ESAB ОБУЧЕНИЕ И ПОДГОТОВКА

TIG-сварка

Содержание

Введение..... 3
История TIG-сварки..... 4
Основы TIG-сварки..... 5
Принцип TIG-сварки..... 7
Зачем нужна TIG-сварка?..... 7
Оборудование..... 8
Источники питания..... 8
Сварочные горелки..... 8
Газовые сопла..... 9
Электроды..... 9
Защитные газы..... 11
Аргон..... 12
Гелий..... 12
Аргон-водородные смеси..... 12
Газовая защита..... 12
Газовые линзы..... 13
Защитные газы для TIG-сварки..... 14
Газы для защиты корня шва..... 14
Газовая защита при сварке титана..... 15
Экологические аспекты..... 16
Параметры сварки..... 17
Сварочные дефекты..... 18
Дефекты при TIG-сварке..... 18
Подготовка кромок под сварку труб..... 20
Влияние толщины стенки..... 20
Присадочные материалы..... 21
Нелегированные и низколегированные стали..... 22
Высоколегированные и кислотостойкие стали..... 23
Алюминий и его сплавы..... 24
Другие материалы..... 24
Автоматизация TIG-сварки..... 26
Историческое прошлое..... 26
Примеры применения..... 26
Преимущества автоматической сварки..... 27
Сварка в узкий зазор..... 28
Введение..... 28
Общие рекомендации..... 28
Аннотация..... 30
Примеры применения..... 30
Сварка алюминия..... 31
Сварка алюминия на постоянном токе 31
Пример сварки алюминия..... 33
Алфавитный указатель..... 35

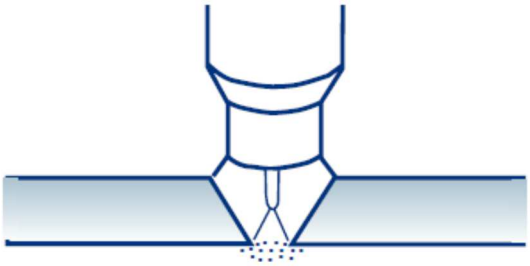
Введение

TIG-сварка – это процесс дуговой сварки плавлением, получивший свое название от начальных букв английских терминов **Tungsten** (Вольфрам) **Inert** (Инертный) **Gas** (Газ). Tungsten (вольфрам) – это металл из которого изготавливается сварочный электрод для данного вида сварки. Inert Gas (инертный газ) – это газ, который не участвует в металлургических процессах, происходящих во время сварки, а только защищает расплавленный металл и электрод от вредного воздействия окружающего воздуха. Он также обеспечивает ионизацию дугового промежутка необходимую для горения дуги. Для данного вида сварки в литературе можно встретить другие аббревиатуры типа GTAW (Gas Tungsten Arc Welding (США) – Газ Вольфрам Дуговая Сварка) и WIG (Wolfram Inert Gas (Германия) – Вольфрам Инертный Газ). TIG-сварку отличает прежде всего:

- Высокое качество сварного шва
- Возможность сварки тонкостенных изделий
- Высокая универсальность. Применима для всех металлов, свариваемых дуговой сваркой
- Ровные и гладкие швы
- Отсутствие брызг
- Сварочная ванна легко контролируема
- Концентрированная стабильная дуга
- Способ относительно медленный, особенно на больших толщинах
- Иногда можно варить без присадки
- Отсутствие дымов
- Сварка во всех пространственных положениях
- Отсутствие шлаковых образований
- Тепловложение не зависит от количества присадочного материала

История TIG-сварки

Этот способ сварки был разработан в США в начале 1940-х годов для сварки магния и алюминия, сварка которых в то время вызывала большие проблемы. Дальнейшее развитие данного способа было продиктовано потребностями авиационной и космической отраслей.



Изначально в качестве защитного газа использовался гелий. Позже перешли на аргон, который значительно дешевле и в большинстве случаев лучше защищает шов. Изначально сварка выполнялась на постоянном токе обратной полярности, когда в электроду подключался положительный потенциал (DC+). Потом сварку легких сплавов начали выполнять на переменном токе, а сварку других металлов стали выполнять на постоянном токе прямой полярности, когда в электроду подключался отрицательный потенциал (DC –).

Изначально, в качестве электрода использовался чистый графит или чистый вольфрам, но в процессе эволюции этого процесса перешли на легированные вольфрамовые электроды, обладающие лучшими сварочно-технологическими свойствами.

Сначала дугу поджигали касанием электрода об изделие, однако при этом возникала высокая вероятность попадания частичек вольфрама в сварной шов. Для снижения вероятности этих дефектов, для бесконтактного поджига, был разработан высокочастотный высоковольтный генератор (осциллятор).

С начала 1950-х годов TIG-сварка стала применяться в качестве полноценного промышленного способа сварки. В настоящее время ее широко применяют в Соединенных Штатах и чуть меньше в Европе. Благодаря своим многочисленным положительным качествам, данный вид сварки имеет очень хорошие перспективы на развитие в будущем.

В первые лет 20 TIG-сварку в просторечье называли «аргонной сваркой». В настоящее время сварка в среде аргона является одной из разновидностей способов сварок неплавящимся электродом в защитном газе. Следовательно термин «аргонная сварка» не может считаться универсальным для обозначения всех типов TIG-сварок.

