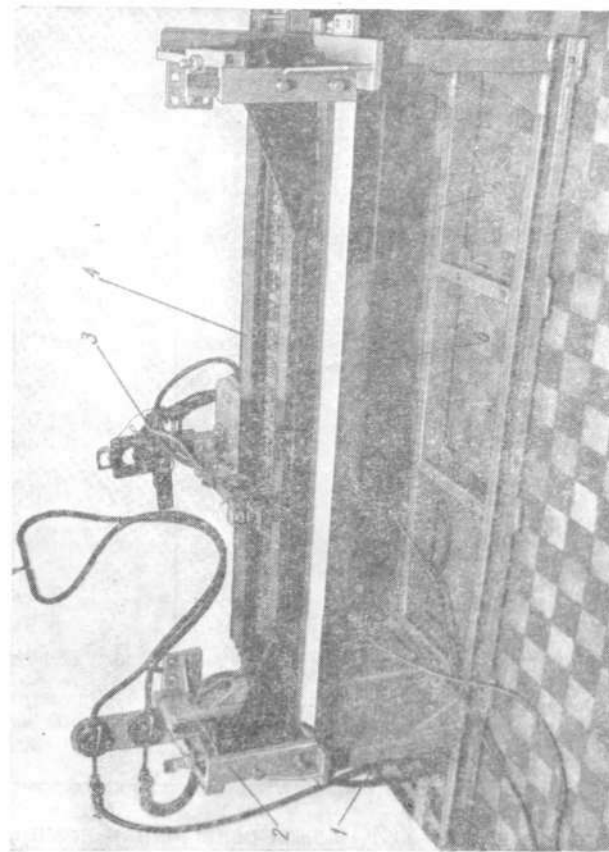


Рис. 34. Установка для сварки продольных стыков обечаек (УСПО).

1 — станок; 2 — подвижная прижимная балка; 3 — автомат (сварочная головка); 4 — неподвижная прижимная балка; 5 — поворотная балка-опора; 6 — свариваемая обечайка.

шинстве случаев на таких установках можно сваривать продольные стыки обечаек (трубы, гибкие шланги, оболочки) с прямолинейными швами (рис. 34), но снабдив установку следящей системой или копирным устройством, можно сваривать также изделия с криволинейными швами.

На поворотной балке устанавливают флюсовую подушку или медные подкладки, а для сварки в защитных газах тонкостенных обечаек — медные подкладки с отверстиями для обдувки корня шва защитным газом.

Для обеспечения прижима свариваемых тонкостенных обечаек по всей длине применяют эксцентриковые и клавишные прижимы. Равномерное давление клавиш к медной подкладке по всей длине балок создается пневматической системой, смонтированной в прижимных балках.

Трубные автоматы типа АТ, АТВ и др. из переносных легко реконструировать в стационарные специализированные. Достаточно снять рукоятки и закрепить головку на вертикальной стенке, как монтажный переносный автомат превращается в стационарный для приварки арматуры к трубам или сварки коротких труб.

Простейший специализированный станок для сварки длинных плетей из труб можно создать, укомплектовав специальной оснасткой любой автомат для сварки труб (АТ, АТВ и др.). Трубы центрируются в специальных тисках. На неподвижной губке одних тисков закреплен отрезок трубы, внутри которой крепится свариваемая труба, снаружи — головка АТВ или другого автомата. Вторая пара тисков имеет механизмы подъема, поперечного и продольного перемещений. Закрепленный в тисках второй отрезок свариваемой трубы вручную подгоняется к первому. Такой станок исключает необходимость прихватки труб перед сваркой. Производительность станка — до 160 стыков на трубах малых диаметров (до 20 мм) длиной от 3 до 6 м, свариваемых в плетью длиной до 40 м.

Автомат «Маяк» является высокопроизводительным агрегатом, исключаящим вовсе или требующим незначительное время на настройку «на стык». Наибольшая эффективность достигается при сварке больших партий одинаковых по размерам узлов. Вся аппаратура управления процессом сварки размещена в блок-шкафе (рис. 35). Сварочная головка движется по направляющим как вдоль оси изделия, так и поперек, что способствует быстрой переналадке головки для сварки другого типа изделий. Трубы изделия крепятся в патроне передней бабки. Трубы с мембранами по торцам прижимаются к планшайбам, установленным в патроне и в задней бабке.

Помимо кольцевых на автомате можно сваривать продольные швы обечаек для корпусов приборов, для чего вместо ручного привода движения головки вдоль оси изделия включают электрический. Кронштейн, на котором крепится горелка, позволяет уста-

навливать ее для сварки шва в нижнем, горизонтальном и потолочном положениях под любым углом к свариваемому изделию.

Электрическая схема автомата позволяет выполнять сварку в следующем цикле: 1) предварительная обдувка защитным газом изделия до сварки; 2) зажигание дуги с помощью осциллятора; 3) выдержка времени от момента зажигания дуги до включения

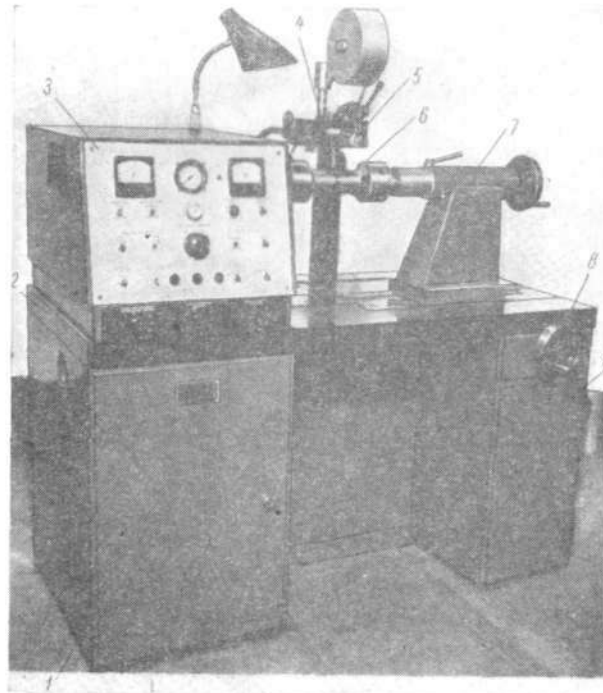


Рис. 35. Автомат «Маяк» для сварки кольцевых стыков на цилиндрических изделиях.

1 — аппаратный блок-шкаф; 2 — станина; 3 — передняя бабка с пультом управления; 4 — горелка; 5 — механизм автоматического поддержания длины дуги; 6 — свариваемое изделие; 7 — задняя бабка; 8 — привод поперечного перемещения горелки; 9 — шкаф для инвентаря.

рабочего тока; 4) выдержка времени от момента включения рабочего тока до начала вращения изделия; 5) автоматическое поддержание длины дуги в процессе сварки; 6) осуществление плавного гашения дуги для заделки кратера; 7) обдув сварного шва после сварки; 8) автоматическое возвращение в исходное положение для сварки следующего стыка.

Импульсную аргоно-дуговую сварку (ручную и автоматическую) выполняют на специализированных установках и автоматах.

Однако в большинстве случаев сварку этим способом можно осуществить на обычном оборудовании и установках, снабдив их блок-приставкой для импульсной сварки (рис. 36). Такую приставку легко транспортировать, а значит она применима как

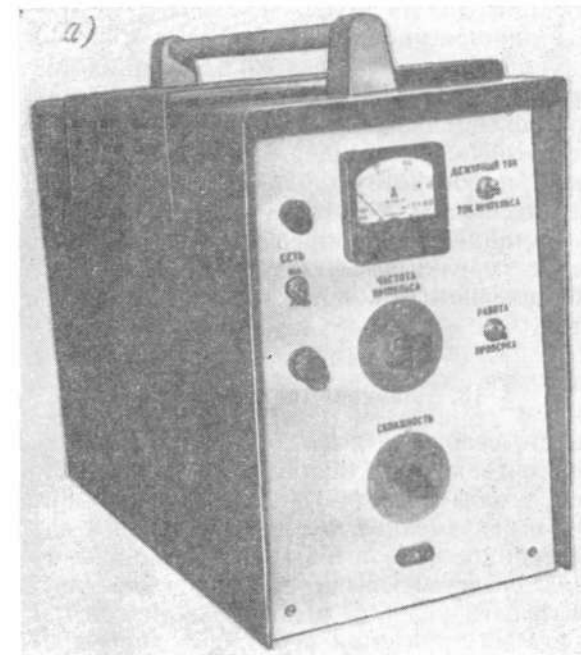


Рис. 36. Вспомогательное специализированное оборудование и инструмент: а — приставка для импульсной аргоно-дуговой сварки; б — малогабаритная горелка для сварки в труднодоступных местах.

в цеховых условиях, так и при сварке на монтаже. Вес ее не превышает 10 кг. Подключают ее обычно в сварочную цепь параллельно балластному реостату. Дозировка тока «дежурной дуги», тока импульсов и длительности импульсов и пауз легко регули-

руется приборами, рукоятки которых выведены на переднюю стенку, которая служит пультом.

Если выполняют однопроходную импульсную сварку, приставка включается с помощью тумблера на пульте. Если импульсная сварка производится периодически, например при выполнении корневых проходов на трубах, включение и отключение приставки осуществляется кнопкой на горелке.

Для ручной аргоно-дуговой сварки в условиях монтажа, когда стыки расположены в труднодоступных местах, пост оборудуют дополнительно специальными малогабаритными горелками (см. рис. 36, б). В отличие от стандартных эта горелка имеет малую высоту головки и поворотную рукоятку с кнопкой, что важно при сварке в стесненных условиях, когда расстояние между соседними деталями иногда не превышает 50 мм. Металлические сопло и корпус горелки изолированы от токоподвода. Горелка надежно работает на токах до 120 а при сварке относительно коротких швов.

### § 18. Рабочее место сварщика

Рабочее место сварщика должно удовлетворять всем требованиям научной организации труда (НОТ). Главная задача НОТ состоит в том, чтобы обеспечить максимальную производительность труда при обязательном условии сохранения здоровья работающего. Постоянное совершенствование условий труда — одно из важнейших средств повышения экономических показателей деятельности любого участка, цеха, предприятия.

Помимо условий труда при решении вопросов научной организации учитывают режим труда и отдыха, темп работы, рабочую позу, степень напряжения внимания, уровень организации рабочего места, требования производственной эстетики.

Рациональными режимами труда и отдыха являются такие, при которых длительность периодов работы и отдыха и их чередование являются физиологически обоснованными, а не формально установленными. Правильное распределение периодов обеспечивает всегда высокую и равномерную работоспособность человека.

Темп работы — это число однообразных движений в единицу времени: смену, час, минуту. Такими движениями у сварщика могут быть замена электрода, периодическое продвижение присадки вручную, кивание головой для опрокидывания маски, остановки и гашение дуги и т. п. Чем меньше длина свариваемого участка шва, тем более высокий будет темп.

Рабочая поза диктуется характером выполняемой работы. Большинство сварочных работ выполняются в положении «стоя» или «сидя». Однако в монтажных условиях часто имеют место промежуточные позы: «полусидя», «опираясь на одно колено», «сварка опертым локтем», «сварка рукой на уровне плеча» и т. п.

Если поза является неудобной, сварщик быстро утомляется. Необходимо периодически принимать положения, способствующие отдыху. Например, спланировать последовательность сварки так, чтобы по мере выполнения сварки отдельных участков (деталей, узлов) поза менялась и ритмично чередовались труд—отдых.

Сварщик ручной сварки, поддерживая заданную длину дуги и постоянно продвигающий электрод (присадочный пруток) по мере его расплавления, длительное время работает в напряженном состоянии и неудобном для рук положении (на весу). Во время отдыха он должен выбрать такую позу, при которой обеспечилось бы максимальное расслабление тех мышц, которые участвовали в поддержании напряженной позы.

В современном сварочном производстве при выполнении любых операций не требуются большие физические усилия. Однако труд сварщика ручной, автоматической и полуавтоматической сварки связан с напряжением внимания и зрения. Поэтому для них проблема рационального режима работы и отдыха имеет намного большее значение, чем для тех, кто занят физическим трудом, причем степень напряжения у сварщиков неодинакова. Естественно, что работа автоматчика и наладчика автоматов сопровождается меньшим напряжением внимания, чем работа сварщика ручной сварки, особенно при выполнении аргоно-дуговой сварки тонкостенных и ответственных узлов. Следовательно, рекомендации о режиме работы и отдыха для каждого сварщика следует давать только после тщательного изучения выполняемой работы.

Организация рабочего места должна способствовать облегчению процесса труда и учитывать физиологические и психологические свойства (особенности) человека. На рабочем месте (столе) сварщика должны быть все необходимые инструменты и орудия труда, причем расположены они должны быть так, чтобы не требовалось лишних физических усилий или напряжения внимания при поиске инструмента или сменной детали (щетки, цанги, электрода, сопла и т. п.). Лучшей организации рабочего места способствует рациональная конструкция оборудования автомата, позиционера, рабочего стола и т. д.

Значительным фактором улучшения условий труда является производственная эстетика, включающая рациональное цветовое оформление производственных, вспомогательных и санитарно-бытовых помещений и оборудования, использование красивой удобной спецодежды, соблюдение чистоты на рабочем месте, участке, цехе.

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. Кабину сварщика оборудуют рабочим столом, винтовым стулом и балластным реостатом или регулятором тока. При серийном и массовом производстве однотипных деталей и узлов вместо стола устанавливают кантователь, манипулятор (рис. 37) или специальное приспособление. Устанавливать в кабине сварочные преобразователи не рекомендуется.

Вместо индивидуальной кабины рабочее место сварщика может быть оборудовано общим столом с перегородками и откидными шторками. Такой стол показан на рис. 38.

Если электрододержатель или горелка снабжены кнопкой для включения сварочного тока, в оборудование поста входит контактор для размыкания сварочной цепи. На стенке кабины устанавливаются измерительные приборы: амперметр, вольтметр и ротаметр (при сварке в среде защитных газов). Баллоны с защитным газом должны быть установлены в стеллажах и обязательно закреплены.

Особого внимания заслуживает стол сварщика. Стол является опорной площадкой — плитой для сборки, прихватки и сварки, поэтому крышка стола должна быть толстостенной. На поверхности деталей из нержавеющей сталей не допускаются царапины, следовательно, на крышке не должно быть заусениц и брызг.

В тумбе стола следует разместить все необходимое в работе, причем инструмент (пассатижи, кусачки, напильники) должен располагаться в самом доступном месте, чтобы не тратить много времени на его поиск. Здесь же должны храниться маска, перчатки, бязь 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, планшайбы с прижимами и т. п. В процессе выполнения сварки необходимо контролировать режим сварки, поэтому приборы следует располагать перед лицом сварщика на передней стенке кабины. Реостат лучше всего расположить вблизи стола или под ним, чтобы всегда можно было быстро перейти на другой режим, не покидая рабочего места. Это особенно важно при аргоно-дуговой сварке узлов из металла различной толщины, когда почти каждый шов требует перестройки на другой режим сварки.

Самым удобным для сварщика является винтовой стул рояльного типа, но со спинкой.

В отличие от сварочной кабины на рабочем месте сварщика, работающего на сборочной площадке, нет стола и стула. Все оборудование поста в этом случае устанавливается у ближайшей стены или на специальной площадке с ограждением. Для защиты рядом работающих сварщиков и других рабочих от вредных излучений электрической дуги рабочее место сварщика отгораживается переносными ширмами или брезентовым занавесом.

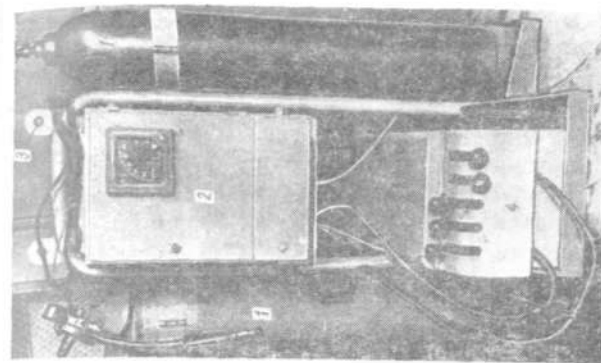


Рис. 39. Переносный стеллаж.  
1 — баллоны; 2 — шкаф для контактора с амперметром, на задней стенке которого установлен шкаф для инструмента сварщика; 3 — рям; 4 — балластный реостат.

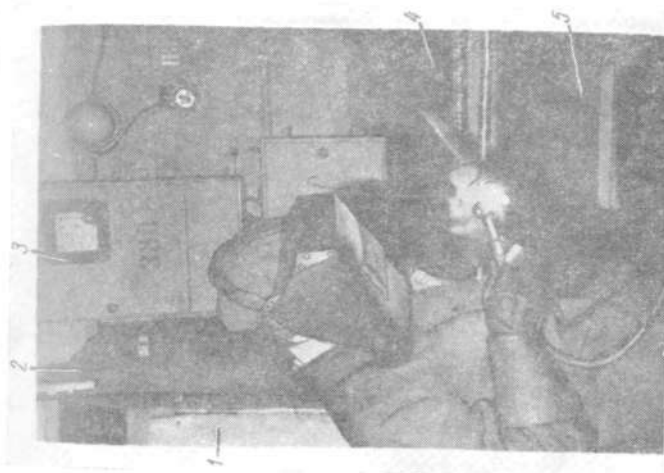


Рис. 38. Рабочее место для сварки изделий на столе.  
1 — откидные шторки; 2 — перегородка; 3 — контактор с амперметром; 4 — стол; 5 — балластный реостат.

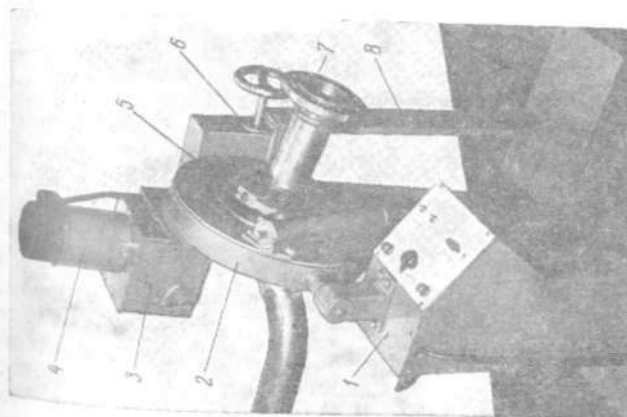


Рис. 37. Манипулятор для сварки кольцевых швов.  
1 — левая опора с пультом управления; 2 — планшайба; 3 — редуктор привода планшайбы; 4 — электрододержатель; 5 — тиски для крепления детали; 6 — редуктор привода поворота планшайбы; 7 — свариваемое изделие; 8 — опора правая.



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 (рис. 39).

Переносный стеллаж изготовлен из труб с двумя гнездами для баллонов и поддоном для балластного реостата. В верхней части стеллажа укреплен контактор с амперметром, сзади которого расположен шкаф для инструмента сварщика. Расположенный в непосредственной близости от сварщика переносный стеллаж значительно сокращает непроизводительные затраты времени, связанные с переходами сварщика для регулировки силы сварочного тока и расхода газа. Такой стеллаж позволяет работать с короткими проводами и шлангами, что также удобно для сварщика. Отпадает необходимость в подвесных устройствах для шлангов с газом и водой. Переносят и устанавливают стеллаж с помощью крана. Благодаря компактности размещения всего вспомогательного оборудования переносный стеллаж можно установить на любой сборочной площадке вблизи громоздкого изделия.

## § 19. Форма кромок и виды сварных соединений

Форма кромок обуславливается толщиной свариваемых деталей, способом и технологическими особенностями сварки данного соединения, требованиями к готовой конструкции и экономическими соображениями.

Для листовых конструкций из нержавеющей сталей применяют сварные соединения следующих основных типов: стыковое, угловое, тавровое и нахлесточное.

Стыковые соединения делят на стыковые с отбортовкой, бескосые и со скосом кромок.

Соединения с отбортовкой кромок (рис. 40, а) рекомендуются для листов толщиной до 1 мм — при ручной дуговой или автоматической сварке в защитных газах неплавящимся электродом и до 0,5 мм — при ручной аргоно-дуговой сварке. Отбортовку делают для уменьшения опасности прожога или чрезмерного проплавления и возможности выполнять сварку без присадки. Кроме того, такое соединение применяют, когда не допускаются ослабленные швы.

Бескосое стыковое соединение (рис. 40, б) рекомендуется для материала толщиной от 6 до 20 мм при сварке под флюсом, от 3 до 9 мм — при двухсторонней ручной дуговой и сварке в среде защитных газов неплавящимся электродом с присадкой и без присадки, от 2 до 4 мм — при односторонней дуговой сварке. Сварку бескосых соединений неплавящимся электродом без

присадки применяют, когда допускаются подрезы и ослабленные швы. При односторонней сварке возможны также случаи непроваров по всему сечению или чрезмерного проплавления. Если непровар в сварном соединении недопустим, делают скос кромок, называемый разделкой.

Кромки листов толщиной от 4 до 26 мм можно подготовить с V-образной разделкой для одностороннего шва с подваркой, без подкладки и с подкладкой (рис. 40, в). Основные конструктивные элементы такой разделки — угол разделки, притупление и зазор. Угол разделки должен обеспечить доступность для выполнения сварки корневого прохода. Для ручной дуговой сварки угол разделки обычно составляет 60°, для сварки плавящимся электродом в защитных газах и сварки под флюсом его иногда уменьшают до 50°.

Притупление служит для предотвращения прожога. На величину проплавления влияет зазор в стыке. Поэтому всегда стремятся получить одинаковый по всей длине строго определенный зазор.

Применять V-образную разделку кромок для листов с толщиной более 20 мм нерационально, особенно при ручной дуговой сварке. При такой разделке для заполнения требуется большое количество наплавленного металла. Значительно уменьшается количество наплавленного металла при U-образной (рис. 40, г), K-образной (рис. 40, д) и X-образной (рис. 40, е) разделке кромок.

Угловые и тавровые соединения, как и стыковые, в зависимости от толщины можно подготовить без скоса кромок и со скосом с одной или двух сторон (рис. 41, а, б, в, г). Нахлесточные соединения независимо от толщины сваривают без скоса кромок (рис. 41, д).

Для труб и трубных элементов из нержавеющей сталей применяют стыковые и угловые соединения. Стыковые соединения труб и трубных элементов делятся на стыковые с отбортовкой, бескосые и со скосом кромок, без подкладного кольца, с расплавляемым кольцом (вставкой), с подкладным кольцом и «в замок».

Соединения с отбортовкой (рис. 42) рекомендуются для тонкостенных труб. При толщине стенки 0,2—0,5 мм, кроме отбортовки, применяют кольцо-вставку, наружный диаметр которого должен быть равным диаметру отбортованной трубы (рис. 42, а, б). Кольцо исключает прожоги в процессе сварки. Иногда вместо отбортовки стенки труб утолщают осадкой (рис. 42, в). Соединения труб с отбортованными или осаженными кромками, как правило, сваривают без присадки неплавящимся электродом в среде защитных газов.

Бескосые соединения (рис. 42, г) рекомендуются для труб с толщиной стенки от 1,5 до 3 мм и только при сварке неплавящимся электродом в среде защитных газов. Тонкостенные трубы с толстостенными также могут соединяться без скоса кромок (рис. 42, д) независимо от способа сварки.

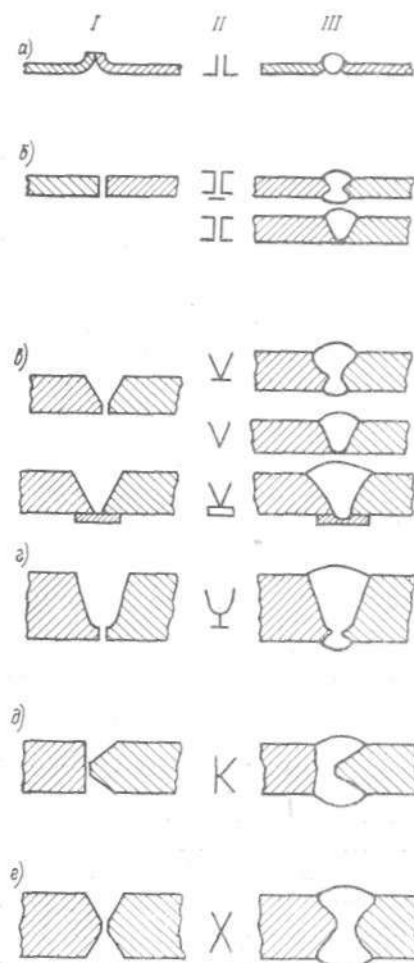


Рис. 40. Форма кромок (I), обозначение на чертеже (II) и виды стыковых соединений листовых конструкций (III): а — соединение с отбортовкой кромок; б — бескосое соединение; в — соединение с V-образной разделкой; г — соединение с U-образной разделкой; д — соединение с K-образной разделкой; е — соединение с X-образной разделкой кромок.

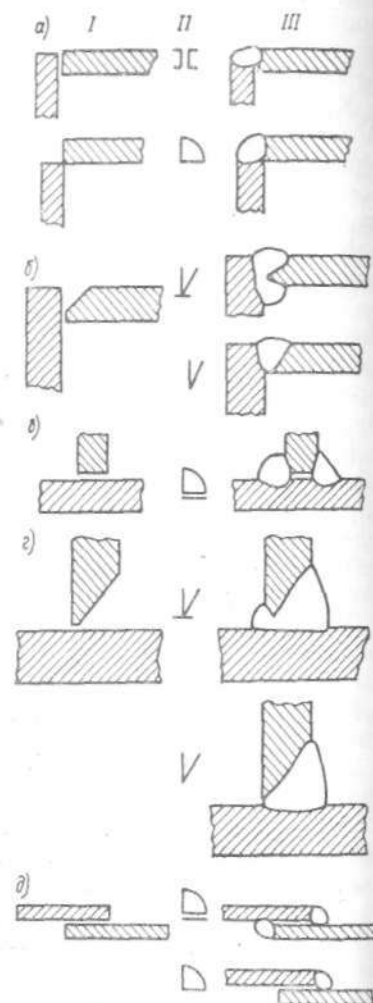


Рис. 41. Форма кромок (I), обозначение на чертеже (II) и виды угловых, тавровых и нахлесточных соединений листовых конструкций (III): а — бескосое угловое соединение; б — угловое соединение со скосом одной кромки; в — бескосое тавровое соединение; г — тавровое соединение со скосом одной кромки; д — нахлесточное соединение.

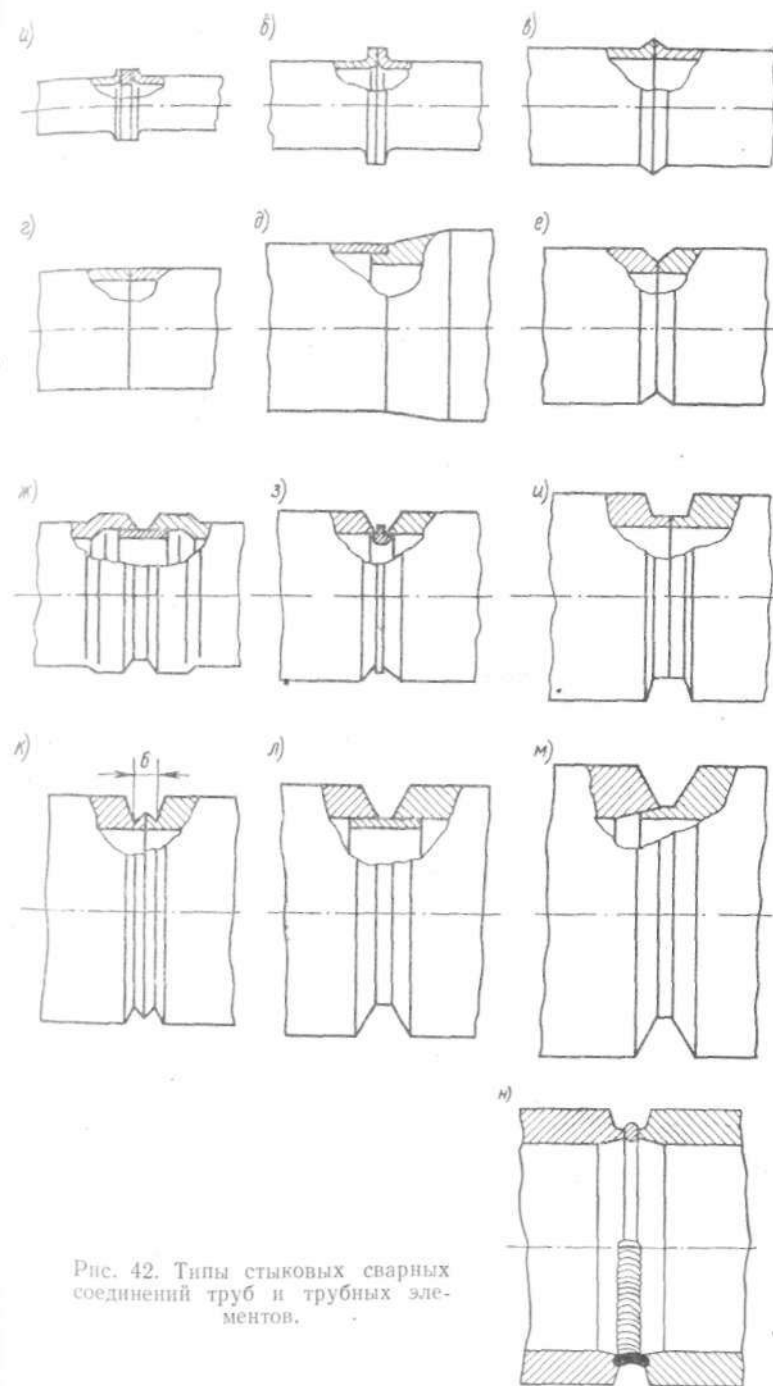


Рис. 42. Типы стыковых сварных соединений труб и трубных элементов.

Если толщина стенки свыше 2 мм, рекомендуются различные виды разделки. Наибольшее применение нашла V-образная разделка кромок под углом 60° с притуплением. Сварка таких соединений неплавящимся электродом в защитных газах обеспечивает хороший провар, и внутри трубы (на весу) формируется валик с плавными очертаниями. При ручной дуговой сварке и сварке плавящимся электродом в защитных газах на весу валик формируется неравномерным и даже появляются прожоги. Чтобы исключить прожоги и чрезмерные проплавления на стыковых соединениях тонкостенных труб, применяют подкладные кольца. Концы труб для сборки на подкладном кольце могут обрабатываться двумя способами. Первый — аналогично соединению, показанному на рис. 42, е, с притуплением и без него, но обязательно с зазором 2—3 мм для качественного провара корня шва. Внутренний диаметр трубного соединения в этом случае уменьшится на величину, равную двойной толщине подкладного кольца. Если нужно сохранить внутренний диаметр труб, концы их развальцовывают на величину, равную двойной толщине подкладного кольца, и собирают с зазором (рис. 42, ж). Это второй способ.

Иногда вместо подкладного кольца применяют расплавляемую вставку (рис. 42, з). Вставка при сварке неплавящимся электродом расплавляется и внутри формируется валик, незначительно уменьшающий внутренний диаметр труб. Сварное соединение с расплавляемой вставкой имеет существенный недостаток — местные несплавления, размеры и количество которых зависят от квалификации сварщика. Так соединяют только трубы, сборку которых трудно осуществлять, и неповоротные стыки труб диаметром свыше 25 мм, при сварке которых в нижней части стыка образуется утяжка — вогнутый валик.

Менее склонны к утяжке соединения кромок с выступом (рис. 42, и). Утяжка не образуется на трубных соединениях любого диаметра, кромки которых выполнены с клиновым выступом (рис. 42, к). Внутренняя поверхность шва на соединении с такой разделкой остается выпуклой на всем протяжении независимо от пространственного положения шва. Величину усиления внутреннего валика можно регулировать, изменяя высоту клинового выступа. Чем она больше (в пределах толщины трубы), тем больше осядет металл ванны и тем более усиленным будет внутренний валик. Ширина участка с выступом для всех диаметров труб должна быть в пределах 1,5—3,5 мм. Валик при этом сформируется правильно. При меньшей ширине выступа расплавятся основные кромки, и уровень жидкой ванны под действием сил поверхностного натяжения несколько поднимется. Вместо выпуклого внутреннего валика получится вогнутый, т. е. валик с утяжкой.

Соединения с выступами можно сваривать только неплавящимся электродом. Толстостенные трубы толщиной более 4 мм сваривать неплавящимся электродом нерационально.

Стыковые соединения труб большой толщины, предназначенные для ручной дуговой сварки и сварки под флюсом плавящимся электродом в среде защитных газов, выполняют на подкладном кольце (рис. 42, л) или «в замок» (рис. 42, м). Трубы с толщиной стенки более 20 мм иногда соединяют с помощью U-образной разделки кромок. Такая разделка является менее металлоемкой, но несколько усложняет технику сварки, следовательно, здесь

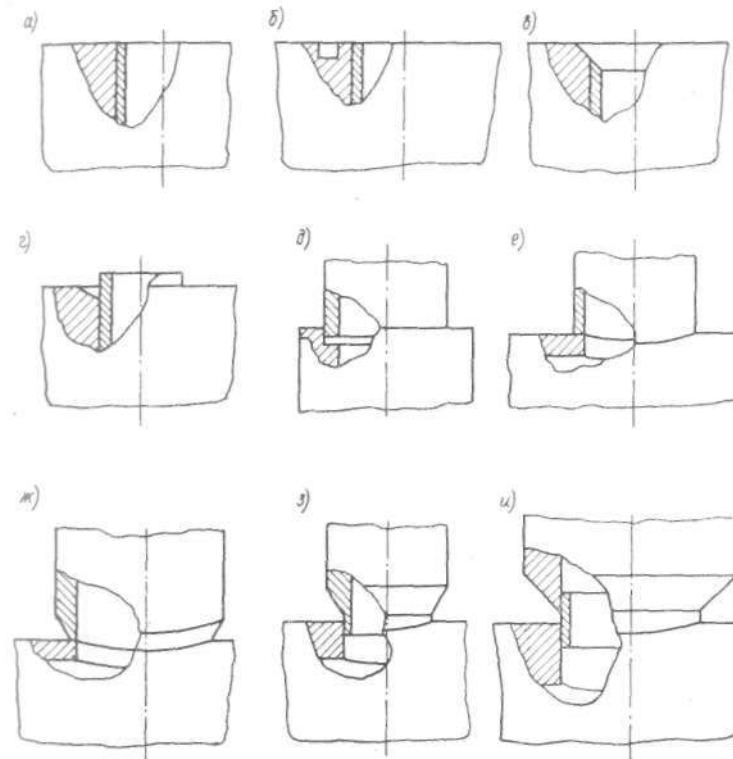


Рис. 43. Типы угловых сварных соединений труб и трубных элементов.

нужны сварщики более высокой квалификации. После небольшой тренировки такие соединения можно успешно сваривать на расплавляемом кольце-вставке из проволоки (рис. 42, н). Эти кольца очень удобны при монтаже, когда неизбежны чрезмерные зазоры. Сплюсывая кольцо с различной степенью по длине, можно точно подогнать его по стыку и затем расплавить, получая выпуклый валик на обратной стороне шва.

Угловые соединения труб с трубными решетками показаны на рис. 43. Если требуется только плотное соединение, торец трубы срезают заподлицо с трубной решеткой (рис. 43, а). Из-за боль-

шого теплоотвода в массивную решетку сечение шва в этом соединении невелико. Кроме того, в зазоре между трубой и решеткой могут скапливаться масло и другие загрязнения, которые трудно удалить. Поэтому в шве часто образуются поры. Значительно меньше пор образуется в шве, выполненном на соединении с развальцовкой конца трубы. Соединение, показанное на рис. 43, б, применяют в случае, когда к шву предъявляют повышенные требования по прочности или при ремонте дефектных швов (рис. 43, в). Сечение шва в данном случае примерно в 3 раза превосходит сечения на двух предыдущих соединениях. Сварку неплавящимся электродом такого соединения выполняют обязательно с присадкой.

Наиболее распространено в практике соединение, показанное на рис. 43, г. Благодаря зенковке отверстия в трубной решетке здесь можно обезжирить свариваемые кромки, чего нельзя было делать на предыдущих соединениях. Сварку неплавящимся электродом можно выполнять без присадки — оплавлением выступа. Если необходима высокая прочность соединения, после первого прохода выполняют второй с присадкой.

Угловые соединения тонкостенных труб со штуцерами, ниппелями, фланцами и т. п. показаны на рис. 43, д; соединения отрезков с трубами — на рис. 43, е; соединения толстостенных штуцеров с трубами — на рис. 43, ж, з, и.

## § 20. Обработка и подготовка кромок под сварку

Чтобы обеспечить высокое качество швов, необходимо строго выполнять требования к основному металлу и требования технологического процесса на заготовку, обработку и все последующие операции, обеспечивающие качественную подготовку под сварку.

Характеристикой основного металла, идущего на изготовление любой конструкции, является химический состав (см. табл. 1) и механические свойства в состоянии поставки (см. табл. 3). Состояние поверхности и вид термообработки поставляемых листов, труб, прутков, поковок и т. п. оговаривается в технических условиях.

Коррозионностойкие стали следует оберегать от атмосферных осадков, пыли, грязи, масла и других загрязнений и хранить их в закрытых складских помещениях или на открытых площадках, но применять специальные настилы и укрывать их рубероидом, толем, брезентом и т. п. 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 листов и труб, 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. Валки листопрямильных вальцев и кромки гибочных станков помимо очистки должны иметь ровную поверхность, без рисок, забоин, царапин, выступов. Ручную правку следует производить медными или свинцовыми кувалдами, или пользоваться подкладками из этих материалов при ударах 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 одновременно несколько деталей из различных марок нержавеющей сталей, рекомендуется при маркировке пользоваться красками следующих цветов:

- сталь марки 0X18H10 и 0X18H10T — желтый цвет;
- сталь марки X18H9T и X18H10T — красный цвет;
- сталь марки 0X18H12B — зеленый цвет;
- сталь марки X17H13M2T — синий цвет;
- стали хромистые типа X13 и другие — коричневый цвет,

но с обязательной надписью марки соответствующей стали. Например, 0X13.

Обработка кромок под сварку является ответственной технологической операцией и от ее качества зависит качество сварного шва и сварного узла изделия в целом. Поскольку нержавеющей стали не рекомендуется подвергать лишний раз нагреву, предпочитают применять методы механической резки, а не огневой (газопламенной). Этому способствуют также трудности осуществления качественной резки кромок другими методами из-за особых свойств нержавеющей сталей.

Прямолинейные кромки на листовых заготовках для бесшовных соединений обрабатывают механическим способом — на гильотинных ножницах. Криволинейные кромки обрабатывают на фрезерных станках.

Для соединений с V, U и X-образной разделкой кромки на прямолинейных листовых заготовках обрабатывают механическим способом — на кромкострогальных и фрезерных станках и газорезательным способом (см. гл. IV). В большинстве случаев поверхность кромок, обработанных газорезательным способом, является пригодной для сварки. Однако для ответственных конструкций после газорезательной резки кромки необходимо обрабатывать 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, которое в цеховых условиях осуществляется на стандартных станках обычным и специальным инструментом.

Для обработки кромок на крупногабаритных свариваемых изделиях применяют специализированные переносные станки различных типов, например переносный станок ОК-300-2М, предназначенный для обработки кромок фрезерованием. С помощью двух захватов — струбцин станок можно установить непосредственно на изделии в любом пространственном положении. По мере выполнения обработки станок необходимо переместить на новый участок. На скруглениях вырезов, горловин и т. п. обработку осуществляют при ручной подаче суппорта с инструментом, на прямых участках — при автоматической.

Быстрая установка и настройка станка на изделия (15—20 мин), простота крепления его на участке, быстрота и точность обработки без кантовки самого изделия позволяют эффективно использовать этот способ разделки кромок на крупногабаритных изделиях, имеющих сварные соединения как простой, так и сложной конфигурации. Чистота и точность обработки кромок удовлетворяет всем требованиям основных положений на сборку и сварку конструкций из нержавеющей сталей.

Фаски на отверстиях и круглых вырезах большого диаметра обработать обычным инструментом и оснасткой затруднительно и малоэффективно.

Для обработки фасок на отверстиях диаметром более 100 мм применяют специализированные станки типа KB100—250 и др. Время, потребное для установки и настройки такого станка, не превышает 20—25 мин. Крепление его осуществляется прижимами с помощью крестовины и штанги, проходящей через отверстие. Обработанные точением кромки имеют высокую точность и достаточную степень чистоты.

Резку труб из нержавеющей сталей осуществляют на токарных станках и на специальных 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 диктуется диаметром трубы. К наиболее распространенным относятся труборезы разъемные ТРШ-26, ТРШ-57, ТР-108, ТР-219, неразъемные труборезы ТН-47, ТН-52 и др.

Обработку кромок на трубах осуществляют специализированной оснасткой с помощью труборезов или фаскорезов типа ФР-57, ФР-108, ФР-219.

В монтажных условиях, когда недопустимо попадание стружки внутрь труб, 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 соединений трубных элементов предъявляют более высокие требования, чем к качеству обработки кромок для сварных соединений других узлов.

Задиры, заусеницы, местные углубления могут быть причиной образования несплавов. 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. Обезжиривается поверхность органическими быстроспаряющимися растворителями — 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 или асбестовой тканью. Такой покров предохраняет поверхность деталей от брызг металла, могущих в местах прижога 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 рекомендуют закрывать чистой тканью. После сварки каолин удаляют с поверхности деталей водой или щеткой. Нельзя допускать, чтобы на свариваемые кромки попадали влага, масло и другие загрязнения.

От выполнения всех этих требований зависит качество сварного шва. Это особенно важно для ответственных конструкций, где недопустимы никакие дефекты (поры, шлаковые включения и т. п.).

## § 21. Сборка под сварку

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

Известны два технологических варианта сборки деталей под сварку: сборка с помощью специальных центраторов, кондукторов, постелей с прижимами и т. п. и сборка с помощью прихваток. В первом случае фиксация положения подлежащих сварке деталей осуществляется механическим прижатием одной детали к дру-

гой или удержанием в определенном положении без прижатия (с выдерживанием заданных зазоров для компенсации укорочения). Как правило, для сборки каждого узла или серии однотипных узлов разрабатывают специальную оснастку. Например, для листов одинаковой длины и ширины (заготовки для обечаек) делают постель с флюсовой подушкой и клиновыми прижимами, для трубных узлов — центраторы, стяжки, струбцины.

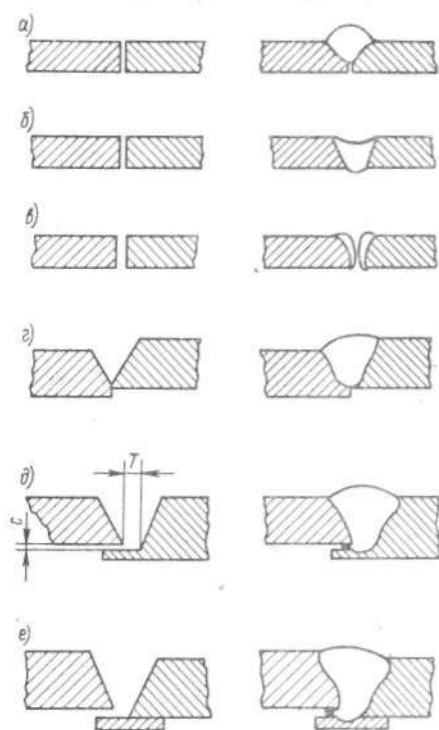


Рис. 44. Влияние точности сборки деталей на качество сварки.

Сборка с помощью прихваток применяется в тех случаях, когда невозможно, трудно 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.

Качество сварки зависит от тщательности подгонки кромок стыкуемых деталей при сборке. От качества сборки зависит степень деформации свариваемых деталей, поэтому к ней предъявляют высокие требования.

При сборке следует обращать внимание на зазоры между свариваемыми кромками и на смещение кромок. Эти величины обычно оговариваются в технологической документации. Уменьшение зазора приводит к непровару. В этом случае при автоматической сварке шов получается бугристым, с чрезмерным усилением (рис. 44, а). Наоборот, увеличенный зазор способствует чрезмерному проплавлению и шов получается ослабленным (рис. 44, б). При очень большом зазоре каждая кромка оплавится и автоматическая сварка такого соединения окажется невозможной (рис. 44, в).

Соединение с большим зазором можно сваривать вручную (сварка с поперечными колебаниями электрода или с помощью дополнительных узких валиков). Для хромоникелевых аустенитных сталей сварка с поперечными колебаниями электрода

при поддержании общей жидкой ванны металла нежелательна.

На соединениях «в замок» и на подкладной планке бывают зазоры двух типов: открытый, технологический —  $T$  и скрытый —  $C$  (рис. 44, 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. Чаще всего технологический зазор колеблется от 3 до 5 мм. 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. 44, д, е).

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 кромок. На рис. 44, г показано соединение с большим смещением. Изображение нерасплавленной кромки на рентгено снимке имеет большое сходство с непроваром, особенно при просвечивании под углом к стыку. Важно обеспечить минимально возможное смещение кромок на соединениях, выполняемых аргоно-дуговой 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, последние 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 осаживают обкаткой (роликом) и калибруют расточкой на определенный диаметр, одинаковый для всех стыкуемых труб.

Детали закрепляют при сборке в специальных приспособлениях — центраторах, фиксаторах, постелях с прижимами, винтовых стяжках, призмах с цепными, жесткими хомутами, а также с помощью прихваток. Выбор типа приспособления зависит от конструктивных особенностей собираемых узлов и деталей.

