

5. СПЕЦКУРС (6 РАЗРЯД)

5.1. Подготовительные сварочные работы и контроль качества сварных швов после сварки

5.1.1. Капиллярный контроль

Проверенный временем способ дает возможность проверить сварной шов на прочность. Суть его сводится к тому, что для проверки применяются специальные жидкости с высокой текучестью. Они проникают в самые тонкие пустоты, которые принято называть капиллярами.

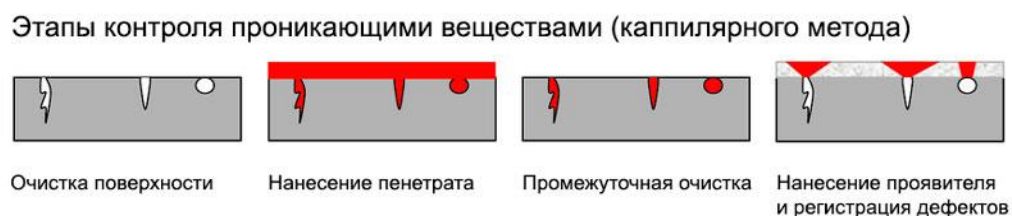


Рис. 5.1. Метод капиллярного контроля

Данный метод дает возможность проверить качество сварного соединения с любого состава. Он отлично подходит в ситуациях, когда есть потребность в проверке скрытых дефектов сварного соединения при ограниченном бюджете на проверку. Здесь нет потребности в дорогостоящем оборудовании, а исполнить манипуляции сможет даже новичок.

Жидкости, которые применяются в капиллярной методе оценки, называются пенетрантами. Это походное слово от английского «penetrant», что переводится как «проникающая жидкость». Для них характерно малое поверхностное натяжение. Благодаря такому свойству, субстанция легко проникает в капилляры, которые могут образоваться во время сварки. Говоря проще, пенетранты проникают в пустоты, окрашивают их, делая видимыми для человеческого глаза.

5.1.2. Проверка сварных швов на герметичность

Герметичность стыка проверяется при помощи газа или жидкости. Суть метода идентична капиллярному. Разница заключается только в том, что кислород, азот или вода подаются под высоким давлением. Субстанции распределяются по пустотам и в случае негерметичности стыка, выходят наружу. Классификация методологий зависит от вида применяемого материала. Он бывает гидравлическим или пневматическим. Последний делится на подвиды: вакуумный или нагнетательный.

Пневматический метод контроля базируется на использовании воздуха или газовой смеси, которые подаются к тестируемой области под давлением. Предварительно место стыка обильно смазывается раствором из воды и мыла. Подвидом пневматического метода является контроль с использованием вакуума. Сварочный шов промазывается мыльным раствором. После этого конструкция или деталь помещается в безвоздушную среду, созданную специальным оборудованием. Если существуют сквозные дефекты, то будут образовываться мыльные пузыри.

Для приготовления мыльного раствора необходимо использовать один кусок мыла на литр воды. В случаях, когда предполагается использовать раствор при отрицательной температуре, необходимо половину воды заменить техническим спиртом. Не лишним будет подключение манометра к емкости, где создается вакуум или нагнетается давление. Изменения в показаниях прибора будут свидетельствовать о наличии дефектов сварочного шва.

Есть очень простой и надежный способ контроля качества шва, который заключается в погружении испытуемой детали в воду. Не требуется ни мыльный раствор, ни герметичные резервуары или нагнетательное оборудование. В случаях, когда присутствуют дефекты, то из детали, погруженной в воду, будут подниматься мелкие пузырьки воздуха. Данный метод называют полевым. Несмотря на свою простоту, он достаточно эффективный.

Еще одна разновидность пневматического контроля основывается на проверке соединений при помощи аммиака. Он подается на соединение вместо воды или газа. Предварительно стыки покрываются бумажной лентой. Аммиак проникает во все доступные полости и, если шов имеет пустоты, то на поверхности бумажной ленты образуются красные пятна.

При гидравлическом методе контроля давление создается при помощи масла или воды. В зависимости от вида металла деталь выдерживается в жидкости от 5 до 15 минут. В это время зона по периметру сварочного шва обстукивается молоточком. Даже при слабых ударах жидкость станет вытекать в случаях, когда шов имеет сквозные дефекты.

5.1.3. Магнитное поле

В основу метода легла технология использования электромагнетизма в промышленности. С помощью специального приспособления вокруг сварочного шва создается магнитное поле, имеющее свой рисунок электромагнитных линий. Если они ровные, то можно смело сказать, что работа выполнена качественно. В случаях наличия дефектов, линия будут иметь явное искажение. Для визуализации магнитных линий достаточно на поверхность проверяемых деталей насыпать ферромагнитный порошок. В случае искажения магнитного поля он скапливается в том месте, где присутствует дефект. В силу объективных обстоятельств данный метод приемлем только при работе с ферромагнитными металлами. Качество сварки меди, алюминия, стали с большой долей никеля или хрома проверить не получится. Помимо этого, технология является достаточно затратной. Она востребована только в случаях, когда есть необходимость точной проверки соединения особо важных узлов.

5.1.4. Ультразвук

Для контроля над качеством сварного шва используются также уникальные свойства ультразвука. Звуковые волны по-разному отражаются

от монолитной и деформированной поверхности. Сколы и трещины имеют свои акустические особенности, которые фиксируются специальной аппаратурой. Если звук сталкивается с пустотой, сколом или иным дефектом, то отображается от металла под другим углом. Более того, разные виды дефектов отражают ультразвук неодинаково, что позволяет диагностировать их.

Благодаря тому, что ультразвуковой метод диагностики является сравнительно недорогим и стабильно эффективным, он используется повсеместно. Распространению способствует и простота использования. К примеру, не нужно учитывать физико-химические особенности металлических сплавов, как в случаях с магнитным или радиационным контролем. Да и приобретение дорогостоящей оснастки тоже не требуется. Недостатком является необходимость наличия специальных знаний и навыков. То есть для контроля привлекается специалист со стороны. Сварщик выполнить процедуру самостоятельно не сможет.

5.1.5. Радиография

Радиационный контроль сварных швов является миниатюрной версией всем знакомого медицинского рентгена. Гамма-лучи прошивают металл и оставляют свой след на специальной пленке. Соответственно, отображаются и скрытые от глаз внутренние дефекты сварочного стыка. Данный метод является самым передовым и позволяет точно обрисовать картину внутреннего состояния соединения. Наряду с этим, метод имеет и недостатки. Прежде всего, это необходимость приобретения дорогостоящего оборудования. Другой нюанс – требуется предварительная подготовка специалиста. Плюс ко всему, нельзя работать с оборудованием длительной время, поскольку это негативно сказывается на состоянии здоровья. С недавних пор есть возможность приобрести цифровой радиограф, работающий с компьютерной программой. Вместо пленки в этом случае применяются многоразовые пластины, которые реагируют с любыми лучами.

Ключевое отличие от классического рентген-аппарата заключается в том, что изображение сразу отображается на мониторе компьютера. Его можно масштабировать и редактировать. Перспективой технологии является полная автоматизация процесса.

5.2. Ручная дуговая сварка (наплавка, резка) плавящимся покрытым электродом особо сложных конструкций из различных материалов

Для работ повышенной сложности принято использовать технологию под флюсом. Также подходит для соединения легированной стали или алюминия, для сплавов железа и никеля.

Флюс – это порошкообразный материал, марганец в своей основе. Он подается вместе с электродом, поэтому при проходе электрического тока происходит плавление сразу двух металлов. Полученная смесь работает гораздо лучше и эффективнее. Порошок бывает плавленным и неплавленным. Последний – стандартный, стоит дешевле, но менее результативен. А первый – это материал после сильной термической обработки, иногда смесь с керамическим происхождением в форме крошки.

Во время работы эти гранулы активно плавятся, смешиваются с остальным шлаком и попадают в сварочную ванночку. Но при этом флюс поднимается, создает на поверхности специальный защитный слой. Он полностью предохраняет от контакта с кислородной средой. А значит, полученный шов будет до остывания защищен. И получится более крепким и качественным. Затвердевший порошок превращается в наслоение. Удалить его можно без всяких проблем скребком с молотком или иным инструментом. После пары ударов слой трескается и разваливается. Примечательно то, что остатки допустимы к повторной процедуре. Так же следует в обязательном порядке провести очистку.

5.3. Ручная дуговая сварка (наплавка) неплавящимся электродом в защитном газе особо сложных конструкций из различных материалов

TIG - Tungsten Inert Gas - ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертного защитного газа. Поскольку чаще всего в качестве материала для неплавящихся электродов используется вольфрам, в немецкоязычной литературе используют сокращение WIG (Wolfram Inert Gas); иногда встречается обозначение GTA (Gas Tungsten Arc). Так как наиболее распространено применение в качестве защитного газа аргона, за этим методом закрепилось название «аргонно-дуговая сварка», или АДС. Следует, однако, заметить, что такое наименование не совсем правильно, потому что при сварке методом TIG в качестве защитного газа могут использоваться также гелий, азот или различные газовые смеси. Существует также метод атомно-водородной сварки, схожий по своей физической сущности с методом TIG. Кроме того, сварка с использованием аргона в качестве защитного газа может вестись и с применением плавящегося электрода.

Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе использует тепло, образующееся при горении электрической дуги между электродом и основным металлом. Температура в столбе дуги при GTAW процессе может достигать 19 500 °С.

Вольфрамовый электрод закрепляется в токопроводящем устройстве специальной горелки, к которой по шлангам подводится токоведущий провод и защитный инертный газ. Истекающая из сопла горелки струя аргона оттесняет воздух и надежно защищает электрод, дугу, сварочную ванну и околошовную зону от окисления и азотирования. Таким образом, процесс осуществляется при струйной защите зоны сварки от контакта с воздухом. Если возникает необходимость в добавочном (присадочном) металле для заполнения шва (получения сварочного валика), то в дугу подается

присадочная проволока, как правило, того же или близкого состава, что и свариваемый металл.

Помещение, где размещены сосуды со сжиженным аргоном, контейнеры или рампы, не должно иметь технологического этажа (подвала) и углублений в покрытии пола более 0,5 м.

В процессе эксплуатации контейнера со сжиженным аргоном должны соблюдаться следующие требования:

- 1) опорожнение контейнера производится с помощью испарителя;
- 2) открытие и закрытие вентилей производится плавно, без толчков и ударов;
- 3) не допускается подтяжка болтов и сальников на вентилях и трубопроводах, находящихся под давлением;
- 4) отсоединение шлангов производится после полного испарения аргона;
- 5) не допускается попадание жидкого аргона на кожу работника во избежание обморожения;
- 6) при отсоединении шлангов работники не должны стоять напротив, так как возможен выброс из шланга газообразного или капельного аргона.

В процессе эксплуатации контейнеров (сосудов-накопителей), рампы для централизованного обеспечения аргоном осуществляется контроль за исправностью всей предохранительной арматуры. Предохранительные клапаны должны быть отрегулированы, опломбированы и содержаться в чистоте.

Присадочная проволока, как правило, подается вручную, так же как при газовой сварке. Существует множество систем для подачи проволоки в зону горения дуги, пригодных для автоматизации процесса.

Преимущество GTAW процесса заключается в том, что им можно сваривать значительно большее количество металлов и сплавов, чем любой другой сваркой. TIG сварка позволяет сваривать сталь, в том числе нержавеющую, никелевые сплавы (монель, инконель и др.), титан,

алюминий, алюминиевые и магниевые сплавы, медь, бронзу и даже золото. Можно сваривать разнородные металлы, например, медь с латунью и нержавеющей сталь с низкоуглеродистой сталью. Этим способом можно соединять вручную, полуавтоматически или автоматически в различных пространственных положениях разнообразные металлы и сплавы толщиной от десятых долей до десятков миллиметров.

Концентрированный характер GTAW дуги с контролируемым точечным тепловложением в изделие дает узкую околошовную зону. Высокая концентрация тепла - преимущество при сварке металлов с высокой теплопроводностью, например меди и алюминия. Узкая околошовная зона, в которой металл подвергся интенсивному нагреву и быстрому охлаждению, также является преимуществом, повышается прочность изделия.

При сварке GTAW процессом не требуется шлак, следовательно, ничто не закрывает сварщику сварочную ванну. Завершенный валик сварного шва не имеет шлаковой корки, нет необходимости зачищать валики сварного шва при многопроходной сварке. Шлаковые включения в многослойной сварке бывают крайне редко. Исключение составляют металлы, подобные инконелю, в них могут встречаться шлаковые включения.

При сварке GTAW процессом отсутствует перенос расплавленного металла через дуговой промежуток. Это в значительной мере облегчает условия горения дуги и обуславливает более высокую ее стабильность. Нет расплавленных капель металла и нет брызг: если свариваемый металл не загрязнен, то нет и искр.

Присадочный металл по мере необходимости подается в головную часть сварочной ванны. Сварщик вручную контролирует перемещение сварочной горелки и подачу проволоки. В отличие от сварки плавящимся электродом скорость плавления присадочного металла не связана жесткой зависимостью с величиной сварочного тока. Количество присадочного металла, подаваемого в ванну, выбирают из условия обеспечения требуемой доли участия присадочного металла в образовании шва. При сварке

стыковых соединений без разделки кромок присадочный металл необходим в основном для создания усиления шва.

Переход присадочного металла в сварочную ванну, минуя дуговой промежутка, исключает его разбрызгивание. Сокращаются потери на испарение, и ограничивается взаимодействие расплавленного металла с газовой фазой столба дуги. При сварке неплавящимся электродом создаются благоприятные условия для защиты сварочной ванны и формирования шва.

При сварке на постоянном токе (кроме импульсного режима), в отличие от сварки покрытыми электродами и MIG/MAG процесса, GTAW дуга горит в полной тишине, без треска, щелчков и жужжания.

Основной недостаток GTAW процесса - низкая производительность. Другой недостаток - чтобы производить сварку, необходимо, что называется, «набить руку». Чтобы стать специалистом, необходима большая практика. Зачастую TIG сваркой выполняют «ювелирную», ответственную работу, не терпящую небрежности.

К недостаткам GTAW процесса, по сравнению со сваркой покрытым электродом и GMAW процессом, относится необходимость применения дополнительных защитных мер против световой и тепловой радиации дуги. Из-за отсутствия дыма и более высокой температуры дуги излучение более сильное, имеющее сдвиг в ультрафиолетовую область, что, в свою очередь, вызывает образование озона и оксидов азота.

При выполнении TIG сварки необходима улучшенная защита сварщика от ожогов и излучения. Сварочная маска комплектуется светофильтром повышенной плотности. При сварке в стесненных условиях необходимо обеспечить достаточную вентиляцию или подачу чистого воздуха в сварочную маску.

GTAW - чистый процесс. Для качественной сварки свариваемое изделие должно быть очищено от грязи, окалины, краски, замазученности и прочих загрязнений. Для сварки используется чистый присадочный металл. Сварку необходимо производить в чистых кожаных перчатках. Чистота

процесса не преувеличена, особенно при сварке алюминия, алюминиевых и магниевых сплавов, более подверженных воздействию загрязняющих веществ, чем черные металлы.

Пористость шва при сварке алюминия вызывает водород. Следовательно, при сварке алюминия и алюминиевых сплавов необходимо удалить все источники водородного загрязнения, например влагу и углеводороды в виде масла и краски.

Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом производится на прямой полярности (минус на электроде). При установившейся дуге электронный поток движется от отрицательного электрода горелки к положительному электроду (изделию), а поток положительно заряженных ионов - к электроду. При сварке на обратной полярности примерно 70% тепла сконцентрировано с положительной стороны дуги, и значительная часть этого тепла передается в зону сварки.

Прямая полярность позволяет получить узкую, сконцентрированную дугу, дающую глубокое проплавление и, соответственно, большую скорость сварки. Электрод получает меньшую часть тепловой энергии дуги и будет иметь меньшую температуру, чем при сварке на переменном токе или при сварке на обратной полярности, что, в свою очередь, позволяет уменьшить диаметр вольфрамового электрода и снизить расход защитного газа.

При обратной полярности поток электронов также движется от отрицательного электрода к положительному, но в данном случае от изделия к электроду. Следовательно, 70% тепла сконцентрировано в дуге около вольфрамового электрода. Поскольку электрод получает значительно больше тепла при сварке на обратной полярности, чем на прямой, для предотвращения перегрева и расплавления вольфрамового электрода приходится использовать электроды увеличенного диаметра и уменьшать сварочный ток. Свариваемое изделие при сварке на обратной полярности получает меньше тепла и как результат - меньшая глубина проплавления.

Другим недостатком при сварке на обратной полярности является блуждание дуги, возникающее иногда из-за магнитного дутья. Магнитное дутье может возникнуть и при сварке на прямой полярности, но сварка на обратной полярности более подвержена магнитному дутью.

Некоторые цветные металлы, например алюминий и магний, быстро образуют на поверхности оксидную пленку. Прежде чем сваривать алюминий, необходимо удалить оксидную пленку, температура плавления которой значительно выше, чем основного металла. Удаление оксидной пленки может производиться механически, например щетками или химически - травлением, но, как только пленка удалена, металл тут же снова начинает окисляться, затрудняя сварку.

Оксидную пленку с поверхности металла во время сварки на обратной полярности может удалять сама дуга. Положительно заряженные ионы, которые двигались от основного металла изделия к электроду при сварке на прямой полярности, теперь двигаются от электрода к изделию. Ударяясь с достаточной силой о поверхность изделия, они дробят и расщепляют хрупкую оксидную пленку, производя тем самым очистку поверхности.

Очищающее действие дуги при сварке на обратной полярности, на первый взгляд, наилучшим образом подходит для сварки алюминия, магния и их сплавов. Тем не менее, этот способ сварки имеет существенный недостаток. Например, при сварочном токе в 100 А необходимо использовать электрод (по условиям нагрева) диаметром 6 мм. Этот большой электрод имеет, соответственно, большую сварочную ванну. Тепло дуги рассеяно на большой площади изделия, глубина проплавления недостаточная. При использовании электрода диаметром 2,5 мм получаем более сконцентрированную дугу и удовлетворительное проплавление, но происходит перегрев электрода. Из-за недостаточного проплавления и необходимости использовать вольфрамовые электроды большого диаметра GTAW сварка на обратной полярности используется редко.

Хорошее проплавление, достигаемое при сварке на прямой полярности, и очищающее действие дуги при сварке на обратной полярности - наилучшая комбинация для сварки алюминия. Для получения преимущества обоих способов сварки используется сварка на переменном токе.

5.4. Частично механизированная сварка (наплавка) плавлением особо сложных конструкций из различных материалов

При разработке технологии автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом необходимо учесть особенности соединения и подготовки кромок под сварку, а также возможность выполнения сварки по различным вариантам.

Выбранные режимы должны обеспечить сплошной провар при сварке стыковых соединений и получение шва заданного катета при сварке тавровых и угловых соединений. Во всех случаях режимы сварки должны обеспечить хорошее формирование швов. При выборе режимов автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом необходимо учитывать большое число различных факторов, влияющих на формирование и механические свойства сварных швов.

Форма сварных швов и форма проплавления (провара) характеризуются: глубиной проплавления основного металла; шириной проплавления или шириной шва; высотой валика (утолщения); коэффициентом формы провара; площадью зоны проплавления; площадью зоны наплавки; отношением, определяющим долю основного металла в формировании шва.

Изменение режима сварки и других технологических факторов по-разному влияет на размеры сварных швов.

С увеличением силы тока при постоянном диаметре электродной проволоки увеличивается количество тепла, вводимого в изделие, и количество расплавляемого основного металла, а также возрастает сила дутья

(давление газов) дуги, что способствует вытеснению металла из-под дуги и ее углублению в основной металл. Благодаря этому увеличивается глубина проплавления основного металла и доля участия его в формировании шва. Вследствие значительного «погружения» дуги в основной металл ширина шва возрастает мало. Объем расплавляемого электродного металла увеличивается, что обуславливает увеличение утолщения шва.

Изменение плотности тока заметно влияет на глубину и ширину проплавления (для электрода одного и того же диаметра при увеличении тока). Однако плотность тока изменяется и при постоянном сварочном токе, но при изменении диаметра электрода.

С увеличением плотности тока глубина проплавления и утолщение шва увеличиваются почти линейно; ширина проплавления увеличивается в меньшей степени и после определенного предела даже уменьшается.

Увеличение напряжения связано с удлинением дуги; при этом возрастает доля тепла, идущего на плавление флюса. Увеличение полости, в которой горит дуга, ведет к увеличению ширины проплавления и некоторому уменьшению глубины проплавления и утолщения шва. Увеличение скорости сварки уменьшает время теплового воздействия дуги на основной металл, в результате чего снижаются глубина и особенно ширина проплавления.

Электрод в продольной плоскости по оси шва может быть перпендикулярен шву или может иметь наклон - «углом назад» или «углом вперед». Процесс сварки углом назад мало отличается от сварки вертикальным электродом. Для сварки же с наклоном электрода углом вперед характерны следующие особенности: тепло рассеивается впереди дуги, металл из-под дуги вытесняется слабее, глубина проплавления уменьшается, но зато свариваемые кромки прогреваются сильнее, что устраняет опасность не сплавления шва с основным металлом на больших скоростях сварки (более 80-100 м/час).

Изменение вылета электрода в практически возможных пределах (30-50 мм) не влияет на размеры шва.

Наклоня изделия, сварку можно производить «на спуск» или «на подъем». При сварке на спуск жидкий металл подтекает под дугу и уменьшает глубину проплавления основного металла. При сварке на подъем сила тяжести способствует вытеснению жидкого металла из-под дуги: дуга погружается глубже в основной металл и глубина проплавления увеличивается, а ширина уменьшается.

Правильное формирование швов возможно при угле наклона шва к горизонту в продольном направлении не свыше 8-10°. Угол наклона изделия в поперечном направлении (поворот шва) не должен превышать 10-20°.

Так как на размеры шва оказывают влияние многие факторы, для ускорения выбора режимов сварки, как правило, используют заранее разработанные таблицы, составленные на основании большого количества опытов. Однако такие таблицы имеют частное значение и не позволяют в общем виде представить связь между параметрами режима сварки и размерами шва.

По условиям правильного формирования шва скорость автоматической сварки должна лежать в пределах 12-75 м/час, а полуавтоматической 10-40 м/час. Нужно, однако, учитывать, что скорость 30-40 м/час при полуавтоматической сварке допустима только на коротких швах (из-за быстрой утомляемости сварщика).

Необходимо иметь в виду, что судовые конструкции, как правило, не кантуются и швы тавровых соединений выполняются наклонным электродом. При этом качественное формирование шва за один проход получается при сварке шва катетом не более 8-9 мм. Швы с большими катетами выполняют за несколько проходов, исходя из следующих практических данных: швы катетом 9-14 мм следует варить за 2 прохода, швы катетом 15-16 мм за 3 прохода и швы катетом 17-20 мм за 4 прохода.

Требования охраны труда при выполнении сварки под флюсом

При выполнении сварки под флюсом на стационарных постах сварочные установки оснащаются местными отсосами. Отсосы

располагаются непосредственно у места сварки (на расстоянии не более 40 мм от зоны дуги в сторону формирования шва). Рекомендуется применять отсосы щелевидной формы.

Установки для сварки под флюсом должны иметь:

- 1) приспособление для механизированной засыпки флюса в сварочную ванну;
- 2) флюсоотсос с бункером-накопителем и фильтром (при возврате воздуха в помещение) для уборки использованного флюса со шва.

Установки для сварки под флюсом оборудуются механизированными устройствами для очистки шва от шлаковой корки с одновременным его сбором. Ручная уборка флюса допускается только в случаях, когда применение флюсоотсосов не представляется возможным. При этом обязательно применение средств индивидуальной защиты органов дыхания.

В системе подачи и сбора флюса должна предусматриваться очистка выбрасываемого воздуха от пыли и газов.

Рабочие места сварщиков при выполнении сварки под флюсом труб и других крупногабаритных конструкций, в том числе колонн, ферм, балок, оборудуются специальными кабинами с подачей приточного воздуха, тепло- и звукоизоляцией наружных поверхностей и пультом управления сварочным процессом.

5.5. Газовая сварка (наплавка) особо сложных конструкций из различных материалов

Для получения сварного шва с высокими механическими свойствами необходимо хорошо подготовить свариваемые кромки, правильно подобрать мощность горелки, отрегулировать сварочное пламя, выбрать присадочный материал, установить положение горелки и направление перемещения ее по свариваемому шву.

Подготовка кромок заключается в очистке их от масла, окалины и других загрязнений, разделке под сварку и прихвате короткими швами.

Свариваемые кромки зачищают на ширину 20.. 30 мм с каждой стороны шва. Для этой цели можно использовать пламя сварочной горелки. При нагреве окалина отстает от металла, а краска и масло выгорают. Затем поверхность свариваемых деталей зачищают стальной щеткой до металлического блеска. При необходимости (например, при сварке алюминия) свариваемые кромки травят в кислоте и затем промывают и сушат.

Разделка кромок под сварку зависит от типа сварного соединения, который, в свою очередь, зависит от взаимного расположения свариваемых деталей.

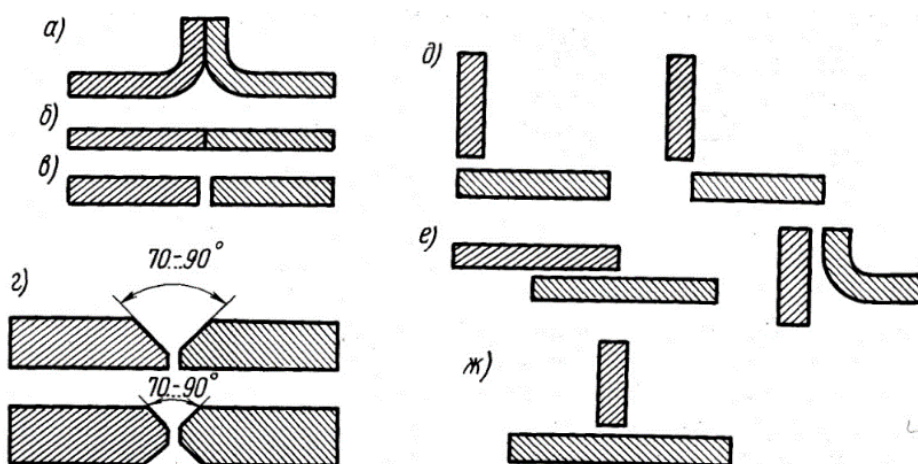


Рис. 5.2. Стыковые соединения

Стыковые соединения являются для газовой сварки наиболее распространенным типом соединений. Металлы толщиной до 2 мм сваривают встык с отбортовкой кромок (рисунок 5.2 а) без присадочного материала или встык без разделки кромок и без зазора (рисунок 5.2 б), но с присадочным материалом. Металл толщиной 2...5 мм сваривают встык без разделки кромок, но с зазором между ними (рисунок 5.2 в). При сварке металла толщиной более 5 мм применяют V- или X-образную разделку

кромки (рисунок 5.2 г) . Угол скоса выбирают в пределах $70...90^\circ$; при этих углах получается хороший провар вершины шва.

Угловые соединения (рисунок 5.2 д) также часто применяют при сварке металлов малой толщины. Такие соединения сваривают без присадочного металла. Шов получается за счет расплавления кромок свариваемых деталей.

Нахлесточные (рисунок 5.2 , е) и тавровые (рисунок 5.2 , ж) соединения допустимы только при сварке металла толщиной менее 3 мм, так как при больших толщинах металла неравномерный местный нагрев вызывает большие внутренние напряжения и деформации и даже трещины в шве и основном металле.

Скос кромок производят ручным или пневматическим зубилом, а также на кромкострогальных или фрезерных станках. Экономичным способом подготовки кромок является ручная или механизированная кислородная резка; образующиеся при этом шлаки и окалины удаляют зубилом и металлической щеткой.

Чтобы не допустить изменения положения свариваемых деталей и зазора между кромками в течение всего процесса сварки, изделие закрепляют в приспособлениях или с помощью прихваток. Длина прихваток, их число и расстояние между ними зависят от толщины металла, длины и конфигурации свариваемого шва. При сварке тонкого металла и коротких швах длина прихваток составляет $5...7$ мм, а расстояние между ними — $70... 100$ мм. При сварке толстого металла и значительной длине прихватки делают длиной $20...30$ мм, а расстояние между ними – $300... 500$ мм.

Основные параметры режима сварки выбирают в зависимости от свариваемого металла, его толщины и типа изделия. Определяют потребную мощность пламени, вид пламени, марку и диаметр присадочной проволоки, технику сварки. Швы накладывают одно- и многослойные. При толщине металла до $6...8$ мм применяют однослойные швы, до 10 мм швы выполняют в два слоя, а при толщине металла более 10 мм швы сваривают в 3 слоя и более. Толщина слоя при многослойной сварке зависит от размеров шва,

толщины металла и составляет 3...7 мм. Перед наложением очередного слоя поверхность предыдущего слоя должна быть хорошо очищена металлической щеткой. Сварку производят короткими участками. При этом стыки валиков в слоях не должны совпадать. При многослойной сварке зона нагрева меньше, чем при однослойной. В процессе сварки при наплавке очередного слоя происходит отжиг нижележащих слоев. Кроме того, каждый слой можно подвергнуть проковке. Все эти условия позволяют получить сварной шов высокого качества, что очень важно при сварке ответственных конструкций. Однако следует учесть, что при этом производительность сварки низкая при большом расходе горючего газа.

Низкоуглеродистые стали сваривают газовой сваркой без особых затруднений. Сварка выполняется нормальным пламенем. Присадочным материалом служит сварочная проволока по ГОСТ 2246—70. Ответственные конструкции из низкоуглеродистой стали сваривают, применяя низколегированную проволоку. Наилучшие результаты дают кремнемарганцовистая и марганцовистая проволоки марок Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С. Они позволяют получать сварные швы с высокими механическими свойствами. Удельная мощность пламени – 100... 150 л/(ч·мм).

Среднеуглеродистые стали свариваются удовлетворительно, однако при сварке возможно образование в сварном шве и зоне термического влияния закалочных структур и трещин. Сварку выполняют слегка науглероживающим пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода происходит существенное выгорание углерода. Удельная мощность пламени должна быть в пределах 80... 100 л/(ч·мм). Рекомендуется левый способ сварки, чтобы снизить перегрев металла. При толщине металла более 3 мм следует проводить предварительный общий подогрев детали до 250...300°С или местный нагрев до 650...700°С. Присадочным материалом служат марки сварочной проволоки, указанные для малоуглеродистой стали, и проволока марки Св-12ГС.