Сначала TIG-сварка использовалась исключительно как ручной способ сварки, однако потребности промышленности определяли тенденцию ее развития в направлении автоматизации данного процесса. В настоящее время TIG-сварка например применяется в роботах, установках для сварки шовных труб, оборудовании для орбитальной сварки труб и вварки труб в трубные доски и т.п.

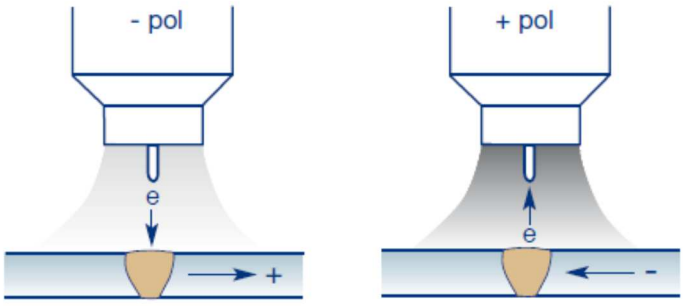
Появление все более современных источников питания, возможность их связи с различными периферийными устройствами позволяют использовать данный вид сварки для решения все новых и новых задач, а разработки в области программных обеспечений делают данный вид сварки все более и более контролируемым.

Основы TIG-сварки

При TIG-сварке дуга горит между неплавящимся электродом и изделием. Электрод, дуга, сварочная ванна и присадочная проволока изолированы от окружающей атмосферы воздуха потоком инертного (химически неактивного) газа, обычно аргона. В состав воздуха входят кислород, азот и влага, которые не должны попадать в зону сварки.

Сварку как правило выполняют на постоянном токе прямой полярности, когда к электроду подключен отрицательный потенциал, а для сварки легких сплавов обычно используют переменный ток. При сварке на переменном токе, в тот момент, когда движение электродов направлено от изделия к электроду, возникает эффект катодного распыления, благодаря которому разрушается окисная пленка на поверхности Al или Mg сплавов. Для разрушения окисной пленки сварку алюминия также можно выполнять на обратной полярности, когда к электроду подключен «+», но делать этого не рекомендуется (приходиться использовать электроды очень большого диаметра). Связано это с тем, что при сварке на постоянном токе примерно 70% тепловой энергии выделяется на положительном электроде. Поэтому, чтобы электрод разрушался не очень интенсивно, как правило к нему подключают отрицательный потенциал. При сварке на переменном токе распределение тепла между электродом и изделием составляет 50 на 50%.

Если сварку алюминия выполнять на постоянном токе прямой полярности (DC-), когда электроны двигаются от электрода к свариваемой детали, разрушения поверхностной окисной пленки происходит недостаточно. Поэтому в качестве компромисса сварку алюминия выполняют на переменном токе.



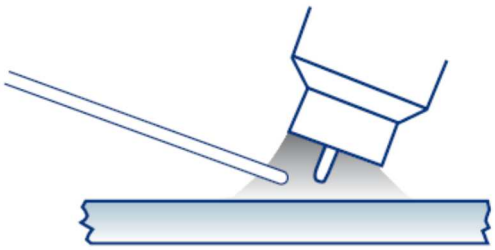
Электрод изготавливают из вольфрама, материала имеющего очень высокую температуру плавления (около 3400°C), и, если тепловая нагрузки на него не превосходит критических значений, он не плавиться.

Сварку можно выполнять только за счет оплавления кромок свариваемых заготовок, однако чаще в сварочную ванну вводят дополнительный присадочный материал. Как правило, в качестве присадки применяют сварочные проволоки. Кроме того, через присадку в металл шва можно вводить дополнительные легирующие элементы, при этом сварочный ток через нее не протекает.

Проволока, по которой не проходит электрический ток, подается в сварочную ванну отдельно со стороны. Таким образом, в отличии от MIG-сварки, легко контролируется отношение вложенного тепла к объему наплавленного металла.

Очень важно, чтобы конец присадочной проволоки постоянно удерживался в зоне защиты инертного газа, что позволяет избежать ее окисления. После гашения дуги, конец присадочного прутка в течение некоторого времени рекомендуется удерживать в зоне обдуваемой защитным газом, что предупреждает попадание загрязненного металла в сварной шов при следующем поджиге дуги не обкусывая окисленный конец проволоки.

Для начала сварки необходимо сперва зажечь дугу. Обычно это делается с помощью встроенного высоковольтного высокочастотного генератора – называемого осциллятором. Высокочастотное высокое напряжение, безопасное для человека, пробивает дуговой промежуток и дуга загорается.



При сварке на постоянном токе сварочный аппарат отключает работу осциллятора сразу же после поджига дуги. При сварке на ~AC ток постоянно проходит через нулевую точку, поэтому, чтобы дуга не гасла, осциллятор должен работать постоянно (для современных источников TIG AC/DC это уже не требуется).

Существует и контактный способ зажигания дуги, когда электродом царапают по изделию с последующим его отрывом, а дугу зажигает напряжение холостого хода. Его применяют при сварке от источников без ВЧ-генератора (например для MMA-сварки).