Плоские листовые конструкции относительно небольших размеров и толщин целесообразно собирать в зажимном приспособлении (рис. 45), обеспечивающем не только высокое качество стыковки, но и оптимальный тепловой режим. Благодаря хорошему теплоотводу в медные планки и в охлаждаемую водой подкладку

создаются идеальные условия для предотвращения склонности к межкристаллитной коррозии.

Плоские листовые конструкции больших размеров и толщины удобно собирать на постели с прижимами (рис. 46). На постели предусмотрена флюсовая подушка, благодаря которой можно сразу после сборки выполнять сварку. Прижимы обеспечивают минимальную деформацию от сварки.

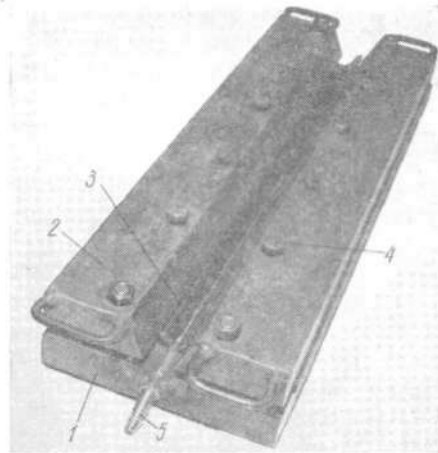


Рис. 45. Зажимное приспособление для сборки плоских листовых конструкций.

1—основание; 2—плита прижимная; 3—планка медная; 4—винты для прижима; 5—ниппель.

Продольные стыки обечаек собирают с помощью винтовых стяжек, позволяющих регулировать зазор, смещение кромок, а кольцевые стыки — с помощью радиальных винтовых стяжек или распорных приспособлений. Прямые трубы больших диаметров собирают с помощью специальных хомутов (рис. 47, а), гнутые колена, штуцеры и отрезки с прямыми трубами — в призмах с цепными или винтовыми стяжками.

Для сборки прямых труб небольших диаметров можно применять спаренные тиски. Если один из тисков сделать подвижным во всех направлениях, такое приспособление позволит очень

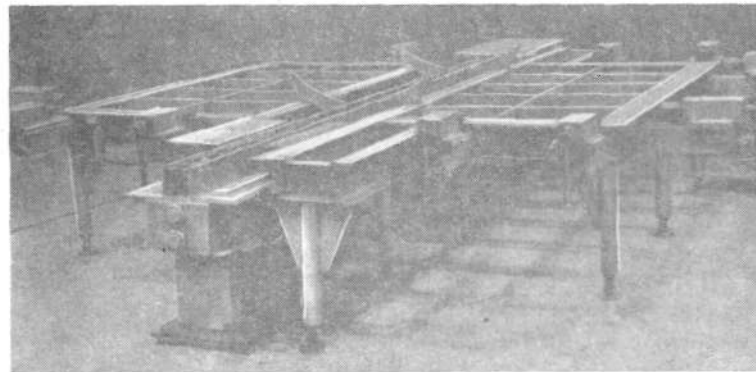


Рис. 46. Постель с флюсовой подушкой и прижимами для сборки и сварки плоских конструкций и продольных стыков обечаек.

быстро собрать трубы с минимальным смещением и с заданным зазором на стыке.

Сборку труб в монтажных условиях или в стесненных и труднодоступных местах, когда требуется выбирать зазор натяжением, удобно осуществлять с помощью приспособления, показанного на рис. 47, б.

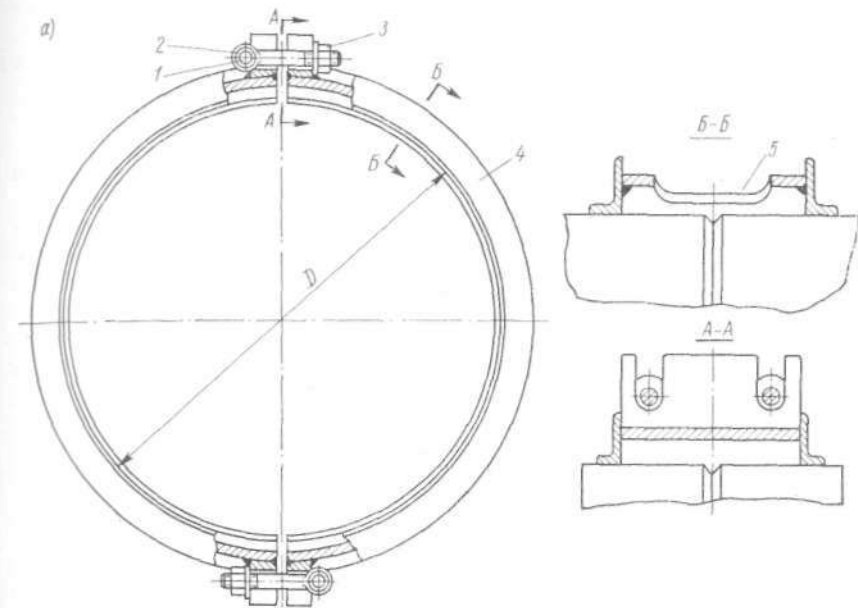
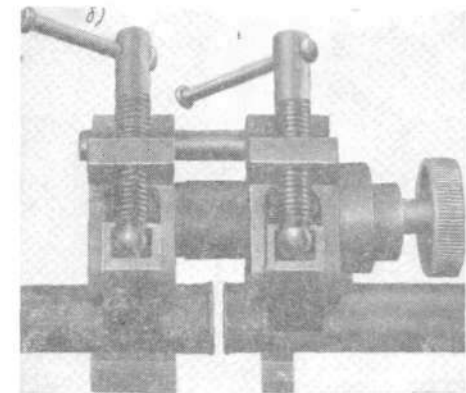


Рис. 47. Приспособления для сборки: а — хомут для продольных и кольцевых соединений обечаек; б — трубина для сборки труб.

1—ось; 2—болт откидной; 3—гайка; 4 — полухомут; 5 — окно для прихватки.



Если приспособление обеспечивает достаточную жесткость и доступность при сварке, ее производят иногда даже без прихваток. Но чаще для окончательного закрепления собранных деталей

и узлов применяют прихватки, после чего приспособление снимают.

Независимо от способа ручной или автоматической сварки прихватки выполняют вручную. При дуговой прихватке применяют те электроды, которыми должен быть сварен данный стык.

Аргано-дуговую прихватку можно выполнять без присадки, просто оплавлением кромок, или с присадкой. Присадку (электрод) для прихватки применяют той же марки, что и для сварки. Исключение составляют сварные соединения из чисто аустенитных сталей, когда корневой валик должен быть аустенито-ферритным. В этом случае марка электрода для прихватки должна быть такой же, как и для формирования корневого валика.

Режимы ручной дуговой прихватки не отличаются от режимов сварки, приведенных ниже (см. таблицу на стр. 129).

Режимы ручной аргано-дуговой прихватки без присадки несколько 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 сквозного проплавления, особенно в точечных прихватках. Если при сварке 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 элементы диаметром до 30 мм скрепляют одной прихваткой длиной не менее 5 мм, свыше 30 мм — двумя. 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 (рис. 48) при аргано-дуговой сварке вызывает рыхлость или свищ, которые, как правило, не переплавляются при последующей сварке. Незаделанный кратер в прихватке, выполненной дуговой сваркой, — это рыхлость или трещина, которые не исправляются сваркой последу-

ющих валиков. При многопроходной сварке такой дефект может увеличиться, если кратеры на последующих валиках и прихватке совпадут.

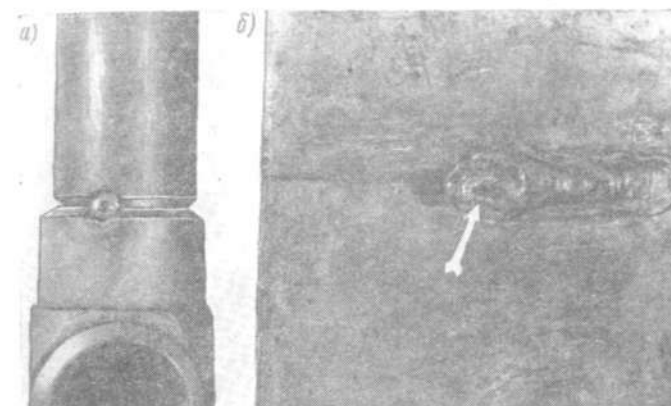


Рис. 48. Неправильно выполненная заделка кратера на прихватках: а — ручная аргано-дуговая сварка; б — ручная дуговая сварка.

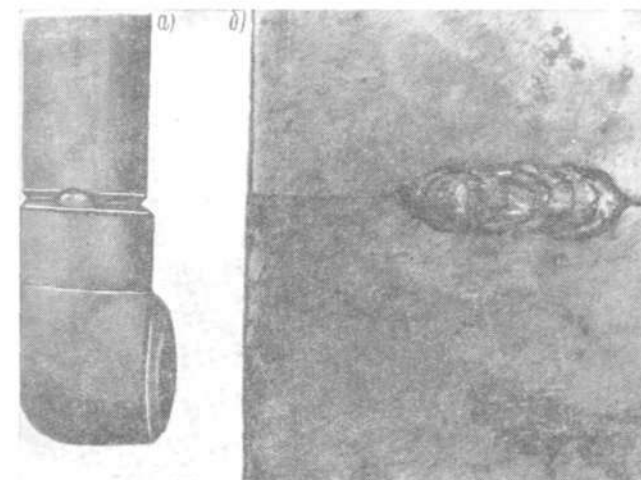


Рис. 49. Правильно выполненная заделка кратера на прихватках: а — ручная аргано-дуговая сварка; б — ручная дуговая сварка.

На рис. 49 показаны правильно выполненные прихватки. Поверхность прихваток перед сваркой должна быть тщательно очищена от окисной пленки — при аргано-дуговой сварке и от шлака и брызг — при дуговой.



## § 22. Сварочные материалы

Сварочные материалы (электроды, проволоку, флюс, газ) выбирают в зависимости от способа сварки, марок свариваемых сталей и требований, предъявляемых к сварной конструкции.

Электроды для ручной дуговой сварки. В чертеже на сварную конструкцию обычно указывают типы электрода — ЭА1, ЭФ13 и т. п., что означает — электроды аустенитные типа 1, электроды ферритные типа Х13 и т. д. Тип электрода отражает требования к свойствам, которым должен удовлетворять наплавленный электродами металл (табл. 16).

Таблица 16

Электроды для ручной дуговой сварки

Тип электродов	Марка свариваемых сталей	Марка электродной проволоки по ГОСТ 2246—60	Марка покрытия
ЭА1	0Х18Н10Т Х18Н10Т	Св-04Х19Н11М3 Св-04Х19Н9	ЭА400/10У ЭНТУ-3
ЭА1а ЭФ13	0Х21Н5Т 0Х13 1Х13	Св-06Х14 Св-10Х13	Л40М ЭНТУ-3
ЭФ17	0Х17Т	Св-10Х17Ф	ВИ-12-6
ЭА2	Биметалл	Св-07Х25Н13	ЭНТУ-3
ЭА1БС	(Ст.3+1Х18Н9Т)	Св-04Х19Н9	Л40М

В карте технологического процесса вместо типа электрода обычно указывают его марку, которая отражает не только свойства наплавленного металла, но и технологические свойства электродов. Марку электродов выбирают исходя из марки материала свариваемой конструкции, класса свариваемой стали и условий работы конструкции.

По классам свариваемых сталей электроды разделяются на три группы: 1) для перлитных сталей; 2) для ферритных сталей; 3) для аустенитных сталей. Электроды первой группы для сварки нержавеющей сталей не применяются. Ко второй группе относятся электроды марок УОНИ-13/Х13, ЦЛ-11, НЗЛ/Х13, НЗЛ/Х17, ЭНТУ-3/ЭФ13, АНВ-9 и др. Назначение этих электродов и их некоторые технологические характеристики приведены в табл. 17.

Сварку электродами этой группы производят на постоянном токе только при обратной полярности (плюс на электроде), на короткой дуге. При сварке на прямой полярности покрытие, применяемое для этих электродов, расплавляется плохо. В резуль-

Таблица 17

Сварочные материалы для сварки хромистых сталей (и малоникелевой типа Х21Н5)

Марка свариваемой стали	Требования к сварным соединениям	Электроды для ручной дуговой сварки	Присадочная проволока для аргоно-дуговой сварки	Сварочная проволока для сварки под флюсом и в углекислом газе
0Х13	Равнопрочность, пластичность, коррозионная стойкость после сварки	ЦЛ-24	Св-10Х20Н15	Св-10Х20Н15
0Х13 1Х13	Равнопрочность, пластичность и коррозионная стойкость после отпуска при 700°С	УОНИ-13/Х13 ЭНТУ-3/ЭФ13 ЭА395/9	Св-10Х13 Св-10Х16Н25М6	Св-10Х13 Св-10Х16Н25М6
Х17 0Х17Т	Жаростойкость, стойкость против общей и межкристаллитной коррозии после отпуска при 760—780°С	ЦЛ-11 АНВ-9 ЭА395/9	08Х20Н15ФБЮ (ЭП 444) Св-10Х16Н25М6	08Х20Н15ФБЮ (ЭП 444) Св-10Х16Н25М6
1Х21Н5Т	Коррозионная стойкость в средах, не вызывающих межкристаллитную коррозию, отсутствие требований равнопрочности	ЭНТУ-3 ЦЛ-2 ЭА400/10У ЭА606/11	Св-06Х19Н9Т Св-08Х20Н19Г7Т Св-04Х19Н11М3 Св-08Х19Н9Ф2С2	Св-06Х19Н9Т Св-04Х19Н11М3 Св-08Х19Н9Ф2С2

тате этого металлический стержень электрода плавится быстрее покрытия и на конце электрода постоянно образуется козырек из расплавленного покрытия.

При выборе электродов для сварки аустенитных сталей учитывают марку стали, условия работы конструкции, тип сварного соединения и технологические особенности сварки, требования к прочностным характеристикам металла шва и устойчивости против межкристаллитной коррозии.

Лучше других всем этим требованиям удовлетворяют электроды, обеспечивающие в аустенитной структуре металла шва небольшое количество феррита (от 2 до 10%). Сварку этими электродами также производят на постоянном токе при обратной полярности.

Технологические характеристики электродов третьей группы приведены в табл. 18.

Электрод состоит из металлического стержня и покрытия, состав которого зависит от марки электрода. Основу покрытия электродов для сварки нержавеющей сталей составляют мрамор и плавиковый шпат. Кроме того, в покрытиях используются различные ферросплавы, которые служат для легирования металла шва и раскисления сварочной ванны (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, ферромolibден, феррованадий и феррониобий).

Для правильного применения аустенитных электродов необходимо знать особенности их хранения и использования.

Помещения для хранения должны быть сухими и хорошо отапливаемыми. Необходимо иметь специальные места хранения электродов различных марок, партий, диаметров.

При выдаче электродов необходимо проверять окраску на их торцах; контролировать магнитом, чтобы убедиться, что среди аустенитных нет ферритных или что именно эти — ферритные и т. п.

После трехмесячного хранения электроды необходимо просушить при температуре 120—150° С в течение двух часов и испытать на технологические свойства в соответствии с требованиями технических условий на каждую марку электродов.

Работая на монтаже и открытых площадках, сварщик должен хранить электроды в сухом и укрытом от осадков месте.

Следует всегда бережно относиться к электродам, помня, что материал для них является дорогостоящим и дефицитным. Огарки электродов, электроды с отбитой обмазкой и отсыревшие необходимо возвращать в кладовую цеха, строительного участка или строящегося объекта.

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  $3377^{\circ}\text{C}$ , удельный вес  $19,35 \text{ г/см}^3$ . Вольфрам обладает высокой коррозионной стойкостью на воздухе и в воде и высокой механической прочностью ( $85\text{—}110 \text{ кг/мм}^2$ ). 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.

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. Диаметры выбирают в зависимости от силы тока:

ток, а	15—60	20—100	60—150	выше 150
диаметр электрода, мм	1,0	1,6	2,0	3,0

Заточка ведется на мелком наждачном круге. Специальный станок (рис. 50) позволяет механизировать эту операцию. Он состоит из двух основных узлов: обычного электроточила И-138А и цангового патрона с приводом. Каждый узел станка установлен на суппортах, обеспечивающих взаимно перпендикулярное перемещение. Цанговый патрон вместе с приводом может двигаться в вертикальном и радиальном направлениях. Вертикальное перемещение необходимо для применения наждачных кругов любого диаметра. Радиальное позволяет осуществлять заточку электрода под любым углом. Закрепленный в цанге вольфрамовый пруток подводят к наждачному кругу и включают приводы вращения круга и электрода. Наждачный круг подается на электрод плавным вращением рукоятки суппорта. Длительность заточки одного конца электрода не превышает трех минут. Качество заточки высокое.

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

валков. Острозаточенный электрод 1 (рис. 51) позволяет делать ширину шва меньше, чем тупозаточенный электрод 2 при той же силе сварочного тока. Сравнение проводилось при выполнении корневых валков на двух соединениях труб  $57 \times 3,5$ .

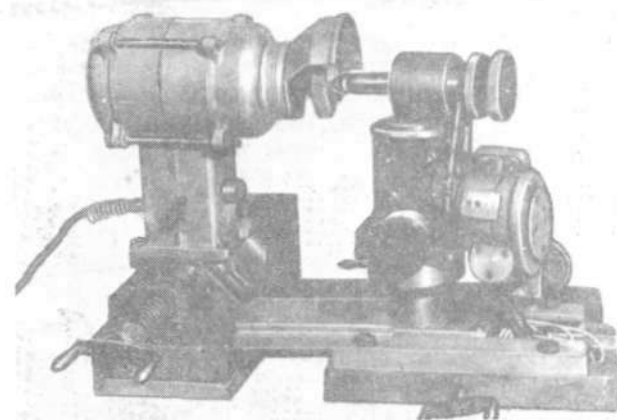


Рис. 50. Станок для заточки вольфрамовых электродов.

обработанных одинаково (со скосом каждой кромки под углом  $40^{\circ}$  с притуплением 1 мм). В обоих случаях применялся сварочный ток 95 а.

При сварке электродом 1 условия возбуждения дуги улучшаются, ее факел получается устойчивым, направление его строго

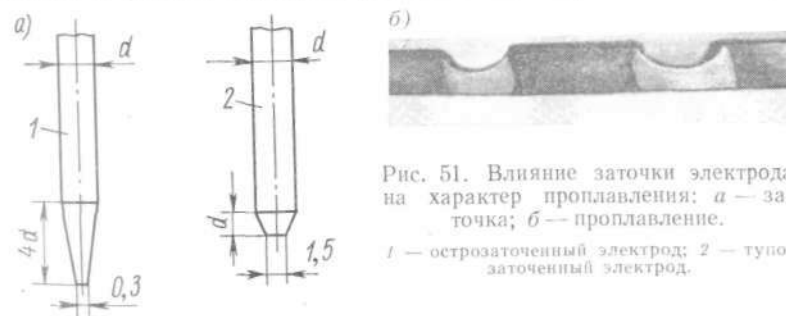


Рис. 51. Влияние заточки электрода на характер проплавления: а — заточка; б — проплавление.

1 — острозаточенный электрод; 2 — тупозаточенный электрод.

зависит от положения электрода. Все это упрощает технику выполнения сварки и уменьшает опасность замыкания электрода на кромки. Недостаток электрода 1 — концентрированный разогрев металла. Это может привести к чрезмерным местным проплавлениям, особенно если сварка ведется в стесненных условиях, когда трудно сохранить ее скорость постоянной. Кроме того, малейшее изменение наклона электрода в поперечном направлении

нии влияет на контур сварочной ванны. Макрошлиф сварного шва (рис. 51, б) подтверждает, что электрод на этом участке был наклонен влево.

При сварке электродом 2 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 1. Это является недостатком электрода 2, 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.

Сварка в защитных газах может осуществляться также угольными электродами диаметром 6—8 мм. Замечено, что пористость при сварке нержавеющей сталей угольным электродом значительно меньше, чем вольфрамовым. Сварка угольным электродом производится на постоянном токе прямой полярности. Основными недостатками угольных электродов являются низкие механические свойства, науглероживание металла шва и блуждание дуги при сварке.

Сварочная и присадочная проволока. Проволоку для сварки под флюсом и в защитных газах, когда она является плавящимся электродом, принято называть сварочной. Проволоку 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 (см. табл. 17). 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. 19.

Таблица 19

Химический состав некоторых марок прово-

Марка проволоки	Химический состав, %			
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром
Св-10Х13	0,08—0,15	0,3—0,7	0,3—0,7	12—14
Св-10Х17Т	0,12	0,8	0,7	16—18
Св-02Х19Н9	0,04	0,5—1,0	1,0—2,0	18—20
Св-04Х19Н9	0,06	0,5—1,0	1,0—2,0	18—20
Св-04Х19Н9С2	0,06	2,0—2,75	1,0—2,0	18—20
Св-06Х19Н9Т	0,08	0,4—1,0	1,0—2,0	18—20
Св-08Х19Н10Б	0,05—0,10	0,7	1,2—1,7	18,5—20,5
Св-04Х19Н11М3	0,06	0,6	1,0—2,0	18—20
Св-07Х25Н13	0,09	0,5—1,0	1,0—2,0	23—26
Св-08Х20Н9Г7Т	0,10	0,5—1,0	6,0—8,0	18—22

локи для сварки нержавеющей сталей

Химический состав, %				
Никель	Сера	Фосфор	Прочие элементы	Железо
	не более			
0,6	0,030	0,030	—	Осн.
0,6	0,030	0,035	Титан 0,5	Осн.
8,0—10,0	0,018	0,025	—	Осн.
8,0—10,0	0,018	0,025	—	Осн.
8,0—10,0	0,018	0,025	—	Осн.
8,0—10,0	0,018	0,025	Титан 0,5—1,0	Осн.
9,0—10,5	0,018	0,025	Ниобий 1,2—1,5	Осн.
10,0—12,0	0,018	0,029	Молибден 2,0—3,0	Осн.
12,0—14,0	0,018	0,025	—	Осн.
8,0—10,0	0,018	0,035	Титан 0,6—0,9	Осн.



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, 204Х19Н11МЗ. 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 указаны 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 аргоно-дуговой сварки, нагартуется растяжением с целью придания ей большей жесткости для лучшего прохождения между роликами и в мундштуке. Очень важно получить нагартровку постоянную по длине и определенной степени. 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. Нагартровку 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.

Для полуавтоматической (шланговой) сварки под флюсом также важно иметь жесткую, равномерно нагартованную проволоку. Она хорошо подается по гибким шлангам.

Для автоматов, имеющих правильные ролики, где сварочная проволока диаметром 4—5 мм проходит правку, чрезмерная жесткость ее недопустима. Чтобы уменьшить жесткость, такую проволоку часто подвергают отжигу (из хромоникелевой аустенитной стали — при температуре 850—900°С, а из хромистой — при температуре 650—680°С). Когда наклеп аустенитной проволоки не удастся уменьшить отжигом, применяют закалку: нагрев до 1050°С и охлаждение в воде. После закалки проволока диаметром 4—5 мм имеет такую же жесткость, как обычная углеродистая Св-08А.

Зарядку проволоки в кассеты производят на специальном станке. Не рекомендуется использовать механизм подачи проволоки для зарядки кассет, так как при длительной работе электродвигатель нагревается и может выйти из строя. При зарядке проволоки в кассеты нельзя трогать проволоку грязными руками. Это требование особенно строго надо выполнять, если проволока предназначена для сварки в защитных газах, так как малейшее загрязнение приводит к образованию пор.

Если используется не вся бухта, необходимо прикрепить бирку на оставшийся моток проволоки.

**Флюсы для сварки.** Флюсы представляют собой зернистый сыпучий материал. Основное назначение его состоит в защите расплавленного при сварке металла от воздействия воздуха. В некоторых случаях с помощью флюса легируют металл шва. Расплавленный флюс превращается в вязкую жидкость — шлак, который плотной оболочкой изолирует от воздуха зону сварки. Охлаждаясь, шлак превращается в шлаковую корку, надежно защищающую металл шва при остывании его до безопасной температуры.

Флюс считается хорошим, если он обеспечивает устойчивое горение дуги и хорошее формирование шва, а его корка легко отделяется от поверхности шва. Кроме того, флюсы должны обеспечивать минимальное количество пор и шлаковых включений в металле шва и предотвращать выгорание легирующих элементов. Эти функции флюс выполняет удовлетворительно при определенной толщине слоя, покрывающего свариваемый металл. Толщина слоя меняется в зависимости от силы тока.

По способу изготовления флюсы делят на плавные и неплавные (керамические). К плавным, предназначенным для сварки нержавеющей сталей, относятся флюсы марок ФЦЛ-2, АН-20, АН-22, АН-26, 48-0Ф6, БКФ-5, АНФ-5 и др., к керамическим — марки ФЦК, К-8 и др. Области применения флюсов различных марок приведены в табл. 20.

Сырьем для плавных флюсов являются плавиковый шпат, песок, мел (мрамор), глинозем и некоторые другие материалы. Просушенные и измельченные материалы смешивают в определенной пропорции и загружают в специальную электрическую или пламенную печь. В результате расплавления смеси получается однородная масса, имеющая определенный химический состав. Она подвергается грануляции — дроблению на мелкие частицы. После дробления флюс просушивают и просеивают через сито с определенным размером ячейки.

Необходимо подбирать такой состав флюса для сварки высоколегированных сталей, чтобы он мало влиял на состав металла шва. Получить металл шва, близкий по составу и свойствам к основному металлу, можно применением специальной легирующей проволоки и малоокислительных плавных флюсов.

Флюсы для сварки

Таблица 20

Марка флюса	Марка свариваемых сталей	Марка сварочной проволоки	Преимущественное применение флюса
ФЦЛ-2 АН-20 АН-22 АН-26 АНФ-5	X18H9 и другие хромоникелевые стали	Св-04X19H9 Св-06X19H9 Св-04X19H9C2 Св-08X20H9Г7Т и др.	Автоматическая и полуавтоматическая сварка соединений всех типов
48-0Ф6	0X18H10T, X18H10T	Св-04X19H11M3	То же
АН-30 БКФ-5 ФЦК	Хромистые и хромоникелевые стали Высоколегированные стали и сплавы	Подбирается в зависимости от состава свариваемой стали	Автоматическая сварка и наплавка

С помощью флюса можно легировать металл шва любым элементом при использовании нелегированной или малолегированной проволоки.

В отличие от плавящихся керамических флюсов представляют собой зернистую механическую смесь различных материалов, чаще всего минералов и ферросплавов: плавиковый шпат, мрамор, ферросилиций, ферротитан и др. В размолотые и тщательно перемешанные материалы добавляется раствор жидкого стекла, и приготовленная масса либо спекается и дробится, либо сперва гранулируется в специальных машинах или вручную (протираем через сито) и затем прокаливается при температуре около 700° С.

Достоинство керамических флюсов — возможность активного воздействия на металлургические процессы при сварке и легирования с их помощью металла сварных швов. Их недостатки — низкая механическая прочность зерен и необходимость строго поддерживать режим сварки, изменение которого влияет на количество расплавляемого флюса. Если флюса плавится больше, в металл шва больше попадает легирующих элементов и наоборот. Следовательно, швы (или даже один шов по длине) химически неоднородны и свойства их также неодинаковы.

При электрошлаковой сварке металлургические процессы между шлаком и металлом протекают слабее, в результате чего состав флюса практически мало влияет на химический состав ме-

талла шва. К флюсам, предназначенным для электрошлаковой сварки, предъявляются особые технологические требования. Он должен обеспечивать устойчивость процесса и удовлетворительное формирование поверхности шва, а шлак должен быть электропроводным и достаточно вязким, чтобы не вытекать в зазоры между кромками и формирующими приспособлениями. Чтобы удовлетворить этим требованиям и обеспечить усвоение металлом шва легкоокисляющихся элементов, применяют фторидные флюсы АНФ-5, АНФ-6, АНФ-7.

Флюсы, предназначенные для дуговой и электрошлаковой сварки высоколегированных сталей, активно поглощают влагу. Хранить их следует в сухих отапливаемых помещениях без резких колебаний температуры. Тара, в которой хранится и транспортируется флюс, плотно закрывается. Перед сваркой рекомендуется прокалить флюс и проверить его технологические свойства на пробных планках.

**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° С), кислорода — самая высокая (—183° С). Температура кипения аргона занимает промежуточное место (—186° С). 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 характеризуется более высокой стабильностью, чем в гелии. Но в гелии дуга обладает большей проплавляющей способностью вследствие повышения напряжения.

Для сварки применяют аргон различной чистоты. По степени чистоты аргон согласно ГОСТ 10157—62 разделен на три состава, или марки: А, Б и В. Химический состав аргона различных марок приведен в табл. 21.

Таблица 21

Химический состав аргона

Наименование показателей	Марка		
	А	Б	В
Содержание аргона в %, не менее	99,99	99,96	99,90
Содержание кислорода в %, не более	0,003	0,005	0,005
Содержание азота в %, не более	0,01	0,04	0,10
Содержание влаги (при давлении 760 мм рт. ст.) в г/см <sup>3</sup> , не более	0,03	0,03	0,03

Аргон марки А предназначен 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 марки Б — для сварки плавящимся и неплавящимся электродами алюминиевых и магниевых сплавов; аргон марки В — для сварки изделий из чистого алюминия, нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов.

Вместо чистого 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 изделий из нержавеющей сталей вольфрамовым и плавящимся электродами применяется как в чистом виде, так и в смеси с аргонном.

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.

## § 23. Режимы сварки

Режим ручной дуговой сварки характеризуется двумя основными параметрами — диаметром электрода и силой сварочного тока. На практике установлено, что при однопроходной сварке диаметр электрода находится в следующей зависимости от толщины свариваемых деталей:

толщина, мм . . . . .	1,5—2	2—3	3—5	5—6
диаметр электрода, мм . . . . .	2	2,5—3	3—4	4—5

При сварке изделий больших толщин с разделкой кромок первый (корневой) валик должен выполняться электродами диаметром 2,5—3 мм, чтобы свободно проникнуть в глубину разделки. Силу тока выбирают в зависимости от диаметра электрода.

Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки на постоянном токе обратной полярности приведены в табл. 22.

Таблица 22

Режимы ручной дуговой сварки электродами с покрытиями типа УОНИ, ЭНТУ, ЦЛ и др.

Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, а			
	нижнее положение шва	вертикальный шов	горизонтальный шов	потолочный шов
2	40—55	35—50	35—50	35—50
2,5	50—60	40—55	40—55	40—55
3	60—90	60—80	60—80	60—80
4	100—140	90—130	90—130	90—130
5	130—170	120—140	120—140	—

Режим сварки под флюсом характеризуется диаметром сварочной проволоки, силой тока, напряжением дуги и скоростью сварки, а также скоростью подачи сварочной проволоки при полуавтоматической сварке<sup>1</sup>. Кроме того, на форму и размеры шва влияют наклон электрода относительно изделия, тип сварного соединения и зазоры между свариваемыми кромками.

Ориентировочные режимы сварки под флюсом на постоянном токе приведены в табл. 23 и 24.

<sup>1</sup> Скорость независимой подачи проволоки при сварке автоматами (ТС-17М и др.) подбирают опытным путем.

Таблица 23

Режимы двухсторонней автоматической сварки  
под флюсом стыковых соединений без разделки кромок  
(проволока Св-04Х19Н11МЗ, постоянный ток обратной полярности)

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, м/ч
8	не более 1,5	4	500—550	30—32	25—30
		5	550—600	32—34	46
10	не более 1,5	4	500—550	30—32	25—30
		5	600—650	36—38	42
12	не более 1,5	4	550—600	32—34	28—30
		5	650—700	36—38	36
15	не более 2	4	550—650	32—36	28—30
		5	750—800	38—40	30
20	не более 3	5	850—900	40—42	25
20 <sup>1</sup>		5	800—850	38—40	25
30 <sup>1</sup>	6—7	5	850—900	38—40	16
40 <sup>1</sup>	8—9	5	1000—1200	40—42	12

<sup>1</sup> Режим для сварки на флюсовой подушке с обязательным зазором между свариваемыми кромками.

Таблица 24

Режимы двухсторонней полуавтоматической (шланговой) сварки под флюсом стыковых соединений без разделки кромок проволокой диаметром 2 мм (проволока Св-04Х19Н11МЗ, постоянный ток обратной полярности)

Толщина металла, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Сварочный ток, а	Напряжение дуги, в
4—6	79	170—220	30—32
	101	200—220	30—32
8	126	230—250	32—34
	156	280—300	32—34
10	191	300—330	34—36
	250	340—360	34—36
	306	370—390	36—38
12	378	400—420	36—38

Режим ручной аргоно-дуговой сварки характеризуется диаметром вольфрамового электрода, силой сварочного тока, диаметром присадочной проволоки и расходом аргона.

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.

Аргоно-дуговую 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 аргоно-дуговую 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 аргоно-дуговой 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 большой силы ток, 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, помня, что больше 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 аргоно-дуговой сварки на постоянном токе приведены в табл. 25.

Таблица 25

Режимы ручной аргоно-дуговой 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
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	$\frac{60-70^1}{80-90}$	6—7
4,0		3,0	1,6—2,0	$\frac{65-80}{90-100}$	6—7
5,0		3,0—4,0	1,6—2,0	$\frac{75-85}{90-120}$	7—8

<sup>1</sup> В числителе — сила тока для сварки без присадки, в знаменателе — сила тока для сварки с присадкой.

<sup>1</sup> В числителе — сила тока для сварки без присадки, в знаменателе — сила тока для сварки с присадкой.

Режим автоматической и полуавтоматической 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 бесшовного 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 полуавтоматической сварки применяется таких же размеров, как и для ручной аргоно-дуговой.

Расход газа подбирается и корректируется аналогично расходу при ручной аргоно-дуговой 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 полуавтоматической сварки неплавящимся электродом приведены в табл. 26 и 27.

Режим автоматической и полуавтоматической 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<sup>1</sup>). 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.

<sup>1</sup> Критическим называется ток, при котором начинается струйный процесс и прекращается крупнокапельный.

Режимы автоматической и полуавтоматической сварки  
в защитных газах постоянным током прямой

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадки, мм	Сварочный ток, а
0,8	1,6	—	60—70
1,0	1,6—2,0	—	70—90
1,5	2,0	1,2—1,6	100—130
2,0	2,0	1,6—2,0	130—160
2,5	3,0	1,6—2,0	170—190
3,0	3,0	1,6—2,0	180—200
5,0	3,0—4,0	1,6—2,0	190—210

Таблица 27

Режимы автоматической сварки соединений труб  
неплавящимся электродом постоянным током прямой полярности  
(присадка Св-04Х19Н1МЗ, диаметр присадки 1,6 мм,  
сталь — типа 18-8, защитный газ — аргон)

Размер труб, мм	Вид подготовки крайков под сварку	Свароч- ный ток, а	Ско- рость сварки, м/ч	Скорость подачи присадки, м/ч	Расход аргона, л/мин	
					на сварку	на под- дув
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°	60—65 <sup>1</sup> 70—75	18—25	12—15	5—6	1,5—2,0
18×2,5	То же	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°	85—90 95—100	18—25	15—20	6—8	2,0—2,5
32×3,5	То же	100—110 110—120	18—20	17—22	8—10	2,0—3,0
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 вы- ступом	110—120 120—130	15—18	15—20	8—10	3,0—4,0

<sup>1</sup> В числителе — сила тока для первого прохода (без присадки), в знаменателе — сила тока для второго прохода (с присадкой).

Таблица 26

стыковых соединений неплавящимся электродом  
полярности с присадкой Св-04Х19Н1МЗ

Напряжение дуги, а	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи присадки, м/ч	Расход аргона, л/мин
9—10	30—40	25—35	4—5
10—11	25—35	20—30	4—5
10—11	20—25	20—25	5—6
10—11	20—25	20—25	5—7
10—11	15—25	15—20	6—8
11—12	15—20	15—20	7—9
11—12	10—15	12—15	8—10

Крупнокапельный 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 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 ско-

рость нарастания тока короткого замыкания) и благоприятной статической характеристикой (жесткой или пологопадающей) дает возможность получить швы высокого качества с очень хорошим формированием во всех пространственных положениях стыка.

Оrientировочные режимы автоматической и полуавтоматической сварки плавящимся электродом приведены в табл. 28 и 29.

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, АСП 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 кормки  $t_z$ , необходимого для лучшего разогрева и провара кромок, амплитуды колебания А. Чтобы получить валик наиболее благоприятной формы

Таблица 28

Режимы автоматической сварки стыковых соединений из сталей типа 18-8 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 (аргона — 95%, углекислого газа — 5%)
0,8	Внахлестку	0,6—0,8	50—70	15—17	25—45	6—8 (аргон)
1,0	»	0,8—1,0	80—100	16—18	20—40	
1,5	»	1,0	110—130	17—19	20—35	
0,5	В стык	0,5—0,6	40—60	13—15	50—70	6—8 (аргона — 95%, углекислого газа — 5%)
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	
6,0	»	1,6—2,0	280—360	23—27	15—30	10—17 (аргон)
8,0	»	2,0	300—380	24—28	15—30	
10,0	»	2,0	320—440	25—30	15—30	
2,0	»	1,0	100—150	20—22	20—22	8—10 (гелий)
4,0	»	1,6	180—240	25—30	20—40	8—10 (гелий)
6,0	»	1,6—2,0	220—300	30—34	15—30	15—20 (гелий)
8,0	»	2,0	240—310	30—36	15—30	
10,0	»	2,0	260—380	31—39	15—30	

Таблица 29

Режимы автоматической и полуавтоматической сварки стыковых и угловых соединений из стали типа 18-8 плавящимся электродом в защитных газах постоянным током обратной полярности (проволока — Св-04Х19Н1МЗ)

Толщина металла, мм	Тип соединения	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, а	Напряжение дуги, в	Расход аргона, л/мин
1,0	Стыковое без разделки кромок	0,5—0,8	40—60	19	4—6
1,5		0,8—1,0	65—85	19	5—7
2,0		1,0—1,2	100—130	19—21	6—8
3,0		1,0—1,6	150—190	21—23	6—8
4,0		1,2—1,6	190—250	23—26	7—9
6,0	Стыковое с V-образной разделкой кромок	1,6—2,0	220—320	24—27	9—12
8,0		1,6—2,0	320—360	25—28	11—15
10,0		2,0	290—380	26—29	12—17
1,5+1,5	Внахлестку	0,8—1,0	75—90	19	5—7
1,5+2,0		1,0—1,2	90—120	19—20	5—7
2,0+2,0		1,0—1,2	110—140	19—21	6—8
3,0+3,0		1,0—1,6	160—190	21—23	6—8
1,5+1,5	Тавровое	0,8—1,0	60—80	19	5—7
1,5+2,0		0,8—1,0	70—90	19—20	5—7
2,0+2,0		1,0—1,2	90—120	19—20	6—8
2,0+3,0		1,0—1,2	100—130	21—22	6—8
3,0+3,0		1,0—1,6	140—180	22—23	6—8
5,0 и более		1,0—1,6	170—200	23—24	10—12

(широкий, плоский, без пропусков), необходимо точно подобрать значения каждого параметра поперечного колебания электрода, соответствующего заданной скорости сварки  $V_{св}$  (рис. 52). Ориентировочное число колебаний при автоматической сварке труб составляет 60—130 колебаний в минуту.

## § 24. 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 электрододержателе «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.

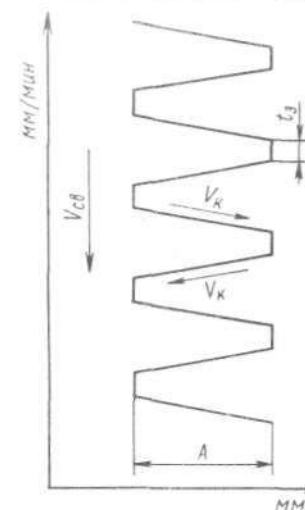


Рис. 52. Параметры режима поперечного колебания электрода.



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 валика должна быть не более трех диаметров электрода. Скорость движения



Рис. 53. Внешний вид валиков, выполненных ручной дуговой сваркой: а — нормальная скорость сварки при равномерном движении электрода; б — нормальная скорость сварки при неравномерном движении электрода; в — увеличенная скорость сварки; г — очень большая скорость сварки.

электрода (сварки) должна быть равномерной, а расстояние между соседними чешуйками — одинаковым (рис. 53, а). При неравномерном поступательном движении электрода валик получается бугристым (рис. 53, б). Увеличивая скорость сварки, можно уменьшить ширину шва до величины, превышающей диаметр электрода в 2,5 раза (рис. 53, в). Дальнейшее увеличение скорости сварки приводит к образованию подрезов и западаний, плохому формированию по границам валика (рис. 53, г).

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 последователь-

ности (рис. 54, а), чтобы между валиками не оставались углубления; в них может скапливаться шлак, который трудно удалить. Разделку заполняют только валиками (рис. 54, б). 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 положениях 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 получают бугристыми.

Качество шва зависит от умения сварщика правильно заваривать кратер. Оставлять кратер вогнутым (см. рис. 48, б и 53, г) нельзя, так как в нем могут образоваться трещины. Трещин не бывает на выпуклом кратере, для получения которого необхо-

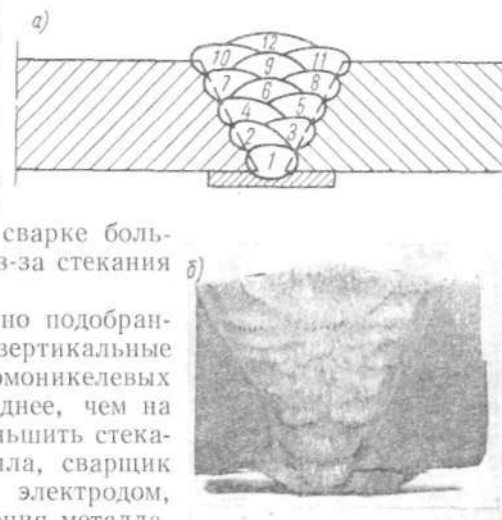


Рис. 54. Заполнение разделки валиками: а — последовательность заполнения; б — макрошlif шва, выполненного валиками.

димо прекратить поступательное движение электрода и уложить несколько капель металла в одну точку.

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

Стыковые соединения без разделки кромок (бескосные) можно сваривать электродами диаметром 2—5 мм. Для малых толщин используют диаметры 2—3 мм, для больших — 4—5 мм. Первый проход на стыковых и угловых соединениях с разделкой кромок выполняют 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» (см. рис. 44). 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 типа Х13 аналогична технике сварки малоуглеродистых сталей, если применяются электроды со стержнем из ферритной стали (проволока Св-1Х13), или технике сварки аустенитных сталей, если применяются электроды со стержнем из аустенитной стали (проволока Св-04Х19Н11М3, Св-06Х19Н9, Св-07Х25Н13 и др.), но без охлаждения перед выполнением последующих проходов.

## § 25. Техника сварки под флюсом

Техника сварки (полуавтоматической и автоматической) под флюсом включает умение управлять процессом сварки, а также правильно использовать особенности сварного соединения и свойства свариваемой стали для получения высококачественного шва. При этом необходимо знать влияние режима сварки и типа соединения на формирование шва, свойства и технологические особенности сварки стали.

В практике для сварки различных марок сталей часто используют одни и те же автоматы и полуавтоматы. Заменяя сварочную проволоку и флюс, установив указанный в технологическом процессе ориентировочный режим, не всегда сразу удается осуществить сварку и получить шов, удовлетворяющий предъявляемым требованиям.

Проволока из нержавеющей стали обладает высоким электрическим сопротивлением и пониженной теплопроводностью. Эти свойства способствуют более быстрому ее плавлению по сравнению с углеродистой сталью при одинаковой силе сварочного тока. Поэтому сварку нержавеющей сталей следует выполнять на меньшей силе сварочного тока, иначе быстрое плавление проволоки приведет к увеличению длины дуги, а иногда к ее обрыву и прекращению сварки. У автоматов с зависимой подачей проволоки при увеличении длины дуги автоматически увеличится скорость подачи проволоки. Если для сварки используется автомат с постоянной скоростью подачи проволоки (ТС-17М), необходимо эту скорость увеличить. У полуавтоматов со ступенчатой регулировкой скорости подачи (ПШ-5 и др.) следует тщательно подбирать силу тока применительно к принятой скорости подачи электрода.

Большое значение при сварке проволокой диаметром 2—3 мм имеет вылет электрода. При большом вылете вследствие высокого электрического сопротивления проволока из нержавеющей стали сильно нагревается и плавится неравномерно. Дуга горит неустойчиво и в результате шов получается неодинаковым по ширине и высоте. Чтобы обеспечить устойчивость процесса и хорошее формирование шва, вылет электрода надо уменьшить. Обычно вылет электрода при сварке аустенитной проволокой диаметром 4—5 мм не должен превышать 50 мм, при сварке проволокой диаметром 2—25 мм.

Форма шва обуславливается режимом сварки. Вид разделки свариваемых кромок оказывает незначительное влияние на форму шва.

С увеличением силы тока при неизменном напряжении на дуге объем жидкой ванны и глубина проплавления возрастают. Условия дегазации ванны при этом ухудшаются. Ширина валика почти не меняется, а высота его растет.

С увеличением диаметра электрода при неизменной силе тока глубина проплавления уменьшается, а валик становится шире.

Напряжение дуги мало влияет на глубину проплавления. Чем выше напряжение, тем длиннее дуга, тем больше ширина валика и тем меньше высота его усиления.

Наклон электрода углом вперед способствует уменьшению глубины проплавления и увеличению ширины шва. Это объясняется тем, что дуга горит впереди электрода и под нею образуется слой жидкого металла, мешающий проникновению дуги вглубь. При наклоне электрода углом назад наблюдается обратная зависимость: глубина проплавления возрастает, а ширина шва уменьшается.