При определении мощности пламени следует иметь в виду, что при сварке правым способом удельная мощность должна быть повышена на 20...25%. Увеличение мощности пламени повышает производительность сварки. Однако при этом возрастает опасность пережога металла.

Диаметр присадочной проволоки d (мм) при сварке металла толщиной до 15 мм левым способом определяют по формуле $d = S/2 + 1$, где S — толщина свариваемой стали, мм. При правом способе диаметр проволоки берут равным половине толщины свариваемого металла. При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 6...8 мм.

После сварки можно рекомендовать проковку металла шва в горячем состоянии и затем нормализацию с температуры 800...900°C. При этом металл приобретает достаточную пластичность и мелкозернистую структуру.

Положение горелки и присадочной проволоки при газовой сварке. Пламя горелки направляют на металл изделия так, чтобы кромки свариваемых частей находились в восстановительной зоне пламени на расстоянии 2 - 6 мм от конца ядра. Касаться концом ядра металла изделия и присадочного прутка нельзя. Это вызовет науглероживание металла ванны и будет способствовать возникновению хлопков и обратных ударов пламени.

Скорость нагрева металла при газовой сварке можно регулировать наклоном мундштука горелки по отношению к поверхности металла. С увеличением толщины металла угол наклона мундштука горелки к вертикали возрастает.

Угол наклона присадочной проволоки к поверхности металла обычно составляет 30 - 40° и может изменяться сварщиком в зависимости от положения шва в пространстве, числа слоев многослойного шва и других условий.

Как правило, конец присадочной проволоки должен постоянно находиться в сварочной ванне, защищенной от окружающего воздуха газами -восстановительной зоны пламени. Пользоваться для образования шва так называемым капельным процессом сварки, когда проволоку опускают

периодически в сварочную ванну, не рекомендуется из-за опасности окисления металла проволоки в момент ее отрыва от сварочной ванны.

5.6. Термитная сварка особо сложных конструкций

Термитную смесь сжигают в специальных огнеупорных тиглях (рисунок 5.3). Размер тигля принимают в соответствии с величиной сжигаемой порции термита.

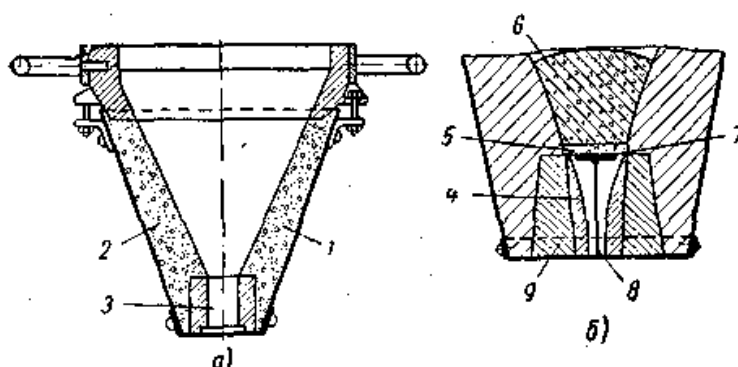


Рис. 5.3. Тигель для сжигания термита а - тигель; б - область дна тигля; 1 - корпус; 2 - футеровка; 3 - стакан; 4 - шпатель-штука для выпуска расплава; 5 - магнезитовый песок; 6 - термит; 7 - асбестовый кружок; 8 - запорный гвоздь; 9 - стакан

Тигель имеет корпус 1 из листового железа с внутренней огнеупорной магнезитовой футеровкой 2. При сжигании первой порции термита футеровка несколько оплавляется и зашлаковывается окисью алюминия термитной смеси.

В зависимости от размеров изделия, подлежащего сварке, вес термитной порции может меняться от нескольких сотен граммов до нескольких сотен килограммов. Для сварки нормального рельсового стыка профиля 1-А требуется 7—8 кг термита. Для сварки используются горячие расплавленные продукты сгорания термитной смеси. Иногда расплавленную смесь выливают на место сварки через край тигля, наклоняя его, но такой

прием применяется редко. Обычно продукты сгорания выпускают через дно тигля. Для возможности выпуска через дно при набивке футеровки тигля в его донную часть вставляют стакан 3 из высококачественного обожженного огнеупорного материала, обычно магнезита. Внутрь стакана вставляют сменный магнезитовый Штепсель-втулку. Отверстие штепселя перед засыпкой термитной смеси закрывают специальным запорным гвоздем со стержнем диаметром 5—6 мм длиной около 120 мм, с плоской шляпкой диаметром около 17 мм. Поверх шляпки гвоздя кладут асбестовый кружок и сверху засыпают небольшим количеством огнеупорного магнезитового песка, который слегка утрамбовывают. После этого в тигель насыпают и тщательно перемешивают термитную смесь. Такое перемешивание необходимо ввиду возможной сепарации частиц термита при хранении.

Термит хранится на складе обычно отдельными порциями, необходимыми для данной работы, например для сварки рельсового стыка, причем каждая порция упакована в отдельный пакет или мешок.

Зажигание засыпанной в тигель термитной смеси может производиться сварочной дугой или специальным запалом. От обычных источников тепла, например от пламени зажженной спички, термит не загорается, что делает его сравнительно безопасным в обращении и хранении. Запальные смеси загораются от пламени спички, развивают высокую температуру и зажигают термит. В состав запальной смеси для термита обычно входит бертолетова соль и тонкий порошок (пудра) алюминия.

После того как термитная смесь загорелась, тигель накрывают крышкой с отверстием для выхода газов. По окончании реакции горения, через 20—30 сек после зажигания, расплавленные продукты готовы к выпуску. Для выпуска расплавленных продуктов выбивают запорный гвоздь ударом по нижнему концу ударником — железной полоской или трубкой с расплюснутым концом. Горячая смесь выливается на место сварки. При выпуске через дно тигля сначала выливается металл, затем шлак; при выпуске через край тигля сначала льется шлак, затем металл.

Место сварки должно быть предварительно заформовано таким образом, чтобы осталась полость для термитного металла и шлака. Заформовка производится огнеупорными материалами в коробке из листового железа. При заформовке необходимо оставить каналы и отверстия в стенках железной формы для облегчения удаления газов.

Расплавленные продукты подводят по специальному литниковому каналу в заформовке в нижнюю часть формы, откуда они постепенно поднимаются кверху и заполняют весь объем формы. После окончания заформовки форму сушат и прокаливают, а также подогревают места сварки до красного каления (700—800° С). Прокалку и подогрев чаще всего проводят подогревательными горелками-форсунками, работающими на керосине или нефти. Просушиваются и прокаливаются не только заформовка, но и тигель вместе с крышкой перед засыпкой первой порции термитной смеси. Просушке и прокалке при термитной сварке уделяется большое внимание, так как остатки влаги в заформовке или футеровке тигля могут вызывать разбрызгивание жидкого металла и шлака.

Термитная сварка по способу выполнения имеет несколько разновидностей:

- 1) сварка давлением, или пластическая, без заметного расплавления основного металла;
- 2) сварка плавлением (способ промежуточного литья), при которой основной металл расплавляется по всему сечению и сплавляется с жидким присадочным металлом, осадочного давления не требуется;
- 3) комбинированный способ, при котором основной металл расплавляется по всему сечению или частично и используется

5.7. Автоматическая сварка различных конструкций из легированных специальных сталей, титановых и других сплавов

5.7.1. Сварка низколегированных и среднелегированных конструкционных сталей

В зависимости от химического состава сталь бывает углеродистая и легированная.

Углеродистая сталь делится на:

- низкоуглеродистую (содержание углерода до 0,25%)
- среднеуглеродистую (содержание углерода от 0,25 до 0,6%)
- высокоуглеродистую (содержание углерода от 0,6 до 2,0%).

Сталь, в составе которой кроме углерода имеются легирующие компоненты (хром, никель, вольфрам, ванадий и т. д.), называется легированной. Легированные стали бывают:

- низколегированные (суммарное содержание легирующих компонентов, кроме углерода, менее 2,5%)
- среднелегированные (суммарное содержание легирующих компонентов, кроме углерода, от 2,5 до 10%)
- высоколегированные (суммарное содержание легирующих компонентов, кроме углерода, более 10%).

Свариваемость таких сталей зависит от содержания углерода и легирующих компонентов и ухудшается с ростом содержания углерода и легирующих компонентов. Стали кремнемарганцевой группы 15ГС, 18Г2С и 25Г2С сваривают электродами типа Э60А марки УОНИ-13/65. Перед сваркой кромки тщательно зачищают от грязи, ржавчины и окалины. Сварку выполняют предельно короткой дугой. Изделие перед сваркой подогревают до температуры 200 °С, электроды перед сваркой прокаливают при 400 °С в течение одного часа.

Кремнемарганцемедистые стали 10Г2СД, 10ХГСНД, 15ХСНД и 12ХГ сваривают электродами типа Э50А марки УОНИ-13/55. Изделие перед сваркой не подогревают.

Электродные стержни изготавливаются из сварочной проволоки Св12М (и ей подобных) с содержанием молибдена до 0,7%. При сварке жаропрочных сталей подогрев считается обязательным при толщине более 10 мм.

При сварке жестких конструкций, например труб, подогрев до 200°C считается совершенно необходимым. При сварке хромомолибденовых сталей технологический процесс еще сложнее, так как после сварки необходима термообработка в виде нормализации и высокого отпуска. После термообработки жаропрочная сталь может находиться на уровне равнопрочности. Погонная энергия ограничена. Начало и конец шва должны быть на технологических планках, а не на изделии.

Для низколегированных и среднелегированных сталей технологические рекомендации одинаковы. Хромистые и хромоникелевые стали очень чувствительны к нагреву. В интервале температур 400-900°C в этих сталях происходит образование карбидов хрома - химического соединения хрома с углеродом. Поэтому содержание хрома уменьшается, сталь теряет антикоррозийные свойства. Хром способен легко окисляться, образуя тугоплавкий шлак и затрудняя сварку. Хромистые и хромоникелевые стали имеют низкую теплопроводность и этим объясняется их большая склонность к короблению. Особенно важно в процессе сварки равномерно и симметрично распределять по всему изделию малыми дозами тепловложение от сварочной дуги, тогда не будет перегревов и деформаций. Порядок, последовательность и направление небольших по протяженности швов должны быть четко указаны в технологическом процессе. Сварку хромистых безникелевых нержавеющей сталей ведут на мягких тепловых режимах, с малой скоростью охлаждения сварного соединения. Для сварки применяют электроды с фтористо-калиевыми покрытиями. Сварку ведут на постоянном

токе при обратной полярности. При сварке хромистых сталей большой толщины (15-10 мм) применяют предварительный и сопутствующий подогрев до 300-350 °С, а после сварки - термическую обработку, отпуск при температуре 700-720°С . Сварка хромоникелевых сталей ведется так, чтобы не было перегрева основного металла и большого объема сварочной ванны. Сварочный ток по возможности пониженный. Дуга короткая, сварка без поперечных колебательных движений, многослойными швами. Необходимо жестко закреплять детали, чтобы предотвратить коробление свариваемого изделия. Оптимальная скорость охлаждения хромоникелевых и, в особенности, хромистых сталей для создания благоприятной структуры шва и околошовной зоны должна быть 3,0 - 5,0°С в секунду. При этом пригодны любые технологические способы, способные тормозить скорость охлаждения.

Дуговая сварка низкоуглеродистых сталей не создает проблем технологического характера. Эти стали, содержание углерода в которых не превышает 0,2%, хорошо свариваются независимо от толщины свариваемых элементов, температуры окружающего воздуха, жесткости конструкции в широком диапазоне режимов сварки.

Вместе с тем при выборе сварочных материалов (электродов, проволок, флюсов) учитывают назначение сварного изделия, степень его ответственности. В частности, при ручной сварке электроды типа Э38 применяют для сварки неответственных изделий, а электроды типов Э42 и Э42А - при изготовлении ответственных и особо ответственных изделий. С этой же целью (повышение прочности наплавленного металла и сварных соединений) при сварке изделий из толстых листов (10 мм и более) в неудобных для сварщика положениях, в монтажных условиях, на строительстве применяют электроды типов Э46 и Э46А.

В среднеуглеродистых сталях содержание углерода находится в пределах 0,2 ... 0,45%. Эти стали чувствительны к концентрации напряжений, склонны к образованию трещин в угловых швах, в изделиях с

большой жесткостью, в первых многослойных швах, при неправильно выбранном тепловом режиме сварки и т. д. В связи с этими особенностями возникает необходимость в дополнительном подогреве среднеуглеродистых сталей при сварке (для листов толщиной до 15 мм достаточна температура подогрева 100 °С, для листов большей толщины - 200°С), в применении электродов, обеспечивающих высокую стойкость металла шва против образования трещин и высокие механические свойства.

В высокоуглеродистой стали содержание углерода составляет 0,46 ... 0,7%. Эти стали не применяют в сварных конструкциях. Необходимость применения сварки обычно возникает при ремонте и наплавке литых деталей из этого материала. В таких случаях применяют предварительный и сопутствующий подогрев деталей и термическую обработку после сварки.

Процесс сварки металлов не ограничивается расплавлением электрода и оплавлением свариваемых кромок изделия. При сварке также нагревается прилегающая к сварному шву часть свариваемого металла.

Нагрев и охлаждение свариваемого металла вызывают в нем различные превращения, что может проявляться в изменении механических свойств металла (прочности, пластичности и т. п.). При сварке углеродистых сталей эти изменения незначительны. Большое значение эти изменения приобретают при сварке легированных сталей.

Технология сварки легированных сталей должна предусматривать режимы сварки, сварочные материалы и технологические приемы, обеспечивающие получение сварных соединений с заданными свойствами.

Содержание легирующих элементов в низколегированных незакаливающихся сталях не превышает 2,5%, а содержание углерода не превышает 0,22%. В зависимости от легирующих элементов низколегированные стали подразделяют на марганцовистые (09Г2, 14Г2), кремнемарганцовистые (09Г2С, 10Г2С1, 17ГС и др.), хромкремнемарганцовистые (14ХГС и др.), марганцовоазотнованадиевые (14Г2АФ, 18Г2АФпс и др.).

Низколегированные конструкционные незакаливающиеся стали применяют для изготовления сварных судов, корпусов пассажирских вагонов, в гидротехническом строительстве, производстве труб и т. д.

Сварку низколегированных сталей можно выполнять автоматически и полуавтоматически под флюсом, ручным способом, плавящимися электродами.

Ручную сварку таких сталей можно выполнять электродами типов Э42А, Э46А, Э50А. Они обеспечивают временное сопротивление наплавленного металла не ниже, чем у основного металла.

При сварке сталей под флюсом применяют кислые и марганцовистые флюсы ОСЦ-45 и АН-348 и сварочную проволоку Св-08ГА и Св-10Г2.

Режимы сварки незакаливающихся низколегированных конструкционных сталей не отличаются от режимов применяемых при сварке обычных углеродистых сталей.

Ручную сварку элементов значительной толщины выполняют короткими участками каскадным методом.