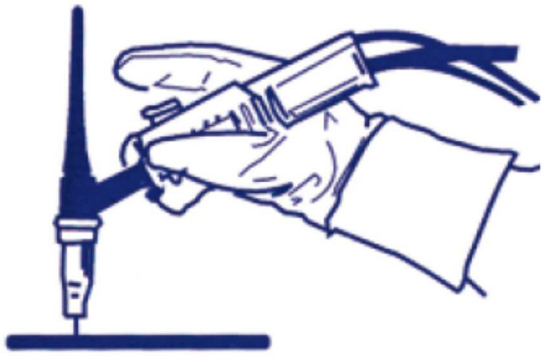
Сейчас появился относительно новый метод поджига, называемый «Lift-Arc», когда в момент замыкания электрода на изделие, величина тока достаточно мала. После поджига ток сварки поднимается до установленного значения.

Поджиг царапанием имеет серьезный недостаток связанный с разрушением вольфрама при протекании через электрод высокого тока короткого замыкания, который попадает в шов, и эти включения вольфрама можно видеть на рентгеновских снимках. Lift-Arc и ВЧ-поджиг этого недостатка не имеют.

ВЧ-зажигание имеет тот недостаток, что оно создает вокруг себя радиопомехи или может нарушить работу электронного оборудования, такого как компьютеры, если они не защищены надлежащим образом, поэтому современное оборудовании позволяет выбирать способ поджига.

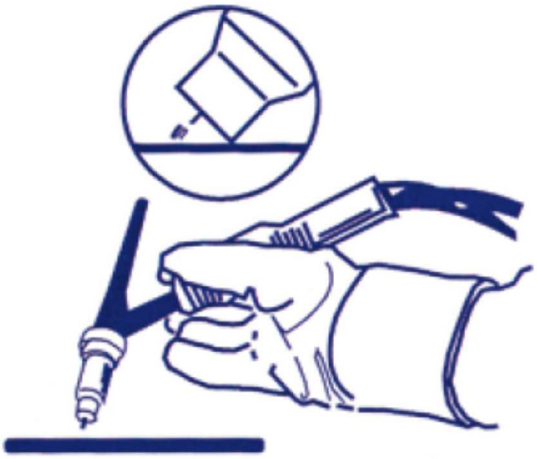
После поджига дуги ток сварки в течение установленного времени нарастает до заданного значения. Этот период называется «время нарастания тока сварки», в течение которого при ручной сварке сварщик успевает привести горелку в нужное положение.

Также, если электрод был холодным, то плавное нарастание тока позволяет избежать теплового удара. Это в свою очередь снижает вероятность попадания вольфрама в сварочную ванну. Увеличение времени нарастания тока увеличивает срок службы электрода. Это время также позволяет нормально сформировать сварочную ванну и начать сварку. Процесс сварки может проходить как в пульсирующем режиме, так и без пульсации тока. Ток в импульсе, ток дежурной дуги, время импульса и паузы являются регулируемыми параметрами.



Для поджига дуги способом Lift-Arc, прикоснитесь кончиком электрода к изделию в той точке, откуда собираетесь начать сварку. Горелку установите в положение, в котором будет происходить сварка. При этом нет никакого риска короткого замыкания, т.к. электрод не находится под напряжением.

Нажмите кнопку на горелке. Электронная система управления по заложенному в нее алгоритму проконтролирует весь процесс старта. Пока электрод находиться в контакте с изделием, через него протекает небольшой стартовый ток, который не повреждает кончик электрода.



Теперь оторвите электрод от изделия, поднимая горелку либо вертикально вверх, либо опрокидывая ее, опираясь на газовое сопло. Электроника отслеживает этот момент, и начинает подъем тока. Сварочный ток достигает заданного значения, при этом в шве не остается следов вольфрама.

Когда вы отпускаете кнопку на горелке, источник питания включает функцию гашения дуги и происходит плавная заварка кратера. Мощность снижается и дуга гаснет. Устанавливаемая скорость спада тока определяет время, в течение которого происходит гашение дуги. Соответственно, чем выше ток сварки, тем продолжительнее этот период. Эта функция позволяет избежать дефектов образующихся при остановке процесса сварки.

У TIG-сварки большое количество параметров, которые необходимо учитывать. Ими являются:

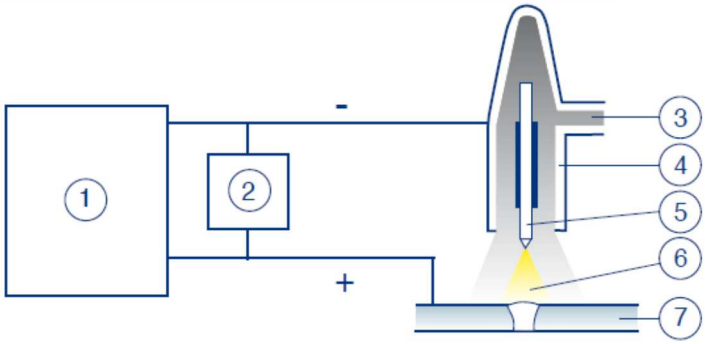
- Ток сварки в импульсе
- Ток дежурной дуги
- Длительность импульса и паузы
- Напряжение на дуге (длина дуги)
- Скорость сварки
- Пространственное положение сварки
- Амплитуда колебаний горелки
- Скорость подачи присадочной проволоки

Они по разному влияют на процесс сварки, и чтобы получить положительный результат, необходимо все их учитывать.

При гашении дуги сила сварочного тока должна плавно снижаться до нуля. Это делается для того, чтобы заварить сварочный кратер. В противном случае можно получить дефект сварки типа усадочной раковины.