На глубину проплавления влияет также полярность тока. При прямой полярности глубина проплавления в среднем в 1,3 раза меньше, чем при обратной.

Заданный режим сварки обычно проверяют на образцах. Вид стыкуемых кромок образца и изделия должны в точности совпадать. Сборку образца выполняют так же, как сборку изделия.

Автоматической сваркой под флюсом выполняют преимущественно односторонние и двухсторонние стыковые швы, полуавтоматической — угловые швы.

Независимо от типа сварного соединения перед выполнением сварки следует тщательно проверить величину зазора и смещения, чистоту поверхности кромок, точность движения сварочной головки по стыку, степень поджата флюсовой подушки или подкладной полосы.

При выполнении односторонних швов к качеству провара корня шва предъявляют повышенные требования. Непровар может служить очагом разрушения шва при эксплуатации изделия, так как непровар является концентратором напряжений и, кроме того, сварное соединение с непроваром будет неравнопрочным с основным металлом. Для стабильного провара кромок предусматривают технологические меры.

На медной или флюсомедной подкладке ответственные изделия из нержавеющей стали сваривать не рекомендуется. Медь, попадая в шов, снижает его антикоррозионные свойства. Между медной подкладкой и поверхностью изделия трудно создать плотное прилегание, особенно при сварке длинных швов. Качественно сварить на медной подкладке удастся только при зазоре до 1 мм. Свыше 1 мм — шлак и расплавленный металл подтекают под медную подкладку, чем снижается качество шва.

Сварку односторонних швов чаще выполняют на флюсовой подушке (рис. 55) или на подкладке из нержавеющей стали (рис. 56). Качество формирования шва в этом случае определяется равномерностью зазора и степенью поджата флюсовой подушки или подкладки. Поджатие считается хорошим, если на обратной стороне стыка формируется валик небольшого сечения. Образование ослабленного снаружи шва — первый признак плохого поджата флюса. Поджатие стальной подкладки к свариваемым крокам

осуществляется чеканкой подкладки после прихватки ее к изделию. В тех случаях, когда чеканку выполнить невозможно, а зазор неизбежен, сварку под флюсом рекомендуется выполнять после предварительной проварки корня шва вручную.

Сварка кольцевых соединений «в замок» имеет много общего со сваркой на остающейся подкладке. При скрытом зазоре (см. рис. 44, д) рекомендуется проварить корень шва вручную и только после этого выполнять автоматическую сварку. Автомат или полуавтомат для сварки кольцевых швов, как правило, уста-

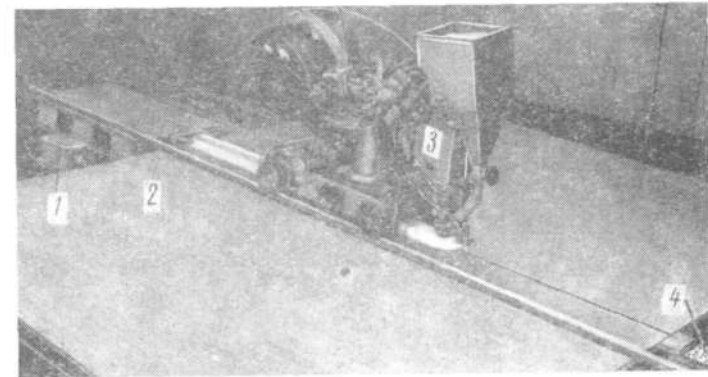


Рис. 55. Автоматическая односторонняя сварка листов на флюсовой подушке.

1 — прижимы; 2 — свариваемые листы; 3 — автомат; 4 — флюсовая подушка.

навливается на консоли (см. рис. 32). Вращение свариваемой детали осуществляется специальными приводами.

Двухсторонняя сварка менее производительна, чем односторонняя, на зато не требует дополнительных устройств для обеспечения качественного провара кромок. При наложении первого слоя (без разделки кромок) не требуется сквозного проплавления кромок. Иногда, выполняя сварку тонких листов, применяют флюсовую подушку. Высоких требований к равномерности поджата флюса в этом случае не предъявляется.

Внешний вид двухстороннего бескосного шва показан на рис. 57.

Первый слой на соединениях с X-образной разделкой кромок сваривают на флюсовой подушке или на весу. Лучшие результаты получаются при сварке слоя по предварительной подварке, выполненной вручную.

При сварке внутренних кольцевых швов электрод смещают от вертикали в сторону, противоположную вращению изделия, чтобы расплавленный металл и шлак не подтекали под электрод. Иногда подтекание металла полезно, так как при этом уменьшается глубина провара, но в большинстве случаев это приводит к обра-

зованию шлаковых включений. Чтобы исключить подтекание металла и шлака при сварке наружных кольцевых швов, электрод смещают в сторону вращения изделия (рис. 58, положение I) а при сварке внутренних швов — наоборот (рис. 58, положение IV). Если нужно уменьшить глубину провара, электрод смещают в положение II и III.

Выполнить кольцевой сварной шов диаметром меньше 200 мм на детали (узле) из нержавеющей стали очень трудно. Чтобы получить шов хорошего качества, необходимо принимать различные технологические меры, в частности добиваться минимальных размеров сварочной ванны. Для этого прежде всего надо, по возможности, уменьшить ток или увеличить ско-

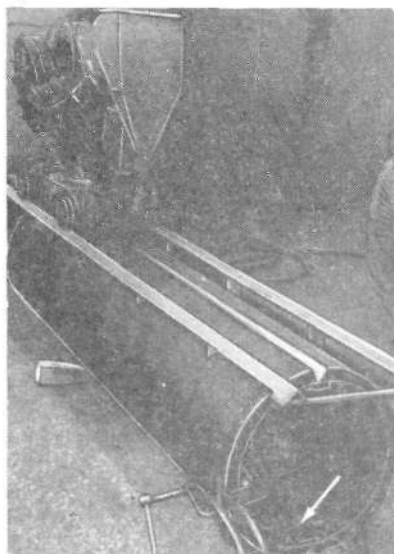


Рис. 56. Автоматическая односторонняя сварка обечайки на подкладной полосе (полоса показана стрелкой).

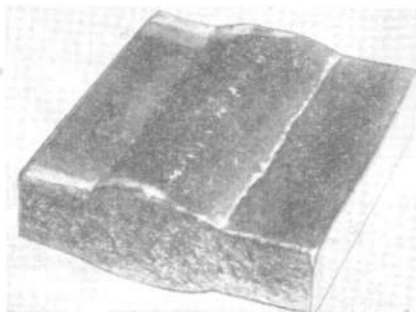


Рис. 57. Внешний вид шва, выполненного автоматической сваркой под флюсом.

рость сварки. Уменьшить ширину ванны можно укорочением дуги, т. е. снижением напряжения. Чтобы образовалась шлаковая корка, жидкий металл и шлак некоторое время должны быть либо неподвижны, либо двигаться (вращением) с одинаковой скоростью. Предотвратить или уменьшить стекание металла и шлака можно смещением электрода.

Наружные кольцевые швы на изделиях малого диаметра (130—200 мм) можно выполнить качественно при смещении электрода в сторону, противоположную вращению изделия (см. рис. 58, положение II). В противном случае металл и шлак даже при минимально возможной скорости сварки не успевают остыть и шов формируется плохо. Первыми признаками неправильного смещения электрода при сварке кольцевых швов малого диаметра являются наплывы и неравномерная ширина валика (рис. 59).

Большое влияние на формирование шва и качество сварки кольцевых швов малого диаметра оказывает наклон электрода — сварочной головки или пистолета. При вертикальном положении (под прямым углом) электрода перед дугой скапливается большое количество шлака, что затрудняет сварку и может привести к ее прекращению. Большие скачки напряжения — первый признак кратковременного «закорачивания на шлак». Значительно устойчивее сварка протекает, если электрод наклонен «углом назад». Шлак и жидкий металл при таком наклоне «отдуваются» в сторону вращения детали, и шлак не подтекает под электрод несмотря на то, что электрод смещен в сторону, противоположную вращению. Таким образом, основные требования, которые необходимо выполнять при сварке кольцевых швов малого диаметра, следующие:

- 1) сила сварочного тока должна быть возможно минимальной;
- 2) напряжение на дуге также должно быть минимальным;

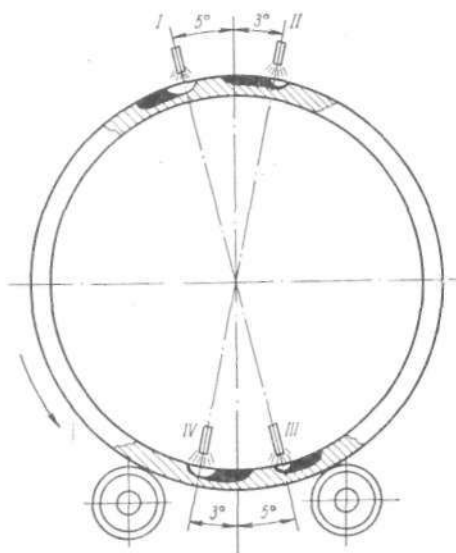


Рис. 58. Смещение электрода при сварке кольцевых швов.

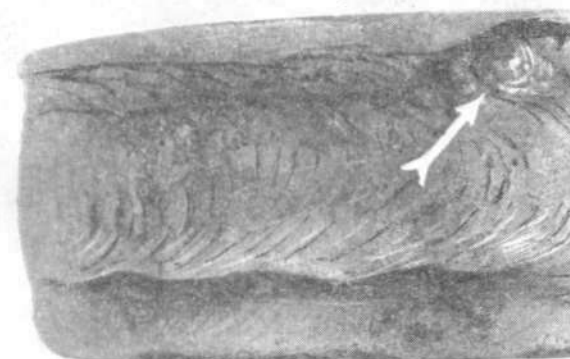


Рис. 59. Наплыв на кольцевом шве, выполненном автоматической сваркой при неправильном смещении электрода.



3) сварку следует выполнять электродом, установленным «углом назад» и смещенным в сторону, противоположную вращению изделия;

4) необходимо применять устройства для удерживания флюса. При полуавтоматической сварке (в отличие от автоматической) перемещение сварочной дуги по стыку осуществляется вручную. Качество формирования шва зависит в большей мере от умения сварщика равномерно перемещать держатель. Наибольшая точность движения электрода по стыку достигается, если сварка ведется «на себя».

Полуавтоматическим 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 полуавтоматом, держатель которого закреплен на штативе (см. рис. 33).

Точность сборки под полуавтоматическую сварку должна быть такая же, как и под автоматическую. 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  $+100^{\circ}\text{C}$  составляет около 20 мин. Следовательно, целесообразнее выполнять сварку одновременно нескольких узлов, даже если и потребуются снятие и установка узла во вращателе, манипуляторе и т. п. Обычно время на установку и выверку узла не превышает 5 мин.

## § 26. 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 аргон-дуговой 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. Начинаящему 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 струбине 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. Но это 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

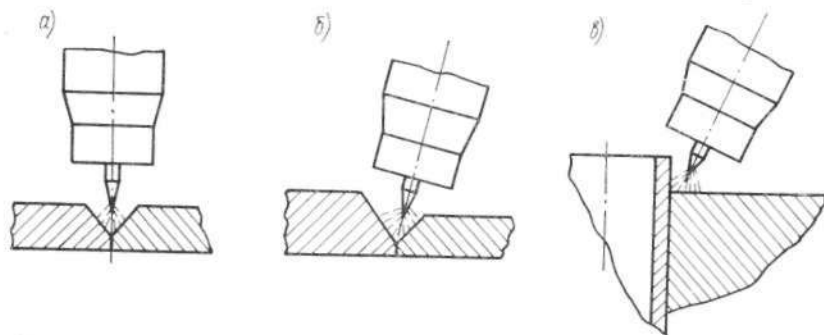


Рис. 60. Изменение наклона электрода в зависимости от вида сварного соединения.

тока в настоящее время оборудуют специализированные посты для ручной и автоматической сварки.

После приобретения опыта в технике 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. 60, а). Сваривая различные толщины, конец электрода слегка направляют на деталь большей толщины, чтобы кромки нагревались от теплового действия дуги одинаково (рис. 60, б). При сварке угловых соединений деталей различной толщины электрод наклоняют настолько, чтобы обе свариваемые кромки плавилась равномерно (рис. 60, в).

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 (рис. 61).

Сплавление кромок независимо от их толщины должно быть равномерным. В противном случае металл одной детали, которая оплавилась быстрее, может натеять 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 «прилипания» расплавленного металла трубки к холодному металлу решетки. Макрошлифы такого участка шва, как правило, показывают непровар, т. е. несплавление.

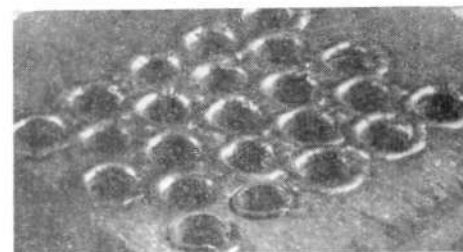


Рис. 61. Формирование шва за счет оплавления выступающей кромки трубки.

Более надежен в этом случае метод сварки с присадкой, особенно при выполнении зенковки отверстия в решетке. Как видно из рис. 61, одна половина соединений (левая) обварена без присадки, вторая (правая) — с присадкой. Величина выступа, зенковка и характер оплавления кромок при выполнении прихваток хорошо видны на двух соединениях труб, расположенных в нижнем ряду слева.

Присадку подают под прямым углом к электроду (рис. 62, 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 чешуйчатостью. Металл шва получается плотным и обладает высокими качествами.

Если угол между присадкой и электродом меньше 90° (рис. 62, 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 метал-

лом. При таком положении присадки часто бывают непровары или несплавления между валиками.

Присадка, расположенная под углом, большим  $90^\circ$  (рис. 62, 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 стенки до 3 мм.

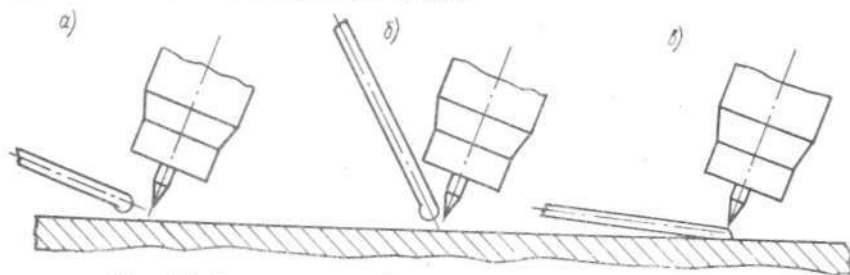


Рис. 62. Расположение присадки относительно электрода.

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 струи. Завихрения приводят к попаданию воздуха в зону сварки.

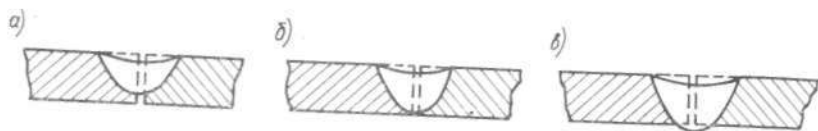


Рис. 63. Характер формирования шва на весу.

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 аргоно-дуговая сварка обеспечивает хорошее формирование обратной стороны шва. С обратной стороны, как правило, формируется выпуклый валик. Поэтому термин «глубина провара» применительно к аргоно-дуговой сварке не точно характеризует сечение шва. При аргоно-дуговой 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. 63, а). Наибольшая глубина провара будет, когда кромки

полностью расплавятся и сварятся по всей толщине (заподлицо). В идеальном случае внутренний валик не образуется (рис. 63, б). Но добиться такого результата по всей длине шва, особенно в различных пространственных положениях, невозможно. Чаще всего изнутри формируется валик (рис. 63, 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.

Размеры внутреннего валика, выходящего за пределы толщины свариваемых кромок (провара), применительно к сварке неплавящимся электродом принято называть величиной проплавления.

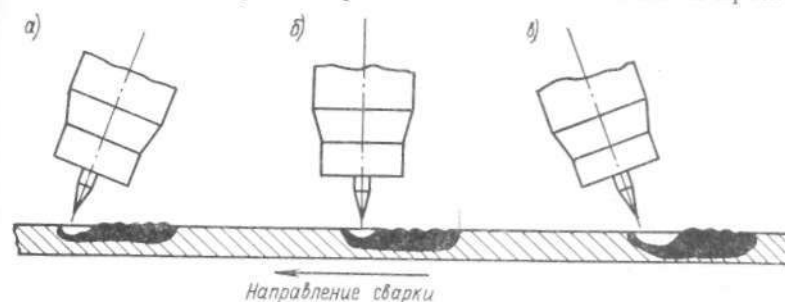


Рис. 64. Влияние наклона электрода на глубину провара.

ления. 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. 64, а) — «углом вперед». Это положение электрода является самым распространенным при сварке всех типов соединений, выполняемых без присадки и с при-



садкой. Расплавленный впереди электрода металл создает подушку, которая препятствует дальнейшему проплавлению.

Наибольшая глубина провара и величина проплавления получают при наклоне электрода по направлению сварки (рис. 64, а) — «углом назад». Расплавленный металл при таком положении электрода под действием дуги «выдувается» из-под

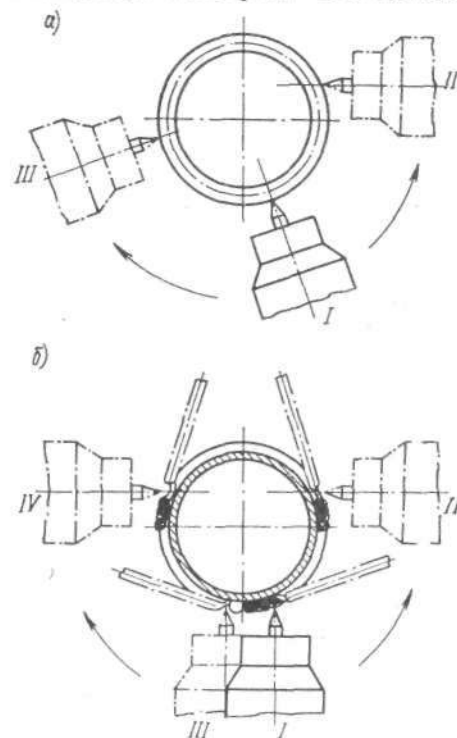


Рис. 65. Изменение положения электрода при ручной аргоно-дуговой сварке неповоротных стыков труб: а — сварка без присадки; б — сварка с присадкой.

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. 65, а). Постепенно переходя от потолочного шва к верхней точке стыка, положение электрода изменяют — отклоняют его от центра трубы вверх (см. рис. 65, а, положение III). Наибольшее отклонение электрода будет в положении II. Положение элек-

трода, освобождая новый участок основного металла.

Вертикальное положение электрода (рис. 64, 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 сказывается на глубину провара. Самостекание расплавленного металла из-под электрода способствует увеличению глубины провара независимо от положения электрода. Правда, в случае, указанном на рис. 64, 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.

трода при сварке того же стыка с присадкой показано на рис. 65, 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 колен (рис. 66). В точке а свариваемые детали менее массивны, чем в б.

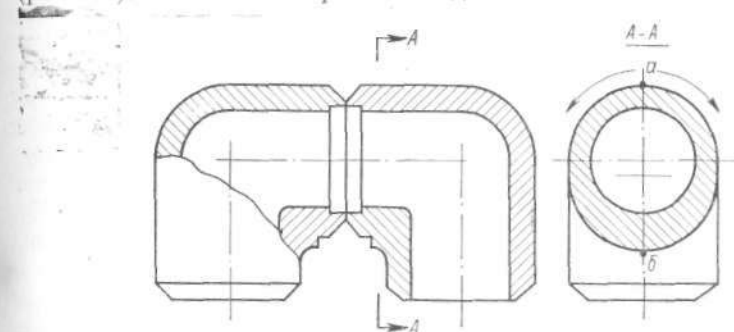


Рис. 66. Сварное соединение с переменным сечением кромок.

Если начать сварку в точке б и не менять силу сварочного тока или скорость сварки, то, по мере приближения к точке а, величина проплавления будет расти. Причина увеличения проплавления — уменьшение теплоотвода от менее массивных свариваемых кромок и, следовательно, более интенсивный нагрев детали. Если при подборе режима сварки взять за основу степень провара в точке а, принять этот режим сварки для всего стыка и начинать сварку в точке б, то здесь получится непровар (рис. 67, а). Правильно будет начинать сварку в точке а и двигаться к б. Нагрев кромок по мере приближения к точке б будет увеличиваться, но постепенно растет и теплоотвод, так как в этой точке детали имеют самое большое сечение. В результате получится равномерное проплавление (рис. 67, б). После выполнения сварки первой половины стыка детали кантуют и выполняют сварку второй половины, начиная с точки а 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 (рис. 68, а). Поверхность валика должна быть светлой, без окисленных участков.

Большое влияние на формирование валика и качество защиты оказывает скорость сварки. При нормальной скорости и хорошем

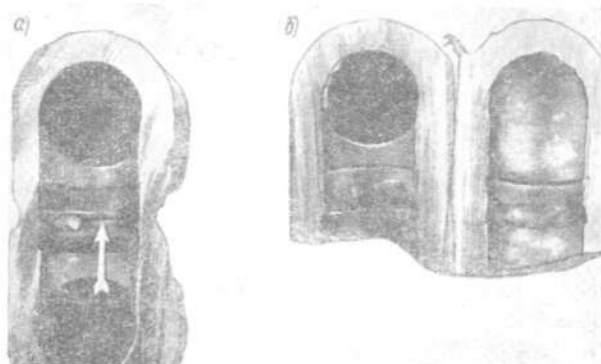


Рис. 67. Внешний вид внутреннего валика на соединении с переменным сечением кромок.

качестве защиты валик имеет плавные очертания (рис. 68, а, б). При неравномерной скорости сварки валик получается бугристым (рис. 68, в). Расплывчатый валик — первый признак пониженной скорости (рис. 69, а). При очень малой скорости сварки «враз-

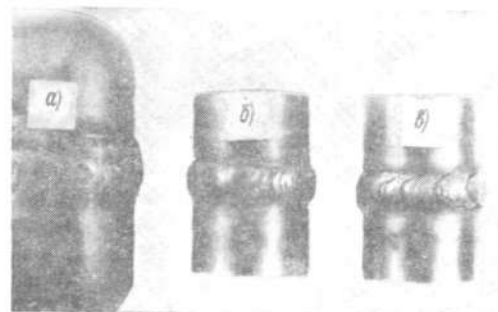


Рис. 68. Внешний вид швов, выполненных ручной аргоно-дуговой сваркой с присадкой: а — многопроходный шов с хорошим формированием валиков; б — однопроходный шов с хорошим формированием валика; в — однопроходный шов с удовлетворительным (бугристым) формированием валика.

мазку» валика как такового нет, металл шва перегревается, а поверхность шва защищена плохо (рис. 69, б). 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-дуговик, когда при заделке кратера он прекращает поступательное движение электрода и укладывает несколько капель расплавленного металла в одном месте.

Техника полуавтоматической сварки неплавящимся электродом в защитных газах аналогична технике ручной аргоно-дуговой 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

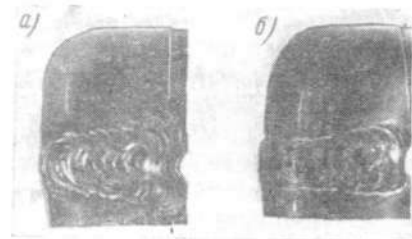


Рис. 69. Внешний вид швов, выполненных ручной аргоно-дуговой сваркой: а — при пониженной скорости сварки; б — при очень малой скорости сварки с перегревом.

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, опертый на присадку, наблюдать за процессом сварки нет надобности. При выполнении коротких горизонтальных и наклонных стыковых и угловых швов полуавтоматом «Заря», 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 полуавтоматической сварки плавящимся электродом в защитных газах по многим особенностям и приемам напоминает технику полуавтоматической 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 желательно 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 (Св-04Х19Н1М3) 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 сталей толщиной свыше 1 мм. Особенно успешно выполняют одностороннюю сварку полуавтоматом ПГТ-2, 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 аргоно-дуговой, после включения защитного газа до зажигания дуги выдерживается время, необходимое для продувки шланга и горелки автомата. Если сваривается ответственная конструкция, 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, регулирования 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

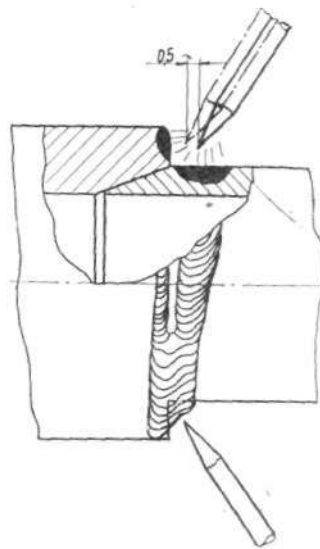


Рис. 70. Несплавление кромок (непровар) в результате смещения электрода.

сварке труб  $12 \times 1$  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 из-за неправильного положения сварочной головки по отношению к трубе также приводит к непровару или несплавлению кромок на значительном участке шва.

На рис. 70 показан случай, когда 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 перекося стыкуемых деталей.

Чтобы избежать непроваров, необходимо пользоваться устройством для автоматического поддержания длины дуги (см. рис. 28) или тщательно отрегулировать копирное устройство и проверить положение электрода относительно линии стыка при холостом движении сварочной головки.

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 регулируют 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 оплавляється, а зазор между ними увеличивается. Наоборот, длительная выдержка в начале процесса ведет к чрезмерному проплавлению самих кромок и непровару, похожему на кратер (рис. 71). Следовательно, с помощью реле времени надо точно отрегулировать выдержку, обеспечивающую нормальное проплавление для каждой толщины свариваемых кромок.

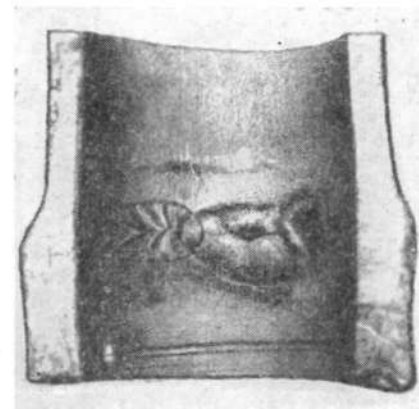


Рис. 71. Внешний вид внутреннего валика с кратером, образовавшимся в результате чрезмерного проплавления кромок в начале сварки.

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 достаточно не нагреется металл 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 про-

ходит 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)

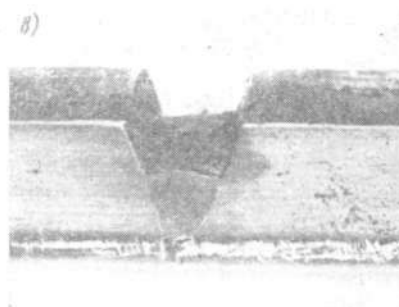
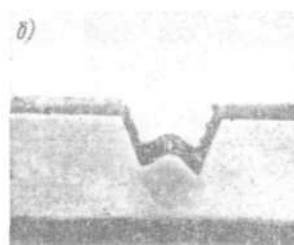
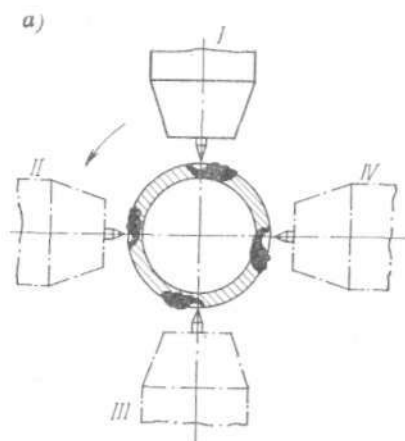


Рис. 72. Изменение характера формирования валика и глубины проплавления в зависимости от положения электрода: а — схема проплавления; б — вид валика на участке II—III (с уменьшающимся проплавлением и натеком); в — вид валика на участке IV—I (с увеличивающимся проплавлением).

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 рис. 72), 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,

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. 72). Наименьшее проплавление получается при сварке в потолочном положении шва. Это объясняется тем, что вес расплавленного металла и давление дуги в нижнем положении

чтобы обеспечить выведение кратера на поверхность шва (рис. 73).

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

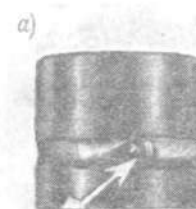
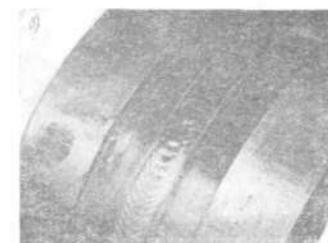


Рис. 73. Окончание сварки соединения труб: а — неправильное (кратер не выведен); б — правильное при обычной аргонодуговой сварке; в — правильное при импульсной аргонодуговой сварке.



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  $1\text{--}2\text{ мм}$ , как дуга тоже увлекается за ней, и шов получается криволинейным. В результате этого может образоваться 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. 74). По внешнему виду это напоминает шов, выполненный импульсной сваркой (см. рис. 73, в). Однако необходимо отметить,

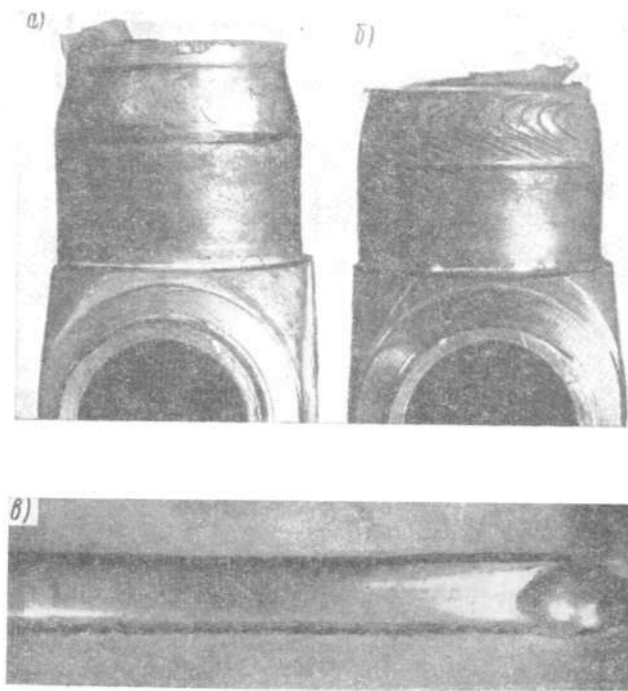


Рис. 74. Внешний вид шва, выполненного с прижатой (а) и «висячей» (б) присадкой на трубах и с прижатой присадкой (в) на листах.

что металл шва здесь получается более плотным, так как ванна поддерживается постоянной и только импульсами плавится (подается) 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 ручной аргоно-дуговой 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 не дослать под электрод (рис. 75, а, I), то основная мощность дуги в начале сварки расходуется на разогрев основного металла. Даже при нормальной выдержке в этом месте образуется чрезмерное проплавление

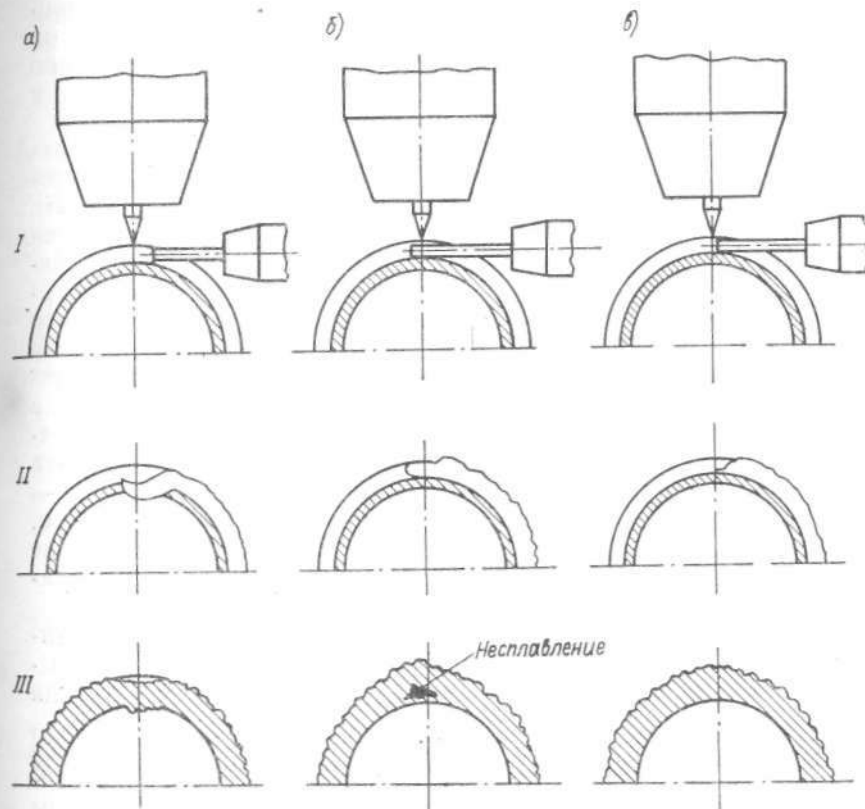


Рис. 75. Положение присадки по отношению к электроду в момент начала сварки: а, б — неправильное положение; в — правильное положение.

I — подготовительный период; II — начало сварки; III — окончание сварки.

(рис. 75, а, II). После окончания сварки появляется оседание металла шва, которое можно исправить только дополнительной подваркой этого участка (рис. 75, а, III).

Выступающий за ось электрода конец присадки (рис. 75, б, I) после расплавления приводит к образованию большой капли (рис. 75, б, II). Размеры капли еще увеличиваются после окончания сварки (рис. 75, б, III). Это ухудшает внешний вид шва, а иногда может привести к образованию дефекта — несплавления.

нию. 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. 75, а, I). При таком положении присадка плавится одновременно с основным металлом. После включения движения сварочной головки количество наплавленного металла увеличивается постепенно (рис. 75, а, II), валик формируется хорошо — нет провалов и несплавлений (рис. 75, а, III).

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 высокого качества 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 толстостенных 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: скоро-

стью подачи проволоки, скоростью сварки и режимом поперечного перемещения электрода, напряжением дуги.

После установки заданных параметров режима сварки необходимо на первом же валике произвести корректировку режима по фактическому формированию шва. Если частота колебаний недостаточна, образуются типичные для этого способа сварки дефекты — несплавления кромки с валиком. Если частота велика, аналогичные дефекты будут наблюдаться в середине шва. Уменьшением ширины валика или изменением режима колебаний можно быстро откоррек-

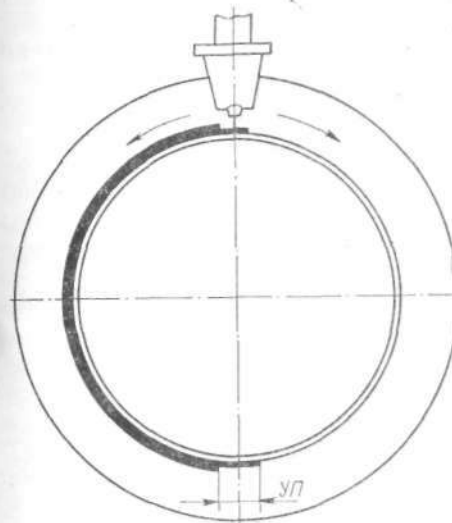


Рис. 76. Схема процесса сварки труб за два полуоборота «на спуск».

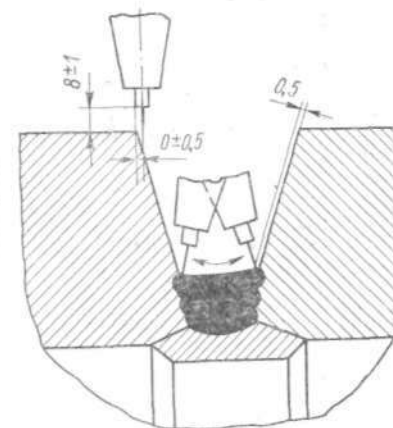


Рис. 77. Схема настройки горелки (с поперечными колебаниями) на кромки свариваемых труб.

тировать режим сварки, который почти не меняют при заполнении разделок глубиной 10—20 мм.

Неповоротные стыки труб сваривают за два полуоборота и, как правило, «на спуск», так как при сварке «на подъем» валик формируется чрезмерно выпуклым и плохо поддается исправлению последующими проходами (рис. 76). Участок перекрытия (УП) вначале и конце каждого полукольцевого валика выполняют на повышенной скорости с тем, чтобы уменьшить наполовину сечение каждого валика, и чтобы общий валик имел одинаковое сечение по всему периметру.

Большое влияние на качество шва оказывает вылет электродной проволоки — отрезок проволоки, выходящий из мундштука. При слишком большом вылете проволока перегревается и стабильность плавления ее снижается. Если очень малый вылет, дуга перескакивает на мундштук, что способствует выходу его из строя, и в шов попадает медь. Оптимальным является вылет

7—9 мм. Рекомендуется периодически проверять правильности установки электродной проволоки и вносить коррективы при настройке на последующий валик.

Настройка горелки на кромку производится так, чтобы на всем периметре стыка отклонение конца электродной проволоки

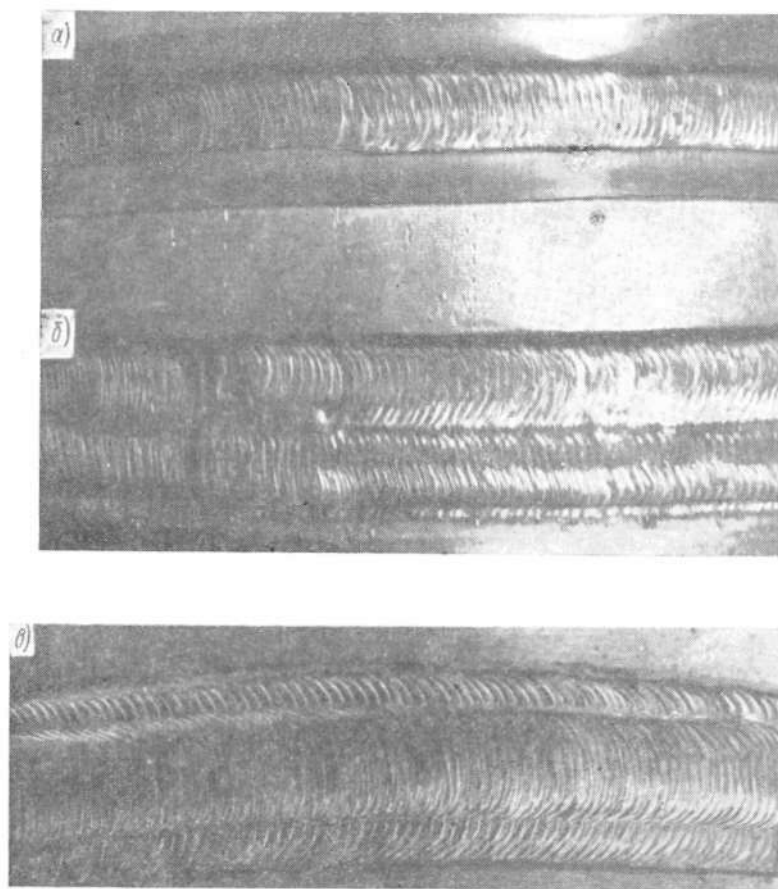


Рис. 78. Внешний вид швов, выполненных плавящимся электродом на соединении с V-образной разделкой кромок: а — валик корневой; б — валики вблизи выхода на поверхность; в — валики завершающие (на усилении шва).

от кромки не превышало 0,5 мм в разделке и 1 мм при выходе из разделки на поверхность при наплавке усиления шва (рис. 77). Отклонения от этих норм могут привести к скрытому несплавлению, выявляемому только при металлографическом исследовании.

Сварку одним валиком на всю ширину разделки рекомендуют лишь для соединений толщиной до 15 мм, когда наибольшая ширина составляет около 20 мм. При большей ширине необходимо переходить на два валика, смещая один относительно другого примерно на треть ширины. Амплитуду качания горелки первого валика в этом случае подбирают такой, чтобы конец электрода не доходил до второй кромки на 5 мм и более. Оставлять более узкую щель нельзя, так как второй валик не войдет в углубление и получится несплавление.

Внешний вид швов, выполненных автоматическим способом плавящимся электродом в защитных газах, показан на рис. 78.

## § 27. Эффективность защиты сварного шва от воздуха

Высокие свойства металла шва, выполненного любым из применяемых способов сварки, можно получить лишь при строгом соблюдении требований по защите расплавленного металла от вредного действия воздуха.

Хром, присутствующий в нержавеющей стали, обладает большим сродством с кислородом. Он активно соединяется с ним (окисляется) при температуре плавления металла. Если не защитить расплавленный металл от вредного действия воздуха, содержание хрома в стали настолько снизится, что сталь потеряет свои высокие антикоррозионные свойства, т. е. станет ржавеющей. Такое состояние может наступить у хромистых сталей типа Х13 после окисления не менее 2% хрома, а у хромистых сталей типа Х17 и хромоникелевых типа 18-8 — после окисления 5% хрома и более.

Характерным признаком окисления хрома при сварке является потеря блеска металла и образование шлаковидной корки на поверхности шва. Черный налет на поверхности валика, плохая отделяемость шлака или окисной пленки при зачистке свидетельствуют о неудовлетворительной защите при сварке.

Эффективность защиты сварочной ванны и формирующегося металла шва при ручной дуговой сварке зависит от качества покрытия электродов и умения сварщика создавать на остывающем металле шва равномерную по сечению пленку шлака. Покрытие считается качественным, если обложка плавится равномерно и почти одновременно со стержнем электрода, если вязкость образовавшегося шлака достаточна, чтобы он удерживался на расплавленном металле, и содержание влаги в обложке не превышает допустимого количества. Сечение или толщина пленки шлака зависит от пространственного положения шва, длины дуги, скорости сварки и геометрии валика и прилегающих кромок основного металла.

Шлак растекается равномерно по всей поверхности валика только при выполнении шва в нижнем положении с разделкой

кромки или без нее (рис. 79, а). На валике, наплавляемом на наклонной плоскости, уже заметно стекание шлака и утонение пленки над выпуклой частью (серединой) валика. Еще тоньше пленка шлака над серединой валика образуется при выполнении вертикальных швов (рис. 79, б). Это происходит из-за вынужденной манипуляции электродом поперек шва с тем, чтобы удержать жидкий металл на весу. Сварщик вынужден резко «уходить» от одного края валика к другому, иначе металл (и шлак) потечет от

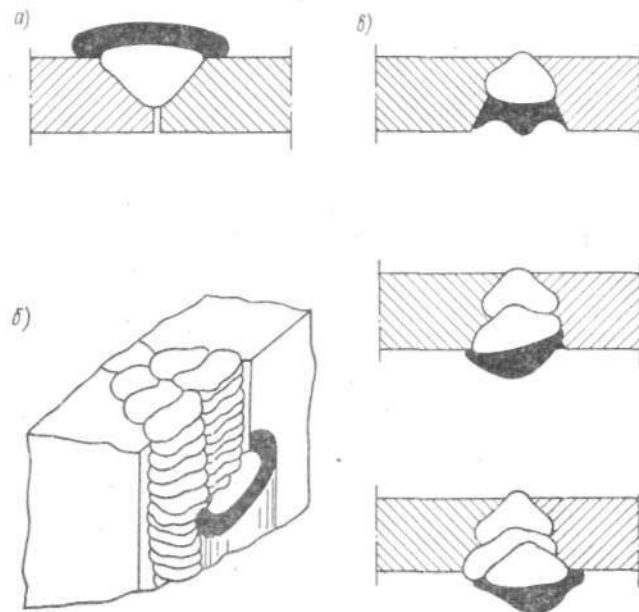


Рис. 79. Изменение толщины защитной шлаковой пленки при ручной дуговой сварке в зависимости от пространственного положения шва.

чрезмерного нагрева. Большая скорость передвижения конца электрода, а следовательно, и жидкого шлака приводит к заметному уменьшению количества шлака на середине и увеличению его по краям валика.

При выполнении швов в потолочном положении стекание шлака происходит от краев к середине (рис. 79, в). Наилучшие условия для защиты потолочного валика наблюдаются при сварке деталей с разделанными кромками, наихудшие — при выполнении завершающего валика (с разделкой кромок) или вообще при наплавке на поверхность (без разделки).

Следовательно, в каждом отдельном случае сварщик должен учитывать специфику сварного соединения и, зная особенности растекания шлака по поверхности, изменять технику сварки так,

чтобы обеспечить по возможности более равномерное покрытие металла шлаком, т. е. создавать наилучшую изоляцию расплавленного металла от вредного действия воздуха.

Эффективность защиты сварочной ванны и остывающего металла шва при автоматической и полуавтоматической сварке под флю-

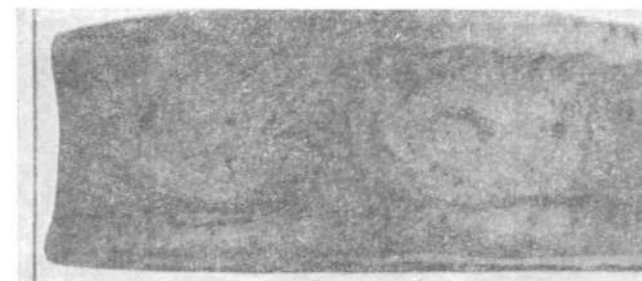


Рис. 80. Внешний вид шва, выполненного автоматической сваркой под влажным флюсом (темные точки — поры).