В сварных конструкциях среди других закаливающихся сталей довольно часто применяют хромистую сталь 40Х, хромомолибденовую сталь 30ХМА, хромомарганцовистые стали марок 20ХГСА, 30ХГСА и др.

Ручную сварку этих сталей можно выполнять электродами с покрытием УОНИ-13. При этом, если необходимо, чтобы состав металла сварного шва не отличался от состава основного металла, в качестве стержня выбирают проволоку, содержащую элементы стали основного металла.

Закаливающиеся стали при сварке подкаливаются в околошовной зоне, что может сопровождаться образованием трещин. Поэтому при сварке этих сталей их предварительно подогревают.

Сталь хромансиль в отдельных случаях сваривают с помощью специальных аустенитных электродов.

Хромистые стали используют в сварных изделиях, к которым предъявляются требования высокой прочности и хорошей сопротивляемости

коррозии. Если необходимо получить однородные свойства металла шва и околошовной зоны, то стержень электрода (или сварочную проволоку при сварке в среде защитного газа) применяют такого же состава, что и основной металл. После сварки изделия термически обрабатывают (закалка и отпуск).

Если допустима разница в прочности металла шва и околошовной зоны, а основным требованием является антикоррозионная стойкость металла шва, сварку выполняют аустенитными электродами (проволокой) различных марок. После сварки термическая обработка в таких случаях ограничивается высоким отпуском.

Сварку изделий из стали ЗОХГСА в закаленном состоянии выполняют в тех случаях, когда термическая обработка изделия после сварки затруднительна. Прочность таких сварных соединений составляет 85 ... 100% прочности основного металла.

Тонколистовую сталь (1,5 ... 3 мм) сваривают автоматически в закаленном состоянии электродной проволокой 20ХМА диаметром 1,5 ... 3 мм под флюсом АН-348А на медной или стальной подкладке.

При сварке сосудов внутреннюю поверхность предохраняют от образования окалины поддувом аргона. Сварку выполняют постоянным током при обратной полярности.

Низкоуглеродистые высоколегированные хромоникелевые стали сваривают в среде защитных газов, автоматически под флюсом и ручной дуговой сваркой электродами с покрытием.

При сварке этих сталей применяют сварочную проволоку или стержень электрода с покрытием, по своему составу приближающийся к химическому составу основного металла, но с меньшим содержанием углерода.

Свойства низколегированных сталей в известных пределах регулируют за счет изменения содержания углерода и легирующих элементов. С увеличением содержания углерода свариваемость стали ухудшается из-за повышения вероятности образования горячих и холодных трещин. Повышение вероятности образования горячих трещин при увеличении

содержания углерода обусловлено склонностью углерода к ликвации, а холодных трещин – тем, что углерод снижает температуру мартенситного превращения и способствует формированию малопластичного (двойникового) мартенсита. Объемные изменения (увеличение объема) при превращении аустенита в мартенсит с повышением содержания углерода возрастают. Это приводит к увеличению внутренних напряжений.

В связи с отмеченным в сварных конструкциях применяют в основном низкоуглеродистые низколегированные стали повышенной прочности, содержащие до 0,23%С и относящиеся к перлитному классу. Они обладают достаточной прочностью и относительно хорошей свариваемостью. Основные легирующие элементы низколегированных сталей — марганец, кремний, хром. В некоторых сталях имеется никель, ванадий, медь и др. С целью уменьшения роста зерна в околошовной зоне стали, используемые в сварных конструкциях, как правило, дополнительно раскисляют алюминием или титаном.

Низколегированные стали поставляют в основном в горячекатаном состоянии или после нормализации.

В последние годы получили применение высокопрочные низколегированные стали с мартенситной или бейнитной структурой (14Х2ГМР, 14ХМНДФР и др.), которые наряду с высокими механическими свойствами обладают удовлетворительной свариваемостью. Сочетание подобных свойств достигается за счет комплексного многокомпонентного легирования стали при малом содержании углерода. Малое содержание углерода обеспечивает при охлаждении аустенита в зависимости от скорости его охлаждения получение металла со структурой реечного мартенсита или бейнита.

Реечный (или дислокационный) низкоуглеродистый мартенсит, упрочняемый в результате формирования в процессе превращения дислокаций, в отличие от пластинчатого (или двойникового) мартенсита, образующегося в сталях с содержанием свыше 0,22% С, более пластичен.

Поскольку мартенситное превращение при малом содержании углерода протекает в области относительно высоких температур (выше 350° С), то оно сопровождается сравнительно низкими напряжениями. Все это снижает вероятность образования холодных трещин при сварке подобных сталей.

Металлургические особенности сварки

В большинстве случаев низколегированные стали — спокойные. При выборе марки электродной проволоки обычно стремятся обеспечить состав металла шва, близкий к основному, а также требуемые эксплуатационные свойства. Образование горячих трещин при сварке низколегированных сталей в основном связано с присутствием в металле шва углерода, серы и фосфора сверх допустимых пределов. Допустимое содержание серы и фосфора в металле шва регламентируется стандартом на основной металл и электродную проволоку.

Образование горячих трещин предотвращают также за счет рационального выбора сварочных материалов: флюсов, электродов, электродных проволок таким образом, чтобы при осуществлении любого отмеченного металлургического варианта обеспечивалось снижение вредных примесей в металле шва. Содержание углерода в металле шва обычно устанавливают не более 0,15%, а необходимые свойства получают путем дополнительного его легирования.

Образование пор при сварке низколегированных сталей, так же как и углеродистых, связано с выделением окиси углерода, водорода и азота. Вероятность образования пор из-за выделения окиси углерода при сварке низкоуглеродистых сталей небольшая, поскольку в сварочной ванне, как правило, обеспечивается достаточная концентрация сильных раскислителей (например, кремния). Вероятность образования пор из-за водорода при сварке низколегированных сталей выше, чем при сварке углеродистых сталей, из-за повышенной степени раскисленности. Поэтому при сварке низколегированных сталей необходимо предусматривать меры для снижения вероятности попадания водорода и азота в зону сварки.

Изменение структуры и свойств металла в зоне термического влияния

Как правило, низкоуглеродистые низколегированные стали обладают удовлетворительной тепловой свариваемостью. Однако по сравнению с низкоуглеродистыми при сварке низколегированных в особенности при сварке металла большой толщины, используют подогрев.

При разработке режимов сварки следует иметь в виду, что в структуре металла зоны сварного соединения низкоуглеродистых низколегированных сталей допустимо содержание до 90% мартенсита, если твердость металла не превышает 415HV. Это обусловлено относительно высокими пластическими свойствами низкоуглеродистого речного (дислокационного) мартенсита.

Сварка покрытыми электродами

Для сварки низколегированных сталей повышенной и высокой прочности в основном используют электроды с покрытием основного типа.

В зависимости от свойств свариваемой стали используют стандартные (ГОСТ 9467—60) электроды: типа Э42А (марок УОНИ-13/45, СМ-11 и др.); типа Э46А (марки Э-138/45Н для сталей 09Г2, 10ХСНД, 15ХСНД и др.); типа Э50А (марок УОНИ-13/55, ДСК-50, АН-Х7 и др. для сталей 14ХГС, 10ХСНД, 15ХСНД и др.); типа Э55 (марки УОНИ-13/55У для сталей 18Г2С, 25ГС, 15ГС) и др.

Для некоторых сталей типа 09Г2 используют также электроды с покрытием рутилового типа Э42 (например, электроды марки АНО-1).

Сварка под флюсом. При этом используют кремне- и марганцовистые флюсы АН-348А, АН-60 и флюсы с пониженным содержанием МпО и SiO₂ – АН-47, АН-15, АН-22, АН-42. Электродную проволоку выбирают в зависимости от состава свариваемой стали (Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ХМ, Св-08ХМФА, Св-10НМА и др.).

Химический состав флюсов для сварки легированных сталей приведен ниже.

Таб. 5.1. Химический состав флюсов для сварки легированных сталей

Марка флюса	Содержание основных компонентов, %									
	MnO	MgO	CaO	CaF ₂	TiO ₂ + ZrO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S	P	
АН-348А	41-44	34-38	5-7,5	≤6,5	4-5,5	-	≤4,5	≤2	≤0,15	≤0,12
АН-67Б	15,5	15,7	-	7,0	14,0	5,5	38,5	0,5	≤0,09	≤0,1
АН-60	42,5-46,5	37-41	0,5-3	3-11	5-8	-	≤5	≤0,9	≤0,09	≤0,1
АН-47	28-32	14-18	6,5-10,5	13-17	9-13	6-8	9-13	≤2	≤0,05	≤0,05
АН-65	38-42	20-28	7-11	≤8	7-11	5-9	≤5	≤2	≤0,1	≤0,1

Наиболее рационально для сварки низколегированных сталей использовать флюсы с пониженным содержанием MnO и SiO₂, так как уменьшается загрязненность металла шва шлаковыми включениями.

Хорошие результаты получены при сварке высокопрочных низколегированных сталей при использовании флюсов АН-17 и АН-17М в сочетании с кремнемарганцовистыми и другими легированными проволоками (например, Св-08ХН2М; Св-08ХМФА). Указанные флюсы характеризуются пониженным содержанием MnO и SiO₂ и наличием небольших количеств окислов железа. При этом флюсы содержат достаточное количество фтористого кальция и окиси кальция. Подобный состав флюса и соответственно шлаков обеспечивает хорошие металлургические условия формирования сварочной ванны, приводит к снижению исходной концентрации серы и фосфора, а также водорода в металле шва.

Сварка в атмосфере защитных газов

Технология сварки низколегированных сталей в атмосфере защитных газов мало чем отличается от технологии сварки углеродистых сталей.

Низколегированные стали плавящимся электродом в большинстве случаев сваривают в углекислом газе. При сварке сталей 09Г2, 10Г2СД, 14ХГС, 15ХСНД и подобных им в основном применяют электродную проволоку Св-08Г2С. Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений в морской воде используют сварочную проволоку Св-08ХГ2С.

В некоторых случаях для повышения производительности сварки, улучшения внешнего вида швов, повышения пластических свойств металла

шва применяют порошковые проволоки марок ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН4, ПП-АН9. Проволоки ПП-АН4 и ПП-АН9 обеспечивают более высокие механические свойства металла шва при отрицательных температурах. Высокопрочные низколегированные стали сваривают электродными проволоками сложного легирования, которые выбирают в зависимости от свойств свариваемых сталей.

Электрошлаковая сварка

Технология электрошлаковой сварки низколегированных сталей аналогична технологии сварки углеродистых сталей. Сварку в основном осуществляют с применением флюса АН-8, однако возможно использование флюса АН-22. Электродную проволоку выбирают в зависимости от свойств свариваемой стали. Так, например, при сварке сталей 09Г2С, 16ГС, 14ГС, 15ХСНД используют проволоки Св-08ГС, Св-10Г2. Проволока Св-08ГА не обеспечивает достаточной прочности металла шва.

В зависимости от предрасположенности основного металла к росту зерна и требований, предъявляемых к сварному соединению, после сварки назначают термообработку. Для сталей, склонных к росту зерна, обычно назначают нормализацию; для сталей, не склонных к росту зерна, как правило, ограничиваются отпуском при температуре 650° С.

Характеристика теплоустойчивых сталей и особенности их сварки. Низколегированные теплоустойчивые стали относятся, в основном к перлитному классу (например, сталь 12Х1МФ.) Они характеризуются достаточной жаропрочностью, жаростойкостью, запасом пластичности и стабильностью структуры при температурах до 600°С, что позволяет использовать их в зависимости от состава для работы в области температур 450—585° С.

Повышенная прочность стали в области высоких температур достигается за счет упрочнения легирующими элементами α -твердого раствора железа и формирования устойчивых карбидов, не склонных к коагуляции. Основные легирующие элементы теплоустойчивых сталей —

карбидообразующие: хром, молибден, ванадий, вольфрам, ниобий. Содержание углерода в хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталях обычно 0,08—0,12%.

Теплоустойчивые стали упрочняются термообработкой. Однако, как правило, стали используют или в отожженном состоянии, или после нормализации и высокого отпуска (при температуре 650—750° С в зависимости от марки стали). Использование сталей в подобных состояниях обусловлено особенностями их работы: длительные сроки службы (сотни тысяч часов) при повышенных температурах (450—585° С).

Металлургические особенности сварки

Теплоустойчивые стали относятся к спокойным.

Сварные соединения теплоустойчивых сталей, как правило, подвергаются длительной эксплуатации при повышенных температурах. При подобных условиях получают значительное развитие диффузионные процессы. При различии в составе металла шва и основного, особенно по карбидообразующим элементам, возможно перераспределение углерода, обладающего повышенной диффузионной подвижностью по сравнению с другими компонентами стали. Это может привести к неблагоприятному изменению свойств металла в зоне сварного соединения. Для предотвращения развития указанных процессов состав металла шва должен быть близким к основному. В первую очередь это относится к содержанию карбидообразующих элементов.

С целью предотвращения образования кристаллизационных трещин содержание углерода в металле шва ограничивают в пределах 0,07—0,12%, а необходимые свойства металла шва обеспечивают за счет дополнительного введения легирующих элементов, исключающих заметное развитие диффузионных процессов в области границы сплавления. В этом случае рационально использовать комплексное легирование металла шва хромом, молибденом, ванадием, вольфрамом, чтобы градиент концентраций по каждому элементу в зоне сплавления был небольшим.

Изменение структуры и свойств металла в зоне термического влияния. В зоне термического влияния теплоустойчивых сталей можно выделить два характерных участка, определяющих работоспособность сварного соединения: участок повышенной твердости, который включает высокотемпературную область и зону аустенитизации, и участок пониженной твердости, включающий зону неполной перекристаллизации и разупрочнения в случае использования стали в состоянии после нормализации и высокого отпуска.

Аустенит теплоустойчивых сталей склонен к переохлаждению и образованию структур закалки. Это необходимо учитывать при выборе режима сварки, особенно при многослойной сварке элементов большой толщины. Для предотвращения образования холодных трещин сварку теплоустойчивых сталей, особенно при толщине соединяемых элементов свыше 10 мм, выполняют с подогревом.

Температуру подогрева (местного или общего) назначают в зависимости от марки свариваемой стали. С увеличением содержания углерода и степени легирования температура подогрева повышается.

На работоспособность сварных соединений теплоустойчивых сталей большое влияние оказывает второй участок, особенно зона неполной перекристаллизации. Это обусловлено тем, что в указанной зоне сварного соединения наряду с продуктами распада вновь образовавшегося при сварке высокоуглеродистого аустенита в структуре металла имеется феррит с пониженной (по сравнению с аустенитом) концентрацией углерода. Поэтому участок неполной перекристаллизации характеризуется гетерогенностью структуры и механических свойств, что особенно сказывается на длительной прочности при высоких температурах.

Разрушение соединений происходит по зоне неполной перекристаллизации из-за локализации пластической деформации и разрушения ферритных зерен.

Улучшение свойств металла зоны термического влияния достигают, как правило, за счет высокотемпературного отпуска. Более оптимальные свойства достигаются при проведении полной термообработки (нормализация и высокотемпературный отпуск) сварного изделия. Однако подобную термообработку к громоздким сварным изделиям применить, как правило, не представляется возможным.