После гашения дуги, необходимо чтобы защитный газ еще в течение некоторого времени, зависящего от тока сварки и диаметра электрода, продолжал выходить из сопла, т.к. остывающий металл и горячий электрод необходимо защищать от окисления.

Принцип TIG-сварки



1. Источник питания
2. ВЧ-генератор (осциллятор)
3. Защитный газ
4. Газовое сопло
5. Электрод
6. Дуга
7. Изделие

Зачем нужна TIG-сварка?

Основным преимуществом TIG-сварки, в сравнении с другими способами, является высокое качество сварного шва. TIG-процесс используется как ручной для сварки коротких швов или прихватки при сборке конструкции, так и для автоматической сварки.

TIG-сварка в основном используется для сварки высоколегированных нержавеющих, жаростойких и жаропрочных сталей, а также для сварки цветных металлов, таких как алюминиевые, медные и никелевые сплавы.

Примерами материалов, которые можно сваривать с TIG являются:

- Конструкционные спокойные низкоуглеродистые и низколегированные стали
- Высоколегированные нержавеющие стали
- Высоколегированные кислотостойкие стали
- Дуплексные стали
- Никелевые сплавы типа Инконель
- Никелевые сплавы типа Монель
- Титан
- Медные сплавы
- Алюминий и алюминиевые сплавы
- Редко свариваемые металлы, такие как бериллий

К металлам, которые не варят TIG-сваркой, можно отнести цинк.

Если использовать разделку кромок, то TIG-процесс можно использовать для сварки любых толщин. Однако, его чаще всего используют для сварки стыковых швов толщин 0,3-4,0 мм. При данном виде сварки достаточно легко контролировать тепловложение в свариваемые заготовки, что позволяет сваривать достаточно мелкие детали, которые проблематично варить другими способами, такими как MIG/MAG или MMA. TIG-сварку также часто применяют для сварки неповоротных стыков труб, особенно для выполнения корневых проходов.

Данный вид сварки обеспечивает очень высокую чистоту наплавленного металла. Швы имеют очень гладкую поверхность с плавным переходом к основному металлу, что очень важно для изделий, к которым предъявляются высокие требования к внешнему виду шва или гладкости его поверхности, например в пищевой промышленности.

Однако, в отличии от MIG/MAG-сварки TIG-процесс достаточно низкопроизводительный, что особенно заметно при сварке больших толщин. Сварку ведут на достаточно невысоких токах и низком напряжении на дуге, соответственно невысоком тепловложении. Как правило, данный способ используется для сварки небольших толщин, однако, при сварке соединений с разделкой кромок, его можно применять и для больших толщин.

TIG-сварка легко комбинируется с другими способами сварки, например корневой проход выполняют TIGом, а заполняющие и облицовочный MIG/MAGом или SAW-сваркой. Такое сочетание позволяет достаточно просто

получить корневой шов высокого качества с хорошим проплавлением и при этом сохранить высокую производительность.

Наиболее широкое распространение TIG-сварка получила в тех отраслях, где предъявляются очень высокие требования к качеству сварных швов, например при изготовлении оборудования для атомных электростанций. Данный вид сварки оказался востребованным в авиационной, пищевой, нефтехимической, оборонной промышленностях и т.п.

Автоматическая TIG-сварка широко применяется для сварки стыков труб и их вварке в трубные доски при производстве теплообменного оборудования. Примеры применения автоматической TIG-сварки:

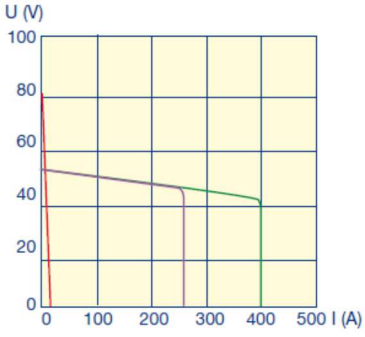
- Трубопроводы из нержавеющих сталей
- Трубопроводы из дуплексных сталей
- Титановые трубопроводы
- Трубопроводы для гидравлических систем из углеродистых сталей
- Вварка труб в трубные доски

Оборудование

Источники питания

Для TIG-сварки разработаны различные виды источников питания сварочной дуги. В качестве наиболее простейшего из них можно использовать источник для MMA-сварки с поджигом дуги царапанием электрода об изделие. Он имеет падающую внешнюю вольтамперную характеристику ($I_{св}$ = const) и подходит для TIG-сварки. Установленный ток сварки практически не изменяется при изменении напряжения на дуге.

А вот источники питания для MIG/MAG-сварки использовать нельзя, потому что они имеют совершенно иную, жесткую внешнюю вольтамперную характеристику ($U_д$ = const), если конечно в конструкции источника не предусмотрено переключение этих характеристик.



Внешняя вольтамперная характеристика источника питания для TIG-сварки. Изменение напряжения на дуге практически на приводит к изменению сварочного тока

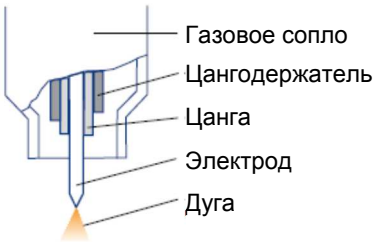
Для данного вида сварки выпускаются также источники питания работающие как выпрямитель и как трансформатор, что позволяет выполнять сварку как па постоянном, так и на переменном токе. Однако, источников такого AC/DC типа, оснащенных специальным блоком управления позволяющим программировать режимы отдельных участков шва, мы в настоящее время не производит. Такая функция нужна при автоматической сварке неповоротных стыков труб или их вварке в трубную доску, когда процесс сварки происходит как на спуск, так и на подъем.