сом зависит от качества флюса и точности выполнения всех рекомендаций по технике и технологии процесса. Сварке под флюсом обычно подлежат изделия, имеющие швы на горизонтальной плоскости, где флюс легко удерживается. Если флюс предвари-

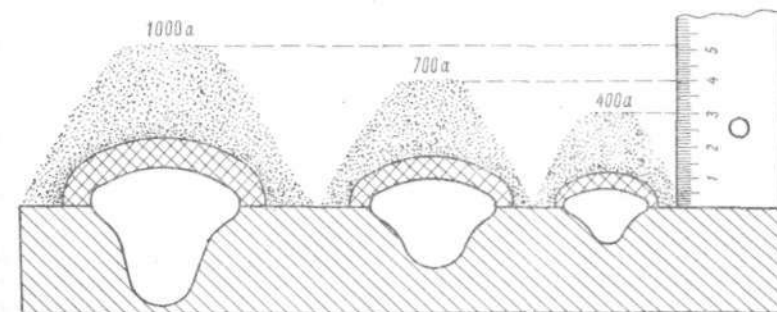


Рис. 81. Зависимость толщины слоя флюса от величины сварочного тока.

тельно прокален и выполняются меры предосторожности против увлажнения его, то швы получаются высокого качества. Если же флюс влажный, в металле шва образуются поры не только внутренние, но иногда и наружные, хорошо обнаруживаемые невооруженным глазом (рис. 80).

Устанавливая режим сварки, нельзя забывать, что для различной силы тока нужна разная толщина слоя флюса (рис. 81), обеспечивающая качественную защиту расплавленного металла от воздуха.



Внутренние и наружные кольцевые швы на обечайках большого диаметра (более 1000 мм) можно качественно защитить от воздуха при соблюдении требований, предъявляемых к листовым конструкциям, имеющим швы на горизонтальной плоскости. Смещение электрода от вертикальной оси в любую сторону не влияет на качество защиты, так как флюс при такой кривизне изделия начинает сыпаться с остывающего шва уже при затвердевшей корке шлака.

На кольцевых швах, вращающихся при сварке изделий диаметром менее 1000 мм в зависимости от режима сварки (тока и скорости), необходимо следить за величиной смещения электрода

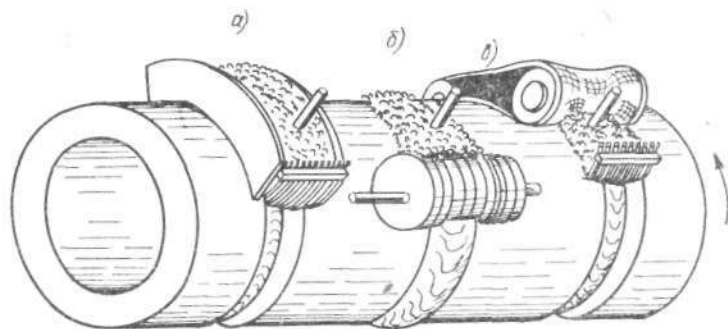


Рис. 82. Устройства для удержания флюса при сварке кольцевых швов малого диаметра: а — коробочка; б — катки; в — гусеница.

и по возможности уменьшать ее. В практике были отмечены случаи ухудшения защиты при значительном смещении электрода с целью увеличения глубины проплавления за счет стекания металла и шлака.

Защитить кольцевой шов на вращающейся детали диаметром менее 200 мм без специальных дополнительных устройств невозможно. Чтобы образовалась шлаковая корка, жидкий металл и шлак некоторое время должны быть либо неподвижны, либо двигаться с одинаковой скоростью. Без принудительного удержания флюса и шлака получить удовлетворительную защиту можно лишь на очень малой скорости сварки и силе тока.

Известны три типа устройств для удержания флюса; коробочка, катки и гусеница (рис. 82). Коробочка имеет три стенки — две боковые и переднюю. Передняя стенка должна быть подвижной или иметь в нижней части щетку или пружинящие пластины, которые поднимаются и опускаются при соприкосновении с неровностями (ранее выполненный шов). Избыточный флюс сыпается в флюсоприемник, установленный под свариваемыми деталями. Недостаток коробочки — отсутствие универсальности (для каждой детали требуется определенная кривизна кромок коробочки).

Если деталь имеет диаметр менее 150 мм, в коробочке скапливается расплавленный шлак, который трудно удалить в процессе сварки.

Катки лишены указанных недостатков, так как кривизна детали не влияет на их работоспособность.

Катки — это набор роликов диаметром 30—40 мм, шириной 5—8 мм, изготовленных из асбестоцемента или другого теплостойкого материала. Отверстие для оси в роликах следует сверлить не по центру, а со смещением на 3—5 мм. Благодаря такому смещению ролики «реагируют» на неровности (фаску или ранее выполненный шов).

При сварке деталей диаметром менее 150 мм, когда необходимо удержать не только флюс, но и расплавленный шлак, лучше всего применять гусеницу. Прижимаясь к изделию с помощью пружины, лента из асбестовой ткани надежно удерживает флюс и шлак. Чтобы предохранить ткань от непосредственного касания к расплавленному шлаку, следует увеличить количество насыпаемого флюса. Ролики, на которые надета асбестовая ткань, имеют выемку, благодаря которой лента «реагирует» на неровности (выпуклости) шва.

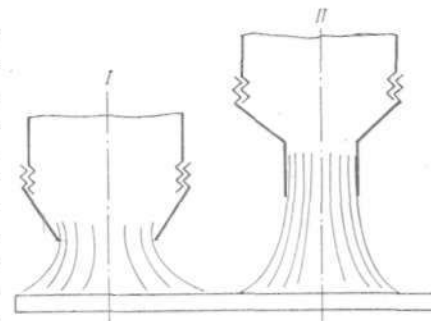


Рис. 83. Форма сопел для сварки в среде защитных газов.

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, сужающуюся или расширяющуюся конуса, овальную, щелевую и др. Широко применяется форма, показанная на рис. 83.

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 обеспе-

чивается на расстоянии не более 10 мм от торца сопла. Плотность газовой струи на большем расстоянии уменьшается и становится недостаточной для защиты от воздуха. Сопло формы I устанавливается на горелках для автоматической и ручной аргоно-дуговой сварки легкодоступных 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

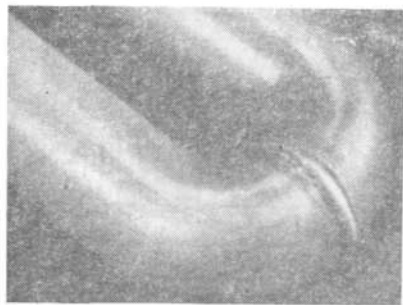


Рис. 84. «Носковое» соединение труб с труднодоступным для сварки и трудным для защиты участком шва.

в труднодоступных местах. Например, сварку «носкового» соединения из труб (рис. 84) 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 расхода газа.

При аргоно-дуговой 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 равным 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.

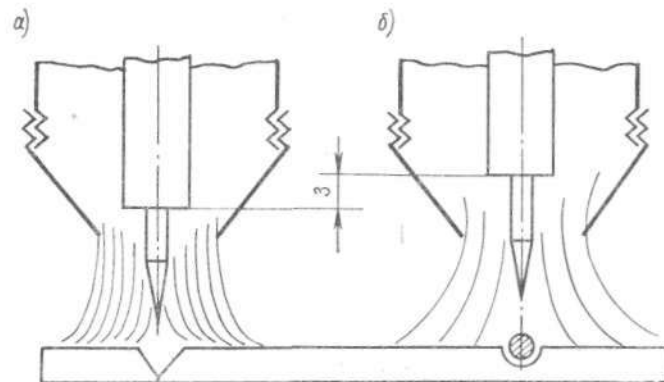


Рис. 85. Влияние положения цанги на эффективность защиты.

При сварке без присадки электрод устанавливается обычно на высоте 1—2 мм от поверхности изделия (рис. 85, а). Если используется присадка, электрод приподнимают на высоту 3—4 мм над изделием (рис. 85, 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.

Можно полностью избавиться от необходимости фиксации цанги и электрода, если применять бочкообразное сопло (рис. 86, 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. 86, 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 диаметром 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

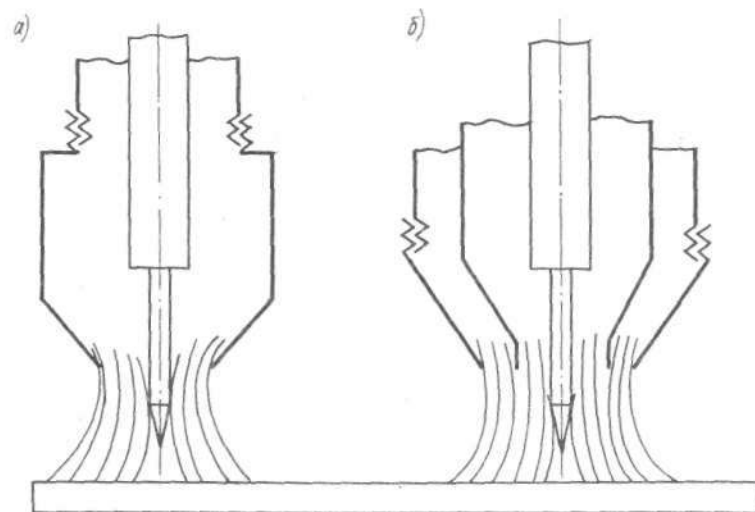


Рис. 86. Форма сопла, исключающая влияние положения цанги на эффективность защиты.

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 прорезы 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 в цанге, 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. Характер-

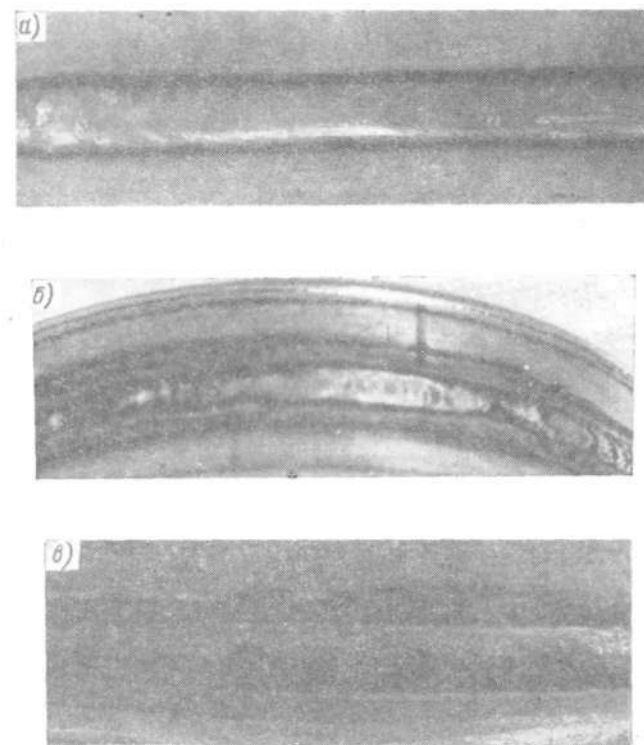


Рис. 87. Внешний вид швов с различной защитой от воздуха: а — хорошая защита при сварке в стык бескосого соединения; б — удовлетворительная защита при сварке стыкового соединения труб с присадкой; в — плохая защита при сварке листов.

ными признаками ухудшения защиты является губчатое формирование валика, серый налет, желтые пятна и цепочка открытых пор на черной поверхности шва (рис. 87).

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

Защита улучшается, если сварку выполнять по уложенной в разделку присадке (прутка — для плоских соединений и 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 дви-

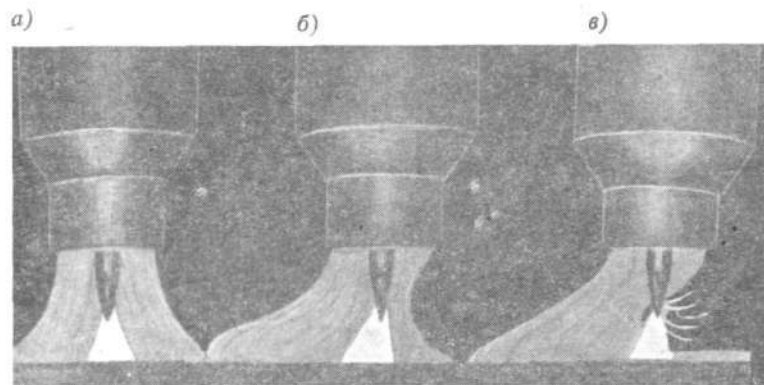


Рис. 88. Влияние скорости сварки на эффективность газовой защиты: а) — нормальная; б — повышенная; в) — недопустимо высокая скорость сварки.

жения или изменения скорости сварки нарушают спокойное истечение газа (рис. 88). В результате нагретые участки шва и электрода могут оказаться в среде воздуха и мгновенно окислиться.

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 аргоно-дуговой 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 обеспечит 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. 89 показаны четыре типа сварных соединений, наиболее часто встречающихся в практике. Для сварки в глубокой разделке (рис. 89, 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.

На плоском соединении без фаски (рис. 89, 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. 89, в) и особенно — листов углом наружу (рис. 89, г).

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. 90) позволяют значительно улучшить качество защиты с одновременным уменьшением расхода газа в 1,5 раза. Вместо экранирующих пластинок при сварке труб можно применять съемную камеру (рис. 91).

Качество защиты металла шва при сварке плавящимся электродом может быть значительно улучшено, если горелку снабдить дополнительным устройством (приставкой), которое крепится на

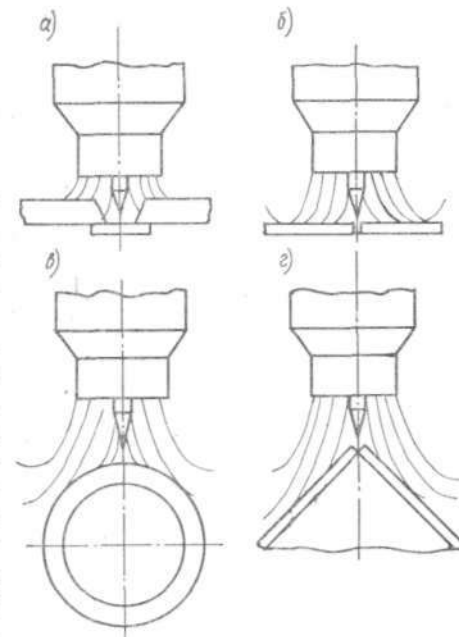


Рис. 89. Влияние вида соединения и формы изделия на эффективность газовой защиты.



сопло. Отверстия в приставке необходимо расположить так, чтобы обеспечивалась наиболее эффективная для данного соединения защита (рис. 92). Расход газа, подаваемого в приставку, подбирается опытным путем.

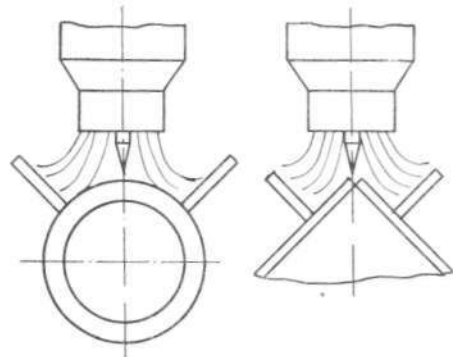


Рис. 90. Применение отражающих экранов для повышенной эффективности газовой защиты.

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 сапжок — устройство типа раструба, кромки которого касаются изделия, и защитный газ не отдувается потоками воздуха, а удерживается на неостывших участках. Конфигурацию сапжков выбирают в зависимости от очертания 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

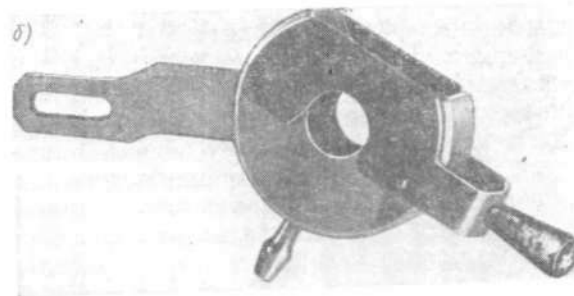


Рис. 91. Съемные камеры для дополнительной защиты при сварке стыков труб: а — для автоматической сварки; б — для ручной сварки.

(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.

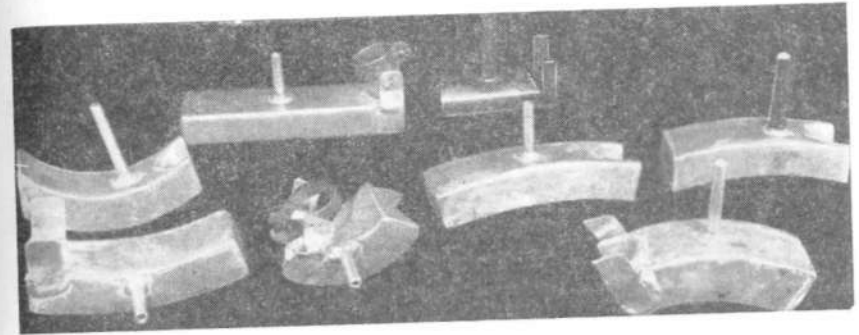


Рис. 92. Приставки для дополнительной защиты стыковых и угловых швов на плоских конструкциях и трубах.

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).

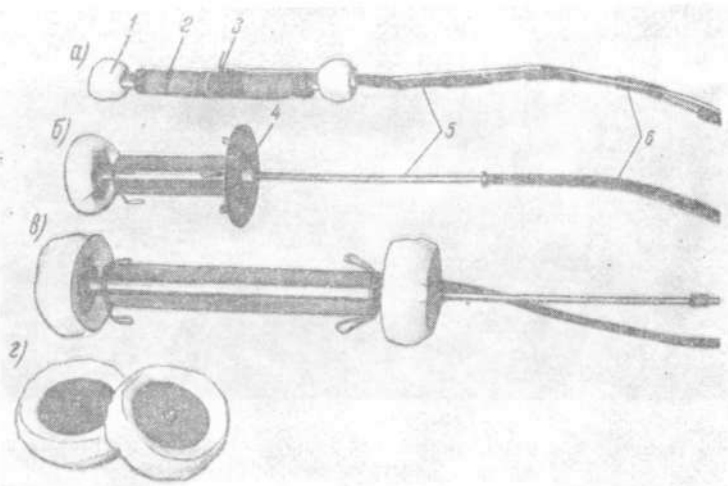


Рис. 93. Защитные устройства для экономичного поддува: а — с гибкой балластной емкостью для криволинейных труб; б — с жесткой емкостью небольшой длины для концевой арматуры и криволинейных труб; в — с жесткой емкостью для стыков на прямолинейных трубах; г — запасные шайбы для труб большого диаметра.

1 — шайбы пенополиуретановые; 2 — емкость балластная; 3 — контакт сигнального устройства; 4 — заглушка металлическая; 5 — трубка металлическая; 6 — трубка резиновая.

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. 93, является универсальным, пригодным для прямолинейных и криволинейных труб, для приварки концевой арматуры и сварки отростков, отводов и патрубков. Заглушками здесь являются шайбы из теплоустойчивого пенополиуретана (поролон). Балластная емкость служит связующим звеном между шайбами и одновременно

заполнителем объема продуваемой полости. Эта емкость может быть гибкой или жесткой.

Гибкая емкость изготавливается 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. 93, б и рис. 94). Для защиты швов на сты-

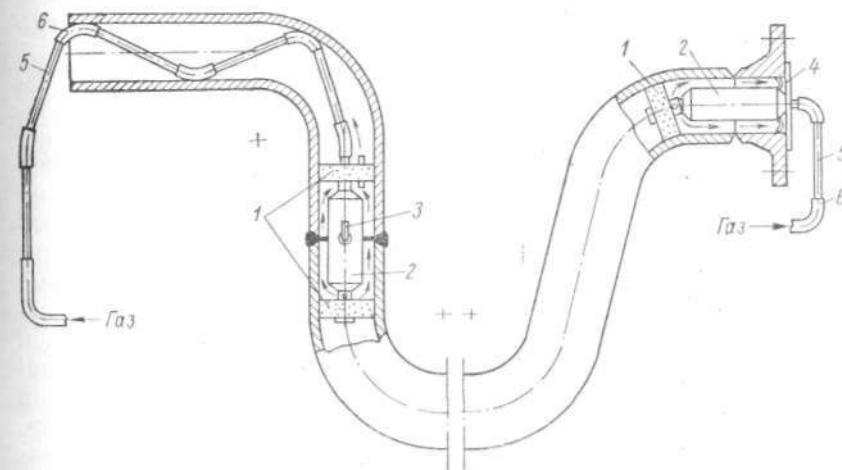


Рис. 94. Схема использования защитных устройств для экономичного поддува.

1 — шайбы пенополиуретановые; 2 — емкость балластная; 3 — контакт сигнального устройства; 4 — заглушка металлическая; 5 — трубка металлическая; 6 — трубка резиновая.

ковых 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.

## § 28. Напряжения и деформации от сварки

Дуговая сварка металлов и сплавов характеризуется неравномерным нагревом материалов. Непосредственно примыкающая ко шву зона основного металла подвергается нагреву до  $1500^{\circ}\text{C}$ . Охлаждение сопровождается изменением прочностных характеристик всех сталей. Особенно сильно изменяется предел текучести (в среднем, вдвое) и предел прочности, который выше  $1000^{\circ}\text{C}$  не превышает  $5 \text{ кг/мм}^2$ . Поскольку при расчете конструкций на прочность определяющим критерием является предел текучести как характеристика

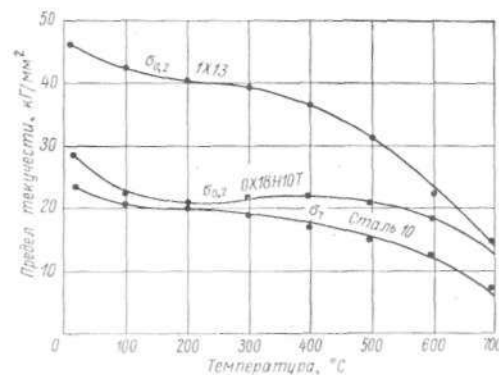


Рис. 95. Изменение предела текучести сталей в зависимости от температуры.

упругих свойств металла, в дальнейшем целесообразно рассматривать изменение лишь этой характеристики. На рис. 95 представлен характер изменения предела текучести в зависимости от температуры для трех сталей. Кривые показывают тот предел напряжений в металле при соответствующей температуре, после достижения которого металл «потечет», т. е. его сопротивление на-

грузке уменьшится. Причиной напряжений могут быть внешняя (рабочая) нагрузка или внутренние изменения, обусловленные неравномерным остыванием изделия. Напряжения от внутренних нагрузок иногда могут достигать величины предела текучести. Расчет конструкции производят с учетом коэффициента безопасности или запаса прочности, который определяется как отношение предела текучести к допускаемому напряжению —  $\sigma_{\text{доп}}$ . При выборе  $\sigma_{\text{доп}}$  учитывают условия работы, изготовления и другие факторы, но не учитывают наличие собственных внутренних напряжений в элементах сварного узла.

Внутренние напряжения возникают из-за неодинаковой деформации в различных точках изделия. Неоднородность деформации изделия может произойти по разным причинам: поверхностный наклеп при обработке, внутреннее давление в толстостенных трубах, изгиб пластин. Возможно неодинаковое тепловое расширение или сжатие при быстром и неравномерном нагреве или охлаждении.

В некоторых случаях деталь подвергается наклепу и нагреву (от трения) одновременно, например при волочении проволоки. Это вызывает неодинаковые по сечению деформации. Даже мягкая проволока после волочения становится жесткой и пружинящей, что свидетельствует о ее напряженном состоянии.

Неоднородные объемные изменения вследствие структурных превращений при охлаждении могут быть причиной возникновения структурных напряжений, особенно в процессе распада аустенита на мартенсит, сопровождающегося изменением объема.

Внутренние напряжения вовсе не возникали бы, если бы деформация (наклеп, волочение, изгиб, тепловое расширение или сжатие) происходила одновременно по всему сечению (во всех точках) изделия и была бы одинаковой по величине.

Характерной особенностью собственных напряжений является то, что они образуют систему сил, взаимно уравновешенных. Это значит, что растягивающие усилия уравновешиваются сжимающими. Местные внутренние напряжения не снижают статической прочности узла (при равномерном и постепенном нагружении), зато под действием динамической нагрузки (удар, резкий отрыв и т. п.) они суммируются с  $\sigma_t$  и снижают прочность металла.

В зависимости от продолжительности действия напряжения разделяют на временные (тепловые) и остаточные (усадочные).

Временные внутренние напряжения после остывания свариваемого узла исчезают и поэтому они не вызывают видимых изменений в швах и на изделии в целом. Остаточные напряжения представляют для нас больший интерес, так как они могут вызвать изменения формы изделия и снизить работоспособность сварного узла. Например, высокие остаточные напряжения в околошовной зоне и наличие пластической деформации металла на этом участке часто приводят к возникновению в околошовной зоне макротрещин — так называемых локальных разрушений. Эти трещины в отличие от других расположены рядом со швом, на расстоянии  $0,2\text{--}0,5 \text{ мм}$  от линии сплавления.

Остаточные напряжения могут быть растягивающими и сжимающими. Они являются вредными, если складываются с напряжениями от рабочих нагрузок, или полезными, если являются обратными по знаку и повышают конструктивную прочность сварного узла, т. е. предел текучести. Для тонкостенных деталей и узлов и растягивающие, и сжимающие напряжения являются вредными.

Для уменьшения напряженности в сварном узле в процессе изготовления применяют конструктивные и технологические меры. Конструктивные меры сводятся к изучению и правильному (симметричному) расположению швов на изделии, технологические — к последовательности наложения швов (валиков), выбору и соблюдению режимов сварки и др. Существуют технологические меры к исправлению уже сваренного узла. Известно, что вблизи остывшего шва обычно возникают параллельные ему растягивающие напряжения, а на некотором расстоянии от шва — сжимающие остаточные напряжения.

Возможны случаи чрезмерной концентрации растягивающих напряжений в замкнутых, контурных соединениях: горловинах,

стаканах, люках и т. п. Можно заметно снизить эту опасную концентрацию путем наложения валика на середину шва таким образом, что в зоне концентрации растягивающих напряжений возникнут сжимающие остаточные напряжения. В результате такой технологической меры сопротивление разрушению детали значительно повысится. Для создания сжимающих напряжений на поверхности применяют также наклеп — поверхностное уплотнение проковкой, дробеструйной обработкой и т. п. При поверхностном уплотнении уменьшается вероятность образования трещин и увеличивается сопротивление коррозии под напряжением, особенно, если до уплотнения на поверхности существовали растягивающие напряжения.

Создавать сжимающие напряжения на поверхности детали можно также путем быстрого охлаждения после сварки, создания предварительного натяга и т. п.

По отношению к линии нагрева (оси шва) напряжения делят на продольные и поперечные.

Изменение формы и размеров твердого тела под действием внутренних или внешних сил называется деформацией. Процессы деформации и разрушений определяются в первую очередь величиной и характером напряжений.

Деформации могут происходить по двум причинам: 1) внутреннее воздействие вследствие нагрева или охлаждения; 2) внешнее силовое воздействие, под влиянием которого элемент (узел) испытывает растяжение или сжатие.

Деформации связаны с возникающими напряжениями и по обратимости могут быть разделены на упругие (обратимые) и пластические (необратимые). Выражают эти деформации в относительных единицах. Так, тепловая деформация при равномерном нагреве определяется в зависимости от температуры:

$$\lambda = \alpha \cdot T,$$

где  $\lambda$  — тепловая деформация;

$\alpha$  — коэффициент линейного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ .

Если подсчитать тепловую деформацию при  $600^\circ\text{C}$  для различных сталей, то легко убедиться, что хромоникелевая сталь типа 18-8 проявляет наибольшую склонность к деформированию от нагрева (табл. 30). Следовательно, чем больше коэффициент линейного расширения металла и чем выше нагрев, тем больше будет деформация.

Внешняя деформация может проявляться в виде изгиба, укорочения, кручения и углового искажения, как местного, так и общего. В зависимости от характера проявления формоизменения принято разделять на деформации в плоскости элемента и деформации с отклонением от плоскости (коробление).

Возникновение и действие напряжений и деформаций, а также их характеристики лучше всего продемонстрировать на случае

нагрева пластины, имитирующей участок поверхности металла, нагреваемого при сварке. Нагревание пластины до невысокой температуры (ниже  $600^\circ\text{C}$ ) сопровождается появлением в ней только временных внутренних напряжений и деформаций. В этом случае после охлаждения пластины внутренние напряжения и деформации исчезнут. Видимых изменений в пластине не произойдет.

Если ту же, но сжатую в тисках горизонтально (на ребро), пластину нагреть до более высокой температуры, в ней возникнут большие внутренние напряжения. Они вызовут большие упругие и пластические деформации, так как тиски не позволяют

Таблица 30

Значение тепловой деформации для различных сталей

Марка стали	Температура нагрева, $^\circ\text{C}$	Коэффициент линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$	Тепловая деформация, %
Ст.3	600	$12 \cdot 10^{-6}$	0,72
0X18N10T	600	$17 \cdot 10^{-6}$	1,02
1X13	600	$10,1 \cdot 10^{-6}$	0,61

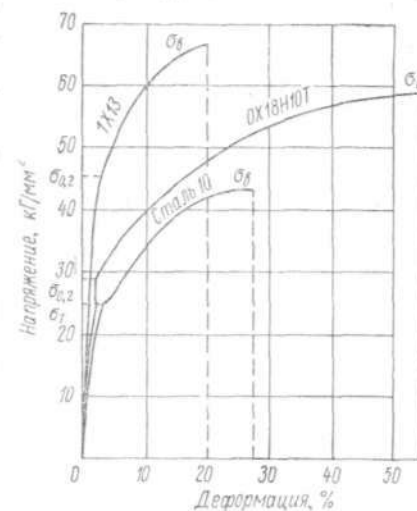


Рис. 96. Пластические свойства сталей, выявляемые деформацией растяжения.

пластине свободно удлиняться. После остывания пластины упругие деформации исчезнут, а пластические (сжатия) останутся. Деформированная пластина станет короче настолько, что выпадет из тисков.

Величина пластической (остаточной) деформации в момент разрушения, выраженная в удлинении, считается мерой пластичности материала. Чем она больше, тем пластичнее металл. При сопоставлении пластических свойств нержавеющей стали (хромистой и хромоникелевой) с малоуглеродистой сталью (рис. 96) видно, что запас пластичности у стали 0X18N10T и малоуглеродистой больше, чем у стали 1X13.

В отличие от рассмотренного примера при сварке детали нагреваются неравномерно по сечению. Роль тисков (закреплений) выполняет ненагретый металл, расположенный рядом со швом, а также жесткость свариваемого изделия. Нагрев металла в зоне сварки всегда вызывает пластические (остаточные) дефор-



мации, т. е. деформации, которые остаются в сварной конструкции после остывания места сварки.

Чтобы уменьшить напряжения и деформации от сварки, необходимо знать основные причины их возникновения. Для этого рассмотрим простейший случай сварки.

Если на кромку полосы наплавить валик или к полосе на ребро приварить узкую полосу (тавровое соединение), то легко

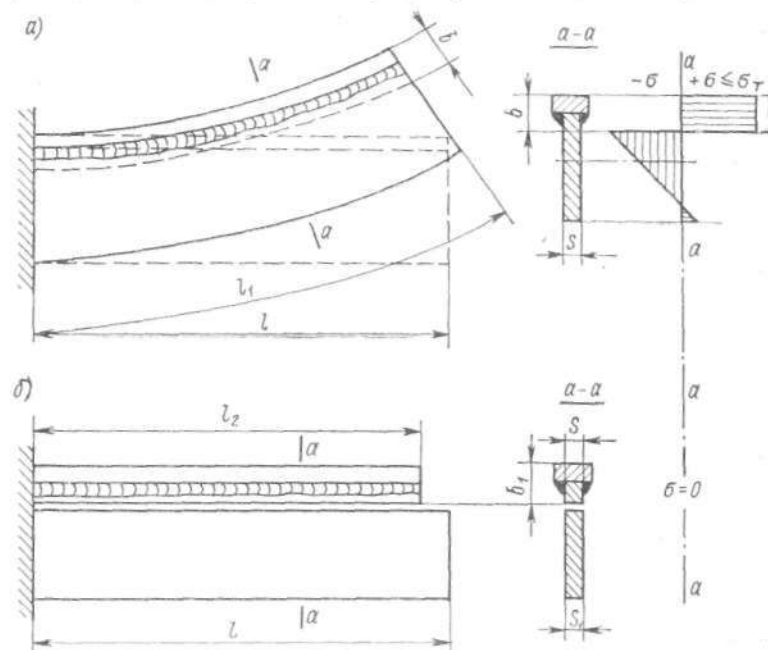


Рис. 97. Деформация и напряжения при наплавке валика на кромку (или при сварке полосы с ребром): *a* — состояние образца (изделия) после сварки; *b* — состояние после разрезки по линии, где напряжения меняют знак ( $+\sigma$  на  $-\sigma$ ).

убедиться, что степень нагрева различных участков сечения неодинакова (рис. 97). При нагреве свариваемые детали мешали друг другу свободно удлиняться, а при охлаждении — свободно сокращаться. Если бы полосы были абсолютно жесткими (очень большая толщина или закрепление концов), в них возникли бы после охлаждения максимальные остаточные напряжения растяжения. Но концы элементов на практике часто не закреплены, толщина их относительно невелика, и потому возникающие в свариваемом узле напряжения уменьшаются вследствие укорочения или изгиба (на ребро). Металл в зоне шириной *b* нагревается приблизительно одинаково и находится под действием температур выше  $600^\circ\text{C}$  значительно дольше, чем металл пластины (ребра),

расположенной ниже зоны *b*. Следовательно, и пластическая деформация в этой зоне будет больше, а напряжения растяжения ( $+\sigma$ ) после охлаждения могут достигнуть величины предела текучести  $\sigma_T$ . В свариваемом узле возникнут внутренние напряжения, уравновешенные в каждом сечении, т. е. схематически площадь эпюры  $+\sigma$  равна площади эпюры  $-\sigma$ . После охлаждения длина верхней части узла, подвергнувшейся наибольшему нагреву, уменьшится вследствие деформации изгиба. Длина нижней части соответственно увеличится ( $l_1 > l$ ).

Если отрезать узкую, более нагретую часть, то обе полосы (широкая и узкая) распрямятся. Длина широкой полосы будет равна первоначальной, а узкой — уменьшится, но толщина ее увеличится, т. е.  $s_1 > s$ ;  $b_1 > b$ ;  $l_2 < l$ . Это формоизменение (укорочение—изгиб) является следствием остаточных напряжений растяжения в нагретой части свариваемых полос, возникших вследствие стремления нагретой зоны сократиться из-за пластической деформации сжатия в зоне *b*. Если затем узел разрезать, напряжения в любом сечении каждой части исчезнут ( $\sigma = 0$ ), но налицо будет остаточная деформация укорочения той зоны, в которой нагрев вызвал пластическую деформацию сжатия.

При наплавке валика на плоскость пластины посередине ее ширины (рис. 98) пластина получит не только продольную (окажется короче) и поперечную (станет более узкой) деформации, но также и изгиб (коробление).

Сварка стыковых и угловых соединений вызывает угловые деформации, которые являются результатом действия неодинакового по сечению шва и нагретой зоны поперечного укорочения.

Остаточные деформации свариваемых изделий зависят от свойств металла, жесткости конструкции, режима сварки, вида сварного соединения и технологической последовательности выполнения швов. Наиболее эффективно с ними можно бороться на стадии проектирования. Как отмечалось выше, меры борьбы делятся на конструктивные и технологические.

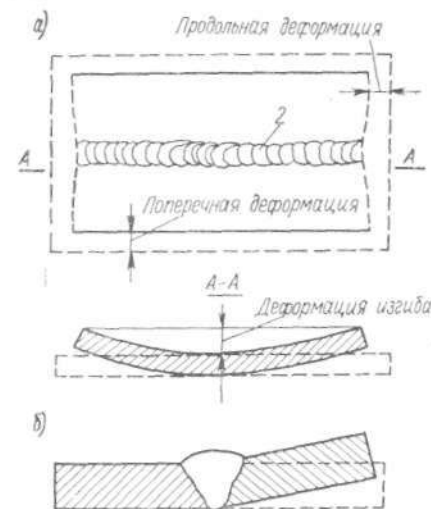


Рис. 98. Виды деформаций от швов на пластине: *a* — деформация укорочения и изгиба при симметричном расположении шва на пластине; *b* — угловая деформация при сварке с V-образной разделкой кромок.

К конструктивным мероприятиям относятся: правильность подбора материала по толщине, габаритам листов; симметричность расположения швов относительно центральных осей продольного и поперечного сечений узла; назначение минимально возможных калибров шва, прерывистых швов вместо сплошных и т. п.

К технологическим мероприятиям по уменьшению сварочных деформаций относятся: выполнение требований по применению заданного материала; обработка в точном соответствии с требованием чертежа (резка, гибка, рихтовка, обработка фасок и др.); соблюдение режимов сварки и калибров швов; правильность заполнения разделки; соблюдение последовательности выполнения сварки соединений (всегда в первую очередь должны свариваться соединения, получающие наибольшие поперечные укорочения); закрепление свариваемых деталей в кондукторах, постелях и т. п.; установка фальшребер; применение предварительного выгиба.

Если после выполнения сварки остаточная деформация превышает допустимые нормы, сварной узел следует подвергнуть правке. Правка узлов из нержавеющей сталей может осуществляться на прессах, в вальцах, с помощью домкратов и ударами свинцовыми кувалдами. Применять для правки обычные кувалды недопустимо из-за появления местного наклепа и потери пластичности металла в местах ударов.

На рис. 99, а показан элемент экрана котельного агрегата. Элемент состоит из листа (сталь 1Х13) и двух планок с отверстиями для болтов. Собранные с помощью болтов несколько таких элементов составляют экран. Чтобы качественно приварить лист толщиной 1 мм к толстой планке, на последней сделана канавка.

Если сборка выполнена правильно (сечение А-А), для сварки такого соединения потребуется небольшой силы сварочный ток. Элемент экрана при этом деформируется незначительно и это не отразится на качестве конструкции. Если сборка выполнена плохо (сечение А'-А'), сварку такого соединения необходимо выполнять с присадкой, а следовательно, при большей силе сварочного тока. Количество наплавленного металла увеличится в 2—3 раза. Планка изогнется, а отверстия сместятся так, что собрать этот элемент с другими можно будет только после трудоемкой рихтовки.

Рассмотренный нами сварной элемент экрана является простой конструкцией, в которой явно проявилась деформация в виде изгиба. После рихтовки видимая деформация уменьшается, но зато увеличиваются внутренние пластические деформации, и когда запас пластичности данного материала будет исчерпан, могут появиться трещины.

В практике чаще приходится иметь дело со сложными конструкциями с различным расположением швов на деталях. Конструкции из нержавеющей сталей в большинстве своем состоят из листов, труб, фланцев, патрубков и кованых деталей: переходников, тройников, колен, корпусов клапанов и др.

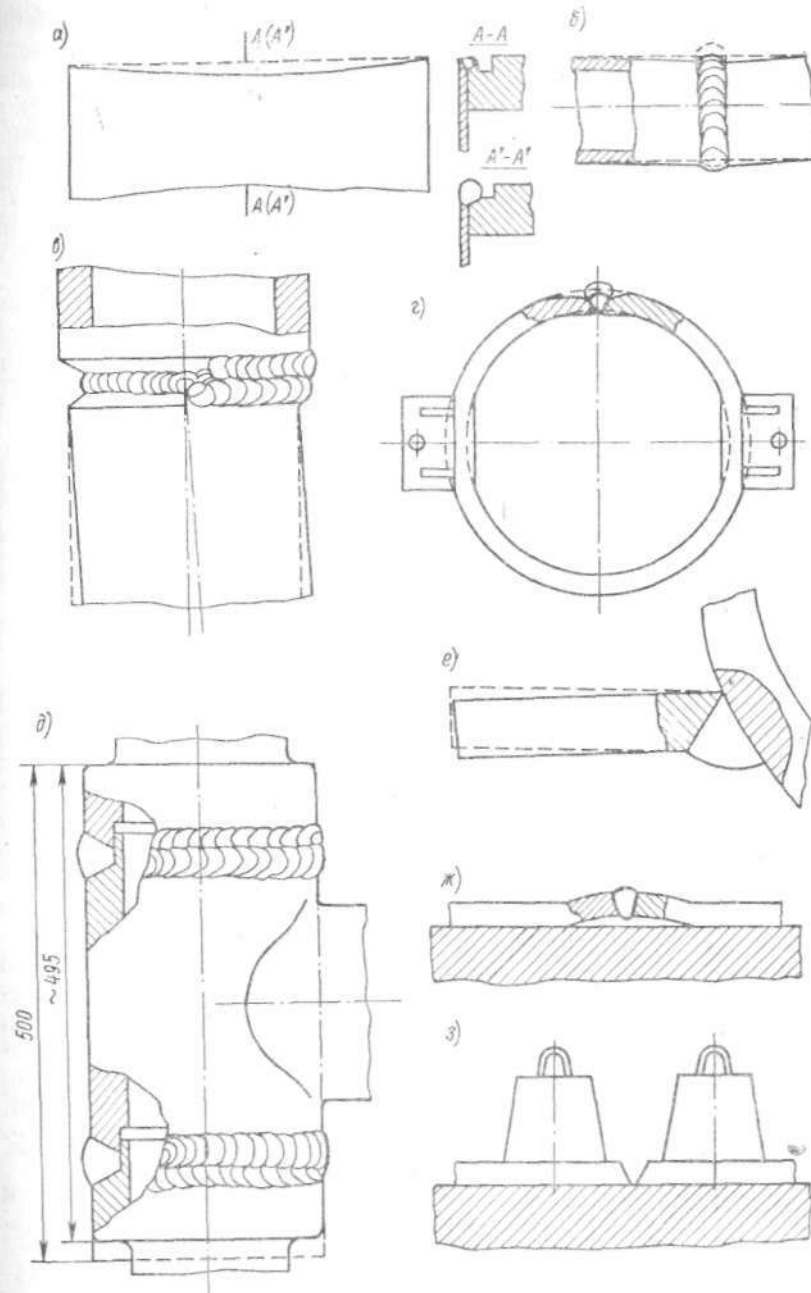


Рис. 99. Деформация различных конструкций из нержавеющей сталей.

При сварке труб (рис. 99, б) наблюдается излом их оси в районе шва. Направление излома всегда противоположно месту начала сварки. Причиной этого явления является одновременное выполнение сварки по длине стыка. Чтобы уменьшить излом, рекомендуется закреплять трубы. Если стык труб сваривается автоматическим способом за несколько проходов, необходимо менять место начала сварки первых двух проходов. Монтажный стык труб следует начинать с потолочного шва. При многопроходной сварке диаметр трубы в районе шва уменьшается вследствие продольного укорочения шва и угловых деформаций кольцевого шва.

Выполняя ручную сварку стыка труб многослойными швами короткими участками, необходимо следить за тем, чтобы разделка заполнялась постепенно по всей длине. Это особенно важно при заполнении глубоких разделок. Например, приваривая трубу к жестко закрепленному штуцеру (рис. 99, в), валики следует накладывать послойно. Нельзя на каком-либо участке шва начинать третий слой, пока не закончен второй слой на всей длине стыка. Неравномерное заполнение разделки приводит к неисправимому браку — деформации, выражающейся в поводке трубы в сторону с наибольшим объемом наплавленного металла.

Большинство соединений труб диаметром до 30 мм при сборке прихватываются одной прихваткой. Сварку следует начинать со стороны, противоположной прихватке. Искривление оси свариваемых труб при этом минимально.

Обечайка в районе продольного стыка (рис. 99, г) после сварки деформируется — оседает. Величина деформации у тонколистовой обечайки большого диаметра больше, чем у толстостеновой, так как последняя обладает большей жесткостью. Прогиб в районе шва можно уменьшить, изменив тип сварного соединения. Если вместо односторонней разделки кромок под сварку применить двухстороннюю, прогиб будет настолько мал, что им можно пренебречь. Но не всегда есть возможность применять двухстороннюю разделку кромок. Выполнить внутренний шов на длинной обечайке малого диаметра невозможно ни ручной, ни автоматической сваркой. В этом случае рекомендуется недовальцевать свариваемые кромки обечайки на определенную величину в зависимости от толщины листов. Опытным путем можно настолько точно подобрать форму стыкуемых кромок, что благодаря деформации после сварки отпадает необходимость калибровки обечайки. Уменьшить деформации можно также применяя специальные распорки или обжимки.

Сложнее предотвратить деформации, возникающие от приварки опор к обечайке. Основные причины деформаций — большой калибр шва и малая жесткость обечайки, а следовательно, и малая сопротивляемость против укорочения шва. Это приводит к образованию эллиптичности. Если опоры расположены вблизи торца обечайки, эллиптичность затрудняет сборку обечайки с днищами.

Уменьшению деформации способствует уменьшение калибра шва. Калибр на соединении опорной планки можно уменьшить за счет увеличения калибра на соединении книц с обечайкой.

Одним из самых распространенных способов борьбы с такой деформацией обечайки является применение кондукторов для сборки и сварки или распорных приспособлений. Лучшие результаты достигаются при использовании кондукторов, представляющих собой жесткую систему с гнездами, куда болтами крепятся опорные планки.

При сварке в закрепленном состоянии (в кондукторе) прогиб, укорочение, сдвиг и другие виды деформации будут меньше, чем при сварке в свободном состоянии. На участках шва, где температура нагрева достигает  $1300^{\circ}\text{C}$  и больше, предел прочности весьма мал ( $\sigma_b \approx 2 \text{ кг/мм}^2$ ). Поэтому малейшее смещение свариваемых деталей может дать деформацию изгиба, укорочения и т. п.