Особенности сварки. Сварка покрытыми электродами — основной способ выполнения сварных соединений теплоустойчивых сталей. Это обусловлено тем, что детали и узлы энергостроения отличаются сложностью и разнообразием конструктивных решений и единичным характером производства. Сварку преимущественно осуществляют электродами с основным покрытием. В зависимости от состава свариваемой стали применяют электроды; для сварки стали 12МХ — типа Э-МХ (марки ГЛ-14 со стержнем из проволоки Св-08ХМ); для сварки сталей 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМФ-Л — типа Э-ХМФ (марки ЦМ-20-63 со стержнем из проволоки Св-08ХМФА) и др.

Сварку под флюсом выполняют в сочетании с легированной электродной проволокой, например сочетания флюс АН-22 с проволокой Св-08ХМФА или флюс АН-17М с проволокой Св-08ХГСМФА.

Сварку в атмосфере защитных газов успешно применяют для теплоустойчивых сталей. Особенно широко используют способ дуговой сварки в атмосфере углекислого газа. Марку проволоки выбирают в зависимости от состава свариваемой стали. Для стали 20ХМ используют проволоку Св-10ХГ2СМА, для сталей 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМФ-Л — проволоку Св-08ХГСМФА.

Электрошлаковую сварку широко применяют при изготовлении конструкций из толстолистовых низкоуглеродистых сталей. При атом равнопрочность сварного соединения достигается за счет легирования металла шва через электродную проволоку и перехода элементов из расплавляемого металла кромок основного металла. Последующая

термообработка, помимо снижения остаточных напряжений, благоприятно влияет и на структуру и свойства сварных соединений.

При электрошлаковой сварке рассматриваемых сталей используют флюсы АН-8, АН-8М, ФЦ-1, ФЦ-7 и АН-22. Выбор электродной проволоки зависит от состава стали. При сварке спокойных низкоуглеродистых сталей с содержанием до 0,15% С хороших результатов достигают при использовании проволок марок Св-08А и Св-08ГА. Для предупреждения образования газовых полостей и пузырей при сварке кипящих сталей, содержащих мало кремния, рекомендуется электродная проволока Св-08ГС с 0,6—0,85% Si.

При сварке сталей марок ВСтЗ удовлетворительные результаты получают при использовании электродных проволок марок Св-08ГА, Св-10Г2 и Св-08ГС.

Низколегированные стали

Низколегированные конструкционные стали делятся на низкоуглеродистые, теплоустойчивые и среднеуглеродистые. В сталях этой группы содержание углерода не превышает 0,25%, а легирующих элементов 2-5%. В зависимости от легирования низкоуглеродистые стали подразделяют на марганцовистые (14Г, 14Г2), кремнемарганцовистые (09Г2С, 10Г2С1, 14ГС и др.), хромокремнемарганцовистые (14ХГС и др.), хромокремненикелемедистые (10ХСНД, 15ХСНД и др.).

Низколегированные теплоустойчивые стали обладают повышенной прочностью в условиях высоких температур эксплуатации. Они наиболее широко применяются при изготовлении металлических конструкций энергетических установок.

Низколегированные среднеуглеродистые стали (более 0,25% углерода) (17ГС, 18Г2АФ, 35ХМ и др.) используют обычно в термообработанном состоянии.

Особенности сварки низколегированных сталей. Эти стали свариваются труднее, чем низкоуглеродистые. При сварке могут образовываться закалочные структуры, возможен перегрев (рост зерен) в

зоне термического влияния. Для предупреждения образования закалочных структур применяют подогрев изделия, многослойную сварку с малым интервалом времени между наложениями слоев металла в шов и др.

Покрытые сварочные электроды подбирают так, чтобы содержание углерода, серы, фосфора в них было низкое.

Низколегированные низкоуглеродистые стали 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2С1 и 10Г2Б при сварке покрытыми электродами не закаляются и мало склонны к перегреву. Сварка этих сталей аналогична сварке низкоуглеродистых сталей. Для обеспечения равнопрочности при сварке используют электроды типов Э46А и Э50А. Изделие перед сваркой не подогревают. Твердость и прочность околошовной зоны и основного металла практически не различаются.

При выполнении соединений из низколегированных низкоуглеродистых сталей 12ГС, 14Г, 14Г2, 14ХГС, 15ХСНД, 15Г2Ф, 15Г2СФ режим сварки необходимо подбирать так, чтобы не было закалочных структур и сильного перегрева металла. Для предупреждения перегрева сваривать стали 15ХСНД и 14ХГС следует при малой силе сварочного тока электродами меньшего диаметра (по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей). Равнопрочность сварного соединения при сварке сталей 15ХСНД и 14ХГС достигается применением электродов типа Э50А или Э55. Сварку ведут электродами диаметром 4—5 мм в несколько слоев, а при толщине стали более 15 мм швы выполняют «каскадом» или «блоками», при этом не слишком разогревают металл, чтобы не перегреть зону термического влияния.

Для сварки низколегированных сталей повышенной и высокой прочности, как правило, применяют электроды с основным покрытием. В зависимости от свойств свариваемой стали используют электроды: типа Э42А (марки УОНИ-13/45, СМ-11 и др.); типа Э46А (марки Э-138/45Н для сталей 09Г2, 10ХСНД, 15ХСНД и др.); типа Э50А (марки УОНИ-13/55, ДСК-

50 и другие для сталей 14ХГС, 10ХСНД, 15ХСНД и др.); типа Э55 (марки УОНИ-13/55У для сталей 18Г2С, 25ГС, 15ГС и др.).

Для некоторых сталей типа 09Г2 используют также электроды с покрытием рутилового типа Э42 (например, электроды марки АНО-1).

Дефектные участки следует подваривать швами нормального сечения длиной не более 100 мм или предварительно подогреть до 150-200 °С.

При сварке термоупрочненных сталей для уменьшения разупрочнения металла в околошовной зоне рекомендуется сварка длинными швами по охлажденным предыдущим швам. Режим сварки следует выбирать такой, чтобы швы выполнялись с малой погонной энергией.

Свариваемые металлы (стали, сплавы) могут иметь одинаковые и различные химический состав и свойства. В первом случае это однородные по химическому составу и свойствам металлы, во втором - разнородные.

Среднелегированные стали

Среднелегированные стали (содержание легирующих элементов 5-10%) применяют для изготовления конструкций, работающих при низких или высоких температурах, при ударных и знакопеременных нагрузках, в агрессивных средах и других тяжелых условиях. Их разделяют на теплоустойчивые, высокопрочные и др.

Для обеспечения требуемого качества сварных соединений необходимо выполнение ряда технологических приемов.

- В деталях из высокопрочной легированной стали должны быть предусмотрены плавные переходы при соединении элементов и изменении сечений, плавные закругления угловых соединений и другие конструктивные формы, устраняющие концентрацию напряжений.
- Сборку элементов рекомендуется производить в сборочных приспособлениях, обеспечивающих свободную усадку швов и сохранение при этом размеров конструкций.
- Сварные швы выполняют с предварительным и сопутствующим подогревом, если прочность сварного соединения должна быть не ниже

прочности основного металла. Листовые конструкции толщиной до 3 мм и менее сваривают без подогрева, при большей толщине используется подогрев. Например, для сталей 30ХГСА, 25ХГСА температура подогрева составляет 200-300 °С. Для того чтобы избежать перегрева, применяют сварку на малой погонной энергии (пониженное тепловложение). После сварки соединение подвергают термообработке - высокому отпуску.

- Сварные швы выполняют без предварительного и сопутствующего подогрева, если к сварному соединению не предъявляются требования прочности, близкой прочности основного металла. При этом сварку швов ведут электродами, обеспечивающими получение аустенитного металла шва. В этом случае последующую термообработку не производят.

При сварке среднелегированных сталей могут образовываться закалочные структуры, холодные трещины, возможен перегрев металла околошовной зоны. Чем выше содержание углерода и легирующих примесей, толще металл, тем хуже свариваемость этих сталей.

Среднелегированные стали сваривают покрытыми электродами с основным покрытием постоянным током обратной полярности.

В зависимости от требования, предъявляемых к металлу шва, используют электроды, обеспечивающие получение среднелегированного металла шва. К ним относятся электроды марок УОНИ-13/85 (типа Э85), ВИ-10-6 (типа Э100), НИАТ-3М (типа Э125), НИАТ-3 (типа Э150) и электроды, обеспечивающие получение аустенитного металла шва, например марки НИАТ-5 (типа Э-11Х15Н25М6АГ2).

Швы выполняются многослойными, каскадным или блочным способом, с малыми интервалами времени между наложением слоев. Подогрев металла выше 150 °С снижает вероятность образования закалочных структур и трещин. Электроды перед сваркой прокаливают. Кромки металла следует тщательно защищать от влаги, ржавчины, органических и других загрязнений.

Стали 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСНА сваривают электродами марок ЦЛ-18-63, ЦЛ-30-63, НИАТ-3М, ЦЛ-14, УОНИ-13/85 предельно короткой дугой. После сварки соединения подвергают термической обработке -закалке с температуры 880°С и низкому отпуску с целью обеспечения высокой прочности.

Сварка высокопрочных сталей

При изготовлении ответственных сварных конструкций широко применяют высокопрочные стали 14Х2ГМРБ, 14Х2ГМРЛ, 14Х2ГМ и 12ГН2МФАЮ.

Основная трудность при сварке этих сталей - необходимость предотвращения образования в металле шва и зоны термического влияния холодных трещин, а также структур, резко снижающих сопротивляемость сварных соединений хрупкому разрушению. Решение задачи усложняется тем, что требуемые эксплуатационные и технологические свойства сварные соединения должны приобретать после сварки без дополнительной термообработки.

Для повышения стойкости сварных соединений из высокопрочных сталей к образованию холодных трещин необходимо перед сваркой обязательно прокалывать электроды с целью удаления влаги. Следует также соблюдать определенные условия подготовки к сварке и выполнения соединений.

Ручную сварку высокопрочных сталей выполняют электродами марки ЭА-981/15. Эти электроды технологичны при сварке во всех пространственных положениях. Сварку ведут постоянным током обратной полярности. Сила сварочного тока зависит от диаметра электрода и положения шва. Например, сварку в нижнем положении электродом диаметром 4 мм производят при силе сварочного тока 150-200 А. Перед сваркой электроды прокалывают при температуре 420-450 °С.

Перед сваркой поверхности деталей и места наложения швов зачищают до полного удаления ржавчины, окалины, краски, масла, влаги и других

загрязнений. Зачистку производят на участке, равном ширине шва плюс 20 мм в каждую сторону.

При выполнении соединений необходимо предотвращать попадание влаги в зону сварки и не допускать быстрого охлаждения сварных соединений.

Сборку деталей под сварку часто производят прихватками. Прихватки длиной 50-100 мм выполняют электродами марок УОНИ-13/45А или ЭА-981/15. Расстояние между прихватками не должно превышать 400-500 мм. Не следует устанавливать их в местах пересечения швов. Перед сваркой прихватки нужно тщательно очистить и проверить. Сварку необходимо начинать и заканчивать на технологических (выводных) планках, приваренных к изделию. Кроме того, следует создавать плавные переходы от шва к основному металлу.

Для предотвращения образования холодных трещин при сварке соединений большой толщины и жесткости следует применять предварительный подогрев. Как правило, его назначают при сварке металла толщиной свыше 20 мм. Температура подогрева 60-150°С.

Стойкость сварных соединений к образованию холодных трещин можно повысить, применяя технологию сварки с мягкими прослойками. Этот технологический прием заключается в том, что первые слои многослойного шва выполняют менее прочным и пластичным металлом по сравнению с последующими. Иногда пластичные швы в один-два слоя накладывают в процессе заполнения разделки кромок. Для выполнения мягких слоев могут быть использованы электроды марки УОНИ-13/45.

При двусторонней сварке стыковых соединений первый шов рекомендуется накладывать со стороны, противоположной прихваткам. После наложения каждого валика металл шва и околошовную зону тщательно зачищают от шлака и брызг металла. При обрыве дуги необходимо тщательно зачистить кратер от шлака и только после этого снова возбуждать дугу.

После завершения сварочных работ в монтажных условиях сварные соединения необходимо укрыть асбестовой тканью или мотками с песком для медленного охлаждения.

Высоколегированные стали и сплавы. К высоколегированным относят стали, содержание в которых одного или нескольких легирующих элементов составляет 10-15%.

Высоколегированные стали и сплавы классифицируют по системе легирования, структуре, свойствам и другим признакам.

По системе легирования высоколегированные стали делят на хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевые, хромоникелемарганцевые и хромомарганцеазотистые.

По структуре высоколегированные стали подразделяют на стали мартенситного (15X5, 15X5М и др.), мартенситно-ферритного (15X6СЮ, 12X13 и др.), аустенитно-мартенситного (07X16Н6, 08X17Н5МЗ и др.), аустенитно-ферритного (08X20Н14С2 и др.) и аустенитного классов (03X17Ш4М2, 12X18Н9 и др.).

По свойствам высоколегированные стали и сплавы бывают коррозионно-стойкие (нержавеющие), жаростойкие и жаропрочные.

Особенности сварки высоколегированных сталей и сплавов. Большинство высоколегированных сталей и сплавов по сравнению с низкоуглеродистыми сталями обладает более низким (в 1,5-2 раза) коэффициентом теплопроводности и более высоким (примерно в 1,5 раза) коэффициентом линейного расширения. Низкий коэффициент теплопроводности приводит к концентрации теплоты при сварке и вследствие этого к увеличению проплавления металла, а высокий коэффициент линейного расширения к большим деформациям свариваемых изделий.

Эти стали склонны к образованию горячих и холодных трещин при сварке, что усложняет процесс обеспечения качества сварных соединений с требуемыми свойствами. В связи с этим при сварке изделий из этих

материалов предусматривают выполнение определенных требований. Обычно сварку ведут на повышенной скорости и на малой силе сварочного тока для получения минимальной зоны разогрева.

Высоколегированные стали и сплавы более склонны к образованию трещин, чем низкоуглеродистые. Пути предотвращения трещин при сварке: создание в металле шва двухфазной структуры (аустенит и феррит); ограничение в шве содержания вредных примесей (серы, фосфора, свинца, сурьмы, висмута); применение электродных покрытий основного и смешанного видов; уменьшение жесткости свариваемых узлов.

Для получения сварных соединений без трещин рекомендуется свариваемые детали собирать с определенным зазором. Швы лучше выполнять электродами диаметром 1,6-2,0 мм при минимальной погонной энергии.

Подогрев (общий или местный) до температуры 100-300°C рекомендуется в зависимости от характера структуры основного металла, содержания углерода, толщины свариваемых элементов и жесткости изделия. Для мартенситных сталей и сплавов подогрев изделия обязателен, для аустенитных сталей он применяется редко.

При дуговой сварке высоколегированных сталей поверхности следует предохранять от брызг металла и шлака, так как они могут быть причиной коррозии или концентрации напряжений, ослабляющих конструкцию. Чтобы не было приваривания брызг, на поверхность металла, прилегающего к шву, наносят защитное покрытие.

Требования к качеству сборки и очистки металла перед сваркой достаточно жесткие.

После сварки мартенситные, мартенситно-ферритные, а иногда и ферритные стали подвергают высокому отпуску при температуре 680-720 оС, а жаропрочные (12Х13, 20Х13 и др.)- при 730-750 °С. Отпуск улучшает структуру, механические свойства и коррозионную стойкость.