Для таких задач компания ESAB предлагает своим клиентам установки PROTIG и MECHTIG. Они созданы на базе инверторного источника питания постоянного тока (DC) для TIG-сварки и компьютерного устройства управления процессом сварки.

Сварочные горелки

Электрод зажимается в медной цанге, через которую к нему подводиться сварочный ток. Цанга затягивается с помощью цангодержателя или газовой линзой. Вокруг этого узла находиться газовое сопло, которое направляет поток защитного газа к сварочной ванне. Чтобы вставить или заменить электрод, надо ослабить затяжку заднего наконечника горелки, уплотненного резиновым кольцом, предотвращающим подсос воздуха. Между газовым соплом и корпусом горелки устанавливается уплотнительное кольцо. Эта конструкция используется как для ручных горелок, так и для роботов и других автоматических установок, для орбитальной сварки труб. К горелке подходит сварочный кабель и шланг для подачи инертного газа, которые соединены с головкой горелки. В зависимости от величины тока, на который рассчитана горелка, для предотвращения ее перегрева и расплавления, охлаждение осуществляется водой либо воздухом. Горелки водяного охлаждения имеют два дополнительных шланга для циркуляции охлаждающей жидкости. Не смотря на то, что водоохлаждаемые горелки более громоздки, в сравнении с горелками воздушного охлаждения, они получили более широкое распространение благодаря их преимуществам. Горелки воздушного охлаждения, в зависимости от модели, рассчитаны на токи 50-150 А, водоохлаждаемые на 250-600 А.

Устройство горелки:



Газовые сопла

На решения различных задач сварки требуются сопла своих размеров и конструкций. Изготавливаются они из керамики на основе оксида алюминия (Al_2O_3). Данный материал выдерживает очень высокие температуры, которые возникают при сварке.

Как правило, диаметр сопла подбирают исходя из диаметра электрода, где его внутренний диаметр должен быть равен 4-м диаметрам электрода. Если использовать сопло меньшего диаметра, скорость потока защитного газа будет излишне высокой. С одной стороны это может быть полезно, если в помещении, где производится сварка, присутствуют сквозняки. С другой стороны, струя становиться более узкой и может не полностью защищать зону сварки, что может отрицательно сказаться больших размерах сварочной ванны и/или при сварке легко окисляющихся металлов. Газовое сопло большого диаметра защищает большую поверхность, но при этом требует большего расхода защитного газа.

Электроды

Электрод, применяемый для TIG или плазменной сварки изготавливают из металлического вольфрама. Он не должен плавиться при температурах, возникающих в процессе сварки. Вольфрамовый электрод имеет температуру плавления выше 3410°C и при этом обладает хорошей тепло- и электропроводностью.

Для TIG-сварки используют электроды различных марок и диаметров. До недавнего времени наиболее часто применяемыми считались электроды легированные 2% диоксида тория (ThO_2). В настоящее время их производство по экологическим причинам практически прекращено из-за того, что торий является α-радиоактивным материалом.

Для сварки на переменном токе достаточно часто используют чистый вольфрам. Другой маркой, часто применяемой для переменного тока, является вольфрам легированный цирконием (ZrO_2). Используются также и другие типы оксидов, используемых для легирования вольфрама – лантана, иттрия или церия.

Преимуществом легированных электродов является то, что они позволяют выполнять сварку на более высоких токах без плавления. Кроме этого к их преимуществам можно отнести:

- Более легкое зажигания дуги
- Облегчается эмиссия электронов
- Более стабильная дуга

Чистый вольфрам применяется только для сварки на переменном токе, а к его преимуществам относиться невысокая стоимость и образование на конце округления правильной формы. Электроды легированные цирконием как правило также используются для сварки на переменном токе.

ЭСАБ протестировал различные марки электродов с точки зрения таких характеристик, как стабильность многократных поджигов, скорость разрушения и стабильность дуги. По совокупности характеристик наилучшие результаты показали электроды легированные лантаном, за ними цериевые. Они показали наилучшие стартовые характеристики, устойчивую дугу на даже малых токах и хорошую стойкость на высоких токах.

В сравнении с торированными, иттрированные электроды обладают хорошей стабильностью дуги, большим временем работы между переточками, однако уступали по стабильности поджига. Торированный электрод чаще всего используется для сварки на постоянном токе.

Торий является слаборадиоактивным материалом. При сварке это не имеет никакого значения, однако при заточке, при попадании в организм в виде пыли, оказывает крайне негативное воздействие на здоровье человека. Из-за этого торированные электроды все чаще заменяют на лантанированные и церированные. Для сварки на переменном токе чаще используют чистый вольфрам или легированный цирконием.