При охлаждении стали вплоть до  $600^{\circ}\text{C}$  любое силовое воздействие вызывает только пластические деформации. Ниже  $600^{\circ}\text{C}$  наряду с пластическими возникают упругие деформации, развитие которых сдерживается кондуктором. Связанные с процессом охлаждения от  $600$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , они будут меньше общих деформаций, которые образовались бы в сварном узле при полном температурном перепаде от  $1300$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , т. е. при сварке в свободном состоянии.

В узлах, состоящих из тройников, переходников и патрубков и имеющих швы на одной осевой линии, возникают угловые деформации, которые приводят к укорочению (усадке) швов (рис. 99, д). Величина таких укорочений зависит в основном от толщины свариваемых деталей. Чтобы избежать уменьшения длины узла, детали следует обрабатывать с припуском либо увеличить зазор до  $1,5 \text{ мм}$  на соединениях с толщиной стенки  $8\text{--}10 \text{ мм}$  и до  $2\text{--}2,5 \text{ мм}$  — с толщиной стенки  $15\text{--}25 \text{ мм}$ .

Ориентировочные значения укорочений приведены в табл. 31.

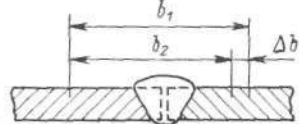
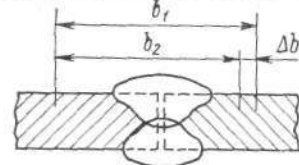
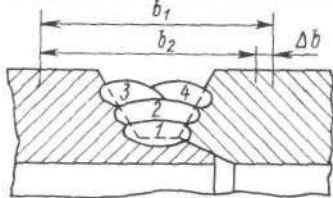
Обухи с днищами, опоры с днищами и обечайками свариваются, как правило, односторонним швом большого сечения. Даже при соблюдении всех технологических требований деформации в этом случае неизбежны (рис. 99, е). Однако предотвратить конечную деформацию очень просто — достаточно после прихватки лишь отогнуть привариваемую деталь в сторону, противоположную направлению последующей деформации.

На рис. 99, ж показана деформация (коробление) листов, свободно лежащих на сборочной плите. Если кромки свариваемых листов имеют предварительный выгиб, деформация в районе шва (выгиба) произойдет, а плоскость листов сохранится ровной. Однако в практике трудно осуществить предварительный выгиб, тем более при стыковке полотнищ из нескольких листов.

Есть два основных способа борьбы с короблением листов при сварке. Первый предусматривает использование специальных

Таблица 31

Поперечное укорочение при сварке стыковых соединений листов и труб (не закрепленных жестко)

Тип соединения	Толщина свариваемых кромок, мм	Сила сварочного тока, а	Укорочение $\Delta b$ при наплавке валика (высотой 2,5—3 мм), мм			
			от первого прохода	от второго прохода	от третьего и четвертого проходов	от каждого последующего прохода
	1,5	65	1,00	—	—	—
	2,0	90	0,90	—	—	—
	2,5	110	0,85	—	—	—
	3,0	130	0,80	—	—	—
	3,5	90	0,53	0,51	—	—
	4,0	100	0,51	0,50	—	—
	5,0	120	0,47	0,45	—	—
	6,0	130	0,44	0,40	—	—
	4,0 и более	80	0,60	0,52	—	—
		100	0,75	0,58	—	—
		120	0,85	0,60	0,87	0,2
		140	1,90	0,66	0,92	0,2

прижимов или грузов (рис. 99, з), второй — обратноступенчатое наложение швов (рис. 100, а). Известно, что чем длиннее шов, тем больше деформация изделия. Длинные швы делят на короткие участки, равные длине валика, наплавляемого одним электродом. Все участки сваривают в одном направлении так, чтобы конец второго участка совпадал с началом первого и т. д. Начинать сварку можно от середины стыка в обе стороны или от одного торца стыка к другому.

Нагрев металла при обратноступенчатом методе сварки более равномерен, чем при сварке напроход. Это основная причина уменьшения деформации листов.

Многослойные швы следует выполнять вразброс, меняя начало участков в каждом слое. Уменьшить деформации при сварке листовых конструкций можно правильной последовательностью

наложения швов. Если имеются продольные и поперечные швы, сначала выполняют поперечные, а затем — продольные.

Многослойные кольцевые швы при ручной сварке выполняют участками в диаметрально противоположных местах (рис. 100, б), причем общее направление сварки иногда стремятся сохранить (1; 2; 3...); иногда не придерживаются этого правила (1', 2', 3'...).

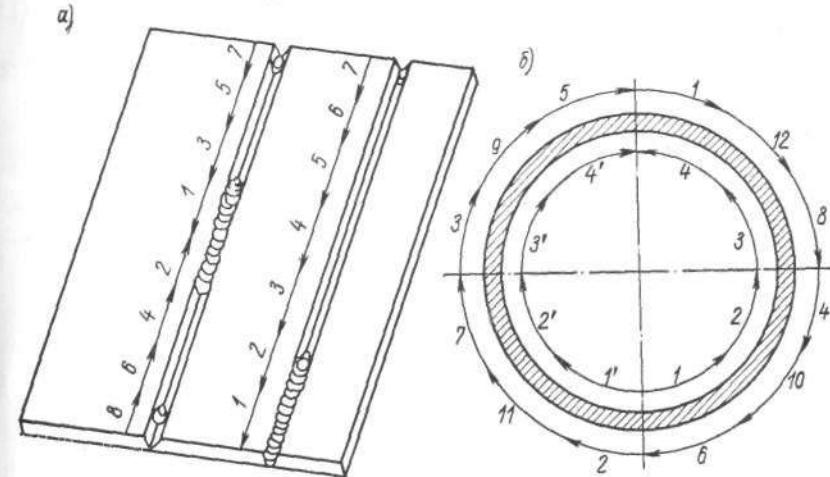


Рис. 100. Последовательность наложения швов: а — при сварке плоскостных конструкций; б — при сварке кольцевых соединений.

## § 29. Типовые технологические процессы сварки

Технология сварки теплообменного аппарата. На рис. 101 показан теплообменный аппарат, представляющий собой типичную конструкцию из труб, листов, кованых и штампованных деталей, соединенных между собой наиболее распространенными способами сварки: ручной дуговой, автоматической и полуавтоматической под флюсом, ручной и автоматической в защитных газах.

Основными узлами теплообменного аппарата являются корпус и трубная часть. Корпус состоит из двух обечайек 1 с приваренными патрубками, обечайки 7 толщиной 8 мм, двух колец-проставок 4, двух днищ 3 с приваренными патрубками. Трубная часть аппарата состоит из двух трубных решеток 5, соединенных между собой с помощью сердечника — трубы 6 и цилиндрических змеевиков 2 из труб 12×1,5 длиной 6 м, сваренных в одну плетью длиной 12—18 м и навитых на сердечник.

Требования к сварным швам и допустимое количество дефектов в них указаны в технических условиях на изготовление аппарата.



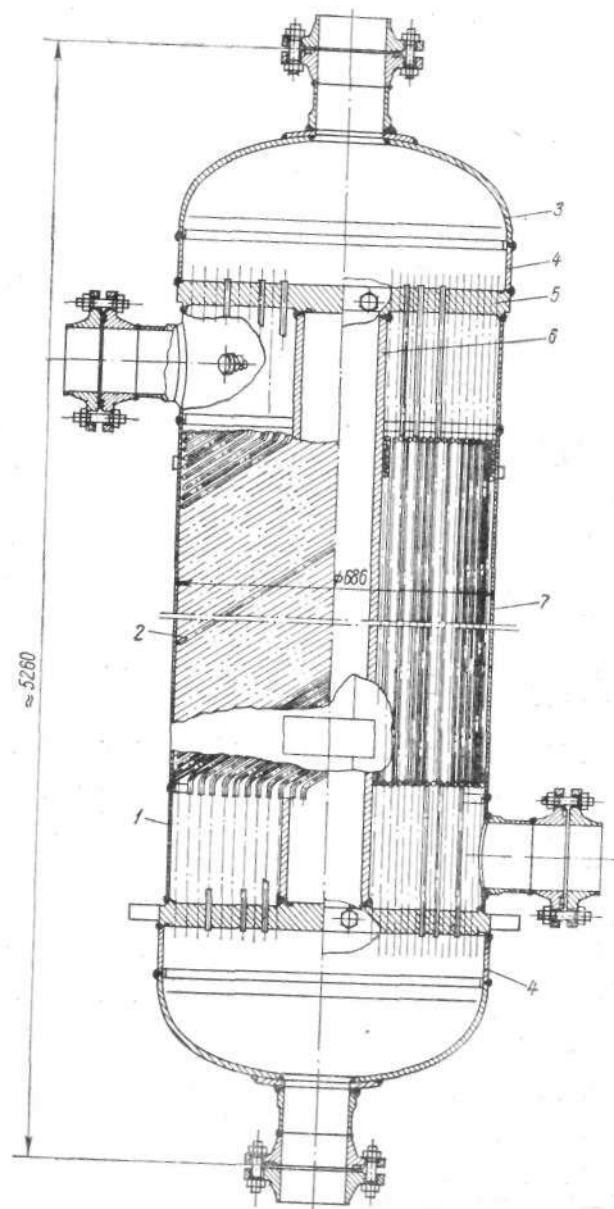


Рис. 101. Теплообменный аппарат из нержавеющей стали.

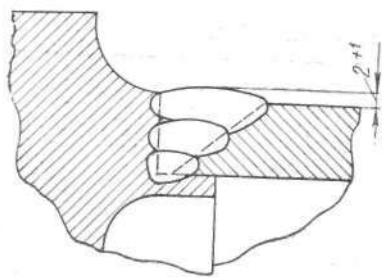
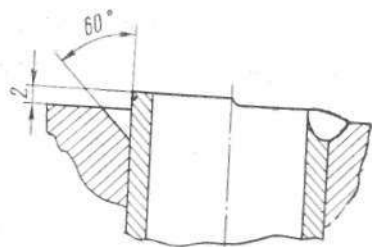
В технологическом процессе или технологической карте на сварку указываются: 1) тип соединения и размеры швов; 2) положение шва в пространстве; 3) сборка или порядок сборки под сварку; 4) метод сварки; 5) марка и диаметр электрода проволоки; 6) марка флюса, защитного газа; 7) режим сварки; 8) последовательность наложения швов; 9) способ выполнения швов («напроход», участками); 10) ориентировочное количество валиков; 11) методы контроля качества сварных швов.

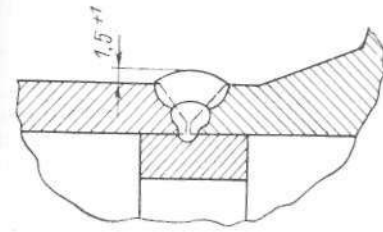
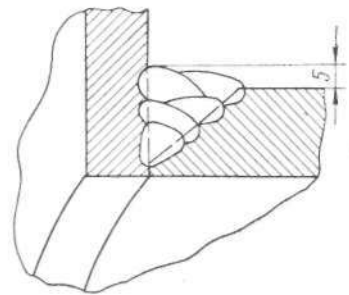
Типовая технологическая карта сварки представлена в табл. 32.

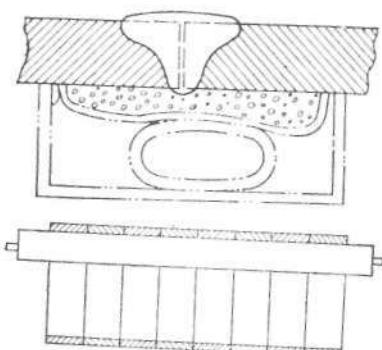
Таблица 32

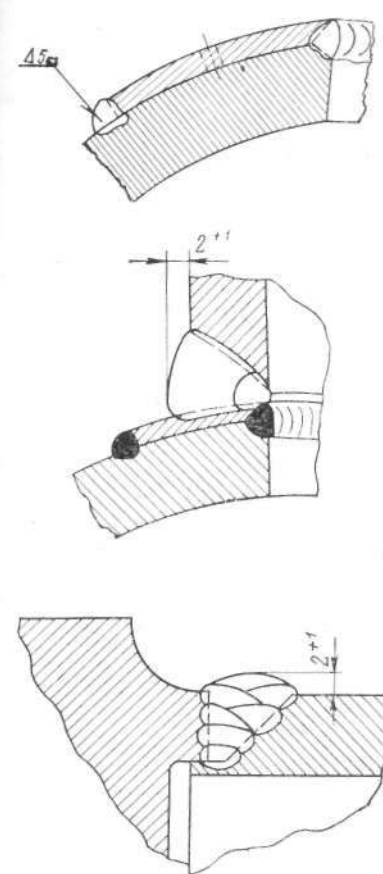
Типовая технологическая карта сварки теплообменного аппарата

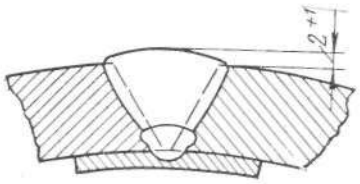
Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>1. Соединение труб (деталь 2, рис. 101) — стыковое бескосое</p> <p>Сборка труб осуществляется без прихваток — в приспособлении автомата</p> <p>Сварка стыков труб — автоматическая аргоно-дуговая без присадки</p> <p>Режим сварки:</p> <p>а) сила сварочного тока 55—60 а;  б) скорость сварки 25—30 м/ч;  в) расход аргона на сварку 4—5 л/мин;  г) расход аргона на поддув 1—2 л/мин</p> <p>Качество сварных швов контролируют:</p> <p>а) внешним осмотром и промером шва;  б) прогонкой шарика диаметром 7,14 мм;  в) рентгенографированием 15% стыков одной прямой проекцией;  г) испытанием плотности воздухом и гидравлическим испытанием согласно чертежу;  д) испытанием образцов-свидетелей</p> <p>Одновременно со сваркой штатных стыков труб одного изделия в тех же условиях и на тех же режимах сварщик-автоматчик сваривает семь образцов-свидетелей. Из них вырезают образцы для испытаний:</p> <p>а) на разрыв — 2 образца (<math>l = 300</math> мм);</p>

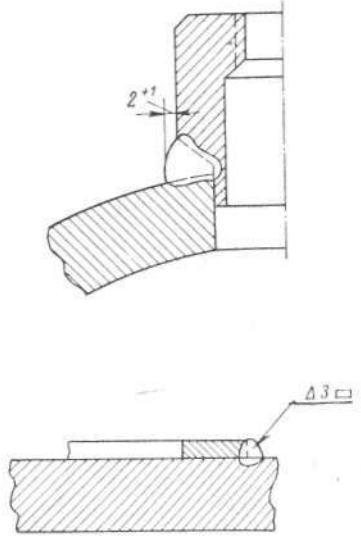
Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>б) на сплющивание — 2 образца (<math>b = 30</math> мм);</p> <p>в) на межкристаллитную коррозию — 2 образца (<math>l = 30</math> мм);</p> <p>г) на металлографическое исследование — 1 образец (<math>b = 20</math> мм, разрезанный вдоль на 2 части)</p> <p>2. Соединение сердечника из трубы <math>194 \times 15</math> (деталь 6, см. рис. 101) с трубными решетками (деталь 5) — стыковое замковое со скосом кромки трубы</p> <p>Сборка осуществляется с помощью прихваток. Длина прихватки 20–30 мм, количество — не менее четырех на каждом соединении</p> <p>Сварка — автоматическая плавящимся электродом в защитных газах (автоматами типа АСП). Во избежание деформации изгиба из плоскости решеток при сварке необходимо менять начало-конец сварки и строго следить за изменением величины поперечного укорочения после остывания</p> <p>Режим сварки:</p> <p>а) напряжение — 20 в;</p> <p>б) сила тока <math>\approx 140</math> а</p> <p>Качество сварного шва контролируют внешним осмотром и промером шва</p> <p>3. Соединение труб диаметром 12 мм с трубными решетками — угловое с зенковкой отверстия в трубной решетке под углом <math>120^\circ</math></p> <p>Сборка осуществляется с помощью прихваток. Трубы прихватываются одной точечной прихваткой порядно (по мере навивки змеевиков слоями). Положение шва — вертикальное</p> <p>Сварка соединений — автоматическая неплавящимся электродом (автомат типа «Луч») или ручная аргонодуговая с применением присадки</p> <p>Режим автоматической сварки:</p> <p>а) сила тока 80–85 а;</p> <p>б) скорость сварки 9–10 м/ч;</p> <p>в) скорость подачи присадки 12–14 м/ч;</p> <p>г) расход аргона 5–6 л/мин</p>
	

Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>Качество сварки контролируют:</p> <p>а) внешним осмотром;</p> <p>б) испытанием плотности воздухом</p> <p>4. Соединение патрубков с фланцами — стыковое с V-образной разделкой кромок</p> <p>Сборка стыка осуществляется с помощью прихваток, выполняемых ручной аргоно-дуговой сваркой. Длина прихватки 10–12 мм, количество прихваток — не менее трех. Положение шва — нижнее с поворотом узла в процессе сварки</p> <p>Сварка стыка — автоматическая в среде аргона плавящимся электродом диаметром 2 мм на разъемном медном кольце. Сварка осуществляется на установке с вращателем (см. рис. 33)</p> <p>Режим сварки:</p> <p>а) сила сварочного тока — 320–360 а;</p> <p>б) скорость сварки 25–30 м/ч;</p> <p>в) напряжение дуги 25–27 в;</p> <p>г) расход аргона 10–13 л/мин</p> <p>Качество сварки стыков контролируют внешним осмотром и промером шва</p> <p>5. Соединение патрубков в сборе с полубечайками (деталь 1, рис. 101) — угловое со скосом кромки патрубка и подгонкой кромок по месту</p> <p>Прихватка и сварка соединения — ручная дуговая электродами марки УОНИ-13/НЖ диаметром 3–4 мм. Положение шва — нижнее</p> <p>Сварку выполнять участками в диаметрально противоположных местах (см. рис. 100). Сварку каждого последующего участка шва можно начинать только после остывания предыдущего валика до <math>100^\circ</math> С</p> <p>Качество сварки контролируют внешним осмотром и промером шва</p>
	

Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>6. Соединение полосы, из которой изготовляют кольца (деталь 4, рис. 101), — стыковое без разделки кромок</p> <p>Сборка осуществляется с помощью точечных прихваток, причем собираются одновременно несколько колец (см. эскиз). Прихватка выполняется ручной дуговой сваркой электродами марки УОНИ-13/НЖ диаметром 3 мм</p> <p>Сварка стыка — автоматическая под флюсом марки 48-ОФ6 на флюсовой подушке. Положение шва — нижнее</p> <p>Режим сварки проволокой диаметром 4 мм:</p> <p>а) сила сварочного тока 520—560 а;          б) напряжение дуги 30—32 в;          в) скорость сварки 25—30 м/ч</p> <p>После сварки кольца разъединяются</p> <p>Качество сварного шва контролируют:</p> <p>а) внешним осмотром и промером шва;          б) испытанием образцов из контрольной пластины — штатного кольца, отобранного по указанию ОТК из партии колец</p> <p>Из контрольной пластины вырезают образцы для испытаний:</p> <p>а) на разрыв — 2 образца (<math>l = 300</math> мм; <math>b = 40</math> мм);          б) на изгиб — 2 образца (<math>l = 100</math> мм; <math>b = 30</math> мм);          в) на межкристаллитную коррозию — 2 образца (<math>l = 90</math> мм; <math>b = 20</math> мм);          г) на металлографическое исследование — 1 образец (<math>l = 25</math> мм; <math>b = 20</math> мм)</p>

Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>7. Соединение накладки с днищем — нахлесточное. Соединение патрубка в сборе с накладкой — угловое со скосом кромки патрубка</p> <p>Сборка осуществляется с помощью прихваток, выполняемых ручной дуговой сваркой электродами марки УОНИ-13/НЖ диаметром 3 мм. Длина прихватки 15—20 мм, количество прихваток — не менее трех на каждом соединении</p> <p>Сварка соединений — автоматическая в среде аргона плавящимся электродом диаметром 2 мм на установке с вращателем (см. рис. 33). Положение шва нижнее с поворотом узла в процессе сварки</p> <p>Режим сварки:</p> <p>а) сила сварочного тока 180—200 а;          б) скорость сварки 25—30 м/ч;          в) напряжение дуги 30—35 в;          г) расход аргона 20—25 л/мин</p> <p>Качество сварки контролируют внешним осмотром и промером шва</p> <p>8. Соединение кольца-проставки (деталь 4, рис. 101) с трубной решеткой — стыковое «в замок» со скосом кромки кольца</p> <p>Сборка осуществляется с помощью прихваток, выполняемых ручной дуговой сваркой электродами марки УОНИ-13/НЖ диаметром 3 мм. Длина прихватки 15—20 мм, шаг 350—400 мм. Положение шва — нижнее</p> <p>Сварка стыка комбинированная — корневой валик выполняется ручной дуговой сваркой электродами марки УОНИ-13/НЖ диаметром 3 мм, участками в диаметрально противоположных местах, с остыванием шва до 100° С, второй валик выполняется автоматической сваркой под флюсом марки 48-ОФ6 на установке с роликоопорой (см. рис. 32)</p> <p>Режим сварки проволокой диаметром 4 мм приведен в п. 6 настоящей технологической карты</p>

Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p><i>Качество сварки контролируют:</i></p> <p>а) внешним осмотром и промером шва;</p> <p>б) испытанием образцов из контрольной пластины согласно п. 9 настоящей технологической карты</p> <p>9. Соединение полуобечайек (деталь 7, рис. 101) между собой и днища с кольцом — стыковое с V-образной разделкой кромок на подкладной полосе. Соединение обечайек с трубными решетками — стыковое «в замок» со скосом кромки обечайки</p> <p>Собирают полуобечайки с помощью прихваток, выполняемых ручной дуговой сваркой электродами марки УОНИ-13/НЖ диаметром 3 мм. Длина прихваток 20—30 мм, шаг 350—400 мм. Положение шва — нижнее</p> <p>Сварка стыков — комбинированная и выполняется аналогично соединению кольца с трубной решеткой (см. п. 8)</p> <p><i>Качество сварки контролируют:</i></p> <p>а) внешним осмотром и промером швов;</p> <p>б) рентгенографированием в объеме 15% — только шва на соединении днища с кольцом;</p> <p>в) гидравлическим испытанием согласно требованиям чертежа;</p> <p>г) испытанием образцов из контрольной пластины, состоящей из двух планок размером 10×150×300 мм, сваренной аналогично штатным стыкам изделия</p> <p>Из контрольной пластины вырезают образцы, указанные в п. 6 настоящей технологической карты</p>

Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>10. Штуцера продувки и фирменную доску к обечайке приваривают угловым швом калибром 4 мм. Лапы к трубной решетке приваривают угловым швом калибром 12 мм</p> <p><i>Качество сварки контролируют</i> внешним осмотром и промером швов</p> <p>11. Обнаруженные дефекты в сварных швах исправляют: наружные дефекты — подваркой; внутренние — удаляют с помощью зубила или наждачного круга. После тщательной проверки дефектный участок исправляют сваркой и шов повторно контролируют по тем видам испытаний, которые были проведены до исправления дефектов (за исключением испытаний образцов)</p>

Технология сварки крыльевого устройства. В последние годы большое развитие в судостроении получили суда на подводных крыльях. Их крыльевое устройство представляет собой сварную конструкцию коробчатого типа, состоящую из листов и элементов набора, к которым крепятся листы стоек, кронштейнов и др. Все детали крыльевого устройства изготавливают из нержавеющей стали различных марок. Наибольшее применение получили нержавеющие стали аустенитного класса (типа 18-8) и аустенитно-мартенситного (типа 17-7Ю).

Для ручной дуговой сварки этой стали применяют электроды ЭА606/10. Можно использовать также электроды марки ЭА400/10 и выполнять при этом все требования, предписанные для сталей типа 18-8. Хорошие результаты по свойствам швов получаются при сварке в углекислом газе проволокой марки Св-06Х19Н9Т (если нет требований по стойкости против межкристаллитной коррозии).

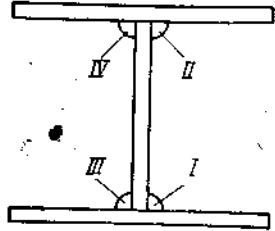
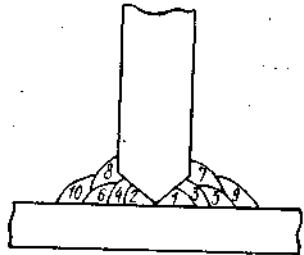

Типовая технологическая карта сварки отдельных узлов крыльевого устройства представлена в табл. 33.

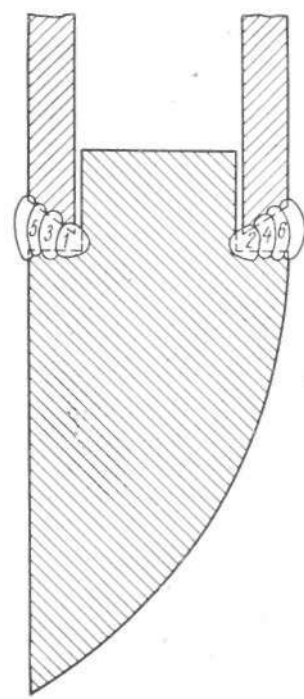


Типовая технологическая карта сварки узлов крылевого устройства

Таблица 33

Продолжение табл. 33

Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>1. Соединение узлов набора кронштейна бортовой стойки крыла — тавровое бескосное</p> <p>Сборка и закрепление деталей с помощью прихваток длиной 25—30 мм с шагом 150—200 мм. Положение шва — нижнее с подкантовкой в процессе сварки. Прихватка — ручная дуговая электродами марки ЭА400/10 диаметром 3 мм</p> <p>Сварка — полуавтоматическая в углекислом газе проволокой марки Св-06Х19Н9Т диаметром 1 мм в последовательности, указанной на эскизе, от середины к краям на каждом соединении</p> <p>Режим сварки приведен в § 23</p> <p>Качество сварки контролируют внешним осмотром и промером калибра, а также величины деформации. Правку выполнять с подогревом газовой горелкой до температуры 950—1050°С с последующим охлаждением сжатым воздухом</p> <p>2. Соединение стойки с фланцем — тавровое со скосом кромок</p> <p>Сборка осуществляется в кондукторе</p> <p>Сварка выполняется аналогично п. 1 в последовательности, указанной на эскизе, с охлаждением после каждого прохода до +80°С</p> <p>Качество сварки контролируют внешним осмотром</p> <p>3. Соединение полотнищ из листов — стыковое с V-образной разделкой кромок или бескосное</p> <p>Сварка — автоматическая в защитных газах или под флюсом на стенде (см. рис. 46). Чрезмерное проплавление — снять заподлицо с поверхностью листов. Допускается полуавтоматическая сварка в углекислом газе согласно п. 1</p> <p>Режимы сварки приведены в § 23</p> <p>Качество швов контролируют:</p> <p>а) внешним осмотром;</p> <p>б) гаммаграфированием участков по указанию ОТК</p>
	
	

Эскиз сварного соединения	Тип соединения, сборка, сварка и контроль качества сварных швов
	<p>4. Соединение полотнищ с ножами — стыковое «в замок» со скосом кромок листа</p> <p>Сварка — полуавтоматическая в углекислом газе с кантовкой секций в кондукторе (кантователе) после наложения каждого слоя (см. эскиз). С целью уменьшения деформации изгиба рекомендуется, чтобы сварку вели два сварщика одновременно (один — на соединении переднего ножа, другой — на соединении заднего). Усиление швов после сварки снять заподлицо с поверхностью ножа и листа</p> <p>Качество сварки контролируют:</p> <p>а) внешним осмотром и промером;</p> <p>б) гаммаграфированием после правки секции (с подогревом);</p> <p>в) испытанием образцов из контрольной пробы, сваренной в аналогичных условиях из пластин 10×150×200 мм</p> <p>Из контрольной пробы вырезают образцы для испытаний:</p> <p>а) на разрыв — 2 образца (<math>l = 300</math> мм);</p> <p>б) на изгиб — 2 образца (<math>l = 100</math> мм, <math>b = 30</math> мм);</p> <p>в) на металлографическое исследование (макроанализ) — 1 образец</p>

### § 30. Сварка тонкостенных изделий

Тонкостенными принято считать изделия из нержавеющей сталей толщиной 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 аргоно-дуговым способами. Выбор способа зависит от конфигурации изделия и доступности места соединения, а также от условий работы и требований к свар-

ному 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 возможны образования слипания вместо сварки, которые трудно выявляются известными в технике способами контроля. Электронно-лучевая сварка лишена указанных недостатков, но процесс этот является малопроизводительным, а оборудование слишком дорогим и громоздким.

Наиболее универсальным и широкоприменяемым способом сварки для соединения как тонколистовых конструкций, так и тонкостенных изделий (труб с арматурой, обечаек с фланцами, мембран с корпусами и т. п.) является аргоно-дуговая 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 поддающихся исправлению.

Основная причина чрезмерной склонности к оплавлению и прожогам заключается в наличии малого объема жидкого металла и возникновении деформации (коробления) 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 1Х18Н9Т 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, т. е. 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.

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 проплавающей способностью (сварка импульсная аргоно-дуговая, 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.

Наиболее распространенные типы соединений тонкостенных изделий под сварку показаны на рис. 102. Нахлесточное соединение обечаек (рис. 102, а), выполненное контактной роликовой или

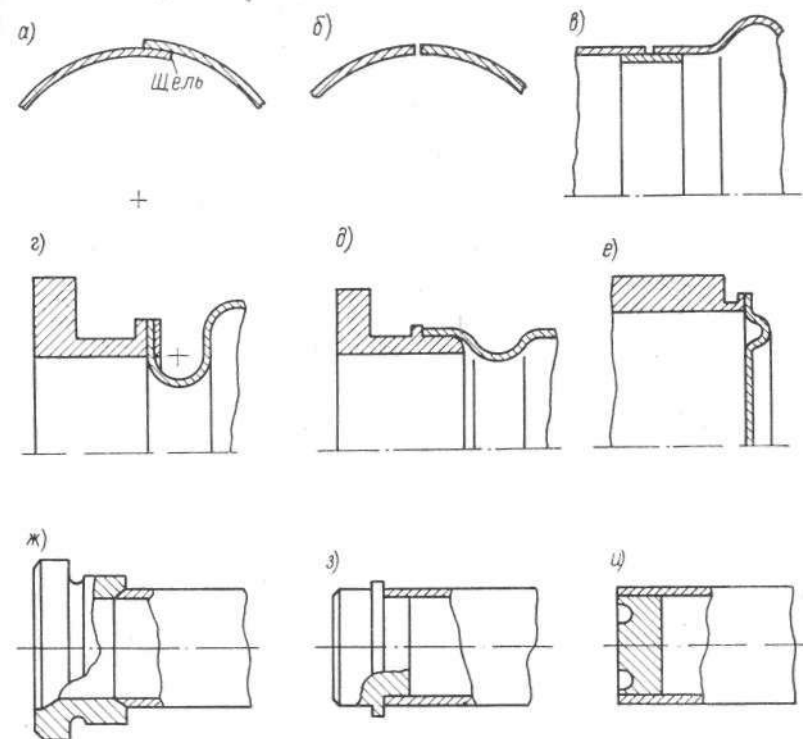


Рис. 102. Типы сварных соединений тонкостенных изделий.

аргоно-дуговой 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. 102, б) лишено указанных недостатков. Наилучшие показатели по деформационной способности обечаек со швами, выполненными аргоно-дуговой сваркой, достигаются с использованием минимальных значений усиления шва (около 0,1 мм). Это особенно важно при изготовлении многослойных компенсаторов. Обечайки, собранные телескопически

(одна в 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 местах вы-

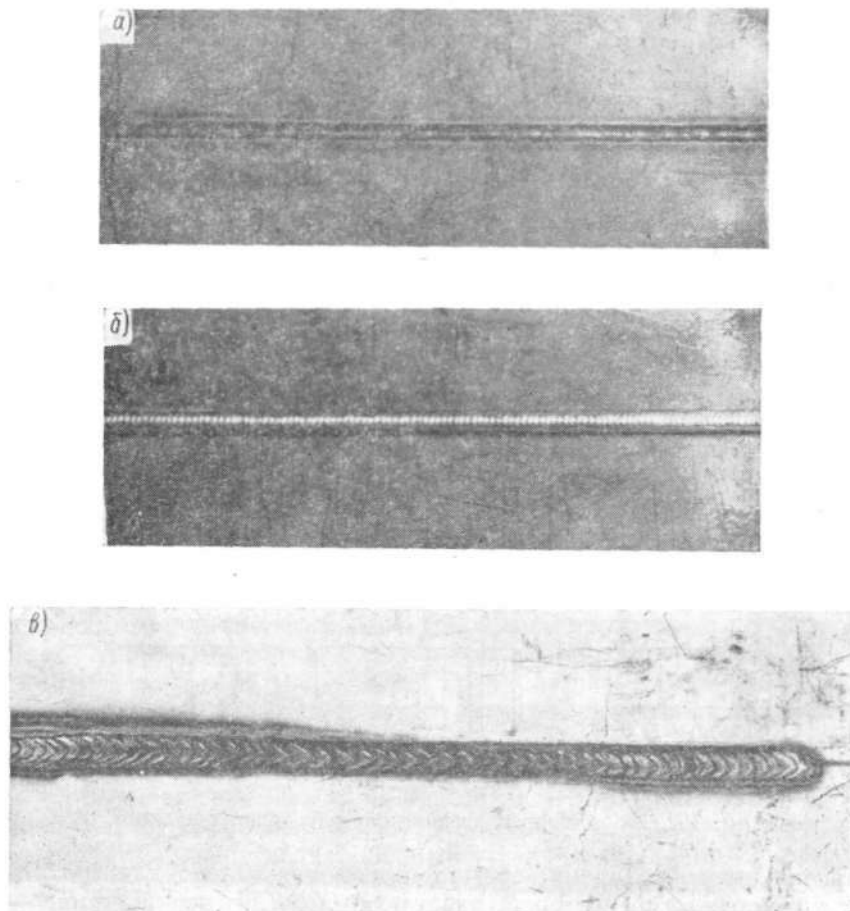


Рис. 103. Внешний вид швов на соединениях обечаек: *а* — аргоно-дуговая сварка; *б* — импульсная сварка листов толщиной 0,5 мм; *в* — импульсная сварка листов толщиной 0,3 мм (темный шов — плохая защита).

пучивания металл получает сильный наклеп и теряет пластичность, что приводит к образованию надрывов и трещин.

Внешний вид соединительных швов обечаек показан на рис. 103. Сами обечайки, сваренные импульсной и обычной автоматической аргоно-дуговой сваркой, а также компенсатор из обечаек показаны на рис. 104.

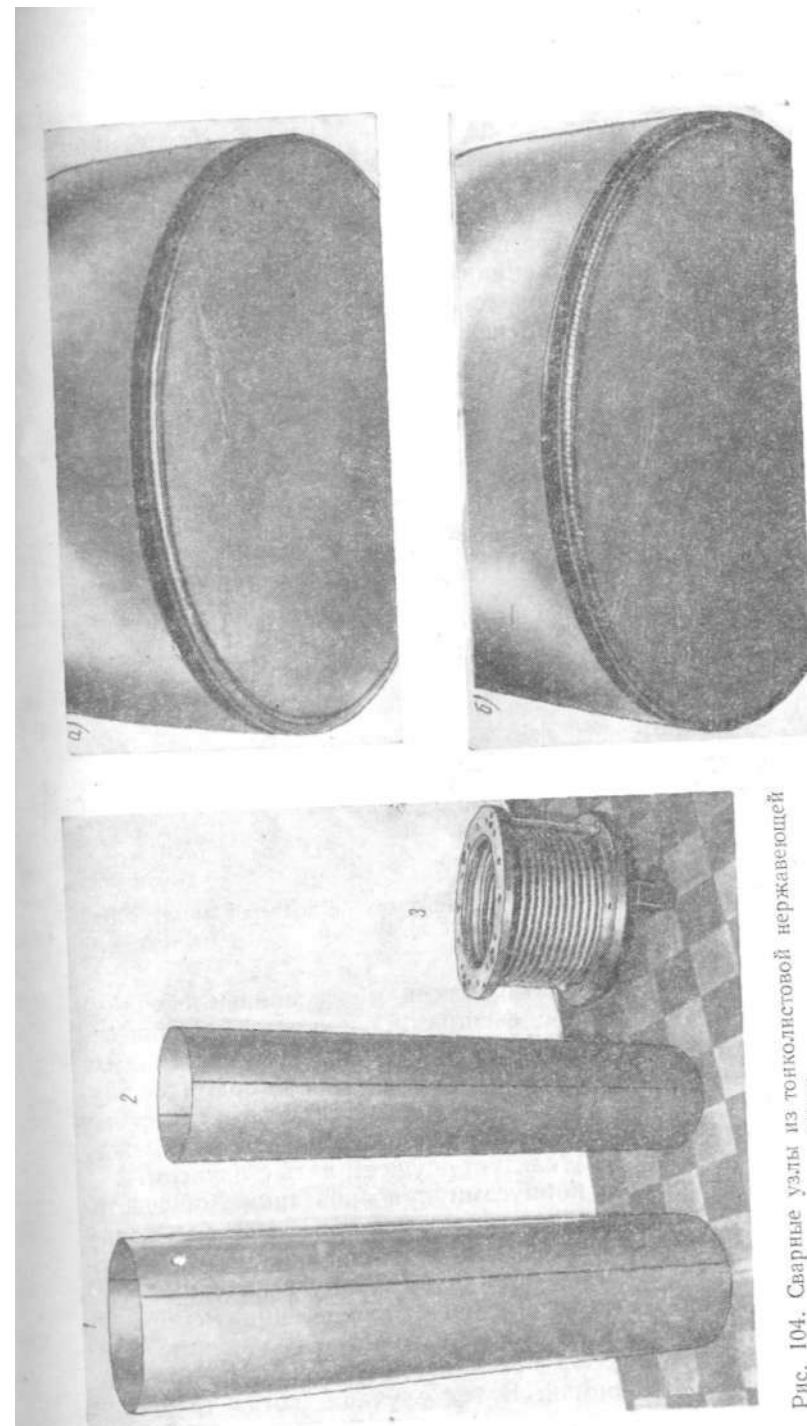


Рис. 104. Сварные узлы из тонколистовой нержавеющей стали.

1 — обечайка диаметром 350, длиной 1500 мм из листов толщиной 0,5 мм, сваренных встык импульсной аргоно-дуговой сваркой; 2 — обечайка диаметром 250, длиной 1200 мм из листов толщиной 0,35 мм, сваренных встык обычной аргоно-дуговой сваркой; 3 — сифонный компенсатор, многослойный из обечаек диаметром 350 мм.

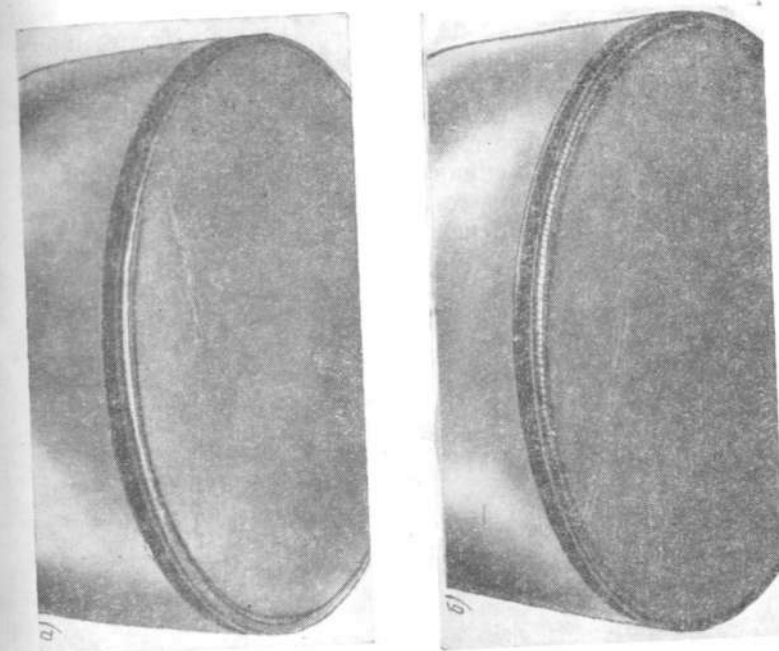


Рис. 105. Внешний вид швов на соединении мембраны с корпусом: *а* — обычная сварка; *б* — импульсная сварка.

Соединение двух обечаек между собой осуществляется, как правило, на подкладном кольце (см. рис. 102, в). Для большей гарантии получения высокого качества сварки, особенно в монтажных условиях, рекомендуется кольцо предварительно приварить к одной обечайке и тщательно подогнать к нему кромки второй обечайки, после чего осуществлять прихватку и сварку.

Фланцы, кольца, переходники и другие толстостенные детали соединяют с обечайками внахлестку или с отбортовкой. Соединение с отбортовкой может иметь шов, расположенный внутри фланца

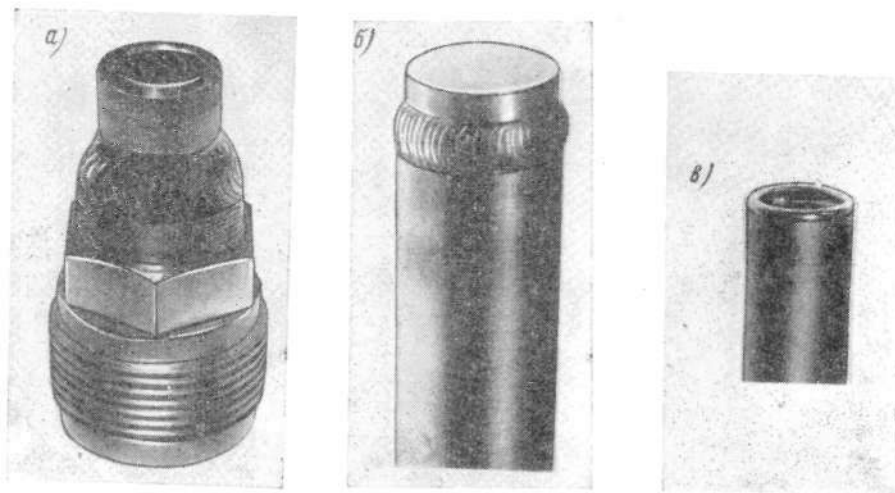


Рис. 106. Внешний вид швов на соединениях труб с концевой арматурой: а — со штуцером; б, в — с заглушкой.

или снаружи. Как однослойные, так и многослойные обечайки целесообразно приваривать с фланцами, применяя остающееся прижимное кольцо или диск (см. рис. 102, е). Нахлесточное соединение (см. рис. 102, д) требует более тщательной подгонки внутреннего диаметра обечайки или расточки фланца по фактическому диаметру обечайки. Во избежание образования зазоров между обечайкой и фланцем сборку следует осуществлять с натягом.

Соединение мембран с корпусами приборов также осуществляется с отбортовкой торца на корпусе (см. рис. 102, е). Сварку таких соединений необходимо выполнять без прижимного остающегося кольца, но прижимать тонкую мембрану необходимо медным кольцом, охлаждаемым водой. Чем меньше толщина мембраны, тем легче она деформируется и тем тщательнее необходимо прижимать ее к отбортовке. Зазор в результате плохого прижима приводит к несплавлению кромок. В тех случаях, когда требуется уменьшить нагрев изделия в процессе сварки, предпочтительнее

Таблица 34

Режимы автоматической аргоно-дуговой сварки стыковых и нахлесточных соединений листов и ленты на медной подкладке с медными прижимами

Тип соединения	Толщина листов, мм	Диаметр электрода, мм	Расстояние между прижимами, мм	Сварочный ток, а	Напряжение на дуге, в	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона, л/мин	
							в горелку	на поддув
Стыковое	0,15—0,2	1,0	3	16—19	5—6	10—12	6—8	1—2
	0,3—0,4	1,0—1,6	3	20—25	5—6	10—12	6—8	1—2
	0,5—0,6	1,0—1,6	3—4	30—35	6—8	10—12	8—10	1—2
	0,8	1,6	4—5	50—60	6—8	8—10	8—10	1—2
	1,0	1,6	—	65—75	6—8	8—10	8—10	1—2
	0,15	1,0	3	26—27	5—6	10—12	6—8	1—2
Нахлесточное	0,2	1,0	3	27—29	5—6	10—12	6—8	1—2
	0,3	1,0—1,6	3	30—32	5—6	10—12	6—8	1—2
	0,4	1,0—1,6	3—4	24—35	6—8	10—12	6—8	1—2
	0,5	1,0—1,6	3—4	36—38	6—8	10—12	6—8	1—2

Таблица 35

Режимы автоматической импульсной аргоно-дуговой сварки стыковых и отбортованных соединений на медной подкладке с медными прижимами

Тип соединения	Диаметр электрода, мм	Толщина свариваемых кромок, мм	Расстояние между прижимами, мм	Ток импульса, а	Ток «дежурной» дуги, а	Время импульса, сек	Время паузы, сек	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона, л/мин	
									в горелку	на поддув
Стыковое	1,6	0,3—0,3	3—4	35—40	5—8	0,18—0,20	0,2	20—25	6—8	1—2
	1,6	0,5—0,5	3—4	50—60	5—10	0,20—0,25	0,2	20—25	8—10	1—2
	1,6—2,0	0,8—0,8	4—5	70—80	5—10	0,30—0,35	0,25—	15—20	8—10	1—2
Отбортованное	1,6—2,0	1,0—1,0	5—6	90—110	10	0,40—0,45	0,3	15—20	8—10	1—2
	1,6	0,3—1,0	—	60—70	5—8	0,18—0,20	0,2	15—20	5—6	—
	1,6—2,0	0,5—1,5	—	70—80	5—10	0,30—0,35	0,2	15—20	6—8	—



применять импульсную сварку. Внешний вид швов на соединении мембраны с корпусом показан на рис. 105.