Для сварки мартенситных, мартенситно-ферритных и ферритных сталей применяют электроды, стержни и покрытия которых обеспечивают получение наплавленного металла, близкого по химическому составу к основному металлу. Например, мартенситную сталь 15X11ВМФ сваривают электродами типа Э12Х11НВМФ марки КТИ-10; мартенситно-ферритную сталь 12Х13 - электродами типа Э12Х13 марки УОНИ-13/1Х13 и т.д.

Если конструкции из стали этого класса работают на статическую нагрузку и к швам не предъявляются требования высокой прочности, сварку можно выполнять аустенитными или аустенитно-ферритными электродами. Так, ферритную сталь 15Х25Т сваривают электродами типа Э02Х20Н14Г2М2 марки ОЗЛ-20, при этом отпуск после сварки можно не проводить.

Для предотвращения роста зерна и повышения хрупкости зоны термического влияния при сварке таких сталей используют режим с малой погонной энергией.

К высоколегированным хромоникелевым сталям относятся стали аустенитного, аустенитно-мартенситного и аустенитно-ферритного классов. Эти стали и сплавы содержат мало вредных примесей, поэтому основные требования при сварке - хорошая защита расплавленного металла от воздуха и применение электродов со стержнем, имеющим аустенитную структуру и покрытие основного типа.

Сварка аустенитных сталей не вызывает особых затруднений. Надо иметь в виду, что в сварных соединениях аустенитно-ферритных и аустенитно-мартенситных сталей возможно выделение водорода по границам зерен. Для предупреждения этого сварное соединение подвергают отпуску в течение 1-2 ч при температуре 150 °С.

ГОСТ 10051-75 предусматривает 49 типов покрытых электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей. Каждый тип электрода включает одну или несколько марок электродов.

5.7.2. Сварка легированной машиностроительной стали

Хромистая сталь 15ХМ сваривается электродами УОНИ-13/85 предельно короткой дугой без подогрева и последующей термической обработки.

Хромомолибденовая сталь 15ХМ сваривается электродами ЦЛ-14 с предварительным подогревом изделия до 250 - 300°С и последующим высоким отпуском при 710°С. Сталь марки 30ХМ сваривается электродами ЦЛ-30-63 с предварительным подогревом изделия до 350°С и последующим отпуском при 600°С.

Хромо кремнемарганцевые стали 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСyА свариваются электродами ЦЛ-18-63 или НИАТ-3М предельно короткой дугой. После сварки сварные соединения подвергаются термической обработке на высокую прочность: закалка с температуры 880°С и низкий отпуск.

5.7.3. Сварка теплоустойчивых сталей

Теплоустойчивые стали предназначены для изготовления деталей, работающих в условиях высоких температур (400-600°С) и при давлении газа или пара до 30 МПа. Эти стали имеют склонность к образованию трещин в зоне термического влияния. Поэтому требуется предварительный подогрев до 200-400 °С и последующая термообработка (отпуск) по режиму: нагрев изделия до 710 °С, выдержка при этой температуре не менее 5 мин на 1 мм толщины металла с последующим медленным охлаждением. Иногда эти стали отжигают при температуре 670-800 °С.

Изделия из сталей 12МХ и 20МХЛ, работающие при температуре до 850°С, сваривают электродами марки ЦЛ-14. Сварку выполняют с предварительным подогревом изделия до 200°С для стали 12МХ и до 300°С - для стали 20МХЛ. После сварки применяют высокий отпуск при температуре 710 °С.

Изделия из сталей 34ХМ и 20Х3МВФ, работающие при температуре до 470°С, сваривают электродами марки ЦЛ-30-63. Сварку выполняют с предварительным и сопутствующим подогревом изделия до 350°С -400°С. Сварные соединения подвергаются отпуску при температуре 600 °С.

Изделия из сталей 20ХМФ, 20ХМФЛ, 12Х1М1Ф, работающие при температуре до 570°С, сваривают электродами марки ЦЛ-20-63 короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом до 350 °С. После сварки рекомендуется высокий отпуск при 700-740 °С в течение 3 ч.

Сварку теплоустойчивых сталей покрытыми электродами производят на тех же режимах, что и сварку низколегированных конструкционных сталей. При этом необходимо полностью проварить корень шва, для чего первый слой выполняют электродами диаметром 2-3 мм. Большинство электродов предназначено для сварки постоянным током обратной полярности. Техника сварки теплоустойчивых сталей аналогична технике сварки низкоуглеродистых сталей. Многослойную сварку выполняют каскадным способом (без охлаждения каждого слоя выполненного шва).

К теплоустойчивым сталям относятся 12 МХ; 20МХЛ; 34ХМ; 20Х3МВФ; 20ХМФ; 20ХМФЛ; 12Х1М1Ф; 15ХМФКР; 12Х2МФБ;Х5М; 15Х5МФА; Х5ВФ; 06Х13; Х17; 1Х13 и др.

Изделия из сталей 12МХ и 20МХЛ, работающие при температуре до 550°С, свариваются электродами ЦЛ-14. Сварку выполняют с предварительным подогревом изделия до 250 -300°С для стали 20МХЛ и до 200°С - для стали 12МХ. После сварки рекомендуется высокий отпуск при температуре 710°С. Сталь 12МХ можно сваривать также электродами ГЛ-14, если изделие работает при температуре до 520°С. Подогрев и отпуск такие же, что и при применении электродов ЦЛ-14.

Изделия из сталей 34ХМ и 20Х3МВФ, работающие при температуре до 470°С, сваривают электродами ЦЛ-30-63. Сварку выполняют с предварительным и сопутствующим подогревом изделия до 350°С для стали 34ХМ и до 400 - 450°С - для стали 20Х3МВФ. Сварные соединения

подвергаются отпуску: сталь 34ХМ - при температуре 600°С, сталь 20ХЗМВФ - при температуре 680°С.

Изделия из сталей 20ХМФ, 20ХМФЛ, 12Х1М1Ф, работающие при температуре до 570°С, сваривают электродами ЦЛ-20-63. Сварка выполняется короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом изделия до 300 -350 °С. После сварки рекомендуется высокий отпуск при 700 -740°С в течение 3 ч.

Изделия из сталей 15ХМФКР и 12Х2МФБ, работающие при температуре до 600°С, сваривают электродами ЦЛ-26М-63. Сварку выполняют короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 350-400°С, а после сварки выполняют высокий отпуск при температуре 740 - 760 °С.

Изделия из сталей Х5М и 15Х5МФА, работающие в агрессивных средах при температуре до 450°С, сваривают электродами ЦЛ-17-63 с предварительным и сопутствующим подогревом до 300 - 450°С и с последующим высоким отпуском после сварки при температуре 760°С в течение 3 ч. Изделия из сталей Х5ВФ, 06Х13 и Х17 сваривают электродами СЛ-16.

5.7.4. Сварка высоколегированных коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов

К сварным соединениям высоколегированных сталей и сплавов кроме требований по пределу прочности, а также пластичности предъявляются и другие требования, которые определяются назначением конструкции и свойствами свариваемого металла. Эти требования следующие:

- для коррозионностойких (нержавеющих) сталей - возможность противостоять межкристаллитной, общей жидкостной, ножевой коррозии под напряжением;
- для окалиностойких сталей и сплавов - способность противостоять окалинообразованию и межкристаллитной газовой коррозии;

- для жаропрочных сталей и сплавов - обеспечение длительной прочности, сопротивляемости ползучести, стабильности микроструктуры, стойкости против хрупкости при длительном воздействии высоких температур и нагрузок и малой чувствительности к надрезу и окалиностойкости.

Основными трудностями при сварке высоколегированных сталей и сплавов являются: обеспечение стойкости сварных соединений против образования кристаллизационных трещин, коррозионной стойкости, а также сохранения свойств соединений под действием рабочих температур и напряжений.

5.7.5. Сварка коррозионностойких сталей

К коррозионностойким сталям относятся ОХ18НЮ, ОХ18НЮТ, Х18Н10Т, Х18Н9, Х18Н9Т, ОХ18Н12Т, ОХ18Н12Б, 1Х21Н5Т, ГХ16Н13Б, Х18Н12Т и др.

Стали ОХ18НЮТ, ОХ18НЮ и Х18Н10Т сваривают электродами ОЗЛ-14, если к металлу шва предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии. Сварка этими электродами обеспечивает в сварном шве содержание ферритной фазы 6-10%.

Стали Х18Н9, Х18Н9Т сваривают электродами ОЗЛ-8, если к металлу шва не предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии или если сварное соединение будет эксплуатироваться при температуре до 350°C (при отсутствии агрессивных сред - при температуре от 253 до 800°C). Содержание ферритной фазы в сварных швах колеблется от 3,5 до 8,5%.

Стали Х18Н10Т, Х18Н9Т, ОХ18Н12Т, ОХ18Н12Б, 1Х21Н5Т 1Х16Н13Б свариваются электродами ЦЛ-11, если к сварному шву предъявляются жесткие требования стойкости против межкристаллитной коррозии. Содержание ферритной фазы в сварных швах обеспечивается от 2,5 до 7%.

Сталь X18H12T сваривают электродами ЦТ-15-1 (корневой шов), сварное соединение будет эксплуатироваться при температуре 600 - 650°C и высоком давлении. Содержание ферритной фазы в сварных швах колеблется от 5,5 до 9%.

Стали X18H10T, X18H9T сваривают электродами ЗИО-3, если сварные швы будут эксплуатироваться при температуре до 560°C или если к металлу шва будут предъявлены требования стойкости против межкристаллитной коррозии. Содержание ферритной фазы в сварном шве регламентируется от 2,5 до 5 %.

Сварка нержавеющей стали – процесс, требующий серьезного подхода. Даже небольшое отступление от разработанной технологии грозит отрицательным результатом. Все требования к технике и способам сварки нержавеющей стали продиктованы ее химическим составом и физическими свойствами.

Для промышленной или бытовой сварки профильной и листовой нержавеющей стали необходимо правильно выбрать способ работы. Здесь все зависит от вида металла. Нержавеющую сталь профессионалы квалифицируют на:

- аустенитную;
- мартенситную;
- ферритную.

На эффективность процесса сварки нержавеющей стали оказывают влияние многие факторы.

Особенности сварки нержавеющей стали:

1. Теплопроводность данного материала гораздо ниже, чем у низкоуглеродистой стали. Разница может варьироваться в пределах от 50 % до 100 % в зависимости от марки материала. При проведении сварки нержавеющей стали необходимо обязательно учитывать этот момент, чтобы не допустить прожога металла в месте выполнения сварочного шва. Оптимальным будет выбор режима пониженного на 17–20 % тока.

2. Нержавейку отличает повышенное электрическое сопротивление. Именно этим объясняется значительная скорость сгорания электрода, вызванная быстрым и сильным его нагревом. Оптимальным решением будет выбор хромоникелевых электродов.

3. У нержавеющей стали высокое значение коэффициента линейного расширения. Поэтому при **сваривании деталей из нержавеющей стали**, особенно значительной толщины, должен быть выдержан некоторый зазор, обеспечивающий нужную усадку шва. Невыполнение данного условия грозит появлением трещин.

4. Неправильно выбранный режим термообработки аустенитной хромоникелевой нержавеющей стали может спровоцировать потерю ее антикоррозийных свойств, связанную с образованием карбида железа и хрома. Исправить ситуацию можно быстрым охлаждением сварочного шва холодной водой. Однако такой способ значительно снижает стойкость к коррозии.

5. В разных условиях температура сварки нержавеющей стали варьируется от +600 до +1200 °С.

Широкий ассортимент современного сварочного оборудования дает возможность проводить сварку нержавеющей стали как в промышленном масштабе, так и в бытовых условиях.

Подготовительный этап к сварке нержавеющей стали идентичен аналогичным процедурам с другими металлами. Но некоторые моменты все же требуют особого внимания:

- Металлическая щетка поможет быстро и эффективно зачистить до блеска кромки соединяемых сваркой деталей.
- Подходящий растворитель, ацетон или авиационный бензин поможет обезжирить поверхности. Такой подход снижает пористость шва, а также повышает устойчивость дуги.

Режимов и способов сварки нержавеющей стали существует довольно много. Чаще всего используют:

- аргодуговую, с режимом DC/AC TIG и вольфрамовым электродом;
- сварку с режимом MMA и покрытым электродом;
- аргоновую полуавтоматическую, с режимом MIG и нержавеющей проволокой;
- холодную, осуществляемую под давлением, без плавления поверхности;
- шовную и точечную контактную;
- при помощи лазерного луча.

Аргодуговой сварочный аппарат имеет свои неоспоримые преимущества. Он обеспечивает защиту сварочной ванны аргоном, не допускает соприкосновения металла и воздуха, дает возможность получения качественного сварочного шва. Неплавящиеся вольфрамовые электроды, в свою очередь, не допускают разбрызгивания металла, что способствует получению ровного и прочного шва. Не менее важно и то, что такой вид сварки нержавеющей стали может быть применен в тех случаях, когда сварочные брызги нежелательны.



Рис. 5.4. Устройство горелки аргонодугового сварочного аппарата

Аргон не позволяет воздуху и содержащимся в нем газам попасть в сварочную ванну во время расплавления металла. Он тяжелее воздуха и не входит в реакцию с расплавляемым металлом. Такие свойства обеспечивают наилучшую и самую доступную защиту сварочного шва. Профессионалы признают преимущества аргонодуговой сварки, отлично проваривающей шов стали и дающей повышенный провар на корне шва независимо от толщины металла.

Аргонодуговая сварка нержавеющей стали инвертором в режиме DC/AC TIG

Если материал для сварки выбран очень тонкий, а требования к качеству предъявлены высокие, то предпочтительнее будет применить метод TIG. Вольфрамовый электрод в инертном газе оптимально подходит для сварки нержавеющей труб, используемых при транспортировке газа или жидкости под давлением.

Сварка нержавеющей стали в среде аргона проводится под действием переменного или постоянного тока прямой полярности. Присадочным материалом может служить проволока с более высокой степенью легирования, чем обрабатываемая сталь. Защитить изделие от брака в этом случае поможет аргон.

При работе старайтесь исключить колебательные движения электродом, чтобы не нарушить защиту области сварки и не допустить окисления металла на шве. Обратную сторону шва от воздуха защищает поддув аргона. Стоит отметить, что нержавеющая сталь – не слишком требовательная к защите обратной стороны, как, к примеру, титан.

Важно проследить, чтобы вольфрам не попадал в сварочную ванну. С этой целью оптимально применение бесконтактного поджога дуги или зажигание ее сначала на пластине из графита или угля с последующим переносом на основной металл.

Чтобы концентрация хрома на внешних участках оставалась постоянной и не уменьшалась, сварочный шов охлаждают водой. Чтобы уменьшить расход вольфрамового электрода, не следует по окончании сварки сразу выключать защитный газ. Сделайте это на 10–15 секунд позже. Нагретый электрод не получит интенсивного окисления, что значительно продлит срок его службы.

К бесспорным преимуществам данного вида сварки нержавеющей стали можно отнести:

- выполнение высококачественных швов;
- возможность визуального наблюдения за ходом работы;
- отсутствие разбрызгивания металла;
- возможность выполнения сварки в любой плоскости;
- защита сварного шва от попадания шлака.