Рекомендации

Род тока	Легирующая добавка	Свариваемые сплавы
Переменный ~ AC	Чистый вольфрам ZrO_2 LaO_2	Алюминиевые Магниевые
Постоянный = DC+	ThO_2 LaO_2 CeO_2	Стали в/л и н/л Никелевые Медные Медно-никелевые Титан

Электроды для TIG-сварки

Легирующий элемент	Содержание	Цветовая маркировка	Название марки
Чистый вольфрам	99,8%	Зеленый	WP
Торий	2,0%	Красный	WT 20
Цирконий	0,8%	Белый	WZ 8
Лантан	1,5%	Золотой	WL 15
Церий	2,0%	Серый	WC 20

Надо стремиться к тому, чтобы электрод соответствовал рекомендуемому роду тока. Однако, при небольших объемах сварки, допустимо использование «неправильных» электродов. Примером может служить сварка на

постоянном токе электродом, легированным ZrO_2.

L=175 мм – наиболее распространенная длина вольфрамового электрода. Однако, такой электрод может использоваться только с длинным, 140 мм задним наконечником горелки. При использовании наконечников меньшей длины или в горелках для автоматической сварки, такой электрод в горелку не встанет, и его приходиться резать на более короткие части. Стандартная линейка диаметров вольфрамовых электродов это 0.5, 1.0, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0, 4.8 и 6.4 мм.

Чаще всего применяют электроды диаметром 1.6 и 2.4 мм Они охватывают практически весь диапазон сварочных токов, применяемых при TIG-сварке. Например торированными электродами этих диаметров можно варить токами в диапазоне от 30 до 180 А. Этого достаточно для решения большинства задач.

При сварке электрод постепенно разрушается и, следовательно, его необходимо периодически затачивать или заменять. На кончике электрода образуется грат из-за которого дуга становится менее концентрированным. Если кончик электрода случайно коснулся расплавленного металла сварочной ванны или присадочного прутка, его необходимо немедленно заменить или переточить. Изношенный или загрязненный свариваемым материалом электрод вызывает большой риск получения некачественной сварки. Чтобы продлить срок службы электрода, необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- Используйте электрод диаметр которого соответствует величине вашего тока сварки.
- Заточенный конус электрода должен быть гладким, для этого используйте абразивные круги с размером зерна не грубее 120-го.
- Риски от камня при заточке должны быть направлены вдоль оси электрода.
- Чтобы избежать откалывания острия электрода при сварке, его надо немного притупить на торце абразивного круга или откусить пассатижами.
- В крайнем случае острие можно обломить острой стороной бойка молотка.
- Электроды необходимо хранить в оригинальной упаковке в сухом месте.
- При сварке воздух не должен контактировать с электродом. Расхода защитного газа должно быть достаточно для его надежной защиты. Утечки из системы приводят к ускоренному разрушению электрода.
- Устанавливайте достаточное время продувки защитного газа перед поджигом дуги и особенно время после ее гашения.
- Устанавливайте минимально возможный вылет электрода из сопла.
- Не прокладывайте длинных газовых магистралей. Шланги не должны иметь трещин.
- Вовремя заменяйте газовый баллон (при снижении давления повышается влажность газа).
- Для минимального загрязнения газа используйте шланги из качественного материала, например бутиловой резины.
- При возможности используйте газовые линзы.
- Убедитесь, что все гайки и хомуты в системе подачи защитного газа затянуты и не травят.
- После длительного перерыва, перед сваркой, продуйте газовую систему защитным газом не зажигая дуги.

Предварительный продув нужен для вытеснения воздуха из сопла и оттеснения его от зоны сварки и обычно не превышает 4 секунд.

Времени для продувки газа по окончании сварки требуется несколько больше, чтобы обеспечить защиту электрода и зоны сварки, от воздействия воздуха, пока они не остынут. Если электрод почернел или на нем образовалась грат, его необходимо заменить или переточить.

Заточка электрода

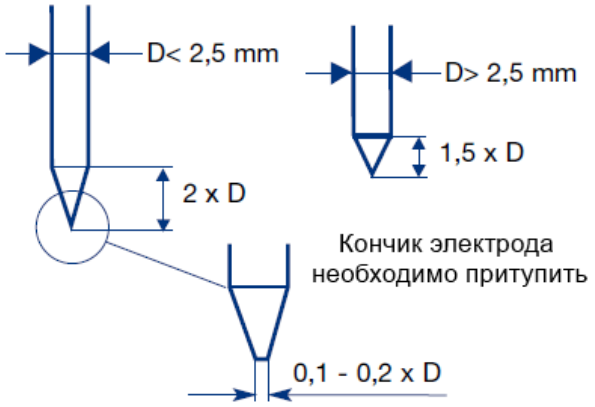
При сварке на переменном токе электрод не затачивают, а формируют его за счет сварочного тока, который плавно поднимают до образования на его торце плавной полусферы. Однако, во избежание образования на торце шарика, не следует перегружать электрод излишним током.

Правильно Неправильно Неправильно

При сварке на постоянном токе электрод должен иметь строго определенные угол заточки и радиус скругления кончика. Слишком острый кончик может при сварке откалываться, образуя в шве дефекты в виде вольфрамовых включений. Он должен быть достаточно острым, но при этом выдерживать устанавливаемую при сварке силу тока. Обычно радиус его скругления выдерживают около 0,5 мм, но в каждом отдельном случае он выбирается индивидуально. От этого зависят форма дуги и, как следствие, глубина ее проплавления.

Для заточки электродов рекомендуется применять специальные заточные станки, обеспечивающие стабильность геометрических параметров его рабочей части. Эти машинки оснащены алмазными кругами, которые не загрязняют электрода. Они также оснащены системой вытяжки, т.к. торий является хоть и слабым, но все же радиоактивным материалом.