Концевую арматуру (штуцера, ниппеля, заглушки и др.) с трубами соединяют, как правило, внахлестку (см. рис. 102, ж, з, и) и сваривают с применением присадки или посредством оплавления кромок трубы и выступа. Швы на таких соединениях имеют хороший внешний вид, а соединения обладают высокими свойствами (рис. 106).

Режимы сварки соединений тонкостенных изделий приведены в табл. 34 и 35.

Большинство сварных соединений тонкостенных изделий контролируют внешним осмотром и проверкой плотности, которая осуществляется люминесцентной дефектоскопией, воздухом или гидравлическим давлением. Ответственные сварные узлы контролируют на гелиевую плотность.

### § 31. Особенности сварки хромистых сталей

Хромистые стали мартенситного, мартенсито-ферритного и ферритного классов (см. табл. 1) обладают повышенной прочностью, хорошей сопротивляемостью коррозии и окислению при высоких температурах, но относятся к группе ограниченно сваривающихся 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 к 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 кратерах швов. Поэтому кратеры рекомендуются заправлять 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 0X13 и 1X13 толщиной более 12 мм и 0X17, 0X17T и 1X17H2 толщиной более 8 мм применяют предварительный подогрев до температуры 200—450° С. После сварки изделия подвергают высокому отпуску (700—750° С), чтобы частично восстановить первоначальные свойства стали и 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 (см. табл. 19).

Кроме ручной дуговой сварки хромистых сталей можно осуществлять всеми способами в среде защитных газов.

Для сталей типа X13 в защитных газах можно использовать сварочную проволоку марки Св-1X13, а для X17 — марки Св-Х17, но лучше — проволоку из аустенитных сталей. Для сварки стали 1X17H2 в углекислом газе применяют проволоку марок Св-2X13 и Св-0X14, а марку Св-1X18H2ГТ — для ответственных конструкций, работающих в условиях действия кипящих неразбавленных кислот. При аргоно-дуговой сварке сталей типов X13 и X17 в качестве присадки применяют проволоку из хромоникелевых сталей типов 25-12 и 25-20 (см. рис. 13).

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 сигматизации — выделению хрупкой  $\sigma$ -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 ( $\sigma$ -фаза). Основным средством для предупреждения сигматизации у хромистых сталей является быстрое охлаждение в опасном интервале температур.

### § 32. Сварка разнородных сталей

Необходимость сварки разнородных сталей диктуется экономическими соображениями: нерационально использовать дорогостоящие, никелесодержащие стали для изготовления всех узлов аппарата или агрегата. Отдельные узлы, устройства работают в различных условиях нагружения, при различных температурах, в неодинаковых средах и в зависимости от условий работы конструкции выбирают наиболее соответствующие металлы. В результате выбора выявляется потребность сваривать различные по типу, структуре и свойствам стали.

Качество сварного соединения разнородных сталей зависит от их свариваемости (способности образовать неразъемное соединение в результате сплавления), которая определяется в первую очередь строением их атомов, типами и параметрами кристаллических решеток. Если природа металлургической связи у свариваемых разнородных сталей близка, то пара свариваемых металлов образует соединение при совместной кристаллизации металла шва с обоими металлами. Строение металла шва и свойства в таком соединении будут неоднородными, так как образуются новые сплавы с различной концентрацией компонентов.

При выборе сочетания сталей учитывают также особенности изготовления и эксплуатации сварного узла. Разнородные материалы имеют различные коэффициенты линейного расширения и при высоких температурах (сварки и эксплуатации) в сварном соединении возникают дополнительные термические напряжения. Если они совпадут по направлению с напряжениями от рабочей нагрузки, а также с остаточными сварочными напряжениями, суммарные величины могут превысить предел текучести и при наличии в шве хрупкой прослойки сварное соединение разнородных сталей может разрушиться. Поэтому место расположения соединений разнородных металлов, вид обработки, подготовка и сварка стыков обычно тщательно изучаются. Недопустимо такие стыки располагать в зоне жестких узлов или заделок (на корпусе, переборках и т. п.).

Чаще всего встречаются соединения хромоникелевой аустенитной нержавеющей стали с малоуглеродистыми (экраны и компенсаторы; монтажные стыки трубопроводов, связывающих агрегаты различного назначения; трубы с переходниками; узлы корпусов и различные крепления агрегатов).

Применяемые в судостроении нержавеющие стали марок 0X13, 1X13, 0X17, 0X17T, 1X17H2 и др., из которых изготавливают технологическое оборудование рыбообрабатывающих судов, соединяются с обычными корпусными сталями марок Ст.4с, 09Г2 и др.

В последнее время в сочетании с аустенитными сталями начали применять хромомолибденовые типа 15ХМ и хромомолибденованадиевые марок 12Х1МФ и 15Х1МФ.

Соединяя однородные стали, всегда стремятся выбрать такие сварочные материалы (электроды, проволоку, флюс), которые обеспечили бы получение металла шва, близкого по химическому составу к основному металлу. У разнородных сталей так называемых комбинированных соединений это требование выполнить невозможно, так как в любом случае металл шва по составу будет значительно отличаться от состава свариваемых сталей в связи с перемешиванием жидкого, расплавленного металла.

При сварке разнородных и однородных сталей в зоне сплавления на переходных участках изменяются свойства металла. Вблизи зоны сплавления у некоторых комбинированных соединений образуются хрупкие прослойки, которые могут явиться очагами разрушения.

Хрупкие прослойки образуются вследствие разбавления перлитного наплавленного металла аустенитным, что приводит к образованию закалочных структур, ухудшающих пластичность металла шва. Чем больше степень проплавления и меньше запас аустенитности (% содержания никеля) в нержавеющей стали, тем ниже пластические свойства металла шва. Неодинаковые свойства может иметь шов и в поперечном направлении (по сечению). Проникновение углерода из основного металла в шов приводит к обед-

нению металла углеродом (обезуглероживанию), появляется мягкая зона в углеродистой стали и «карбидная гряда» с повышенной твердостью — в наплавленном металле.

Поэтому при выборе сварочных материалов для комбинированных соединений всегда стремятся получить металл шва с удовлетворительными свойствами в переходных участках.

Соединения малоуглеродистой стали с нержавеющей типа 1X13 можно сваривать электродами, предназначенными для малоуглеродистой стали. Наплавленный металл в зоне сплавления в этом случае содержит до 5—6% хрома и обладает после термической обработки достаточно высокими механическими свойствами. Если для сварки такого же соединения применять электроды, предназначенные для хромистой стали, переходные участки шва могут содержать до 6—11% хрома, но уровень пластичности и ударной вязкости несколько снизится. Металл шва, примыкающий к малоуглеродистой стали, более склонен к образованию трещин, чем металл шва, содержащий 5—6% хрома.

Соединения малоуглеродистой стали с нержавеющей типа 18-8 нельзя сваривать перлитными электродами. В слоях шва, примыкающих к стали типа 18-8, образуются хрупкие прослойки и возможно возникновение трещин. Применяя аустенитные электроды типа ЭА-1 (18-8) для сварки этого соединения, можно несколько повысить пластические свойства металла переходной зоны. Однако не удается добиться повышения сопротивляемости образованию трещин, если использовать электроды типа ЭА-1. Поэтому для сварки комбинированных соединений такие электроды не применяют.

Для сохранения высоких свойств металла шва при сварке соединений малоуглеродистой стали с нержавеющей типа 18-8 необходимо применять электроды с повышенным запасом аустенитности, т. е. повышенным содержанием никеля, [электроды со стержнем из стали типа 25-12 или ЭИ395 (15-25)].

Автоматическую сварку соединений малоуглеродистых сталей с нержавеющей типа 18-8 также выполняют проволокой с большим содержанием никеля, чем у свариваемой нержавеющей стали.

При ручной и автоматической сварке в результате перемешивания расплавленного присадочного и основного металлов разбавляется легированная сталь и легируется малоуглеродистая. Несмотря на запас аустенитности в зоне сплавления вследствие разбавления могут оказаться участки пониженной вязкости металла. Степень разбавления зависит от проплавления металла. При автоматической сварке глубина проплавления больше, чем при ручной, поэтому разбавление также будет больше. На величину проплавления влияют тип сварного соединения и режим сварки.

Лучшие результаты по свойствам металла сварного комбинированного соединения достигаются, если кромки имеют U-образ-

ную или V-образную разделку. Сварку комбинированных соединений всегда предпочтительнее выполнять на минимально возможной силе тока и максимальной скорости независимо от типа соединения.

Толстостенные комбинированные соединения рекомендуется сваривать по предварительной наплавке кромки малоуглеродистой стали. Наплавку выполняют электродами с повышенным содержа-

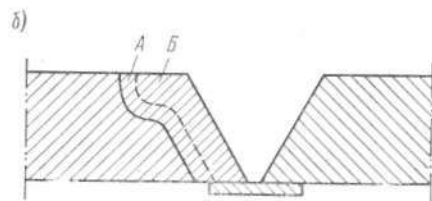
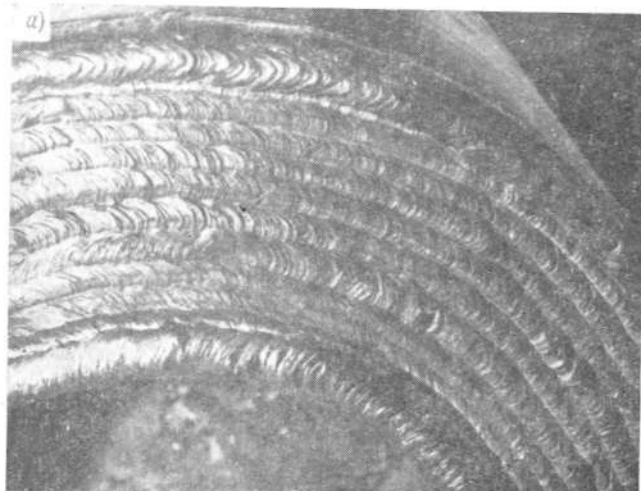


Рис. 107. Предварительная наплавка кромки перед сваркой: а — внешний вид наплавленной поверхности; б — схема двухслойной наплавки кромки коллектора.

нием легирующих элементов, а сварку соединения — обычными электродами, предназначенными для сварки данной нержавеющей стали. В этом случае исключается опасность появления трещин в сварных швах.

Технология наплавки сводится к следующим операциям. На подготовленную поверхность наплавляют металл ровными валиками, без западений между ними (рис. 107, а). Обычно для выполнения наплавки вручную и автоматически сварщики высокой квалификации проходят специальный курс обучения и тренировки. После тщательной очистки поверхности накладывают следующий слой и т. д., пока толщина слоя не станет равной 7—10 мм. После наплавки осматривают поверхность с целью обнаружения чрезмерных углублений, исправляют такие участки местной на-

плавкой и кромку подвергают механической обработке. Затем контролируют качество наплавки рентгенографированием и люминесцентной или цветной дефектоскопией.

Часто встречаются комбинированные соединения, у которых одна деталь изготавливается из нержавеющей стали, другая — из подкаливающихся сталей перлитного класса марок 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1МФ и др. Такие соединения сваривают по предварительной двухслойной наплавке (рис. 107, б). Наплавку первого слоя А выполняют электродами со стержнем из проволоки с повышенным содержанием никеля, например, Св-07Х25Н13 или ЭИ395. Наплавку второго слоя Б производят аустенитными электродами, которые предназначены для сварки этого соединения.

После контроля внешним осмотром, последующей обработки и повторного контроля качества наплавленной поверхности сварку комбинированного соединения выполняют аналогично обычному соединению из нержавеющей сталей.

Сварные конструкции из разнородных сталей при правильно выбранном типе сварочных материалов и тщательном соблюдении технологии сварки обладают высокими механическими свойствами. При испытании образцов на растяжение разрушение происходит, как правило, по основному металлу.

### § 33. Сварка двухслойных сталей

Потребность в нержавеющей сталях постоянно увеличивается. С целью экономии дорогостоящих нержавеющей сталей, а также из-за дефицитности легирующих элементов, входящих в их состав, при изготовлении некоторых узлов и аппаратов применяют двухслойные стали. Основной, более толстый слой состоит из дешевых углеродистых или низколегированных сталей, а другой (плакирующий) — из нержавеющей.

Двухслойные (биметаллические) листы изготовляют двумя способами: 1) заливкой пластин из нержавеющей сталей расплавленной углеродистой с последующей прокаткой слитка до требуемых размеров; 2) методом сращивания — обычной горячей прокаткой листов, поверхность которых очищена и покрыта слоем никеля. Трубы изготовляют также последовательной горячей прокаткой до заданных размеров.

Согласно ГОСТ на двухслойную сталь, основной слой изготовляют из сталей марок: 10, ВСт.3, 20К, 09Г2С, 10ХСНД (СХЛ-4), 12МХ и др. Плакирующий (коррозионностойкий) слой изготовляют из легированных сталей марок: 0Х13, Х14Г14Н3Т, Х17Н13М2Т, Х18Н9Т, 0Х18Н10Т, 0Х23Н28М3ДЗТ и др., т. е. все, кроме стали 0Х13, являются аустенитными.

Толщина коррозионностойкого слоя обычно не превышает 15—20 мм, но чаще всего она равна 1—7 мм. Выдержать одинаковую толщину слоев при прокатке невозможно, поэтому указывают

диапазон возможной толщины, что при обозначении выражено дробью, например; 6—7/1,5—2,0; 32—40/4—6 и т. д. Цифры в числителе означают толщину основного листа, в знаменателе — плакированного.

Независимо от марки стали плакированного слоя по механическим свойствам листы должны удовлетворять требованиям ГОСТ на металл основного слоя. В случае необходимости коррозионный слой любой стали, кроме 0Х13, проверяют на стойкость против межкристаллитной коррозии.

Различные по химическому составу, по физическим и механическим свойствам составляющие двухслойной стали требуют различной техники и технологии сварки. Если сварку выполнять одними сварочными материалами с полным проваром, не обращая внимания на плакирующий слой, шов по сечению получится различным по химическому составу (см. § 32) и не будет отвечать требованиям по качеству.

Несмотря на это, в практике иногда сваривают двухслойные стали одними сварочными материалами — электродами из аустенитной стали. Чаще всего это неответственные конструкции, где не требуется обеспечить стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии. В этом случае все сечение двухслойной стали, независимо от толщины, заполняется металлом из аустенитной стали с повышенным содержанием хрома и никеля: Св-07Х25Н13, ЭП75 (Х25Н12Т), ЭП87 (Х25Н12ТЮ), Св-08Х20Н9Г7Т и др.

Чтобы сохранить по сечению шва заданные свойства, необходимо строго соблюдать специфическую технологию сварки двухслойной стали, вернее строго совмещать две известные технологии сварки: углеродистых и нержавеющей сталей.

Если сварку выполнять со стороны плакирующего слоя, возможно разбавление аустенитного металла углеродистым из-за чрезмерного проплавления и шов будет иметь пониженную коррозионную стойкость. Если же соединение осуществляется со стороны углеродистого металла, то проплавление плакирующего слоя приведет к легированию металла шва хромом и никелем. Известно, что такое легирование ведет к образованию мартенситной структуры и вследствие этого к понижению пластичности металла сварного соединения.

Сварка двухслойных сталей может выполняться автоматически и вручную. Наибольшее применение нашла автоматическая сварка под флюсом. В зависимости от принятого типа соединения различают два основных варианта технологии автоматической сварки (рис. 108).

Если общая толщина металла не превышает 20 мм, целесообразно сварку выполнять без разделки кромок. После прихватки, которая осуществляется со стороны углеродистого металла, выполняют сварку этого слоя углеродистой проволокой так, чтобы

не расплавлять плакирующий слой (см. валик У на рис. 108, а, б.) Можно также сваривать слой со стороны облицовки аустенитным металлом с повышенным содержанием хрома и никеля (см.

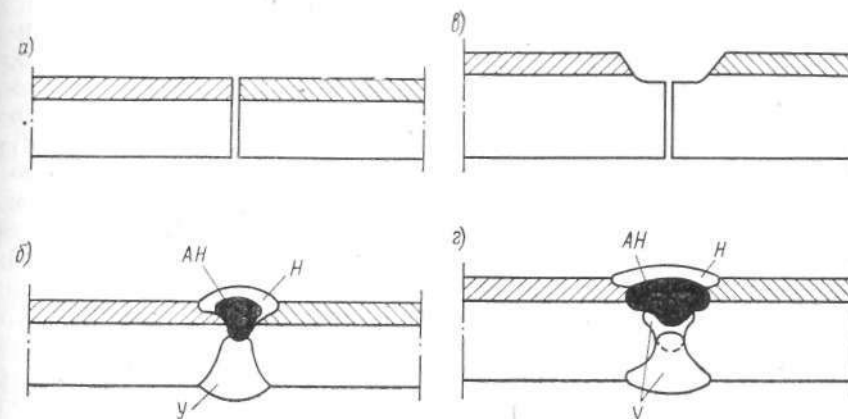


Рис. 108. Стыковые соединения двухслойных сталей, выполняемые автоматической сваркой под флюсом: а — вид бескосого соединения; б — схема расположения валиков на бескосом соединении; в — вид соединения со снятым плакирующим слоем; г — схема расположения валиков на соединении со снятым плакирующим слоем.

валик АН на рис. 108, б). Валик Н в данном случае является наплавочным и выполняется обычным нержавеющей металлом (таблица 18-8).

При суммарной толщине металла свыше 20 мм, а в отдельных случаях и начиная с 16 мм, целесообразно автоматическую сварку выполнять с разделкой кромок (рис. 109). Первые валики У выполняются углеродистой проволокой, валик АН — аустенитной с повышенным содержанием хрома и никеля, а валик Н — обычной проволокой типа 18-8.

Промежуточный слой АН и облицовочный Н выполняют чаще расщепленным электродом в один или два прохода при прямой полярности с тем, чтобы уменьшить проплавление и ослабить «науглероживание» аустенитного металла шва за счет обычной стали.

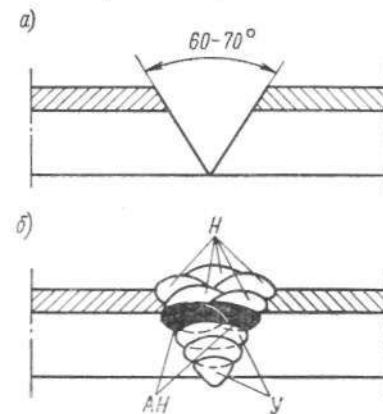


Рис. 109. Стыковые соединения двухслойных сталей больших толщин с разделкой кромок со стороны нержавеющей стали: а — вид разделки кромок; б — выполненное соединение.



В зависимости от расположения плакирующего слоя и доступности для выполнения ручной и комбинированной сварки (ручной и автоматической) с одной или двух сторон при сварке двухслойной стали различают несколько вариантов технологии.

Если разделка кромок выполнена со стороны малоуглеродистой стали, когда плакирующий слой примыкает к корню шва,

возможны два варианта технологии ручной сварки. По первому варианту валик  $У_1$  выполняют электродами с малоуглеродистым стержнем (типа Э42) так, чтобы не затрагивать (не расплавлять)

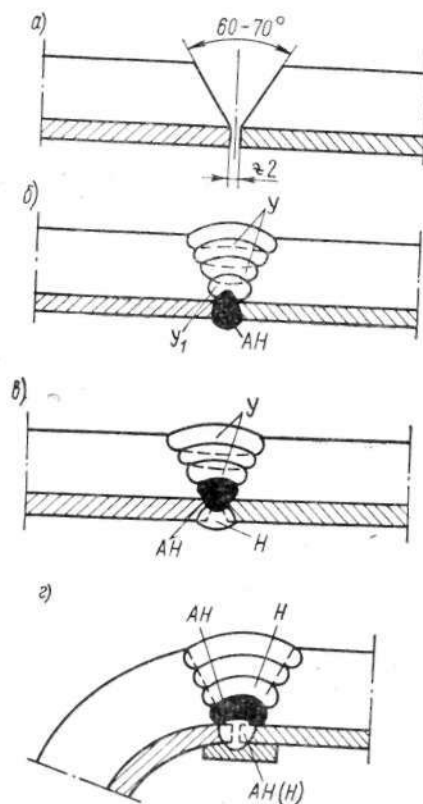


Рис. 110. Стыковые соединения двухслойных сталей с разделкой кромок со стороны углеродистой стали.

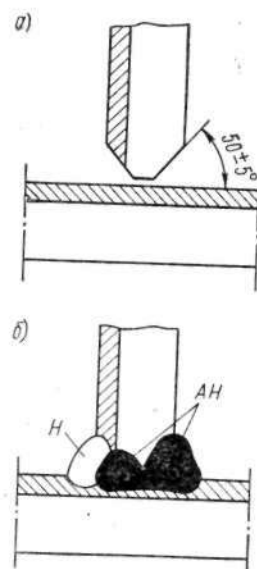


Рис. 111. Угловые тавровые соединения двухслойных сталей.

плакирующий слой (рис. 110, а, б). Последующие валики  $У$  можно формировать вручную теми же электродами, автоматически — малоуглеродистой проволокой под флюсом или в углекислом газе. Валик  $АН$  со стороны облицовки наваривают вручную электродами со стержнем из аустенитной проволоки с повышенным содержанием хрома и никеля или автоматически — такой же проволокой. В металле облицовочного шва при этом содержится не менее 18% хрома.

По второму варианту валик  $У$  выполняют электродами со стержнем с повышенным содержанием хрома и никеля (типа 25-12) так, чтобы проплавить облицовочный слой (рис. 110, в). Последующие валики  $У$  — аналогично валикам  $АН$ . Облицовочный валик  $Н$  выполняют вручную электродами со стержнем из обычной аустенитной стали типа 18-8. Для получения гарантированного провара рекомендуется в месте стыковки плакирующего слоя свариваемых деталей сделать фаску или вырубить углубление на половину толщины слоя.

В практике часто приходится сваривать двухслойную сталь с плакирующим слоем, не доступным для сварки изнутри (трубы, коллекторы, обечайки с днищами малого диаметра и т. п.). В этом случае все сечение разделки биметалла небольшой толщины заполняется снаружи аустенитным металлом. При сварке большой толщины корневой слой  $Н$  (см. рис. 110, г) выполняют ручным аргоно-дуговым методом без присадки или с присадкой из проволоки типа 18-8. Важно не допускать при этом, чтобы в ванну попадал углеродистый металл, т. е. оплавливались прилегающие кромки углеродистого металла. Дальнейшее заполнение разделки можно производить аустенитным металлом. Валик  $АН$  следует выполнять аустенитным металлом типа 25-12 для повышения коррозионных свойств сварочного шва, последующие — металлом типа 18-8.

Если разделка кромок на угловом или тавровом соединении сделана со стороны плакирующего и углеродистого слоев (рис. 111, а, б), ее заполняют ручным способом электродами типа ЭА2 или автоматическим (полуавтоматическим) — с использованием высокоаустенитной проволоки. Плакирующий слой небольшой толщины (1—3 мм) сваривают электродами, стержни которых изготовлены из проволоки с повышенным содержанием хрома и никеля (типа 25-12). При большой толщине плакирующего слоя (более 4 мм) валик  $Н$  наплавляют электродами со стержнем из стали типа 18-8, менее легированной и более дешевой. Для формирования валиков  $АН$  всегда следует использовать электроды (проволоку) с повышенным содержанием хрома и никеля.

### Глава III

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРКИ

### § 34. Требования к сварным узлам и оценка качества сварки

Сварные соединения не должны уступать по своим свойствам основному металлу, из которого изготавливается сварной узел. Требования к сварным узлам, выдвигаемые конструктором, и мероприятия для их выполнения, назначенные технологом, должны быть выполнены.

Конструктор, как правило, руководствуется условиями работы узла или изделия в целом, поэтому его, в первую очередь, интересует обеспечение прочности, коррозионной стойкости, пластичности основного металла и металла сварных соединений при соблюдении заданной геометрической формы узла или изделия.

Технолог заботится о способах обеспечения требований конструктора. В его задачу входят все операции, связанные с изготовлением деталей и узлов, начиная с раскроя заготовок и кончая последним испытанием узла.

Качество сварного изделия зависит от правильности расчленения его на узлы, от соблюдения точности обработки деталей и кромок, качества сборки, доступности для сварки и контроля, тщательности выполняемых технологических операций, испытаний и контрольных операций и т. п. Всякое отклонение или несоблюдение технологии подготовки, обработки, сборки может привести к снижению рабочего сечения элемента изделия; отклонение от технологии сварки — к появлению дефектов, нарушающих сплошность или способствующих концентрации напряжений, ухудшающих свойства сварных соединений по сравнению с основным металлом.

Контроль и испытание сварных узлов призваны предупредить или обнаружить любое отклонение или нарушение требований конструктора и технолога. Поэтому указанные технические операции, завершающие изготовление, являются наиболее ответственными.

Основные технические требования к деталям и сварному узлу в целом изложены в чертеже проектантом. При изучении чертежа

можно узнать допуски на размеры сопрягаемых деталей, величину зазоров, допустимые отклонения параллельности или перпендикулярности свариваемых поверхностей или осей изделия, объем контроля качества швов и испытаний. В технологической карте обычно излагают методы и способы обеспечения требований проектанта. Все эти требования, предписанные конструктором и технологом и точно выполненные при обработке, сборке, сварке и контроле, определяют работоспособность и надежность изделия.

Надежность — это способность сварного изделия или узла, сварного шва не отказывать в работе в течение заданного срока. Если это условие выполняется, значит конструкция обладает стопроцентной надежностью.

Любое изделие или узел, хорошо спроектированные и изготовленные, тщательно проконтролированные и испытанные и правильно эксплуатируемые, не должны отказывать в работе. Все стадии создания изделия взаимосвязаны и неравноценны для гарантии надежности.

Опыт показывает, что иногда самые лучшие конструкции, самая совершенная технология сборки и сварки и правильная эксплуатация не исключают возможности отказов, если контроль качества швов не выявляет всех дефектов, возникающих в процессе выполнения сварки. Разработать весьма чувствительные методы контроля, способные влиять на окончательный результат при выполнении сварки, трудно, и поэтому надежность изделия в целом помимо стабильности работы оборудования, качества материалов и других факторов зависит от умения и прилежности сварщика.

Если конструкция состоит из многих сварных узлов, имеющих множество швов, то и надежность его зависит от качества каждого шва в отдельности. Достаточно получить один шов с невыявленным в процессе изготовления дефектом, и изделие в целом окажется ненадежным. Вот почему при подготовке к сварке, сборке и сварке не должно быть мелких, кажущихся второстепенными, нарушений, которыми можно пренебречь.

Чистота проволоки, флюса, свариваемых кромок, рук или перчаток сварщика, тщательность обработки и подгонки кромок при сборке, соблюдение заданных режимов сварки, добросовестность сварщика при зачистке поверхности швов, случайных замыканиях электродом или удалении вольфрамовых включений и т. п., независимо от объема и методов контроля и испытаний, являются залогом надежности сварных узлов и изделия в целом. Поэтому контроль качества сварки начинается задолго до ее выполнения, еще на стадии выбора и подготовки материалов и продолжается до начала эксплуатации, а иногда осуществляется и в процессе эксплуатации изделия.

Контроль качества сварных соединений узлов из нержавеющей сталей осуществляется, как правило, по техническим условиям,

составленным проектантом для каждого изделия, агрегата, объекта. После согласования с эксплуатационниками эти технические условия являются обязательными к исполнению на всех стадиях изготовления, монтажа, контроля и испытания узлов и изделия. Наибольшее распространение в практике получили технические условия, называемые «Правила контроля» (ПК). Эти правила диктуют применение прогрессивных технологических процессов изготовления, включая и современные способы сварки, рекомендуют наиболее эффективные методы контроля, ориентируют на применение новейших видов испытания узлов.

Учитывая специфичность и различия в условиях работы отдельных узлов и агрегатов из нержавеющей стали, все изделия разделяют на категории по степени ответственности, условиям эксплуатации и возможности ремонта.

Обычно самые ответственные узлы, работающие в тяжелых условиях (высокое давление, высокая температура, агрессивная среда и т. п.) и не доступные для ремонта, относят к первой категории. Остальные узлы, работающие в менее сложных условиях, — ко второй, третьей или четвертой категориям.

Категория сварного соединения устанавливается проектантом и указывается в чертеже. В зависимости от категории осуществляется оценка качества сварки и принимается решение о допустимости того или иного дефекта, или узел (изделие) бракуется.

### § 35. Виды контроля качества и порядок приемки в процессе изготовления сварных узлов

Предпосылки для достижения высокого качества сварных швов закладываются на ранних стадиях изготовления изделия, начиная от контроля квалификации сварщиков. На протяжении всего рабочего процесса изготовления узлов в зависимости от назначения изделия применяют многие виды контроля качества. Основными из них являются контроль: квалификации сварщиков, состояния сварочного оборудования, качества свариваемых и сварочных материалов, качества сборки под сварку, выполнения сварочных операций.

Контроль квалификации сварщиков включает проверку теоретических и практических знаний по сварке нержавеющей стали. Объем теоретического и практического обучения устанавливается программой (см. Приложение в конце книги). Допущенным к сварке нержавеющей стали считают дипломированного сварщика, получившего в дипломе отметку квалификационной комиссии о допуске и имеющего соответствующий разряд по действующей тарифно-квалификационной сетке. Независимо от стажа работы все сварщики не реже одного раза в год проходят контрольные испытания. Исключенные составляют лишь сварщики, которые в течение года давали продукцию высокого ка-

чества, что подтверждается результатами контроля сварных швов. Однако отметку в дипломе в этом случае также делает квалификационная комиссия.

Технологи, мастера и другие работники, занятые изготовлением узлов из нержавеющей стали, также должны изучить всю техническую и технологическую документацию по обработке, сборке, сварке и контролю узлов из нержавеющей стали и пройти аттестацию специальной комиссией.

Контроль состояния сварочного оборудования и измерительных приборов (амперметра, вольтметра, расходомера) включает проверку обеспечения заданных технологическим процессом параметров режима сварки, исправности и выполнения сроков ремонта. Проверка состояния оборудования и измерительной аппаратуры осуществляется, как правило, не реже одного раза в месяц и сразу после каждого ремонта, а также после каждой переналадки автомата или специализированной сварочной установки.

В отдельных случаях, когда выполняется сварка партии ответственных стыков, проверка оборудования производится путем сварки пробных стыков, которые подвергаются контролю внешним осмотром, механическими испытаниями и металлографическими исследованиями. Оборудование и аппаратура считаются исправными, если по всем видам контроля и испытаний получены положительные результаты. Эти результаты заносят в специальный журнал и периодически анализируют с целью выявления условий, метода и средств получения продукции высокого качества.

Контроль качества свариваемых и сварочных материалов осуществляется до начала сварки и предусматривает проверку качества: сварочных материалов, обработки кромок, сборки, а также проверку квалификации сварщика. При изготовлении ответственных узлов проверяют также и качество основного металла по сертификату или паспорту на данную партию металла. Проверяют марку и химический состав стали, номер плавки, размеры и поверхность материала, результаты испытаний, предусмотренных стандартом. Такой контроль ограничивает возможность образования дефектов при сварке.

Иногда необходимо проверить основной металл на склонность к образованию трещин в процессе сварки. Один из способов такой проверки — выполнение холостых валиков на исследуемом металле вольфрамовым электродом (без присадки) током силой 170—200 а. Если видимых трещин на поверхности валика не обнаруживается, это значит, что основной металл обладает удовлетворительной стойкостью против трещинообразования.

Контроль сварочных материалов включает проверку качества проволоки, электродов, флюса, защитного газа.

О пригодности проволоки для сварки, помимо внешнего осмотра, судят по данным бирки, прикрепленной к мотку, и серти-

фика, сопровождающего партию проволоки. Химический состав всех мотков одной партии не всегда одинаков. Для проверки отбирают два мотка или более. Стружку для химического анализа берут от двух концов каждого мотка. Если окажется, что наличие какого-нибудь элемента не соответствует стандарту, то химическим анализом проверяют всю партию проволоки. Иногда обнаруживается различное содержание какого-то элемента в одном мотке, например углерода или титана (для получения швов, стойких против межкристаллитной коррозии, необходимо применять проволоку с определенным содержанием этих элементов). В этом случае проверяют каждый отрезок проволоки, предназначенной для зарядки в одну кассету.

Партия проволоки одной плавки бракуется, если после проверки обнаруживается, что химический состав стали не соответствует техническим условиям или стандарту.

О качестве электродов для дуговой сварки судят по механическим свойствам металла, наплавленного этими электродами. По этой же пробе проверяют и технологические свойства данной партии электродов.

Если во время пробной сварки нарушается нормальное горение дуги, чрезмерно разбрызгивается металл, неравномерно плавится покрытие, образуются поры и шлаковые включения, технологические свойства электродов проверяют повторно. При этом следует учитывать условия их хранения. Технологические свойства электродов, хранящихся в кладовой цеха, можно проверять лишь после определения нормы их влажности или после их прокаливании.

Если окажется, что наплавленный металл имеет низкую прочность и пластичность или электроды обладают плохими технологическими свойствами, вся контролируемая партия электродов бракуется.

Проволока и электроды для дуговой сварки проверяются на горячие трещины. Для этого сваривают тавровый образец и после тщательного осмотра с помощью лупы поверхности шва разрушают образец на прессе или молотком. Затем осматривают излом шва. Если в шве была трещина, на изломе отчетливо виден характерный участок металла, пораженного ею. Склонность металла проволоки и электродов к трещинообразованию часто проверяют также на обычных образцах-моделях, подобных сварному соединению изделия. Поверхность шва тщательно осматривают, образец разрезают и изготавливают макрошлиф. После травления шлифа специальными реактивами его поверхность рассматривают с помощью лупы или микроскопа.

Вольфрамовые прутки, служащие электродами для сварки в среде защитных газов, не должны иметь трещин и расслоений. Качество вольфрамовых электродов проверяют внешним осмотром.

Контроль качества флюсов, помимо анализа химического состава, предусматривает проверку величины зерна, его влажности и сварочных свойств. Величину зерна проверяют просеиванием через сита с различными ячейками, влажность — взвешиванием отобранной порции до и после прокалывания, сварочные свойства — пробными наплавками. Неустойчивое горение дуги, поры на поверхности валика и плохая отделимость шлаковой корки от металла являются основными признаками низких сварочных свойств флюса.

Флюс проверяют на трещинообразование в швах одновременно с аналогичной проверкой проволоки.

Контроль качества сборки под сварку включает проверку: принадлежности материала заготовок и деталей к стали того класса, который указан в чертеже и технологическом процессе; чистоты поверхности свариваемых кромок и правильности их разделки; зазоров в соединениях; совпадения осей свариваемых деталей; надежности крепления деталей в кондукторах; качества и расположения прихваток; наличия покрытия для защиты от брызг.

Принадлежность металла заготовок и деталей к определенному классу сталей определяется по их маркировке. В случае сомнения марку материала можно определить с помощью стилоскопа (приблизительно) или химическим анализом (точно).

Чистоту поверхности свариваемых кромок и прилегающие к ним поверхности деталей с наружной и внутренней стороны (зачищенные до блеска) проверяют внешним осмотром и пробной протиркой чистой салфеткой (из бязи, не оставляющей ворса). При обнаружении следов грязи, масла, пыли повторяют зачистку и обезжиривание поверхностей с последующим повторным нанесением защитного покрытия (каолина).

Правильность и точность разделки кромок под сварку контролируют обычным мерительным инструментом или с помощью специальных шаблонов, определяющих форму разделки, угол скоса, ширину площадки на усе замкового соединения или соединения на подкладке. На трубных узлах одновременно проверяется точность калибровки труб раздачей или расточкой, размеры и контуры подкладного или расплавляемого кольца, профиль вставок.

Зазоры в стыковых соединениях на листовых конструкциях проверяют специальным щупом, зазоры в стыковых соединениях трубных узлов — специальными шаблонами типа гладких калибров (с проходным и непроходным выступом). Внутренние зазоры между трубой и кольцом, ниппелем и трубой при нахлесточном соединении труб с арматурой (см. рис. 102) контролируют щупом. Во всех случаях величина зазора должна соответствовать указаниям чертежа или технологической карты.

Совпадение осей свариваемых деталей проверяют угольником, линейкой, шаблоном и щупом путем наложения на стыкуемые по-



верхности. При замерах величины перелома осей руководствуются указаниями чертежа, но с учетом поправки на допустимую деформацию, величина которой предсказывается технологической картой.

Надежность крепления собранных деталей в кондукторах, центраторах, кантователях и манипуляторах определяют легким постукиванием по детали. Степень и качество поджата флюсовой подушки, клавишных прижимов и т. п. — по показаниям манометра.

Качество, размеры, количество и расположение прихваток и способ сварки, проверяемые внешним осмотром и замером, должны строго соответствовать требованиям технологической карты, так как все прихватки переплавляются, и малейшее нарушение может привести к образованию дефектов в швах. Как правило, прихватки выполняются теми же способами сварки и теми же сварочными материалами, что и вся сварка соединения, и отступление от этого правила всегда снижает вероятность получения шва высокого качества.

Качество и размеры зоны покрытия поверхности свариваемых деталей с целью защиты ее от брызг, образующихся при ручной дуговой и полуавтоматической сварке плавящимся электродом в защитных газах, контролируют внешним осмотром и замером обычными инструментами. Учитывая большую опасность разрушения металла в местах прижога брызгами, защитный слой следует осматривать особенно тщательно как перед началом сварки, так и в процессе ее выполнения, постоянно восстанавливая участки, на которых этот слой нарушился.

Собранный, тщательно проверенный и подготовленный под сварку узел подлежит приемке ОТК, о чем производится соответствующая запись в паспорте изделия или в специальном журнале.

Контроль в процессе сварки включает проверку: чистоты собранных под сварку или частично уже сваренных кромок и поверхностей; последовательности выполнения швов и очередности наложения валиков; выполнения промежуточных операций (зачистка, обивка шлака, остывание и др.); соответствия фактических режимов сварки указаниям в технологической карте; качества и соответствия сварочных материалов заданным ТУ; исправности сварочного оборудования, приборов и аппаратуры; чистоты рук (перчаток) сварщика.

Даже при тщательном соблюдении технологии сварки не всегда удается избежать дефектов в сварных швах. Различные дефекты по-разному влияют на работоспособность сварной конструкции: одни снижают прочность, другие — коррозионную стойкость, третьи — непроницаемость и т. д.

Любой дефект — брак продукции. В большинстве случаев брак сварки исправим, но даже небольшое исправление снижает производительность труда и увеличивает стоимость конструкции.

## § 36. 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 неотвеченного 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, заусеницы, 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 и поры, незаполнение разделки типа подрезов, 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.

К внутренним дефектам относятся поры, шлаковые и вольфрамовые включения, трещины, непровары, несплавления между валиками.

Наплывы образуются в результате натекания 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 крокам.

**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 аргоно-дуговой 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.

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 (рис. 112). 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



Рис. 112. Уменьшение сечения шва (утяжка) на участке трубы, сваренном в потолочном положении 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.

**Непровар** 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 (рис. 113); малого технологического зазора; большого диаметра электрода для вы-

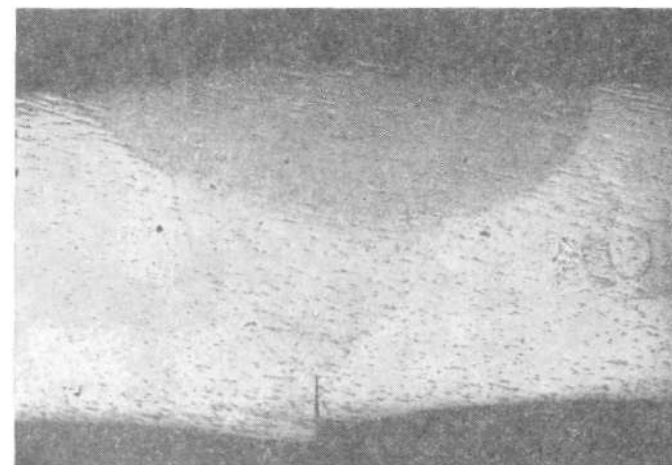


Рис. 113. Непровар при сварке стыкового соединения.

полнения 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. Типичный непровар (несплавление между валиками) показан на рис. 114. Предотвратить его можно только изменением режима сварки (увеличением силы тока и уменьшением скорости сварки или уменьшением амплитуды — при автоматической сварке с поперечными колебаниями горелки).

На соединениях труб, свариваемых в условиях монтажа и собранных поэтому на подкладном кольце, часто образуются неспла-

ления кромок с кольцом (рис. 115). 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.

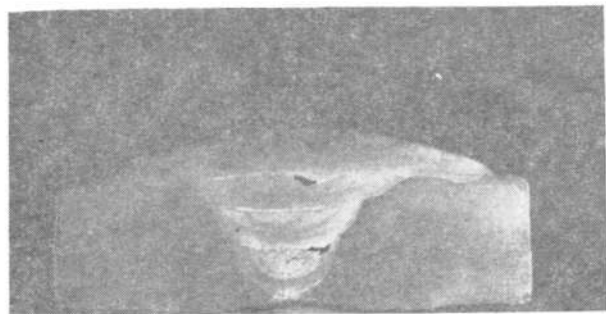


Рис. 114. Несплавление металла между валиками при сварке плавящимся электродом.

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



Рис. 115. Несплавление кромок с подкладным кольцом (планкой).

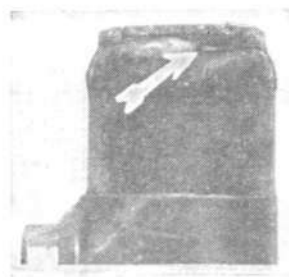


Рис. 116. Незаполнение разделки при автоматической аргоно-дуговой сварке с присадкой.

при автоматической сварке, когда неправильно установлен (по разделке) электрод или применяется слишком жесткая (нагартованная) присадка, а мундштук расположен далеко от места сварки (рис. 116). 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

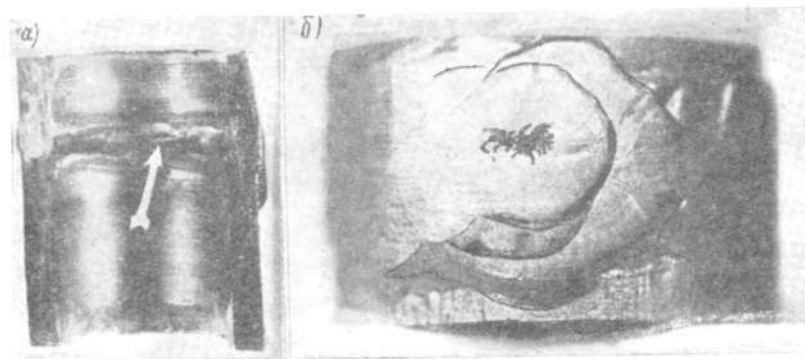


Рис. 117. Кратеры в сварных швах: а — при автоматической сварке вольфрамовым электродом; б — при ручной дуговой сварке.

для прогрева может привести к образованию неглубокого кратера (рис. 117, а). Слишком большая выдержка приводит к чрезмерному проплавлению кромок и к образованию кратера (см. рис. 71). Если с помощью реле времени не удастся 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 (рис. 117, б) 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 (рис. 118), а также в результате неправильного гашения дуги при ручной и автоматической сварке (см. рис. 73). Исправить такой дефект можно только после полного удаления металла шва на этом участке.

Прожог чаще всего образуется на тонкостенных соединениях или соединениях с подкладными полосами, кольцами, когда сварку выполняют на повышенном режиме или при увеличенном зазоре между кромками. В местах прожога (рис. 119) металл окисляется и становится рыхлым, непрочным, неплотным. По



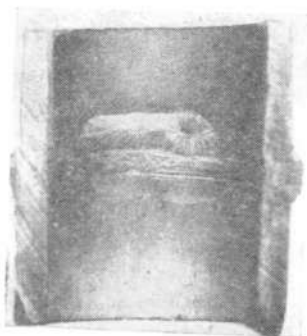


Рис. 118. Свищ, образовавшийся в результате резкого обрыва сварочной дуги при сварке вольфрамовым электродом.

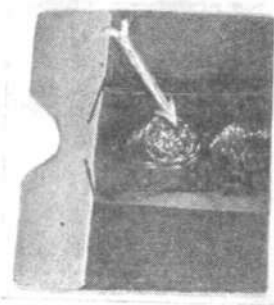


Рис. 119. Прожог (подплавление подкладного кольца) при ручной дуговой сварке.

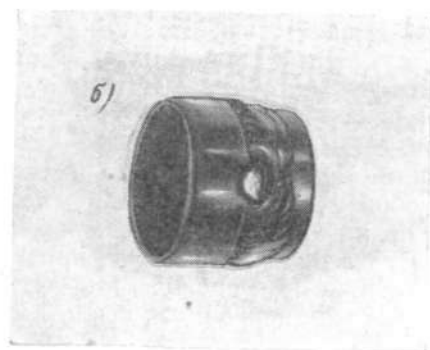
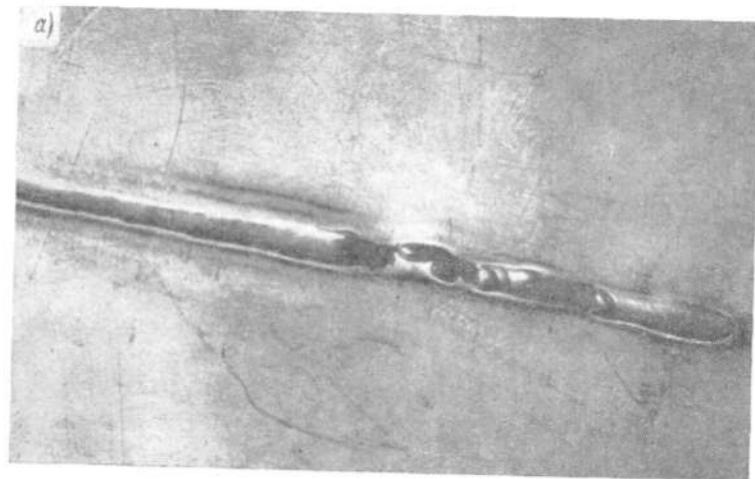


Рис. 120. Прожоги при аргоно-дуговой сварке: а — тонких листов (0,3—0,5 мм); б — тонкостенной трубки с заглушкой.