Ручная дуговая сварка нержавеющей стали покрытыми электродами (режим MMA)

В ручной дуговой сварке используются покрытые электроды, что обеспечивает шву достойное качество. Когда к сварному соединению не предъявляется каких-либо отдельных требований, то этот способ будет самым оптимальным.

Электроды, которые применяются при **сварке нержавеющей стали, должны соответствовать ГОСТу 10052-75 «Электроды, покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами».** Для процесса **сварки нержавеющей стали используются электроды марок ЦЛ-11, ОЗЛ-8, УОНИ-13/НЖ 12Х13, НИАТ-1 и др.**

Зная **марку нержавеющей стали для сварки,** с помощью ГОСТа легко выбрать нужные для работы электроды. Они в обязательном порядке должны обеспечивать высокий уровень основных эксплуатационных параметров сварных соединений – коррозионной стойкости, механических свойств, при необходимости жаростойкости и т. п. Выбор электродов для сварки нержавеющей стали должен быть ориентирован на требования к конструкции, указанные в ее документации.

В работе обычно применяется ток обратной полярности. Профессионалы стремятся как можно меньше проплавить шов, используя в работе электроды с небольшим диаметром и минимум тепловой энергии. Стоит отметить, что для сварочных работ с обычной сталью требуется ток, сила которого на 15–20 % выше, чем для работ с нержавеющей сталью.

Высокое электрическое сопротивление и низкая теплопроводность электродов ограничивают применение токов высокого значения. Это может вызвать перегрев покрытия и деформацию отдельных участков. Этими же причинами обоснована более высокая скорость плавления электродов, выбираемых при сварке нержавеющей стали, нежели для обычной стали. Мастер, впервые занимающийся сваркой нержавеющей стали, должен знать эти нюансы.

Для сохранения коррозионных свойств сварочного шва необходимо его быстро охладить. Достичь этого можно путем обдувания воздухом или применением медных прокладок. Для хромоникелевых аустенитных сталей допустимо использование холодной воды.

Преимущества у данного метода несколько:

- Мобильность, возможность выполнять работы в любых положениях, а также в труднодоступных местах.
- Широкая номенклатура электродов. Это дает возможность соединять самые разнообразные металлы. При этом на перенастройку оборудования затрачивается очень мало времени.

Аргоновая полуавтоматическая сварка нержавеющей стали в режиме MIG/MAG с применением нержавеющей проволоки

Одним из способов сварки, применяемой как в масштабе тяжелой промышленности, так и в бытовых условиях, является полуавтоматическая MIG/MAG сварка. Процесс несколько легче TIG сварки, доступен для быстрого обучения. Как и любая работа, MIG сварка имеет свои особенности, которые должны быть учтены на практике.

Существуют некоторые нюансы, характерные для полуавтоматической MIG/MAG сварки, которым необходимо уделить отдельное внимание. Сварщик обязан знать базовые основы сварки, совершенствоваться в работе, узнавать и понимать детали, чтобы в дальнейшем использовать их в работе и получать результаты высокого качества.

Суть полуавтоматической MIG/MAG сварки заключается в соединении нескольких металлических деталей в одно целое при помощи расплавленной ванны, образующей связь в процессе охлаждения и затвердевания. Концепцию такого типа сварки можно назвать простой. Однако несоблюдение технических требований и условий приведет к негативному результату – низкому качеству сварочного шва, что станет дефектом изделия.

Для полуавтоматической MIG/MAG сварки применяются защитные газы GMAW, сокращение от Gas Metal Arc Welding. Кроме

полуавтоматического, работа может выполняться в **автоматическом режиме сварки нержавеющей стали**. В таком случае электродная проволока и защитный газ непрерывно подаются в сварочную горелку, а затем в область ведения сварки. Защитный газ оберегает место сварки от негативного внешнего воздействия. Наименование MIG происходит от Metal Inert Gas – сварка в инертном газе, а MAG – от Metal Active Gas – сварка в активном газе.

Основными преимуществами данного вида сварки являются:

- высокая скорость сварки;
- доступность быстрого обучения работе;
- возможность выполнения длинных сварных швов, отсутствие необходимости останавливать процесс или заново запаливать дугу;
- сварочный шов после проведения работ не требует очистки.

Другие современные способы сварки нержавеющей стали

- **Холодная сварка нержавеющей стали без плавления под давлением.**

В данной технологии плавление материала в зоне соединения не предусмотрено. Совмещение стальных деталей производится на уровне кристаллических решеток. Будет ли давление оказываться на обе заготовки или одну определяется конфигурацией частей и получаемым соединением. Любопытно этот процесс смотрится на видео, когда две стальные заготовки будто бы вдавливают друг в друга.

- **Шовная и точечная контактная сварка нержавеющей стали.**

Существует две технологии выполнения такой сварки: точечная и роликовая. Такой метод позволяет соединять тонкие пласты нержавеющей стали, которые имеют толщину не больше 2 мм. Оборудование применяется такое же, как и для обычной сварки.

- **Лазерная сварка нержавеющей стали.**

Этот метод сварки нержавеющей стали потрясюще смотрится и имеет целый ряд серьезных преимуществ. Сталь в зоне соединения не теряет своей

прочности даже при высоком температурном воздействии, быстро охлаждается, трещины не появляются, зерна, образующиеся в структуре металла, имеют минимальный размер. Технология лазерной сварки и необходимое оборудование широко применяются в самых разных промышленных сферах: автомобилестроении, тракторостроении, при монтаже различных коммуникаций и т. д.

Оборудование и расходные материалы для сварки нержавеющей стали

Стандартный комплект, состоящий из инвертора, осциллятора и баллона с аргоном, дополненный горелкой и набором шлангов и проводов, прекрасно подойдет в качестве **сварочного аппарата для сварки тонкой нержавеющей стали**, для работы в ручном режиме.

В качестве расходных материалов будут выступать аргон и присадочная проволока. Важно, чтобы состав присадки и свариваемого материала был одинаковым. Обычно разнообразные изделия изготавливают из нержавеющей стали, имеющей марку 304. Оптимальным присадочным материалом для нее станет **пруток для сварки нержавеющей сталей**, имеющий марку Y308.

Аргон – не единственный защитный газ, применяемый в сварочных работах такого типа. Однако он считается основным, поэтому процесс сварки и называют аргонодуговым.

Расход аргона – серьезный показатель в расчете себестоимости проведения сварочных работ. Он напрямую зависит от вида металла, свариваемого по технологии TIG. К примеру, при соединении алюминиевых стыков требуется около 20 л/мин, а титановых – 50 л/мин. На сварку нержавейки понадобится 8 л/мин аргона. Установка газовой линзы, оснащенной специальной сеточкой, позволит снизить объемы расходуемого аргона и усилит износостойкость сварочной ванны.

Линза подбирается для каждого сопла горелки по размеру, с соответствующим номером от 4 до 10. Чем выше номер, тем сильнее

защитные свойства линзы. Следует учитывать, что для работы в труднодоступных местах лучше подойдут более компактные линзы. Отмечено, что благодаря установке на горелки газовых линз неплавящиеся вольфрамовые электроды выдвигаются на 10 мм дальше. Для аргоновой сварки нержавеющей стали оптимально подходит универсальный вид вольфрамовых электродов. Диаметр тугоплавкого стержня выбирают, ориентируясь на толщину свариваемых заготовок.

При толщине детали из нержавеющей стали до 1,6 мм диаметр вольфрамового электрода должен быть не менее 1 мм, а сила тока – 50 А. Если свариваемый материал большей толщины, то сила тока требуется до 50 А, а диаметр вольфрамового стержня не менее 1,6 мм.

Особенности сварки изделий из нержавеющей стали с другими металлами

Современный человек использует в своей жизни все больше инструментов, вещей, средств, которые со временем при износе или поломке требуют применения сварки. Однако очень многие металлы могут быть успешно сварены только после дополнительной подготовки.

1. Сварка нержавеющей стали с титаном

Каждый способ сварки нержавеющей стали подразумевает свои требования ко всем элементам конструкции, включая подготовку самих деталей, их кромок, определение нужного размера шва и т. п. Все параметры утверждены и регламентированы ГОСТом. Особые требования предусмотрены для сварочных работ со сталью и титаном. Рассмотрим, что именно предусмотрено нормативными актами в этом случае и какие требования следует соблюдать в работе.

Самой главной задачей в подготовке сварочных работ стали и титана является правильный выбор материала, метода и режима сварки. Оптимальный режим позволит либо предотвратить, либо резко подавить образование хрупких интерметаллических фаз, негативно влияющих на получение качественного результата работы.

Обычным способом соединить титан и сталь невозможно. Просто сваривать эти два металла друг с другом бесполезно. Здесь нужно применять аргон в совокупности с вольфрамовым электродом. Значительно реже, но все еще применяют сварку при помощи специальных промежуточных вставок. Такой способ достаточно трудоемок, но всегда дает хорошие результаты. В качестве вставок можно использовать технический титан, имеющий давление 700 Мпа, и термообрабатываемую бронзу.

2. Сварка нержавеющей стали с алюминием

Надежным способом профессионалы считают сварку алюминия и стали через биметалл. Биметаллом является материал, структуру которого составляют несколько слоев различных металлов.

Изготавливается он одновременным прокатом через валы. Между слоями происходит диффузия молекул. Для алюминирования применяется прерывный и непрерывный методы. Металл помещается во флюс, затем обсушивается и обрабатывается реакционным газом. В этом случае он приобретает чистую и слегка пористую поверхность.

Деталь погружается в горячий алюминиевый расплав, полностью там прогревается и удерживается некоторое время для проникновения алюминия в пористую структуру поверхности. Затем ее вынимают из ванны. За счет закупорки в поверхности части расплавленного металла и получается прочное соединение. Такой электролитический метод сварки нержавеющей стали признан наиболее затратным и энергоемким.

Примерная инструкция по сварке алюминия со сталью следующая: взять по бруску алюминия, биметалла, состоящего из алюминия и нужной стали, а также самой стали. Все поверхности нуждаются в обработке и обезжиривании.

Первый шаг – соединение алюминия с алюминиевой подложкой биметалла. Необходимо следить за процессом, чтобы не допустить перегрева. Оптимальным решением будет использование хорошего полуавтомата

сварки MIG. Проволоку выбирайте также алюминиевую. Это обеспечит большую скорость и возможность регулирования глубины проваривания.

Остальная часть пластины приваривается непосредственно к стали. Здесь должна использоваться специальная проволока. Следует учитывать роль алюминия в отводе тепла. Нельзя допускать его перегрева, чтобы не спровоцировать появление экзотермической реакции со сталью, вызывающей образование на стыке металлов очень хрупкого соединения $FeAl_3$.

3. Сварка жаропрочной нержавеющей стали

Самой большой неприятностью при выполнении работ с жаропрочной сталью становятся появляющиеся микро- и макротрещины. Чтобы этого избежать, необходимо исследовать каждый материал, и выяснить оптимальную температуру для сварки. При этом нужно учитывать склонность материалов к коррозии и воздействию других негативных факторов.

Определять тенденцию образования трещин на металле лучше всего проведением натуральных испытаний. Качественная сварка жаропрочной стали подразумевает достижение в швах и соединениях механических свойств, максимально приближенных к основному материалу.

Обязательным условием проведения качественных работ считается предварительная закалка жаростойких сплавов. Процесс заключается в воздействии на каждую деталь температуры $+1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последующим охлаждением.

Применение термообработки металла после его закали способствует значительному упрочнению стали. Следует понимать, что качество сварки по паяному шву напрямую зависит от химического состава припоя.

4. Сварка черной и нержавеющей стали

Разный химический состав стали приводит к появлению своих особенностей сварки:

- Следует учитывать теплопроводность материалов, чтобы не получилось так, что один из них недостаточно проплавился.

- Различие коэффициентов линейного расширения. В наиболее слабом месте сварочного соединения, в области сплавления, даже после завершения термообработки могут оставаться напряжения.
- Сталь, достаточно насыщенная углеродом, может отдавать его металлу шва, что значительно снижает антикоррозионные свойства нержавеющей стали.

Единого подхода к сварке нержавеющей стали, дающего отличный результат во всех случаях, не существует. Это обусловлено великим многообразием видов соединений металла, их разным составом.

Качественные результаты гарантированы при работе с материалом, имеющим хорошую свариваемость, и соблюдении рекомендаций профессионалов. На практике чаще всего используются два метода сварки нержавеющей стали с низкоуглеродистыми и низколегированными материалами:

- Для заполнения шва используются электроды из более легированной стали или имеющие никелевую основу.
- Вначале при помощи легированных электродов из черной стали наплавляется кромка, затем делается плакированный слой. Процесс завершается свариванием электродами нержавеющей кромки.

5. Сварка разнородных сталей

Для сварных соединений разнородных сталей характерен ряд специфических особенностей. Основное затруднение при работе с такими сталями в конструкции, долго работающей под воздействием высоких температур, вызывает образование в области соединения структурной неоднородности, способной привести к изменению свойств металлов и преждевременному разрушению конструкции.

Неоднородность не будет образовываться при высоком содержании никеля в составе аустенитного материала. Никель – дорогой и дефицитный материал, который нужно применять с осторожностью, чтобы не спровоцировать появление горячих трещин в сварочных швах.

Для получения результата высокого качества при соединении аустенитной стали с неаустенитной металл шва должен иметь повышенное содержание никеля, чтобы предупредить структурную неоднородность в зоне сплава. Но тот же никель негативно влияет на металл. Поэтому следует рассчитывать оптимальное его содержание, учитывая факторы, влияющие на появление в зоне сварки структурной неоднородности.

6. Сварка пищевой нержавеющей стали

Для сварки нержавеющей стали, используемой в пищевой промышленности, оптимально подходят электроды ЦЛ-11. Они позволяют проводить сварочные работы в любом пространственном положении, применять обратный полярный ток. Этим объясняется их востребованность у профессиональных сварщиков.

До начала работы электроды прокаливают. Стоит внимательно относиться к этому этапу, от этого зависит качество выполняемой работы. Время прокаливания – 1,5 часа. Электроды отличаются высоким качеством металла шва, малым разбрызгиванием и устойчивым горением дуги. Большая популярность сварочных электродов при работе с пищевой нержавеющей сталью обеспечивается и отличным удалением шлаков.

8 часто допускаемых ошибок во время сварки нержавеющей стали

В процессе сварочных работ могут допускаться ошибки, некоторые из них значительно влияют на конечный результат.

Качество работы определяется множеством факторов, которые требуют постоянного внимания – классность оборудования, металла, расходных материалов, ход сварочного процесса и т. д. Несоблюдение одного из этих параметров неизбежно приведет к ошибкам в сварочных работах.

1. Использовать устаревшее сварочное оборудование и методы недопустимо. Современные технологии наполнены инновациями, которые помогают снизить энергопотребление, увеличить скорость сварки, сократить время на подготовку до сварки и быстро обучить оператора работать на новом оборудовании.

2. Если в работе используется слишком слабая или рассчитанная на очень высокие силы тока сварочная горелка, то это вызовет лишние расходы.

3. Довольно распространенной ошибкой является неправильное хранение сварочного материала под негативным воздействием влаги, пыли и т. п. Рекомендуется выбирать сухие, чистые помещения, без резких перепадов температуры.