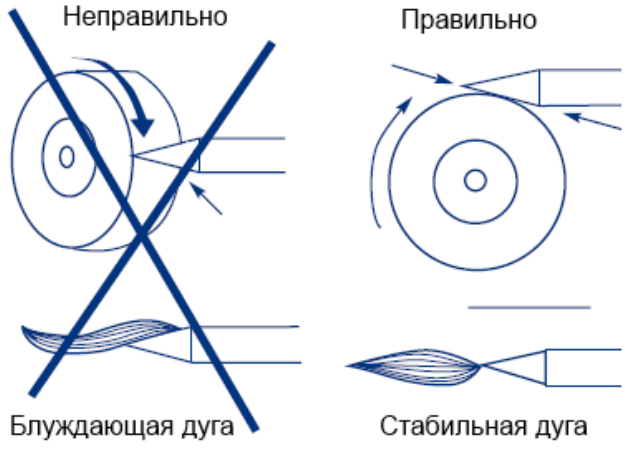
Чтобы избежать неприятных сюрпризов, выражающихся в нестабильности результатов сварки, угол заточки электрода должен оставаться постоянным в течение всего процесса сварки. Чтобы дуга не откланялась в сторону, важно, чтобы ось конуса заточки совпадала с осью электрода. Для электродов диаметром до 2,5 мм высоту конуса заточки равна двум диаметрам электрода (угол заточки конуса ~30°), для диаметров более 2,5 мм – полтора диаметра электрода (угол заточки конуса ~40°). Однако на стоит воспринимать данные рекомендации как догму. В некоторых случаях, для достижения оптимальных результатов сварки, угол заточки может быть иным.



При более остром угле заточки электрода увеличивается глубина проплавления. Хотя это также сказывается и на ширине шва. Она естественно уменьшается, т.к. дуга становиться более концентрированной.

В целом можно сказать, что для сварки на малых токах электрод затачивают более остро, а для больших токов наоборот.

Чтобы обеспечить стабильность горения дуги, поверхность конуса заточки не должна иметь грубой шероховатости. Риски от абразивного круга должны располагаться вдоль образующей конуса заточки.



Выбор диаметра электрода

Диаметр электрода выбирают исходя из диапазона применяемых сварочных токов. По возможности предпочтение надо отдавать электродам меньшего диаметра, т.к. они обеспечивают получение более концентрированной дуги, и, как следствие, меньший размер сварочной ванны и более глубокое проплавление, но при этом его надо чаще менять или перетачивать. Использование электрода большего чем необходимо диаметра приводит к снижению стабильности дуги. Ниже приведена таблица с рекомендуемыми диапазонами сварочных токов для различных типов электродов и рода тока в зависимости от их диаметра:

Диаметр электрода [мм]	Чистый вольфрам (AC~) [A]	0,8% ZrO_2 (AC~) [A]	2,0% ThO_2 (DC–) [A]
0,5	5-15	5-20	5-20
1,0	10-60	15-80	20-80
1,6	50-100	70-150	80-150
2,4	100-160	110-180	120-220
3,2	130-180	150-200	200-300
4,0	180-230	180-250	250-400

Защитные газы

Электрод, расплавленная сварочная ванна и окружающий разогретый металл во время сварки должны быть надежно защищены от воздействия окружающего воздуха. Попадание воздуха в эту зону приводит к образованию оксидов и нитридов и, как следствие, к дефектам шва. Кроме этого, плохая защита электрода приводит к его интенсивному разрушению. Таким образом защитный газ должен оттеснять воздух от зоны сварки и при этом быть химически неактивным. Группа таких инертных газов называется «благородные газы». Для TIG-сварки используют два из них – аргон (Ar) и гелий (He). Еще четыре инертных газа – неон, криптон, ксенон и радон в качестве защитных для сварки не применяются. В ряде случаев инертный газ, либо его смесь с восстановительными газами, используется для защиты корня шва. В качестве примера восстановительного газа можно привести водород или азот. Водород вступает в реакцию с кислородом, тем самым улучшая защиту металла. Но его количество в защитной смеси не велико (5-10%). Выбор защитных газов зависит от многих факторов, таких как тип свариваемого материала, его толщина, пространственное положение при сварке, погонная энергия, экономика и экология. Кроме того газ служит проводником электрического тока и тепла, а потому должен иметь соответствующие физические характеристики. Поток газа также охлаждает электрод и расплавленную ванну.

Как уже упоминалось, аргон и гелий используются для TIG-сварки, но характеры их поведения значительно отличаются. Аргон примерно в 1,4 раза тяжелее воздуха, а гелий почти в 8 раз легче. Возможности их по передаче электроэнергии и тепла тоже разные. Следовательно проплавляющая способность дуги тоже зависит от типа используемого газа.

Аргон легко ионизируется и напряжение на дуге составляет около 10-15 вольт. Гелий ионизируется труднее, что делает поджиг дуги на нем более затруднительным, а напряжение на дуге примерно на 40% выше.

В результате более высокого напряжения, мощность дуги (выделение тепла) при сварке с гелием также выше.

P = U x I, где:

P – мощность дуги, U – напряжение, I – ток сварки.

При том же токе и длине дуги, мощность дуги при сварке в гелии выше из-за более высокого напряжения дуги.

Для TIG-сварки также используют смеси аргона и гелия в различных пропорциях, которые имеют промежуточные между ними характеристики. Наиболее распространенными соотношениями Ar/He являются смеси 30/70% и 70/30%.