возможности такие участки тщательно зачищают до полного удаления некачественного металла. В недоступных для зачистки местах, где могут появиться прожоги, при сварке первого слоя следует обдувать обратную сторону шва защитным газом.

Прожоги являются характерным дефектом сварки тонкостенных изделий: обечаек сильфонных компенсаторов, труб гибких металлических шлангов, арматуры с трубами. 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.

На рис. 120 показаны случаи образования одинаковых по природе прожогов на различных соединениях. Прожог на обечайке образовался из-за плохой сборки — одна кромка возвышалась над другой (нахлесточное соединение). То же самое получилось на соединении трубки с заглушкой — кромка трубки не соприкасалась 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 нержавеющей сталей металл сварочной ванны в результате кристаллизации получает большие деформации растяжения. Чаще всего рыхлость наблюдается при окончании сварки в кратере (рис. 121). 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 подпитывать ванну дополнительным введением присадочного металла.

На рис. 121, б показан срезанный шов, выполненный аргонодуговой сваркой. До снятия усиления никаких признаков рыхлости в кратере обнаружено не было, однако испытание трубопровода на газоплотность выявило течь в сварном шве. Место течи удалось обнаружить после последовательного снятия усиления шва. Исследование дефектного участка подтвердило наличие несплошности по всему сечению шва.

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.

На поперечном разрезе (рис. 122) отчетливо виден участок шва, выполненного с малым по длине перекрытием места начала сварки. Этот участок после разделки его вдоль оси был подвергнут микро-



исследованию без снятия усиления шва. Микроисследование показало, что рыхлость не привела к сквозной несплошности, но в результате длительной работы в таком шве могла появиться течь.

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



Рис. 121. Несквозная рыхлость в кратере шва, выполненного автоматической аргоно-дуговой сваркой: а — внешний вид участка окончания сварки; б — внешний вид рыхлости после частичного снятия усиления.

валик в месте начала гашения дуги при сварке труб является первым признаком рыхлости.

**П р и ж о г и** — результат небрежности сварщика. «Чирканье» электродом, плохой контакт между струбциной с обратным про-

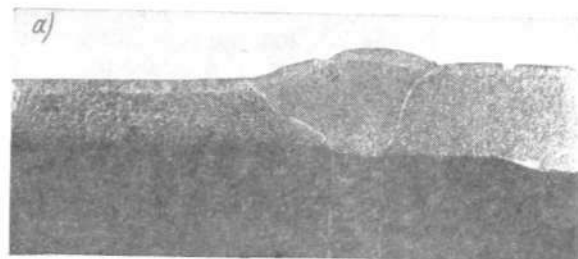


Рис. 122. Сквозная рыхлость в кратере шва, выполненного ручной аргоно-дуговой сваркой: а — поперечный разрез дефектного участка шва; б — ми-

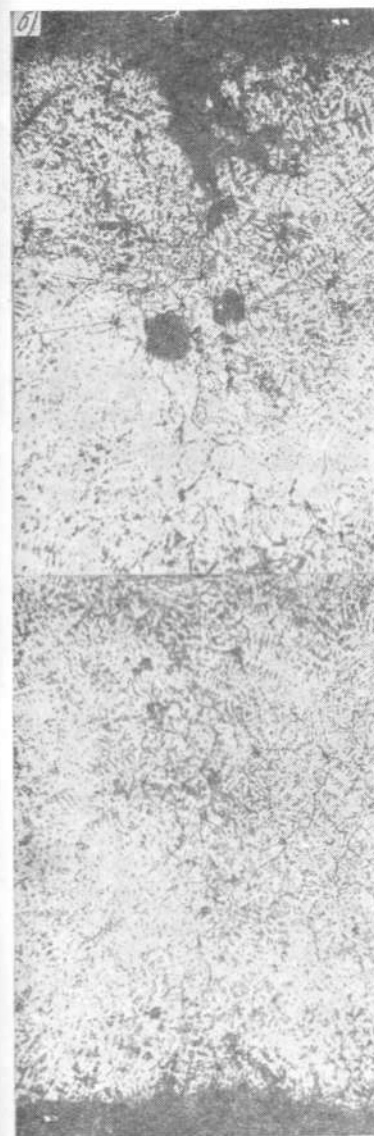
водом и изделием, между рабочим столом и изделием, случайные касания электрододержателем поверхности изделия приводят к мгновенному оплавлению металла. Металл интенсивно окисляется и становится рыхлым. Глубина дефекта зависит от мощности источника тока. Как правило, металл в местах глубокого прижога поражен трещинами (рис. 123).

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 достигают 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.

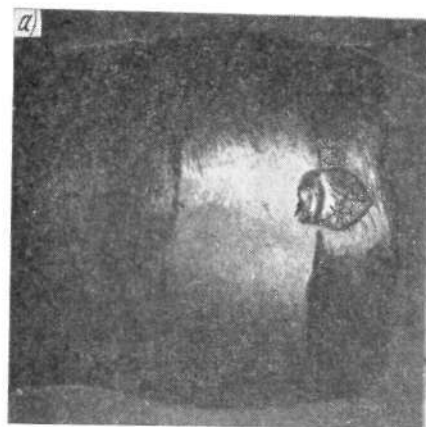
В отдельных случаях прижог можно исправить наплавкой. Для этого поверхность металла в поврежденном месте полируют и подвергают травлению. После тщательного контроля на отсутствие трещин производят наплавку.

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.



ного ручной аргоно-дуговой сваркой: крошлиф дефектного участка шва.

На рис. 124 показана увеличенная микроструктура шва, выполненного аргоно-дуговой сваркой с плохой защитой сварочной ванны от воздействия воздуха. На окисленной поверхности азот воздуха соединился с титаном, находящимся в стали. Образовавшиеся нитриды (видны в виде ромбиков) снизили полезное действие титана и наружный слой шва потерял стойкость к межкристаллитной коррозии (см. трещины на поверхности шва в верхней части рисунка). 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 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.

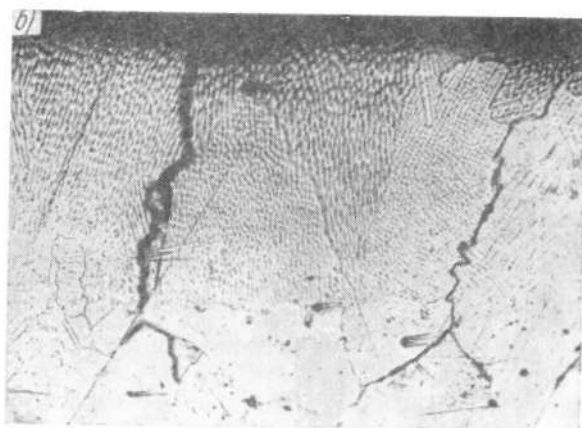


Рис. 123. Прижог на границе сплавления металла шва с основным металлом:  
а — внешний вид прижога; б — микрошлиф участка шва с прижогом.

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, застревают между растущими кристаллами 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, в окружающем воздухе (при нарушении защиты сварочной ванны).

Характерный признак высокой влажности флюса — желтые пятна и сыпь на шве (см. рис. 80). В левой части шва видна открытая пора — результат использования для сварки непрокаленного флюса. При сварке под флюсом на образование пор влияет полярность тока. Швы, выполненные постоянным током обратной полярности, характеризуются наименьшей пористостью.

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.

В практике часто после обивки шлака шов обдувают сжатым воздухом. Это допустимо для полностью заваренных соединений и недопустимо для промежуточных валиков, когда после обдувки продолжают сварку данного соединения. Вместе со сжатым воздухом на поверхность шва попадают влага и масло, удалить которые затруднительно, особенно из углублений в валиках.

Шлаковые включения — дефекты, характерные только для ручной дуговой сварки и сварки под флюсом. Шлак, образующийся при плавлении электродного покрытия или флюса, всегда всплывает на поверхность сварочной ванны. Если электроды или флюс удовлетворяют техническим условиям, шлак может

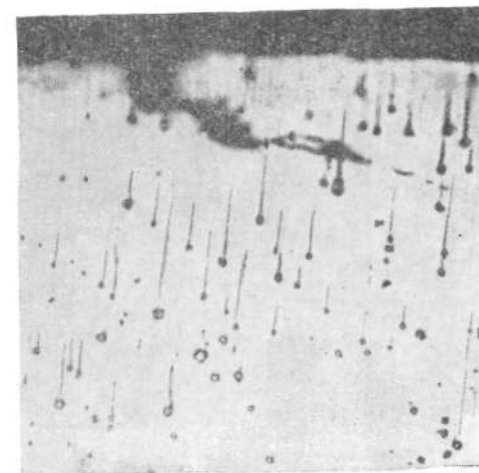


Рис. 124. Шлиф верхнего слоя окисленного шва.

оставаться внутри металла только при нарушении техники и технологии процесса (большая скорость сварки, неправильный наклон электрода, плохая зачистка ранее выполненного валика). Чаще всего шлаковые включения остаются в шве в результате подтекания шлака при выполнении корневых валиков в глубоких разделках. Сварка под флюсом кольцевых швов сопровождается шлаковыми включениями из-за несоблюдения рекомендуемой величины смещения электрода (см. рис. 58).

Вольфрамовые включения могут попадать в шов в результате коротких замыканий при сварке неплавящимся элект-

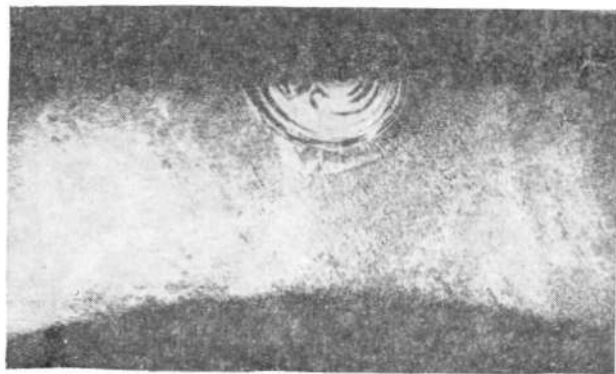


Рис. 125. Вольфрамовое включение в шве.

родом. Характерные признаки замыкания — треск и резкая вспышка дуги. Расплавленный конец электрода при этом разбрызгивается и попадает в расплавленный металл в виде мелких (или одного крупного) включений. Если в момент замыкания металл шва был достаточно затвердевшим, вольфрамовое включение останется на его поверхности (рис. 125). 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 стали, бывают двух видов: горячие и холодные. Оба вида образуются вследствие деформаций растяжения и растягивающих напряжений из-за неравномерного нагрева, усадки металла, внешних нагрузок (на-

тяжений, 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  $1200^{\circ}\text{C}$  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, наружными и внутренними. На рис. 126 показаны продольные сквозные кристаллизационные трещины на шве обечайки сильфонного компенсатора. 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.

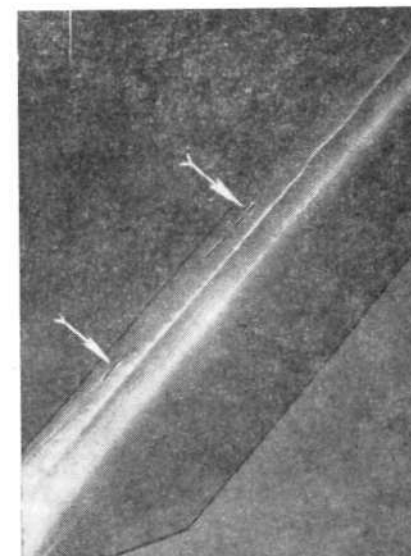


Рис. 126. Трещины сквозные на швах тонкостенных обечаек.

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 (рис. 127). Выявить такие трещины известными способами контроля сварных швов непосредственно на изделии невозможно. О их наличии в шве можно лишь судить по пониженным результатам



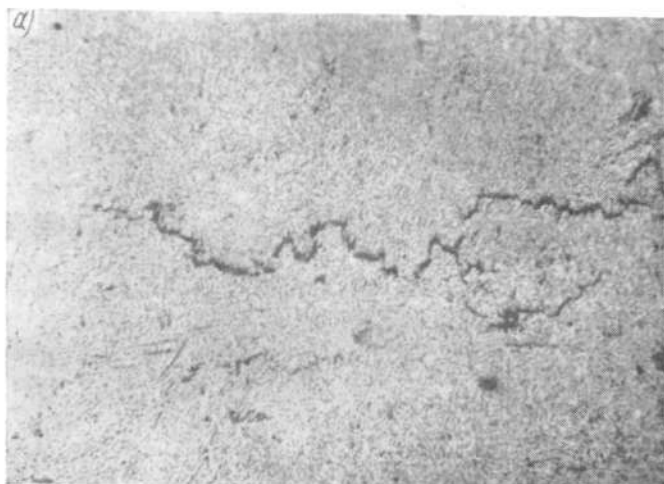


Рис. 127. Трещины в сварных швах: а — горячие трещины; б — холодные трещины; в — трещины на внутреннем валике при чрезмерном проплавлении.

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  $700^{\circ}\text{C}$ ) 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  $350\text{—}850^{\circ}\text{C}$ . 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.

### § 37. Контроль качества сварных соединений

В процессе приемки законченных сварных швов (соединений) применяют различные виды контроля качества.

Контроль внешним осмотром и измерением призван выявлять 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 дефектоскопией 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 после 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 «Судан». 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 наносят 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 или гамма-лучей при просвечивании плоских сварных соединений направляют перпендикулярно изделию, а соединений труб малого диаметра — под углом  $30^\circ$  к оси трубы так, чтобы на пленке получилось изображение в виде эллипса.

Шов на пленке изображается светлой полосой, а дефекты — в виде почернений различной формы и интенсивности: поры — точками, непровар — линиями, шлаковые включения — крупными точками неправильной формы или островками (рис. 128). 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.

По снимкам (пленкам) определяют характер, размеры и количество дефектов в шве. Для сокращенного обозначения каждого вида 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 обозначают 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 журнал. 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

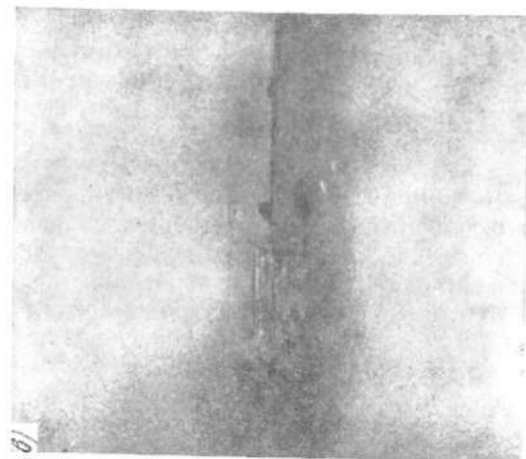
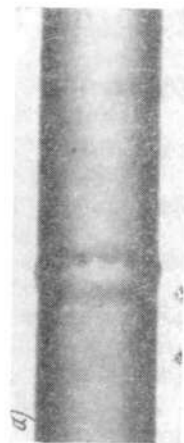
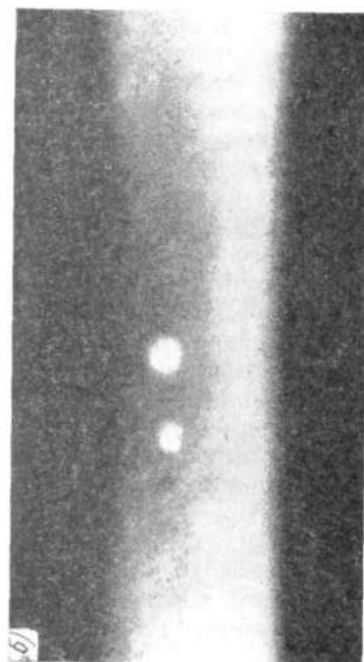


Рис. 128. Рентгеновские снимки швов: а — неравномерное проплавление труб; б — поры;



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 баллом 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 подвергаются, 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 пузыри, значит шов плотный.

На крупногабаритных изделиях швы обдувают струей сжатого воздуха под давлением не менее  $4 \text{ кг/см}^2$ , 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, пропитанных 5%-ным водным раствором азотной кислоты 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 воздуха

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 и швов 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 термической 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.

Проверке на растяжение подвергают образцы, вырезанные из металла шва и из сварного соединения. Контроль металла шва и оценка качества электродов осуществляются с помощью круглых образцов Гагарина (рис. 129), вырезанных из многоваликовой на-

плавки или из многоваликового шва. При испытании этих образцов определяют предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение и относительное сужение.

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.

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 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 местах растяжения тщательно осматриваются. Считается, что образцы выдержали испытание, если на растянутой поверхности шва не обнаружено трещин (рис. 130).

Испытание на удар проводится для определения ударной вязкости металла при заданной температуре. Этому виду контроля подвергаются, как правило, сварные соединения из нержавеющей стали толщиной 12 мм и более. Для испытаний изготавливают плоские (поперечные) образцы сечением 10 × 10 и длиной 55 мм с надрезом по оси шва, в ЗТВ или по линии сплавления (рис. 131) — в зависимости от цели испытаний. Оценка качества электродов осуществляется по образцам, вырезанным из наплавленного металла. После разрушения образца и определения ударной вязкости исследуют структуру излома.

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 трещины в образце (момент уменьшения усилия вытяжки) является мерой способности металла сварного соединения к вытяжке. Чем более пластичен металл сварного соединения и чем более благоприятна геометрия шва, тем глубже вытяжка.

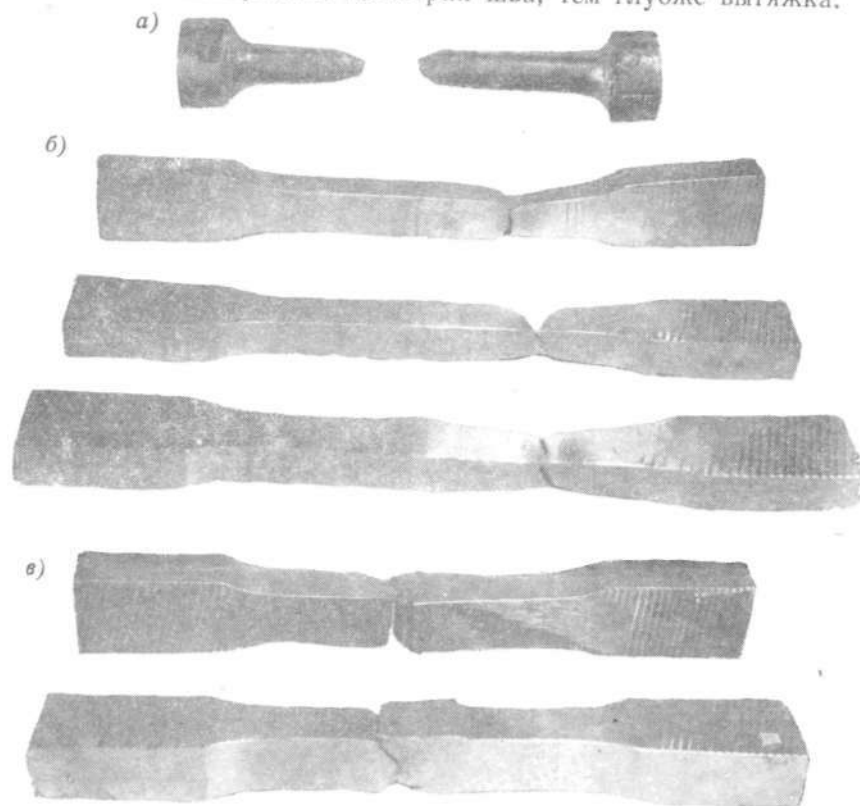


Рис. 129. Образцы, подвергшиеся растяжению: а — при испытании металла шва; снятие усиления; б — при испытании тонкостенных

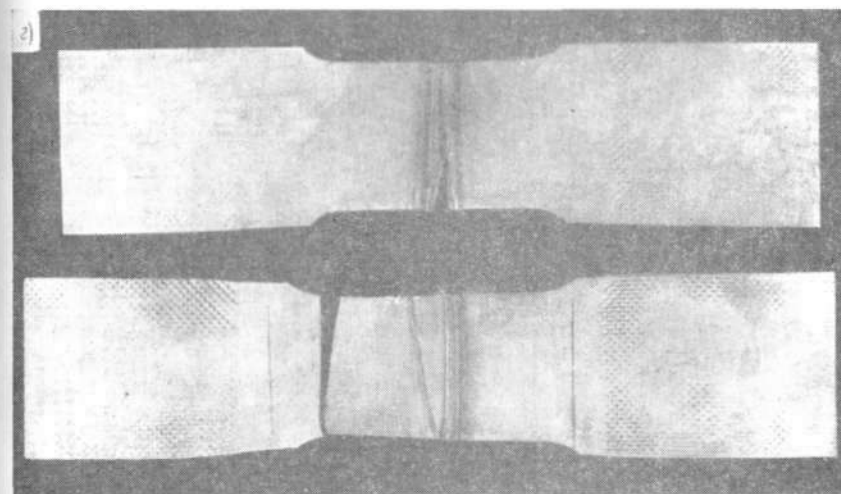
Внешний вид испытанного на вытяжку образца показан на рис. 132.

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

Макроанализ проводится для определения величины проплавления, правильности перекрытия валиков, характера кристаллизации, 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 изготовляют макрошлиф, который после травления раствором цавелевой 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 5 раз (см. рис. 114, 122, а; 135).

Кроме сварных соединений, макроанализу подвергают 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.



б — при испытании сварного соединения со снятым усилением; в — то же без сварных узлов (толщиной до 1 мм) без снятия усиления.

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 (см. рис. 113, 114). После травления специальными реактивами



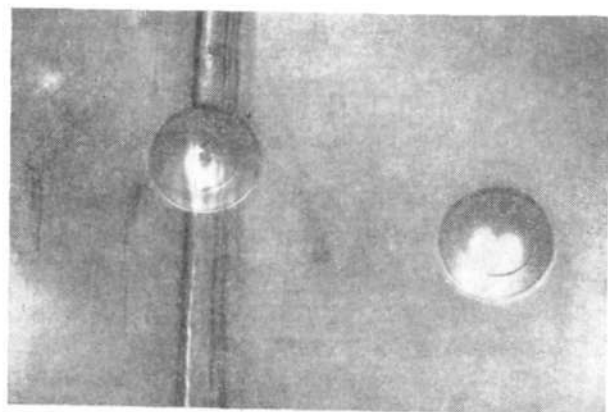


Рис. 132. Образец, испытанный на вытяжку основного металла и металла сварного соединения.



Рис. 130. Образцы, испытанные на изгиб.

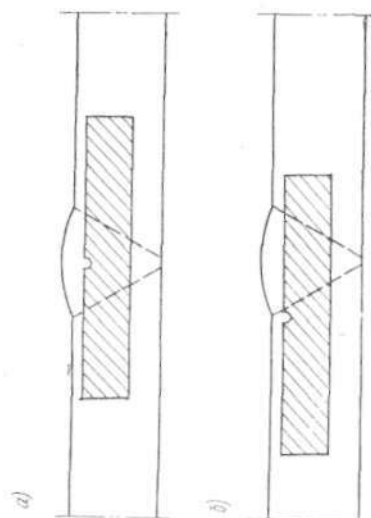


Рис. 131. Образцы для испытания на удар: а — металла шва; б — металла переходной зоны.

определяют микроструктуру металла (см. рис. 12; 13; 122, в; 134, в).

Испытания сварных швов на межкристаллитную коррозию проводят с целью определения степени стойкости большинства соединений из нержавеющей стали против этого явления. Для испытаний сварных швов применяют те же методы, что и для основного металла (см. гл. I).

Размеры и количество образцов указываются в инструкции на испытание или в технологической документации на изготовление сварной конструкции. Подготовка сварных образцов для испытаний аналогична подготовке образцов из основного металла.

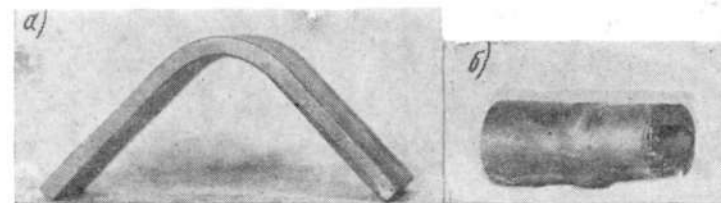


Рис. 133. Образцы, испытанные на стойкость против межкристаллитной коррозии: а — плоские сварные соединения; б — трубные сварные соединения.

Склонность сварных швов к межкристаллитной коррозии, как правило, проверяется по методу А или АМ.

По методу А образцы до испытаний кипятят в водном растворе медного купороса и серной кислоты, по методу АМ — в таком же растворе, но с медной стружкой. Продолжительность кипячения составляет 24—72 часа. После промывки и просушки плоские образцы загибают на угол  $90^\circ$ , образцы из труб сплющивают (рис. 133).

Трещины на растянутой поверхности образца свидетельствуют о склонности шва к межкристаллитной коррозии (рис. 134, а).

Характер коррозионных трещин определяют металлографическим исследованием шлифа, изготовленного из образца с трещинами. После исследования на нетравленных шлифах определяют характер коррозионного разрушения на травленном шлифе.

Если по какому-либо виду испытаний (механические, коррозионные и др.) хотя бы на одном образце получены неудовлетворительные результаты (рис. 135), испытание по данному виду повторяется на удвоенном количестве образцов. Если же и после повторного испытания получаются неудовлетворительные результаты, изделие бракуется.

Контроль количества ферритной фазы в сварных швах нержавеющей сталей аустенитного класса осуществляется для определения соответствия действительного количества заданному.

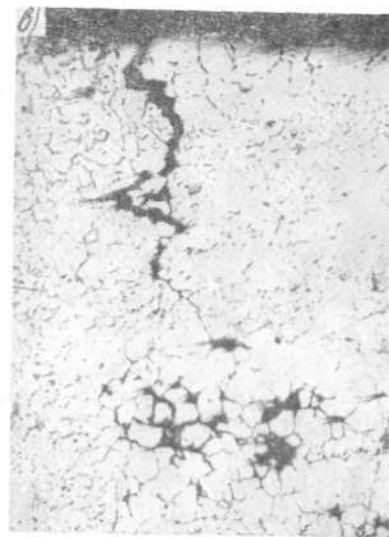
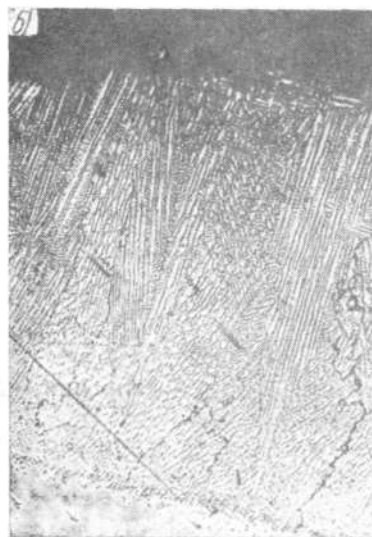
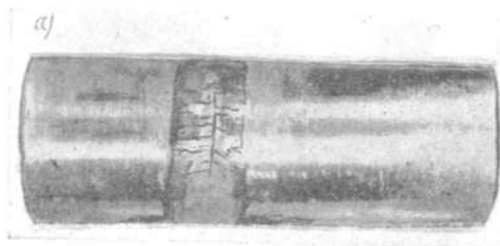


Рис. 134. Коррозионное растрескивание шва, выполненного автоматической аргоно-дуговой сваркой: а — внешний вид шва; б, в — соответственно нетравленный и травленный микрошлифы участка шва, пораженного коррозией.

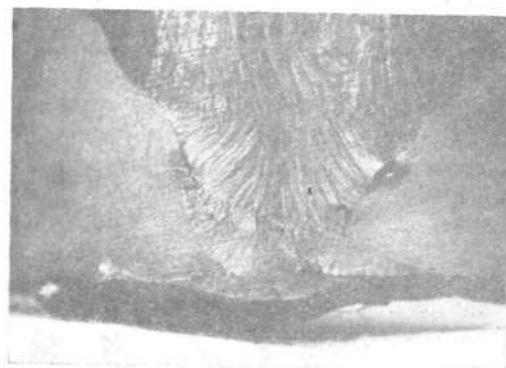


Рис. 135. Коррозионное разрушение корня шва после испытания образца при высокой температуре (провоцирующий нагрев до 650° С в течение двух часов).

Большинство марок электродов, имеющих стержень из проволоки Св-04Х19Н11М3 и близких к этой марке, а также присадка из этой проволоки дают наплавленный металл, который может содержать от 0 до 20% ферритной фазы. Такое колебание обуславливается непостоянством состава металла, из которого изготавливается проволока, и состава компонентов, применяемых для обмазки электродов. Следовательно, наплавленный такой проволокой (электродами) металл может оказаться чисто аустенитным (0% феррита) или содержать определенное количество ферритной фазы (около 20%). Опыт показывает, что полное отсутствие или малое количество, так же как и большое, ферритной фазы в наплавленном металле отрицательно сказывается на его свойствах. Это может служить причиной склонности его к горячим трещинам и межкристаллитной коррозии, а также к охрупчиванию после длительного пребывания сварного узла при повышенной температуре. Замечено, что нержавеющие стали, содержащие в структуре менее 3—5% ферритной фазы, при работе в условиях высоких температур склонны к повышению хрупкости околошовной зоны — так называемому локальному разрушению сварных соединений. Чрезмерное количество ферритной фазы в швах (более 10%) может привести к охрупчиванию металла шва под действием высоких температур.

Многочисленными опытами проверено и установлено, что оптимальным является наплавленный металл, содержащий от 2 до 8% ферритной фазы. В зависимости от способа сварки количество ферритной фазы в швах регулируют по-разному: изменением состава обмазки (флюса), проволоки или того и другого. Более успешно удается получить оптимальное количество ферритных включений в швах путем подбора стержня для электродов и изменением состава проволоки при сварке под флюсом и в защитных газах.

В электродах некоторых марок количество ферритной фазы регулируют изменением состава обмазки, т. е. изменением количества элементов-ферритизаторов. Например, у электродов марки ЭА400/10у это достигается изменением количества металлического хрома в обмазке, у электродов других марок — изменением количества ферромolibдена и феррованадия.

В практике при использовании материалов электродов и проволоки различных марок, а также в процессе изготовления электродов возможны ошибки. Для установления точного соотношения феррита и аустенита в основном металле и в металле шва служит контроль количества ферритной фазы в металле.

Применяют два метода контроля — металлографический и магнитный. Первый проводится с помощью микрошлифов, приготовленных из металла шва сварных образцов или вырезанного из изделия.

Количество ферритной фазы в шве оценивают сопоставлением с эталоном-микроснимком шва, в котором известно точное коли-

чество феррита. Этот метод характеризуется не очень высокой точностью и трудоемкостью. Кроме того, для точного определения количества ферритных включений необходимо разрушить сварной шов, выполненный непосредственно на изделии. Такой метод применим только для проверки швов, которые легко можно восстановить последующей сваркой.

Магнитный метод определения количества ферритной фазы в сварных швах основан на магнитности ферритной составляющей в немагнитном аустенитном металле. Проверку осуществляют прибором — ферритометром ФЦ-2.

Для проверки готовят образцы диаметром 5 и длиной 60 мм, по которым и определяют содержание феррита в пределах от 0,5 до 12%.

Ферритометр ФВД-2 применяют в случаях, когда нужно определить количество феррита в поверхностном слое шва непосредственно на сварной конструкции. При соприкосновении выносного датчика с металлом определяют количество феррита по результатам измерений вихревых токов, возникающих в контролируемом участке шва.

### § 38. Исправление дефектов сварных швов

Большинство дефектов, обнаруженных любым методом контроля качества сварных швов, исправимо. Исправляемый участок шва отмечают мелом или краской. После уточнения размеров и расположения дефекта намечают зону шва, подлежащую удалению. Удаление производится механическим путем: зубилом, фрезерованием, механической строжкой, наждачным кругом, напильником, иногда воздушно-дуговой строжкой. Выплавлять испорченные участки шва с помощью электрической дуги не рекомендуется, так как при этом могут образоваться другие дефекты.

В зависимости от вида и размера дефекта, а также от места расположения его в шве участок после исправления можно признать качественным или некачественным. Удаление участка производится так, чтобы была возможной его качественная заварка, т. е. угол раскрытия под заварку должен быть не менее 55°.

Дефектный участок сварного шва рекомендуется заваривать тем же методом сварки и с теми же сварочными материалами, которые применялись при первоначальной сварке. Это делается для того, чтобы сохранить одинаковыми свойства металла шва на всем протяжении. Если это невозможно, применяют другие методы. Чаще всего дефектные участки шва исправляются ручной дуговой или ручной аргоно-дуговой сваркой независимо от того, каким методом был выполнен шов. Заварку следует вести на минимальных режимах с применением электродов и присадочной проволоки наименьших диаметров.

Исправление швов с наплывами и натеками на границе двух валиков или в местах перехода к основному металлу производится обдиркой и шлифовкой дефектного участка наждачным кругом с последующей зачисткой поверхности шва 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.

Незаделанные кратеры всегда завариваются после вырубки и шлифовки, а также тщательной проверки на отсутствие трещин, надрывов, пор и шлаковых включений в районе расположения кратера.

Участки швов с непроварами, трещинами, газовыми порами, шлаковыми и вольфрамовыми включениями удаляют и, как правило, затем заваривают. Исключение составляют дефекты, расположенные на поверхности шва на небольшой глубине, которые исправляют шлифовкой поверхности. Перед заваркой необходимо убедиться в полном удалении дефекта. Особое внимание следует уделить проверке надежности удаления трещин и надрывов. Чтобы окончательно убедиться, что после шлифовки трещин не осталось, применяют люминесцентный или цветной метод контроля.

Удаление дефектов из основного шва на двухслойных сталях производится обычным методом, применяемым для изделий из углеродистых сталей: зубилом, наждачным камнем, выплавкой дугой или газовым пламенем. При дуговой или газовой выплавке нержавеющей стали рекомендуется охлаждать мокрым асбестом.

Дефектные участки в коррозионностойком шве выплавлять дугой или газовым пламенем не допускается, так как нагрев металла снижает его коррозионные свойства.

После удаления дефекта производится контроль качества подготовки участка под заварку. Заварка дефектов на двухслойных сталях должна выполняться теми же сварочными материалами, что и сварка этого соединения. Исправленный участок шва подвергают всем видам контроля, которые применялись до обнаружения дефекта.

## Глава IV

### РЕЗКА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Применяют следующие виды резки нержавеющей стали: дуговую электрическую; воздушно-дуговую, кислородно-флюсовую и газозлектрическую.

#### § 39. Дуговая электрическая резка

Этот вид относится к области разделительной резки, но в зависимости от требований к изделию может применяться и для строжки поверхностей и кромок.

При дуговой электрической резке применяют стальные обмазанные электроды марок ЦМ-7С, ОММ-5, УОНИ-13 и др. Если изготавливают электроды специально для резки, в обмазку добавляют тугоплавкие порошки — керамику. Керамика способствует получению твердого козырька на конце электрода, в ре-

Таблица 36

Ориентировочные режимы дуговой электрической резки нержавеющей сталей

Толщина сталн, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, а	Скорость резки, мм/мин	Ширина реза, мм
4	3	170	300	7—8
8—12	3	170	180	7—8
15	3	170	130	7—8
6	4	225	315	9—11
12	4	225	170	9—11
25	4	225	90	9—11
6	5	300	315	12—15
12	5	300	190	12—15
25	5	300	110	12—15

зультате чего значительно повышаются их технологические свойства. Питание дуги можно осуществлять от стандартных источников большой мощности.

Техника резки проста и может быть освоена сварщиком после кратковременной тренировки. Вслед за расплавлением кромки металла под дугой конец электрода перемещают назад по линии реза и вниз «выдувая» расплавленный металл. Затем конец электрода резко перемещают вверх и повторяют предыдущие операции.

Скорость резки зависит в основном от диаметра электрода и толщины разрезаемого металла. Выбор диаметра определяется шириной реза и мощностью источника питания дуги.

Режимы резки приведены в табл. 36. Качество дуговой электрической резки — невысокое. На боковых поверхностях реза остается пленка остывшего и окисленного металла (рис. 136). В нижней части реза скапливаются трудноудаляемые наплывы.



Рис. 136. Внешний вид реза при дуговой резке.

#### § 40. Воздушно-дуговая резка

При воздушно-дуговой разделительной резке и строжке металл расплавляется теплом электрической дуги и удаляется из полости реза потоком сжатого воздуха. Этим она отличается от дуговой резки металлическим электродом. Воздушно-дуговая резка может выполняться металлическим и угольным (графитовым) электродом, причем последний распространен больше. Электрод крепится в специальном электрододержателе, снабженном трубкой, по которой в зону расплавления подается струя воздуха. Иногда трубку с воздухом подводят к концу электрода сбоку.

Воздушно-дуговую резку применяют при разрезании листов, труб, проката, при разделке кромок, удалении дефектных швов, разделке трещин, выплавлении корня шва.

Ширина реза зависит от диаметра электрода, поэтому стремятся выбирать наименьший диаметр. Однако производительность резки электродом малых диаметров заметно снижается.



Разделку кромок и выплавку канавок производят электродами больших диаметров. Глубокие канавки выполняют за несколько проходов, начиная выплавку электродами больших диаметров и постепенно их уменьшая.

Воздушно-дуговую резку и строжку (выплавку), как правило, выполняют вручную. Для питания дуги используют мощные сварочные генераторы постоянного тока с напряжением холостого хода 70—90 в.

Режимы воздушно-дуговой резки приведены в табл. 37.

Таблица 37

Ориентировочные режимы воздушно-дуговой резки стали типа 18-8 угольным электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, а	Скорость резки, мм/мин	Ширина реза, мм
4—5	6	250	700	7,5
	8	350	800	10
	6	250	500	7,5
8	8	350	600	10
	6	250	350	7,5
10	8	350	400	10
	8	350	300	10
12—16	10	450	300	12
	8	350	250	12
20—25	10	450	270	12
	8	350	150	12
30	12	550	180	15

Качество реза и канавок при воздушно-дуговой резке и строжке удовлетворительное. Однако боковые поверхности реза оказываются неровными, покрыты пленкой оплавленного металла и их необходимо подвергать механической обработке. Это особенно важно для ответственных изделий, так как при воздушно-дуговой резке угольным электродом поверхность металла науглероживается и это может привести к понижению стойкости шва против межкристаллитной коррозии.

#### § 41. Кислородно-флюсовая резка

Известно, что обычная малоуглеродистая сталь при нагревании до температуры красного каления горит в кислороде, выделяя дополнительное тепло. На этом принципе основана кислород-

ная резка сталей. Разрезаемую сталь предварительно подогревают пламенем (например, ацетилено-кислородным), а затем в нагретый участок металла подают струю кислорода. Нагретый металл в присутствии кислорода воспламеняется, образуя шлак. Шлак под действием струи стекает с поверхности реза, освобождая нижележащий слой металла для горения, и т. д.

Нержавеющие стали таким обычным способом разрезать не удастся. Окислы, образующиеся в результате действия режущей струи, оказываются весьма тугоплавкими. Тугоплавкий и вязкий шлак, образующийся на поверхности нержавеющей стали, ограничивает проникновение кислорода в сталь, которая должна быть сожжена. Чтобы повысить тепловыделение, а также уменьшить вязкость шлака, необходимо изменить состав окислов. При выполнении этих условий продукты окисления легко удаляются струей кислорода, обнажая нижележащие слои металла для воздействия на него кислорода.

Повышение тепловыделения при резке и изменение состава шлаков обеспечивается введением железного прутка или мелкого железного порошка в зону резки. Возможно также применение смесей железного порошка с алюминием или марганцем. Воспламеняясь и сгорая в зоне реакции, пруток или порошок повышают температуру металла в месте реза. Пленка окислов расплавляется и превращается в жидкотекучий шлак, который легко удаляется из полости реза.

Удалить окислы с поверхности разрезаемого металла можно также и механическим воздействием на расплавленный металл. Для этого вместе с режущим кислородом подают мелкий кварцевый песок, который разрушает и удаляет пленку окислов. Кварцевый песок способствует также флюсованию тугоплавких окислов. Недостатком такого способа удаления окислов является образование кварцевой пыли, опасной для резчиков. Кроме того, песок повышает вязкость шлака и производительность резки снижается.

В промышленности большее применение нашел способ удаления окислов с использованием флюса. В качестве флюса для кислородно-флюсовой резки наиболее рационально применять железный порошок следующего состава: железа — 94—96%; углерода — 0,2—0,4%; марганца — не более 0,5%; нерастворимых остатков — не более 1,5%; серы и фосфора — не более 0,05%.

Кислородно-флюсовая резка осуществляется специализированными установками УРХС-4 конструкции ВНИИавтоген, УФР-2 конструкции МВТУ им. Н. Э. Баумана, ЗИО-1 и др. Широкое применение в промышленности получила установка УРХС-4. Флюс из флюсопитателя установки по шлангу подается кислородом к поршковой головке, внутри которой помещен обычный резак. Выходные отверстия головки расположены снаружи мундштука резака, и газо-флюсовая смесь поступает в струю режущего кислорода снаружи — через подогревающее пламя смеси. Чтобы флюс

не застревал в шланге и резаке, перед засыпкой в бункер его рекомендуется просушить и просеять через сито с числом отверстий 400 на  $\text{см}^2$ .

Кислородно-флюсовую резку можно осуществлять специальными резаками, принцип действия которых несколько отличается от действия установки УРХС-4. Флюс из бункера увлекается струей режущего кислорода и выходит из резака в центре подогревающего пламени. Такой резак можно установить на любой газорезательной машине. Флюс загружают в бункер вручную в процессе резки.

Независимо от конструкции резака кислородно-флюсовый метод значительно отличается от обычного кислородного. Для ведения резки необходимо, чтобы флюс воспламенился и начал гореть над поверхностью разрезаемого металла. Следовательно, расстояние от мундштука до поверхности при кислородно-флюсовой резке должно быть большим, чем обычно. Мощность подогревающего пламени следует увеличить на 15—25% по сравнению с обычной резкой, так как для сгорания флюса требуется дополнительное количество тепла. Неустойчивость резки является первым признаком малой мощности подогревающего пламени.

При резке нержавеющей стали толщиной 8—15 мм флюс используется неэффективно — значительная его часть сгорает за полостью реза. Чтобы повысить эффективность использования флюса, следует укладывать листы в пакет или наклонять резак под углом (опережающий острый угол атаки). Сократить расход флюса и увеличить скорость резки на 60—70% можно, применяя предварительный подогрев металла по линии реза до 150—200° С.

Разрезаемые листы должны быть выправлены. Их поверхность тщательно очищается от масла, грязи и окалины. Резка выполняется в той же последовательности, что и для обычной стали (кислородная резка).

Режимы резки нержавеющей стали на установке УРХС-4 приведены в табл. 38.

Если заготовка после кислородно-флюсовой резки не подлежит механической обработке на станке, кромки ее должны быть зачищены. Зачистка обычно производится наждачным кругом. На рис. 137 показан внешний вид поверхностей реза до зачистки.

Для уменьшения или полного исключения образования грат на нижней кромке рекомендуется устанавливать подкладки из отходов нержавеющей стали. Грат в этом случае образуется на кромке подкладки.

При обработке нержавеющей стали широко применяют поверхностную кислородно-флюсовую резку (строжку). Техника и технология ее незначительно отличаются от разделительной кислородно-флюсовой резки. Для поверхностной резки применяют резаки РПКФ-3 и РКФ-3. Угол между осью мундштука и обрабатываемой поверхностью устанавливается в пределах 15—45°. Сред-

Таблица 38

Режимы кислородно-флюсовой резки на установке УРХС-4

Показатели	Режимы резки в зависимости от толщины, мм					
	10	20	30	40	50	60
<i>Прямолинейный рез</i>						
Скорость резки, мм/мин	220	200	180	160	150	140
Расход:						
кислорода, $\text{м}^3/\text{пог. м}$	0,73	0,8	0,95	1,05	1,13	1,26
ацетилена, л/пог. м	53	58	69	73	76	78
флюса, кг/пог. м	0,77	0,86	0,96	1,08	1,15	1,18
<i>Фигурный рез</i>						
Скорость резки, мм/мин	200	180	160	140	125	110
Расход:						
кислорода, $\text{м}^3/\text{пог. м}$	0,95	1,16	1,37	1,61	1,83	1,94
ацетилена, л/пог. м	65	80	95	105	115	125
флюса, кг/пог. м	0,91	1,05	1,11	1,19	1,26	1,3

няя скорость строжки 1,5—2,0 м/мин; расход кислорода 0,6—0,8  $\text{м}^3$  на 1 кг удаляемого металла, ацетилена — 4—5  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; флюса — 1,8—2,5 кг/мин.

Расстояние от поверхности изделия до торца мундштука (по оси режущей струи) обычно устанавливают около 60 мм. За один проход можно получить канавку глубиной не более 4—5 мм и шириной около 20 мм.