4. Ошибкой будет неправильный выбор температуры подогрева или температуры металла во время начала сварки нержавеющей стали. Материал должен быть предварительно нагрет до достижения определенной температуры.

5. Несвоевременное профилактическое обслуживание сварочного оборудования может привести к сбоям в его работе. Также необходима своевременная замена расходных материалов и запасных частей сварочной горелки.

6. Несоответствие применяемого защитного газа негативно отразится на результате работы.

7. К низкому результату приводит отсутствие обучения сотрудников и приобретение дешевых, некачественных сварочных материалов.

8. Неправильно подготовленный сварочный шов при эксплуатации конструкции может спровоцировать серьезные проблемы.

5.7.6. Сварка титановых сплавов

Основной сложностью, возникающей в том случае, если ведется сварка титановых сплавов, является то, что при нагревании титановые сплавы начинают активно взаимодействовать с воздухом. Это взаимодействие начинается задолго до наступления температуры плавления титана – то есть, уже при 450 градусах.

- В результате взаимодействия титана с *кислородом* на поверхности свариваемой заготовки начинается образование оксида титана и окалины - то есть, образуется так называемый альфированный слой.

Появление такого слоя может привести к тому, что на поверхности свариваемой детали появятся трещины. Чтобы этого не случилось, необходимо придерживаться норм, указывающих, что максимальное содержание кислорода в любом титановом сплаве не должно превышать 0,015%.

- Очень активно титановые сплавы при нагревании взаимодействуют и с *азотом*. Превышение содержания азота в сплаве приводит к изменению физических характеристик титанового сплава – прочность титана повышается, а вот его пластичность снижается в разы. По существующим нормам максимальная доля азота в титановом сплаве не должна быть выше 0,04-0,05%.

- Самым вредным для титановых сплавов газом является *водород*. Именно превышение содержания водорода в титановых сплавах может привести к таким последствиям, как хрупкость сплава, появление на его поверхности трещин и пор. Причем, даже небольшое содержание водорода в сплаве способно стать причиной появления таких негативных характеристик. Нормативное содержание водорода в титановом сплаве не должно быть выше 0,01-0,015%.

Таким образом, главная задача, возникающая при выполнении сварки деталей, изготовленных из титановых сплавов – это защита заготовки от окружающего воздуха. Именно поэтому применение такого типа сварки, как дуговая сварка покрытыми электродами, считается в данном случае нецелесообразным. Чаще всего здесь применяется ручная дуговая сварка вольфрамовыми электродами в среде защитных инертных газов – в аргоне или гелии. Также в качестве защитной среды может выступать смесь этих газов.

Взаимодействие титана с кислородом начинается еще до того, как титановый сплав подвергается нагреванию – то есть, уже при комнатной температуре. Именно поэтому перед тем, как начать сварочные работы, металл необходимо тщательно очистить от поверхностного окисленного

слоя – в противном случае частицы этого слоя при сварке попадут в сварной шов, что значительно снизит качество сварки. Для очистки поверхности металла чаще всего используется плазменная резка, после чего свариваемые поверхности дополнительно обрабатываются механически.

Также необходимо специально обработать и используемую как присадочный материал сварочную проволоку для того, чтобы удалить из нее излишки водорода. Для этого, как правило, проволока подвергается вакуумному отжигу.

Существует несколько способов, помогающих оградить металл от воздействия окружающего воздуха, когда ведется сварка титановых сплавов.

- Если сварка ведется на открытом воздухе, то применяют горелки с удлиняющими насадками, которые помогают увеличить площадь защищаемой поверхности.

- Еще одним способом защиты металла является применение специальных камер. Если речь идет о сварке на открытом воздухе, то это может быть камера-насадка. Такая камера помогает защитить и зону сварки, и сварной шов от воздействия газов, содержащихся в воздухе.

- Обратная сторона шва при сварке титановых сплавов защищается с помощью специальной накладки. Такая накладка имеет канавку, в которую и поступает защитный газ.

- В тех случаях, если выполняется сварка титановых труб, защитный газ может подаваться внутрь трубы.

- Если же необходимо выполнить сварку достаточно сложной конструкции, которую невозможно защитить полностью с помощью таких местных способов защиты, то при сварке используется специальная герметичная камера, в которую помещают всю свариваемую конструкцию.

Подготовка титана к сварке

Подготовительные работы с титаном состоят из обработки кромки деталей, очистки присадочного прутка и обеспечения защиты другой стороны детали. Чтобы предотвратить появление холодных трещин и

снизить хрупкость металла во время сварки, желательно снять верхний слой металла, так как в нем содержится большое количество кислорода и азота, а частицы этого слоя могут попасть в сварной шов.

Технология сварки титана подразумевает выполнение разделки кромок с углом раскрытия 60° . Хотя если толщина детали меньше 4 мм, то можно этого не делать. В том случае, когда деталь была изготовлена путем газовой или плазменной резки, желательно удалить не менее 5 мм кромки. Также производится тщательная очистка кромки и присадочной проволоки непосредственно перед началом сварочных работ. Очистка выполняется механически напильником, абразивным кругом, а также с помощью химических средств (ацетона или растворителя).

Согласно технологии сварки титана, следует большое внимание уделить защите обратной стороны деталей и корня шва. Даже если сварочный шов не будет выходить на другую сторону, титан может вступить в реакцию с газами из окружающего воздуха, что возникает даже при температуре $+300\dots+400^\circ\text{C}$.

Поддерживайте рабочее место в чистоте. На крупных производствах в сварочном цехе оборудуют специальное место, где выполняются сварочные работы по титану. Здесь не должно быть никаких факторов, которые могут негативно повлиять на качество сварки: сквозняка, пыли, влаги, жира и прочих загрязнений. Все остальные процессы обработки металла (резка, зачистка, краска) должны выполняться в другом месте. Помимо этого, важно контролировать влажность воздуха.

Технология сваривания толстостенных конструкций несколько отличается. Здесь допускается отсутствие защиты детали с другой стороны, если сварочный шов не выходит наружу и деталь сильно не нагревается. Такой результат достигается путем производства коротких швов (по 15–20 мм), между выполнением которых обязательно делается перерыв для охлаждения.

Защита титана при сварке

Титановые сварные соединения выполняются под защитой, которая нужна вплоть до их остывания до температуры +427 °С. Кроме этого, расплавленная сварочная ванна также должна быть под защитой, что не позволит начаться реакции взаимодействия с воздухом. Наиболее распространенными защитными газами являются аргон и гелий. Именно они предусмотрены технологиями сварки титана TIG и MIG.

Защитный газ используется сразу в нескольких направлениях:

- Первичная защита расплавленной сварочной ванны.
- Вторичная защита охлаждающегося расплавленного металла и околошовной зоны.
- Защита обратной стороны сварочного шва.

1. Первичная защита расплавленной сварочной ванны. Грамотный выбор сварочной горелки позволяет обеспечить качественную первичную защиту. Так, чтобы не нарушать технологию сварки титана аргоном TIG, понадобится горелка, оборудованная газовой линзой и большим керамическим соплом. С помощью газовой линзы инертный газ будет подаваться равномерным потоком, а сопло позволит защитить расплавленную сварочную ванну по всей площади. Аргон дает очень стабильную дугу, поэтому чаще используют именно этот газ. Если необходимо глубже проникнуть в металл или работать при более высоком напряжении, то можно использовать смесь аргона и гелия.

Чтобы определить эффективность защитного газа и узнать его расход, можно выполнить предварительные испытания на отдельном образце из титана. Чистые защищенные сварные швы имеют яркий серебристый цвет.

2. Вторичная защита охлаждающегося расплавленного металла и околошовной зоны. Для осуществления вторичной защиты используют специальную насадку на сварочную горелку. По-другому ее называют «сапожок». Для каждой операции сварки и для разных моделей горелки насадки могут быть разные, поэтому чаще всего их делают на заказ. Общими принципами изготовления насадки являются их компактность и наличие

функции равномерного распределения газа в горелке. Кроме этого, для больших насадок может понадобиться водяное охлаждение. Если насадка оборудована бронзовым или медным диффузором, то это позволяет получать ровный поток защитного инертного газа.

3. Защита обратной стороны сварочного шва. Для защиты корневой части шва и околошовной зоны используют специальное устройство. Обычно оно представляет собой медную подкладку с водяным охлаждением. Кроме этого, для охлаждения сварных швов могут быть использованы крупные металлические заготовки. В них сделана специальная канавка, которая должна совпадать со сварным швом. Защита с обратной стороны обычно обеспечивается потоком газа, который в два раза меньше, чем поток для первичной защиты. Желательно для каждого вида защиты (первичной, вторичной и с обратной стороны) использовать отдельный газовый редуктор. Продувка перед сваркой и после нее осуществляется с помощью электромагнитных клапанов и таймеров.

Разновидности технологии сварки титана

1. Ручная дуговая сварка.

Технология сварки титана в первую очередь опирается на качественный шов, что обеспечивается грамотно созданной защитой, причем и остывающих участков свариваемых деталей.

Технология соединения элементов с тонкими стенками допускает сварочную процедуру без обработки кромок или использования присадочной проволоки. В таком случае зазор между кромками составляет 0,5–1,5 мм. Состав присадки должен быть аналогичен основному материалу изделия.

Сварочная технология подразумевает несколько режимов сварочных работ. Работа выполняется током силой 90–100 ампер в том случае, если используется электрод 1,5–2 мм из вольфрама и присадочная проволока 2 мм. При этом толщина деталей не должна быть более 2 мм. Ток силой 120–140 ампер применяют для соединения деталей большей толщины (до 4 мм). При этом он должен быть переменным постоянной полярности.

Также сварочная технология требует соблюдения целого ряда дополнительных условий:

- Ручная процедура предполагает использование короткой дуги, электрод и присадка не должны колебаться. Движение осуществляется точно по шву.
- Сваривание производится углом вперед. В этом случае электрод ориентирован в противоположную от направления движения сторону.
- Сваривание титана с применением присадочного материала осуществляется под углом 90° (электрод относительно материала).
- Важно наладить непрерывную подачу присадки в сварочную ванну.
- Защитный газ в зону сварки должен подаваться даже после гашения дуги, поскольку он обеспечивает процесс охлаждения. В течение одной минуты материал охладится до температуры ниже $+400^\circ\text{C}$.
- Качество сварного шва во многом зависит от охлаждения материала. Определить его можно по цвету. Светлый желтый или соломенный цвет шва указывает на хорошее качество, а черный, серый и синеватый оттенок указывает на окислительные процессы, что свидетельствует о сниженном качестве.

Технология полуавтоматической и автоматической сварки аналогична ручной. Большое значение имеет размер отверстия в сопле горелки. ГОСТом установлен диаметр 12–15 мм. Желательно использовать специальные планки и подкладки, чтобы зажечь или погасить горелку.

2. Электрошлаковая сварка.

Технология сварки титана и его сплавов зависит от состава материала. Для соединения легированных титановых сплавов чаще всего применяют электрошлаковый метод. Так, для создания сплава ВТ5-1, где в составе есть 5 % алюминия и 3 % олова, больше всего подходит метод прессования и прокатки, в результате чего получают тонкие листы. Толстостенные изделия создаются путемковки.

Сваривать толстостенные детали гораздо сложнее. Для этого нужна среда защитного газа аргона и флюс марки АН-Т2. С помощью трехфазного трансформатора в зону обработки подается переменный ток.

Характеристики оборудования имеют определяющее значение. Обязательно должно выдерживаться напряжение 14–16 вольт с силой тока 1600–1800 А. Согласно технологии, зазор между деталями должен составлять 26 мм. Защитный газ аргон подается со скоростью 8 л/мин., а флюс засыпается в объеме 130 г. Качество соединения деталей при данной технологии обуславливается диаметром электрода. 12-миллиметровый электрод позволяет добиться идеальных результатов, а электрод 8 мм может стать причиной снижения прочности на 20 %. Желательно отказаться от использования электродов из легированных сплавов, если вы хотите обеспечить достаточную пластичность металла сварного шва.

3. Контактная сварка.

Контактный способ также подходит для соединения деталей из этого металла. Технология сварки титана, предусмотренная ГОСТом, предполагает оптимальную скорость сваривания материала в размере 2-2,5 мм/сек. Нежелательно превышать данный показатель, дабы не понизить прочностные характеристики металла в зазоре. При технологии контактного соединения этот показатель имеет определяющее значение, ведь скорость процесса довольно высокая. В данном случае кромки деталей не зачищают и не фрезеруют.

Разработаны разные способы контактного соединения заготовок: линейный, точечный и конденсаторный. Для изделий из титана подходит любой из них. Технология каждого способа опирается на определенную толщину заготовок, диаметр электродов и их давление, размеры сварочной пластины, длительность сжатия и скорость прохождения тока через металл. Сочетания данных параметров помогают установить оптимальный режим для достижения наилучшего результата. Это совсем несложный процесс, если все параметры учтены в соответствии с выбранной технологией.

Особенности технологии сварки титана плазмой

Авиационная и космическая промышленность очень часто используют титан и его сплавы. Для создания несущих конструкций обычно применяют металл толщиной не менее 12 мм.

В таком случае может возникнуть много проблем в процессе сваривания деталей, поскольку этот металл имеет очень специфичные свойства. Технология сварки титана такой толщины максимально эффективна, если опирается на электронно-лучевой метод соединения в вакууме.

В то же время сварочное оборудование для этого метода и сама работа стоят довольно дорого. Альтернативным вариантом соединения деталей из титана с высоким качеством сварных швов, большой производительностью и более низкой стоимостью является плазменная сварка титана проникающей дугой. В данном случае происходит сквозное проплавление. При использовании этой технологии ванна жидкого металла во время создания сварного шва удерживается на весу.

Чем толще металлическая заготовка, тем сложнее удерживать жидкую ванну в стабильном состоянии и делать качественный сварной шов. Технология сварки титана толщиной 10–12 мм рассчитана на довольно узкий диапазон сварочных параметров, поскольку очень сложно поддерживать баланс силовых факторов на передней стенке жидкой ванны. В данном случае очень высоки шансы допустить прожог, если гравитационные силы возьмут верх над силами поверхностного напряжения.

Только при низких скоростях сварки можно сформировать сварной шов. Стоит лишь увеличить скорость соединения, как начинается разрушение сварочной ванны и сброс расплавленного металла. Попытки сварки титана большой толщины до сих пор не увенчались успехом.

Если удастся удерживать в стабильном состоянии на весу ванну жидкого металла при сварке титана проникающей дугой, поддерживая

соотношение гравитационных и капиллярных сил, то теоретически предельными толщинами для титана могут быть $\delta=20\div 25$ мм.

С ростом δ увеличивается вероятность прожога, поскольку нужно снижать поперечные размеры самой жидкой ванны. А это требует повышения концентрации энергии до значений, не достигаемых сжатой дугой.

Если газодинамическое воздействие на переднюю стенку жидкой ванны повышается вследствие увеличения мощности сжатой дуги, то это может привести к неустойчивости силового баланса на передней стенке жидкой ванны, в результате чего появляется прожог.

В ходе практической деятельности доказано, что невозможно увеличить диапазон свариваемых толщин плазмой только через варьирование характеристик сжатой дуги. Важно снизить влияние сжатой дуги на переднюю стенку жидкой ванны, при этом не снижая мощности сжатой дуги. Такое возможно только через подбор оптимального соотношения сжатой дуги и полости кратера.