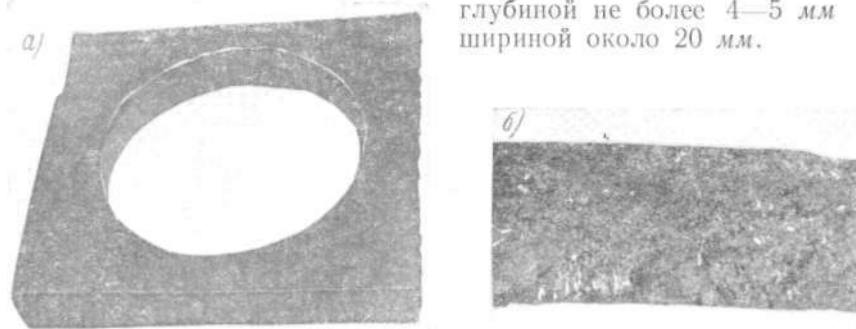


Рис. 137. Внешний вид реза при кислородно-флюсовой резке: а — заготовка из листа толщиной 20 мм; б — кромка толщиной 40 мм.

В практике всегда возникают задачи получения канавок различной глубины, мелких — глубиной до 2 мм и глубоких — до 50 мм (например, при удалении дефекта). Чтобы получить мелкую

канавку, увеличивают скорость перемещения резака в 1,5 раза и устанавливают при этом угол между осью мундштука и поверхностью в пределах 15—20°. Этим способом строжки часто пользуются в сварочной практике для удаления некачественных прихваток, шлаковых включений, поверхностных газовых пузырей, а также при вырезке корня шва (с непроваром, трещинами и т. п.). Иногда таким способом удаляют участки наплавленной аустенитным металлом поверхности при сварке разнородных сталей, если на этой поверхности невозможно удалить обнаруженные дефекты другими способами.

Глубокие канавки получают при наименьшей скорости перемещения и относительно большом угле наклона — в пределах 25—45°. Процесс получения более глубокой канавки — это просто многопроходная строжка. Необходимо отметить характерную особенность процесса многопроходной строжки, которая заключается в следующем: с каждым последующим проходом глубина канавки увеличивается в среднем в 3,5 раза по сравнению с предыдущим проходом.

При кислородно-флюсовой резке и строжке очень важно всегда иметь устойчивый процесс нагрева обрабатываемой поверхности и хорошее истечение флюса. Первое условие определяется исправностью газовой аппаратуры и умением резчика наладить, отрегулировать ее, установив заданный технологическим процессом режим. Если вся аппаратура налажена хорошо, поверхность металла достаточно прогрета, процесс резки начнется хорошо при качественно приготовленном флюсе (порошке). Следовательно, вторым условием является качество и состояние используемого флюса. В бачок установки или в воронку резака следует засыпать только сухой и хорошо просеянный флюс. Влажный может застревать в каналах резака, образуя пробки, что иногда приводит к воспламенению флюса во внутреннем канале резака.

Хранить флюс нужно в сухом месте, в герметически закрывающихся бачках.

## § 42. Газоэлектрическая резка

Для нержавеющей сталей целесообразно применять газоэлектрическую резку при выполнении следующих операций: отрезка прибылей литья; вырезка отверстий больших диаметров и горловин некруглого сечения; вырезка листовых заготовок с криволинейными и прямолинейными контурами; разделка кромок под сварку.

При газоэлектрической резке металл расплавляется теплом мощного сосредоточенного дугового разряда и удаляется струей газа.

Схема процесса резки представлена на рис. 138. Электрически изолированный мундштук предназначен для формирования струи

газа. Дуга возбуждается между вольфрамовым электродом и разрезаемым металлом (резка проникающей дугой) или между электродом и каналом внутри сопла (резка плазменной струей). Большее распространение получила резка проникающей дугой, поэтому в дальнейшем будет рассматриваться преимущественно этот способ резки.

Заостренный конец электрода устанавливается выше выходного канала — цилиндрического отверстия в мундштуке. Этим достигается сужение и уплотнение газовой струи и растягивание столба дуги. Газ, проходя через выходной канал мундштука, нагревается до высокой температуры (до 15 000° К). В результате нагрева скорость движения газовой струи еще больше повышается. Благодаря высокой температуре, скорости и сжимающему действию потока газа дуга обладает большой проникающей способностью. Растяжение дуги, а также охлаждающее действие стенок мундштука приводит к повышению напряжения и увеличению проникающих свойств дуги.

В связи с тем, что электрод расположен внутри мундштука, возбуждение дуги касанием разрезаемого металла невозможно. Поэтому вначале возбуждают дугу между электродом и мундштуком (вспомогательная дуга) касанием мундштука специальным токопроводящим стержнем. Мощность вспомогательной дуги регулируют балластным реостатом. По мере роста факела дуги, выдуваемой из мундштука, между электродом и изделием образуется токопроводящий мостик длиной около 20 мм, по которому в начальный момент процесса начинает проходить ток режущей дуги. После стабилизации формы факела и достаточного прогрева металла начинается процесс резки.

Для питания дуги при газоэлектрической резке используют специальные источники типа ИПГ-500, ВДГ-500 и др. Можно

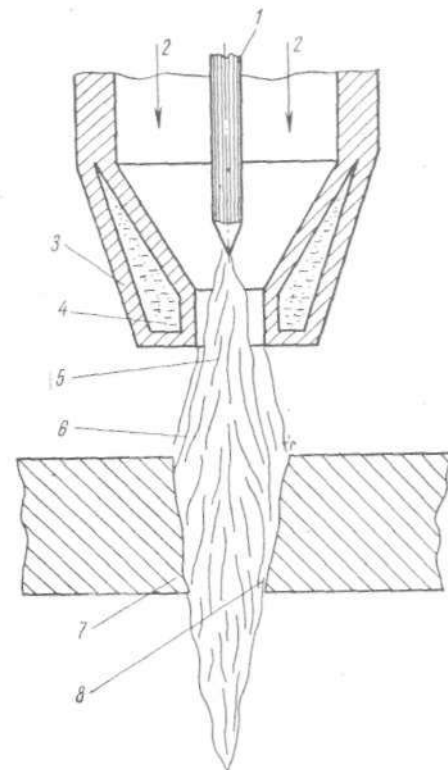


Рис. 138. Схема процесса газоэлектрической резки.

1 — электрод; 2 — газ; 3 — наконечник (мундштук); 4 — охлаждающая вода; 5 — дуга; 6 — струя плазмы; 7 — разрезаемый металл; 8 — кромки реза.

также применять любой сварочный преобразователь с напряжением холостого хода не менее 85 в (например, преобразователь ПС-500). Газоэлектрическую резку нержавеющей сталей толщиной более 20 мм выполняют обычно при напряжении на дуге более 80 в, поэтому необходимо подключать два преобразователя ПС-500, генераторы которых соединяют последовательно.

При резке нержавеющей сталей применяют двухатомный газ — азот или одноатомный — аргон. В зоне дуги инертный газ — аргон легко поддается ионизации, что способствует стабилизации дугового разряда, а также защищает расплавленный металл от окисления. Молекулы азота в зоне распадаются на атомы. Процесс распада сопровождается поглощением большого количества тепла. Этот процесс протекает в той части дугового разряда, которая находится вблизи мундштука и способствует охлаждению мундштука. Попадая на сравнительно холодную поверхность разрезаемого металла, атомы азота соединяются в молекулы. Процесс соединения сопровождается выделением ранее поглощенного тепла. Следовательно, азот является охладителем мундштука, переносчиком тепла к месту реза и концентратором тепла в точке реза. Поэтому резка в азоте более производительна при относительно одинаковой затраченной энергии (см. скорость резки в табл. 39 и 40), чем в аргоне.

Таблица 39

Режимы газоэлектрической резки нержавеющей сталей в азоте

Толщина металла, мм	Сила тока, а	Напряжение на дуге, в	Скорость резки, мм/мин	Диаметр электрода, мм	Диаметр сопла, мм	Степень регулирования	Расход азота л/мин	
							на зажигание	на резку
5	330	73—75	2100	5	3	300	3—5	36—38
8	300	79—82	1350	5	3	300	3—5	36—38
10	280	83—85	1075	5	3	300	3—5	30—32
20	260	94—96	625	5	4	300	3—5	30—32
25	250	97—98	500	5	4	300	3—5	28—30
34	225	98—100	450	5	4	300	3—5	25—28
40	390	110—115	250	5	5	600	3—5	25—28
70	335	115—120	225	5	5	600	3—5	25—28

Для ручной и машинной газоэлектрической резки могут быть использованы установки УДР-2, УГР-2, ЭДР-60. Установка УДР для машинной прямолинейной резки представляет собой агрегат, укомплектованный резаком, тележкой и шкафом с аппаратурой. Установки УГР и ЭДР предназначены для ручной резки. Широкое

Таблица 40

Режимы газоэлектрической резки листов из нержавеющей сталей в аргоне

Толщина листов, мм	Сила тока, а	Напряжение на дуге, в	Ориентировочная скорость резки, мм/мин	Расход аргона, л/мин
5	275	45	1000	35—40
10	350	55	850	35—40
20	400	65	450	32—36
30	430	75	250	30—32
40	450	80	100	25—28

применение в промышленности получила установка ЭДР-60, комплектуемая ручным или машинным резаком со шлангами длиной 10 м, аппаратным шкафом и зажигалкой. В шкафу смонтированы основные элементы электрической схемы установки и приборы

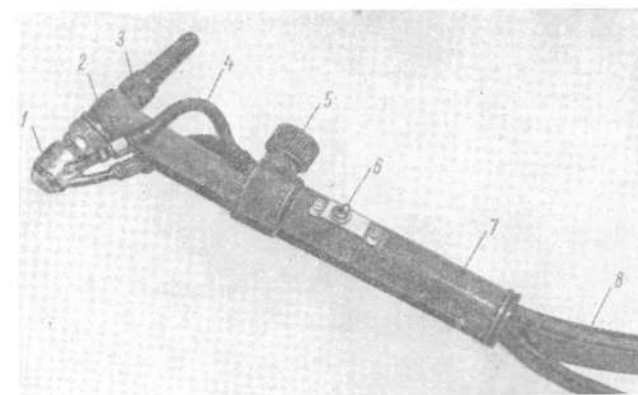


Рис. 139. Резак для ручной газоэлектрической резки.

для контроля режима резки: два ротаметра для измерения расхода газов, два манометра для контроля давления газов, амперметр, вольтметр. Шкаф управления включается в сеть переменного тока напряжением 220 в.

Ручной реза (рис. 139) состоит из головки и рукоятки. Вольфрамовый электрод крепится в цанге с помощью колпачка с гайкой 3, навинчиваемой на верхнюю часть головки 2. Мундштук 1 навинчивается на нижнюю часть головки, изолированную от верхней с помощью текстолитовых шайб. По металлической трубке



к мундштуку подводится вода и одновременно крепится электрический провод 4 для создания вспомогательной дуги, которая необходима из-за наличия между электродом и мундштуком зазора, мешающего возбуждению режущей струи.

Вентиль 5 на рукоятке 7 служит для открытия и закрытия газового канала. Сбоку на рукоятке установлен выключатель 6 для управления контактором силовой цепи. Из рукоятки выходят трубки 8 для подачи газов, для подвода и отвода охлаждающей

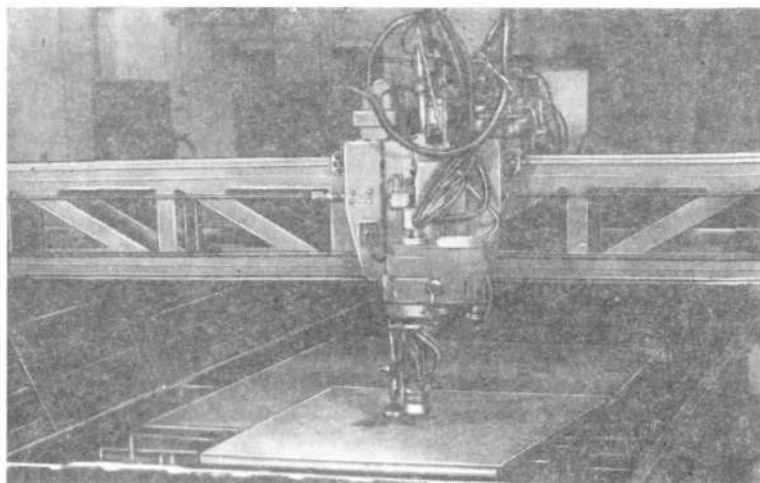


Рис. 140. Стационарная машина с резаком для газозлектрической резки.

воды, провода управления шкафом, вспомогательной дугой и гибкий медный провод (внутри трубки с водой) для питания режущей дуги.

Конструкция машинного резака отличается от ручного незначительно: вместо рукоятки он снабжен цапфой для крепления его на стационарной газорезательной машине или на суппорте тележки переносной машины (рис. 140).

Кончик вольфрамового электрода должен быть заточен на конус под углом  $60-70^\circ$ . По отношению к отверстию мундштука электрод следует тщательно отцентровать во избежание подплавления кромки сопла. Очень важно также правильно установить конец электрода по высоте (рис. 141).

Режимы газозлектрической резки приведены в табл. 39 и 40.

Качество машинной резки выше, чем ручной. Натёки на кромках почти не образуются (рис. 142). Толщина оплавленного слоя настолько незначительна, что не требуется последующей механической зачистки или обработки кромок. При резке в азоте качество реза выше, чем в аргоне. Кроме того, скорость резки

в аргоне необходимо снизить не менее чем в 1,5 раза, чтобы получить рез удовлетворительного качества. Поэтому независимо от толщины резка нержавеющей стали в аргоне является малопродуктивным процессом и рекомендуется только как запасной вариант при отсутствии азота.

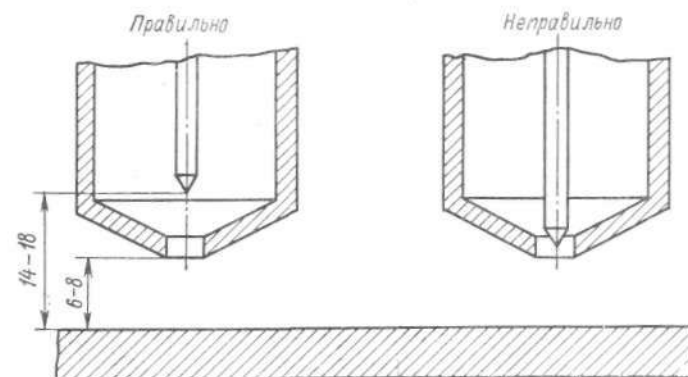


Рис. 141. Схема установки электрода по высоте.

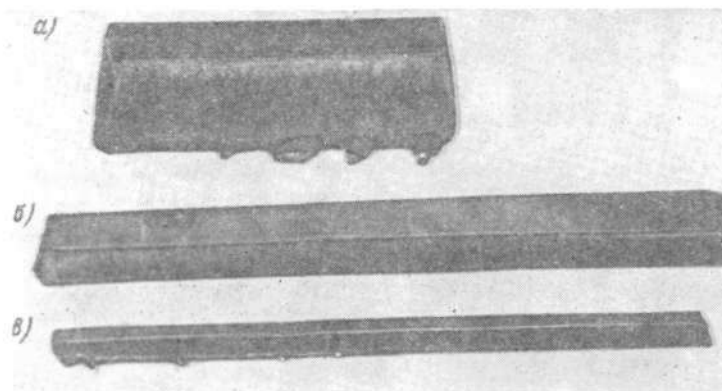


Рис. 142. Внешний вид реза при газозлектрической резке листов: а — толщиной 25 мм; б — толщиной 10 мм; в — толщиной 6 мм.

Разделку кромок под сварку выполняют на стационарных и переносных машинах. Правильность установки резака под необходимым углом следует предварительно проверить на планке такой же толщины. При ручной разделке кромок под сварку, как правило, требуется последующая механическая обработка.

Газозлектрическую резку нержавеющей сталей можно выполнять не только в нижнем, но и в горизонтальном положении раз-

резаемого листа. Однако скорость резки в этом случае должна быть снижена на 10—15%.

Литые изделия, подлежащие газоплазменной обработке (удаление приливов), необходимо очищать от формовочной земли и пригара. Если приливы имеют различную толщину, режим резки выбирают по наибольшей. Изделие следует устанавливать так, чтобы прилив находился в положении «от себя». Такое положение разрезаемого изделия обеспечивает лучшие условия для устойчивого положения рук резчика. Переходя от одной приливы к другой, можно не выключать режущей струи, а просто растянуть дугу до 50 мм и быстро перенести ее к месту начала нового реза.

Поверхность разрезаемых изделий и листов, при правильно установленном режиме и соблюдении всех требований по технике резки, должна быть ровной и гладкой с чуть заметными штрихами глубиной 0,3 мм.

## Глава V

### ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ И РЕЗКЕ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

#### § 43. Общие требования по технике безопасности

Операции сварки и резки нержавеющей стали необходимо выполнять с соблюдением «Правил техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах», утвержденных ЦК Профсоюза рабочих машиностроения 8 января 1960 г. Большинство этих правил являются общими и пригодными как для сварщиков, так и для резчиков, так как резку часто выполняют сварщики; дуговая резка, воздушно-дуговая строжка и др.

В настоящее время в цехе, на участке, строительной площадке, где изготавливаются сварные конструкции из нержавеющей стали, выполняется сложный комплекс работ и трудятся одновременно резчики и сварщики всех или нескольких способов резки и сварки. Следовательно, соблюдение правил обращения с электрическими установками, баллонами с горючими и инертными газами, правил защиты от излучения дуги, требований по вентиляции помещений является общей задачей. Однако у каждой профессии, на отдельных участках есть свои специфические условия работы, а следовательно, и характерные требования.

Общие требования по технике безопасности выполнения сварки и резки подробно изложены в специальных правилах (брошюрах). Ниже приводятся лишь основные из них, характерные для изделий из нержавеющей стали.

Администрация предприятия должна разработать и выдать исполнителям на руки рабочую инструкцию по технике безопасности.

При работе на оборудовании и механизмах с электрическим приводом рабочие должны быть обучены правилам электробезопасности. Участки, где выполняются работы по сборке, сварке, исправлению дефектов и подрезке заготовок или обрезке труб и других деталей из нержавеющей стали, оснащены многими видами оборудования с электрическим приводом: манипуляторы, кантователи, сварочные автоматы и полуавтоматы с аппаратными

шкафами (ящиками), передвижные отрезные станки, фаскорезы и труборезы, установки для дуговой и газозлектрической резки и т. п.

Токоведущие части этих машин находятся под напряжением 110, 220 и 380 в, и опасность поражения электрическим током может возникнуть, если токоведущие части доступны для случайного прикосновения (повреждения изоляции и замыкании на корпусе).

Корпуса оборудования с электроприводом необходимо заземлить, а переносные механизмы и электрофицированный инструмент должен иметь надежную изоляцию, целостность которой следует проверять постоянно — всегда перед началом работы.

При выполнении сварки монтажных стыков непосредственно на судне (трубопроводы, экраны и т. п.) электрические инструменты должны иметь напряжение не выше 36 в.

Необходимо остерегаться вращающихся частей механизмов, работающих рядом со сварщиком (резчиком) на сборочных площадках и при монтаже. Особенно опасны планшайбы труборезов с выступающим резцом, фаскорезы с консольной головкой и др. При обработке нержавеющей сталей сверлением, обдиркой наждачным кругом и т. п. из зоны соприкосновения инструмента с металлом вылетают мелкие частицы металла (стружка, опилки, куски наждака и т. п.). Учитывая, что отлетающие частицы часто имеют высокую температуру, возможны не только механические воздействия на окружающих, но и тепловые, вплоть до ожогов.

Эффективными мерами, предупреждающими опасность травматизма при выполнении работ, сопутствующих сварке (обработка кромок, сверловка и выборка дефектов), являются установка защитных экранов вокруг места обработки и ограждений непосредственно на оборудовании.

Работу с оборудованием, имеющим электропривод, с пневмоинструментами, с оборудованием по контролю качества (люминесцентная дефектоскопия, ферритометр и др.) должны выполнять только лица, специально проинструктированные и имеющие допуск на право работ в конкретных условиях (цех, монтаж).

Монтажные сварочные работы (прихватка и сварка) на трубопроводах, устанавливаемых на высоте, необходимо производить только со специальных лесов или площадок, имеющих ограждение.

Все операции, связанные с перемещением деталей и узлов, должны выполняться с соблюдением правил производства такелажных работ. Стропку заготовок и узлов должен осуществлять стропальщик или монтажник, имеющий удостоверение такелажника.

Все работающие с баллонами со сжатыми газами, должны изучить правила обращения с ними, а резчики и сварщики — правила эксплуатации. Большая энергия сжатого газа, освобождаемая при разрыве баллона, может привести к увечьям и человеческим жертвам. В зависимости от типа газа и давления, под которым

этот газ находится, 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, взрывоопасных 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, при нагреве и т. п. Работая в цехе, сварщик обязан закреплять баллон в специальном стеллаже цепью или откидной скобой (см. рис. 39).

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. 41).

Таблица 41

Отличительная окраска баллонов со сжатыми газами, используемыми при сварке и резке

Назначение баллона	Цвет баллона	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Для азота	Черный	Азот	Желтый	Коричневый
» аргона	Серый	Аргон	Зеленый	(Зеленый)
» ацетилена	Белый	Ацетилен	Красный	—
» водорода	Темно-зеленый	Водород	»	—
» гелия	Коричневый	Гелий	Белый	—
» кислорода	Голубой	Кислород	Черный	—
» пропана	Красный	Пропан	»	—
» углекислого газа (углекислоты)	Черный	Углекислота	Желтый	—
Для прочих горючих газов	Красный	Наименование газа	Белый	—

Транспортировать баллоны к рабочему месту удобно на тележке облегченного типа (рис. 143) 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.



Рис. 143. Тележка для транспортировки баллонов со сжатым газом.

Хранить и перевозить наполненные и порожние баллоны разрешается только с накрученными 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.

#### § 44. 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 соблю-

дать 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 свариваются, их следует предохранить 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 весьма ответственных узлов (I категории) обычно дополнительно обезжиривают непосредственно перед сваркой независимо от того, были эти поверхности обезжирены ранее или нет.

Сварщик, работающий на сварке нержавеющей сталей в защитных газах, должен строго соблюдать порядок 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 рамп, 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:



а) произвести осмотр вентиля (нет ли стружки, грязи, масла, исправна ли резьба).

б) произвести осмотр накидной гайки и ниппеля редуктора (исправность резьбы гайки; наличие внутри гайки фибровой прокладки; отсутствие стружки, рисок, забоин или грязи на шарнирной поверхности ниппеля, присоединяемого к штуцеру вентиля);

в) проверить срок испытания баллона (по клейму на горловине);

г) продуть штуцер вентиля кратковременным (2—3 сек) открытием вентиля (на четверть оборота);

д) присоединить редуктор к вентилю баллона (или газопровода);

е) открыть вентиль и проверить исправность манометров редуктора (при неисправности манометров высокого и низкого давления сварочные работы производить запрещается);

ж) убедиться в отсутствии утечки газов через вентиль и редуктор;

з) 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 ограждать 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 точке сосуда вблизи места сварки. Аргон, как самый тяжелый газ, обычно скапливается в нижней части неветилируемого помещения; гелий, как 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.

#### § 45. Техника безопасности при резке

При любом способе резки, как и при сварке, техника безопасности рассматривает меры предупреждения травматизма на рабочем месте. Для каждого способа в цеховых условиях и на монтаже разработаны соответствующие правила безопасного выполнения работ.

Правила, помимо указаний об обращении с используемым оборудованием, всегда обуславливают место выполнения работ, характер смежных операций и наличие рабочих других профессий и т. п. Все эти требования очень важно выполнять при резке, когда опасность травматизма от ожогов и опасность загорания еще больше, чем при сварке, так как расплавленный металл в этом случае обязательно удаляется (выбрасывается) на определенное расстояние от изделия.

Условия резки на монтаже значительно сложнее цеховых условий, поэтому место резки всегда предварительно изучается и намечаются конкретные мероприятия, характерные иногда только для данного места. Прежде всего надо позаботиться о людях и механизмах, деталях и приспособлениях, расположенных рядом и внизу, куда могут попасть капли расплавленного металла (грата). Люди, работающие вблизи места резки, должны быть предупреждены и ограждены от опасности ожогов. Все детали, узлы, механизмы, находящиеся в опасной зоне, должны быть покрыты асботканью или листовым асбестом.

При дуговой электрической резке и строжке можно пользоваться правилами для дуговой электрической сварки, так как про-

цессы эти не отличаются друг от друга. Резку осуществляют на повышенной силе тока, и количество расплавленного (удаляемого) металла иногда так велико, что капли образуют куски пека, под которым может даже расплавиться тонколистовой металл. Поэтому меры противопожарной безопасности здесь следует выполнять особенно строго.

Воздушно-дуговая резка (строжка) несущественно отличается от дуговой электрической резки и здесь пользуются общими правилами безопасной работы при дуговой сварке. Характерной особенностью этого процесса резки является наличие брызг, разлетающихся под действием струи воздуха. На пути возможного падения этих брызг необходимо устанавливать экраны и ловушки, какие обычно применяются для улавливания графа.

Поверхности металла, прилегающие к кромкам реза, как при дуговой, так и при воздушно-дуговой резке, необходимо защищать от брызг. Такую защиту осуществляют листовым асбестом или асбо-тканью. Укладывая ткань вдоль реза вслед за ним, одновременно выполняют и требования по технике безопасности — защищаются от брызг, приводящих к ожогам.

Кислородно-флюсовую резку выполняют чаще в цеховых условиях с использованием специализированного оборудования. В этом случае, помимо общепринятых правил по технике безопасности, надлежит также строго выполнять требования, изложенные в инструкции по эксплуатации данного оборудования (установки, специального резака и др.). Перед зажиганием пламени следует проверить плотность всех соединений шлангов (на резаке, флюсо-питателе, редукторе), как одного из главных очагов нарушения безопасности. При обращении с баллонами, наполненными горючими газами, необходимо соблюдать требования «Правил техники безопасности при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов».

Газоэлектрическая резка предусматривает использование многих газов, и требования по технике безопасности помимо общих включают еще и специальные, характерные лишь для этого способа. Как и кислородно-флюсовая газоэлектрическая резка предусматривает использование специализированного оборудования и, следовательно, необходимо строго выполнять требования инструкции по эксплуатации. К специфическим требованиям относятся: необходимость соблюдать осторожность при зажигании вспомогательной дуги, направляя отверстие мундштука от себя и других лиц — при ручной резке; необходимость применения мер предосторожности от поражения светом дуги (плазмы) и др.

Одним из главных требований при любом способе резки является наличие эффективной вентиляции, действующей на всех рабочих местах, где выполняется резка и строжка.

Требования по вентиляции при всех способах резки должны строго соблюдаться: при резке на раскроечных столах последние

должны быть оборудованы секционированными отсосами (см. рис. 140). Производительность вентилятора должна составлять не менее 10 000 м<sup>3</sup>/ч; резку в стесненных условиях и закрытых помещениях обязательно следует производить при наличии общеобменной вентиляции и в респираторах с подачей в маску очищенного и подогретого до 15° С воздуха.

Независимо от способа резки перед началом работы резчик должен привести в порядок спецодежду, проверить исправность аппаратуры, изучить место работы и предупредить окружающих (на монтаже), убедиться в отсутствии горючих материалов и в наличии изоляции от возгорания на изделиях, приборах и т. п., проверить наличие противопожарных средств.

Строгое соблюдение всех требований по технике безопасности — залог сохранения здоровья работающих и гарантия от травматизма.

## Приложение

### Типовая программа обучения рабочих сварке нержавеющих сталей

Настоящая программа рассчитана на обучение квалифицированных сварщиков различным методам сварки нержавеющей сталей.

Программа содержит пять разделов теоретического обучения, первый из которых является общим для всех (60 ч).

Продолжительность теоретического обучения:

ручная дуговая сварка . . . . .	84 ч (60+24)
автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом . . . . .	78 ч (60+18)
ручная аргоно-дуговая сварка . . . . .	90 ч (60+30)
автоматическая и полуавтоматическая сварка в защитных газах . . . . .	100 ч (60+40)

В шестом разделе программы дана тематика практического обучения с различной продолжительностью в зависимости от метода сварки.

#### Раздел I. Общая часть 60 ч

Тема 1. Введение 2 ч. Ознакомление с программой обучения и требованиями, предъявляемыми сварщикам при сварке конструкций из нержавеющей сталей.

Тема 2. Основы металловедения и сведения о нержавеющей сталях — 30 ч. Общие сведения о металлах и сплавах. Их физические, химические, механические и технологические свойства. Механические испытания металлов. Строение металлов и сплавов. Понятие о зерне. Структура. Превращение в сталях при нагреве и охлаждении. Классификация сталей по структуре. Нержавеющие стали. Однофазные и двухфазные структуры. Марки сталей и области их применения. Влияние примесей и легирующих элементов на структуру и свойства сталей. Коррозия металлов. Виды коррозии и способы защиты от нее. Межкристаллитная коррозия и меры ее предупреждения. Термическая обработка нержавеющей сталей и сварных конструкций из них.

Тема 3. Способы сварки нержавеющей сталей — 10 ч. Классификация способов сварки. Способы, широкоприменяемые при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей: ручная дуговая сварка, автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом, ручная, автоматическая и полуавтоматическая сварка в защитных газах. Особенности дуговой сварки под шлаковой защитой и в защитных газах. Преимущества и недостатки различных способов. Области применения тех или иных методов сварки. Влияние конструктивных особенностей и условий работы изделия на выбор метода сварки. Металлургические особенности сварки нержавеющей сталей.

Тема 4. Напряжения и деформации при сварке — 4 ч. Напряжения от сварки и способы уменьшения или снятия их. Деформации сварных конструкций, причины возникновения и способы борьбы с ними.

Тема 5. Контроль качества сварки — 10 ч. Дефекты в сварных швах и причины их возникновения при различных методах сварки. Способы предупреждения дефектов. Методы контроля качества сварных соединений и нормы допустимых дефектов. Исправление дефектных швов.

Тема 6. Техника безопасности при выполнении сварочных работ — 4 ч.

#### Раздел II. Ручная дуговая сварка (24 ч)

Тема 1. Электроды для сварки — 6 ч. Классификация электродов. Марки электродов. Их производство и хранение. Испытание электродов.

Тема 2. Оборудование поста для сварки 6 ч. Источники питания. Электрододержатели. Рабочее место сварщика.

Тема 3. Технология ручной дуговой сварки — 12 ч. Типы сварных соединений. Подготовка и сборка под сварку. Режимы сварки. Техника и технология производства. Технологические особенности ручной дуговой сварки различных соединений. Особенности сварки труб. Сварка двухслойных и разнородных сталей.

#### Раздел III. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом (18 ч)

Тема 1. Сварочные материалы — 4 ч. Сварочная проволока. Флюсы. Производство и хранение флюсов.

Тема 2. Оборудование поста для сварки — 6 ч. Источники питания. Автоматы и полуавтоматы. Специализированные установки для сварки. Вспомогательное технологическое оборудование (манипуляторы, кантователи, флюсозадержники) и инструмент. Оснастка для сборки.

Тема 3. Технология автоматической и полуавтоматической сварки — 8 ч. Типы сварных соединений. Подготовка и сборка под сварку. Режимы сварки. Техника и технология выполнения различных соединений. Особенности сварки кольцевых стыков. Сварка двухслойных и разнородных сталей.

#### Раздел IV. Ручная аргоно-дуговая сварка (40 ч)

Тема 1. Сварочные материалы — 6 ч. Защитные газы. Вольфрамовые электроды. Присадочная проволока. Вспомогательные материалы.

Тема 2. Оборудование поста для сварки — 9 ч. Источники питания. Горелки. Баллоны. Редукторы. Расходомеры. Шланги. Инструмент. Вспомогательное технологическое оборудование (центраторы, кондукторы, манипуляторы и т. п.).

Тема 3. Технология ручной аргоно-дуговой сварки — 15 ч. Типы сварных соединений. Подготовка и сборка под сварку. Режимы сварки. Техника и технология выполнения различных соединений. Особенности сварки труб и тонкостенных изделий.

#### Раздел V. Автоматическая и полуавтоматическая сварка в защитных газах (40 ч)

Тема 1. Сварочные материалы — 6 ч. Защитные газы. Вольфрамовые электроды. Присадочная (сварочная) проволока.

Тема 2. Оборудование поста для сварки — 9 ч. Источники питания. Автоматы и полуавтоматы. Специализированные установки. Вспомогательное оборудование (манипуляторы, кантователи, защитные приставки) и инструмент.

Тема 3. Технология автоматической и полуавтоматической сварки — 15 ч. Типы сварных соединений. Подготовка и сборка под сварку. Режимы сварки. Техника и технология выполнения различных соединений. Особенности сварки труб и тонкостенных изделий. Сварка двухслойных и разнородных сталей.

Тема 4. Импульсно-дуговая полуавтоматическая сварка плавящимся электродом — 10 ч. Техника и технология сварки. Особенности выполнения сварки труб и листовых конструкций.

#### Раздел VI. Практическое обучение

Ручная дуговая сварка — 110 ч (тема 1—10).

Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом — 55 ч (темы 1, 2, 6, 9 и 10).

Ручная аргоно-дуговая сварка — 110 ч (темы 1—10).

Автоматическая и полуавтоматическая сварка в защитных газах — 85 ч (темы 1, 2, 6, 7, 8, 9 и 10).

Тема 1. Ознакомление со сварочным оборудованием на рабочем месте и регулирование параметров режима сварки — 2 ч.

Тема 2. Овладение техникой наплавки валиков в нижнем положении шва — 8 ч.

Тема 3. Наплавка валиков в вертикальном положении шва — 8 ч.

Тема 4. Наплавка валиков в горизонтальном положении шва — 8 ч.

Тема 5. Наплавка валиков в потолочном положении шва — 9 ч.

Тема 6. Выполнение многоваликовых швов. Оценка качества шва по формированию валиков — 15 ч.

Тема 7. Сварка стыковых и угловых швов во всех пространственных положениях шва — 15 ч.

Тема 8. Сварка кольцевых стыков и соединений труб — 15 ч.

Тема 9. Тренировочные работы и сварка зачетных пластин (образцов) — 15 ч.

Тема 10. Сварка контрольных образцов — 15 ч.

#### Литература

Абдулаев М. К. Техника безопасности при сварке и резке металлов. М., Профиздат, 1959.

Абросимов В. П., Литвинов С. П. и Герфанов А. В. Сварка стыковым спиральным швом тонкостенных труб из нержавеющей стали. — «Сварочное производство», 1966, № 2.

Алекин Л. Е. и Ильенко М. А. Влияние параметров режима и точности сборки соединения на формирование шва на весу. — «Автоматическая сварка», 1967, № 1.

Бельфор М. Г. и Лебедев В. К. Оборудование для электродуговой и электрошлаковой сварки и наплавки. М., Профтехиздат, 1961.

Богданов С. Г. Металловедение и термическая обработка стали. М.—Л., Машгиз, 1950.

Богданов В. Н. и др. Устройство с вращающимися контактными роликами для радиочастотной сварки труб. — «Электротермия», 1966, № 50.

Бродский А. Я. Аргоно-дуговая сварка вольфрамовым электродом. М.—Л., Машгиз, 1956.

Верченко В. Р., Петров А. В. и Баранов М. И. Автоматическая сварка неповоротных стыков труб. — «Сварочное производство», 1956, № 6.

Вопросы сварки в энергомашиностроении. Сб. статей, вып. 104, М.—Л., Машгиз, 1962.

Гинзбург Г. М., Бибииков А. В. Автоматическая аргоно-дуговая сварка неповоротных стыков труб из стали 1X18H9T. — «Сварочное производство», 1962, № 2.

Головченко В. С. Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах. — «Автоматическая сварка», 1965, № 10.

Гонсеровский Ф. Г. Влияние технологических факторов на качество аустенитных швов. — В сб.: Некоторые вопросы производства турбин. М.—Л., Машгиз, 1960.

Гудремон Э. Специальные стали. М., Гостехиздат, 1959.

Демянцевич В. П. и Думов С. И. Технология электрической дуговой сварки. М.—Л., Машгиз, 1959.

Заруба И. И. и др. Сварка в углекислом газе. М., Гостехиздат, 1966.

Захаров Б. П. Термическая обработка металлов. М.—Л., Машгиз, 1957.

Земзин В. Н. Зона сплавления сварных соединений разнородных сталей. — «Советское котлотурбостроение», 1951, № 6.

Иванова Т. И. Исследование качества сварных стыковых соединений бесшовных труб из стали марок 1X18H9T и 1X18H12T, выполненных с применением аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом. — В сб.: Механизация и автоматизация сварочных работ. Л., Судпромгиз, 1960.

Ищенко Ю. С. и др. Импульсная аргоно-дуговая сварка стыков труб из стали X18H10T. — «Сварочное производство», 1965, № 12.

Каховский Н. И., Готальский Ю. Н. и Трущенко А. А. Автоматическая и полуавтоматическая сварка. М., Профтехиздат, 1961.



Каховский Н. И. и Дидебумидзе Л. В. Дуговая сварка 17%-ных хромистых сталей. — «Автоматическая сварка», 1966, № 2.

Козулин М. Г. и Сятищев А. П. Электрошлаковая сварка плавящимся мунштуком нержавеющей стали X18H10T. — «Автоматическая сварка», 1966, № 5.

Коллектив советских и чехословацких авторов. Современное состояние сварочной техники. М.—Л., Машгиз, 1961.

Колумбье Л. и Гохман И. Нержавеющие и жаропрочные стали. М., Гостехиздат, 1958.

Кондратьев В. М. и Петров Г. Л. О причинах образования свищей в сварных стыках труб малого диаметра. — «Вестник машиностроения» 1964, № 6.

Красулин Ю. Л. и Сагалович В. В. Сварка плавящимся электродом тонколистовой нержавеющей стали в смеси углекислого газа с аргонном. — «Сварочное производство», 1960, № 9.

Крупницкий Б. А. Основы термической обработки. Л., Лениздат, 1959.

Крутиковский В. Г. и Никонов И. П. Контроль сварных соединений. М.—Л., Машгиз, 1959.

Лопатин Н. И. и Шляпников И. В. Сборка и сварка судов на подводных крыльях. Л., «Судостроение», 1967.

Маслов Ю. А. и Горожанин В. Д. Автоматическая сварка тонколистовой высокопрочной стали. М.—Л., Машгиз, 1961.

Медовар Б. И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей. М.—Л., Машгиз, 1958.

Медовар Б. И. Электродуговая сварка аустенитных сталей. М.—Л., Машгиз, 1958.

Назаров С. Т. Методы контроля качества сварных соединений. М.—Л., Машгиз, 1961.

Наумов В. Г. Сварка в среде защитных газов. М., Промстройиздат, 1961.

Окерблом Н. О. Сварочные деформации и напряжения. М.—Л., Машгиз, 1948.

Окерблом Н. О., Головченко В. С. К вопросу о причинах образования трещин типа «усов» в стыках трубопроводов с подкладными концами. — Труды ЛПИ, 1958, № 199.

Петров Г. Л., Земзин В. Н. Электроды для сварки жаропрочной стали. — Информационно-технический листок ЛД НТП, 1956, № 62.

Петров Г. Л. Неоднородность металла сварных соединений. Л., Судпромгиз, 1963.

Петров А. В., Славин Г. А. Исследование технологических возможностей импульсной дуги. — «Сварочное производство», 1966, № 2.

Петров В. Н. Сварка тонкостенных труб в среде защитных газов. — «Сварочное производство», 1960, № 4.

Прохоров Н. Н. Горячие трещины при сварке. М.—Л., Машгиз, 1952.

Ряполов А. Ф. Изготовление и монтаж аппаратуры из нержавеющей сталей. М., Промстройиздат, 1958.

Сефериан Э. Металлургия сварки. М., Гостехиздат, 1963.

Сварочное оборудование. Каталог-справочник, 1964—1967.

Спектор О. Ш. Кислородно-флюсовая резка нержавеющей сталей. М.—Л., Машгиз, 1962.

Справочник электросварщика. М.—Л., Машгиз, 1962.

Справочник по сварке. Т. 1, 2. М.—Л., Машгиз, 1960, 1962.

Табелев В. Д. Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом. — «Сварочное производство», 1960, № 1.

Трофимов Н. М. Источники питания для сварки импульсной дугой в среде аргона. — «Сварочное производство», 1965, № 12.

Тум Е. Справочная книга по нержавеющей стали. М., Metallurgizdat, 1940.

Тюльков М. Д. Сварка в среде защитных газов с формированием корня стыковых швов без подкладок. — «Сварочное производство», 1955, № 11.

Химушин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М., «Металлургия», 1967.

Чеканов А. А. Современные методы сварки. М., Профиздат, 1961.

Чернаков Ф. А. и Богданов Ф. А. Аргоно-дуговая сварка и ее применение. Л., Судпромгиз, 1958.

Шапиро И. С. и Бейдер Б. Д. Высокопроизводительные режимы газозлектрической резки нержавеющей сталей. — «Автоматическая сварка», 1965, № 7.

Шапиро И. С. и др. Подготовка кромок под сварку на нержавеющей сталях воздушно-дуговой резкой. — «Сварочное производство», 1965, № 5.

Эсбиян Э. М. Исследование электрических и технологических свойств малоамперной сварочной дуги. — В сб.: Сварка специальных металлов и сплавов М., «Техника», 1963.

Юрченко Ю. Ф. и др. Монтаж и сварка трубопроводов из коррозионно-стойких сталей в атомной промышленности. М., Атомиздат, 1966.

## Оглавление

От автора . . . . .	3
<b>Глава I. Основы металловедения и краткие сведения о нержавеющей стали</b> . . . . .	5
§ 1. Области применения нержавеющей стали . . . . .	—
§ 2. Строение металлов и сплавов . . . . .	6
§ 3. Диаграмма состояния сплава железа с углеродом . . . . .	11
§ 4. Диаграмма состояния легированной стали . . . . .	13
§ 5. Обозначение легирующих элементов и маркировка нержавеющей стали . . . . .	15
§ 6. Классификация и химический состав высоколегированных сталей . . . . .	16
§ 7. Физические свойства нержавеющей стали . . . . .	19
§ 8. Коррозионная стойкость нержавеющей стали . . . . .	21
§ 9. Стойкость нержавеющей стали в агрессивных средах . . . . .	27
§ 10. Механические свойства и методы испытаний нержавеющей стали . . . . .	28
§ 11. Влияние легирующих элементов и примесей на структуру и свойства сталей . . . . .	36
§ 12. Термическая обработка нержавеющей стали . . . . .	40
§ 13. Металлургические и технологические особенности сварки . . . . .	45
<b>Глава II. Технология сварки нержавеющей сталей</b> . . . . .	54
§ 14. Классификация процессов сварки . . . . .	—
§ 15. Источники питания сварочной дуги . . . . .	70
§ 16. Оборудование постов для сварки . . . . .	74
§ 17. Специализированные установки для сварки . . . . .	88
§ 18. Рабочее место сварщика . . . . .	96
§ 19. Форма кромок и виды сварных соединений . . . . .	100
§ 20. Обработка и подготовка кромок под сварку . . . . .	106
§ 21. Сборка под сварку . . . . .	109
§ 22. Сварочные материалы . . . . .	116
§ 23. Режимы сварки . . . . .	129
§ 24. Техника ручной дуговой сварки . . . . .	139
§ 25. Техника сварки под флюсом . . . . .	143
§ 26. Техника сварки в защитных газах . . . . .	148
§ 27. Эффективность защиты сварного шва от воздуха . . . . .	169
§ 28. Напряжения и деформации от сварки . . . . .	184
§ 29. Типовые технологические процессы сварки . . . . .	195
§ 30. Сварка тонкостенных изделий . . . . .	205
§ 31. Особенности сварки хромистых сталей . . . . .	212
§ 32. Сварка разнородных сталей . . . . .	213
§ 33. Сварка двухслойных сталей . . . . .	217

<b>Глава III. Контроль качества сварки</b> . . . . .	222
§ 34. Требования к сварным узлам и оценка качества сварки . . . . .	—
§ 35. Виды контроля качества и порядок приемки в процессе изготовления сварных узлов . . . . .	224
§ 36. Дефекты в сварных швах . . . . .	229
§ 37. Контроль качества сварных соединений . . . . .	243
§ 38. Исправление дефектов сварных швов . . . . .	256
<b>Глава IV. Резка нержавеющей сталей</b> . . . . .	258
§ 39. Дуговая электрическая резка . . . . .	—
§ 40. Воздушно-дуговая резка . . . . .	259
§ 41. Кислородно-флюсовая резка . . . . .	260
§ 42. Газоэлектрическая резка . . . . .	264
<b>Глава V. Техника безопасности при сварке и резке нержавеющей сталей</b> . . . . .	—
§ 43. Общие требования по технике безопасности . . . . .	271
§ 44. Техника безопасности при сварке . . . . .	274
§ 45. Техника безопасности при резке . . . . .	277
<b>Приложение</b> . . . . .	280
<b>Литература</b> . . . . .	283

**ПЕТРОВ ВЛАДИЛЕН НИКОЛАЕВИЧ**  
**СВАРКА И РЕЗКА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ**  
(изд. 2-е, перераб. и дополн.)

Рецензент инж. **Б. Б. Искос**

Научный редактор **В. Н. Тимофеев** Редакторы: **Э. И. Лисок, Э. В. А**

Технический редактор **Ю. Н. Короженко** Корректор **Л. Н.**

Оформление переплета художника **Л. А. Яценко**

---

Сдано в набор 21/VII 1969 г. М-28285. Подписано к печати 3/  
Формат издания 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 17,8. Изд. №  
Цена 1 руб. 09 коп. Зак № 254 Тираж 7900 экз. Бумага для глубокой

Издательство «Судостроение», Ленинград, Д-65, ул. Гоголя, 8

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома  
Комитета по печати при Совете Министров СССР  
Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10

1 р. 00

сварка и резка нержавеющей стали

П 29

В. Д. МЕТРОВ

# сварка и резка нержавеющей стали

O<sub>2</sub>

He