Аргон

В настоящее время наиболее распространенным газом для TIG-сварки является аргон. Его использует для сварки низколегированных и нержавеющих сталей, никелевых сплавов и т.д. Аргона в атмосфере земли содержится около 1%, и извлекают его фракционным разделением воздуха. Это означает, что он относительно дешев. Свойства аргона:

- Легкий поджиг дуги
- Стабильность дуги
- Эластичность дуги
- Недорогой
- Тяжелее воздуха

Высокая, в сравнении с другими газами, эластичность дуги делает аргон пригодным для ручной сварки, где поддерживать постоянную длину дуги достаточно проблематично.

Аргон обычно поставляют сжатом состоянии в баллонах объемами по 5, 20, 40 и 50 л под давлением 150 или 200 бар, в зависимости от типа баллона.

К аргону, используемому при сварке в качестве защитного газа, предъявляются очень жесткие требования по содержанию примесей, поэтому не рекомендуется полностью опорожнять используемые баллоны. Для того чтобы конденсат гарантированно не образовывался в баллоне, не следует его опорожнять до давления ниже 10 бар.

Гелий

Гелий и аргон-гелиевые смеси хорошо подходит для сварки материалов с высокой теплопроводностью, такие как медь и алюминий. Их также используют при сварке тяжелых металлов и автоматической сварке сталей, что позволяет процесс сварки выполнять на более высоких скоростях.

Свойства гелия и гелий-аргоновых смесей:

- Обеспечивают более глубокое проплавление
- Позволяют варить на больших скоростях
- Можно варить тяжелые металлы
- Значительно дороже аргона
- Требуется устанавливать их более высокий расход
- Пожиг дуги более затруднен
- Легче воздуха
- Обеспечивают лучшую смачиваемость свариваемых кромок

Аргоно-водородные смеси

Добавление водорода (H_2) в аргон повышает напряжение дуги и делает ее более концентрированной. Это позволяет повысить тепловложение и получить более концентрированный профиль шва. Аргон-водородные смеси обычно используют при сварке аустенитных нержавеющих сталей и сплавов на основе никеля. Добавка водорода повышает скорость сварки, а шов формируется более узким с большей глубиной проплавления. Это связано с тем, что подводимое тепло концентрируется на аноде (изделии) на меньшей площади. Типичное содержание водорода в аргоно-водородных смесях варьируется от 1 до 10%. Следует помнить, что из-за металлургических процессов, происходящих в металле шва, эти смеси нельзя применять для сварки перлитных, мартенситных и ферритных сталей, алюминия, меди или титана. Характерным примером использования таких смесей является производство продольношовных нержавеющих труб.

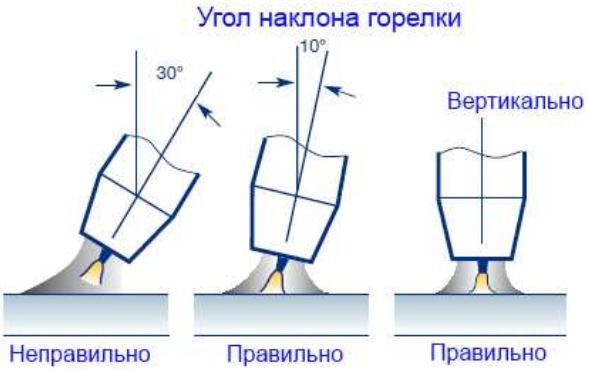
Газовая защита

На сколько защитный газ эффективен для защиты зоны сварки от воздействия окружающей среды, зависит от многих факторов. Поэтому, чтобы определить требуемый расход защитного газа в каждом конкретном случае, необходимо все их учесть. Конечной целью является

определение минимально необходимого расхода, обеспечивающего качественную защиту сварного соединения. При сварке в обычных условиях, расход первоначально рекомендуется установит на уровне 8-10 л/мин. Если сварка выполняется по горячему металлу, расход надо немного увеличить, а при сварке холодного металла его можно снизить. При использовании сопла большего диаметра, расход требуется увеличить, чтобы обеспечить качественную защиту большей площади.

Таким образом устанавливается минимально необходимый расход, обеспечивающий необходимый защитный эффект, превышение которого тоже нежелательно. Во-первых это бесполезная трата газа, во-вторых излишний его поток может привести к ускоренному охлаждению шва.

Кроме того, слишком сильный поток может привести к его завихрению и эжекции воздуха в зону сварки. Такой же эффект подсоса воздуха можно наблюдать, если угол горелки к вертикали будет превышать 30°.

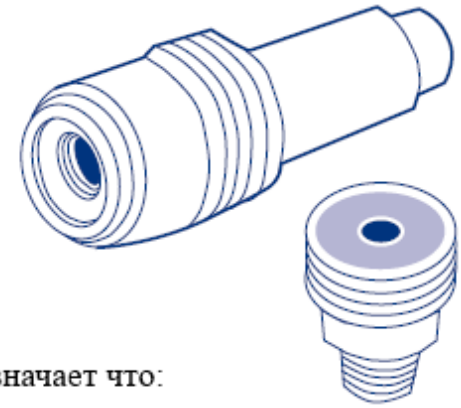


Плотность газа/газовой смеси также влияет на его требуемую величину потока. Расход более легких газов должен быть выше, чем тяжелых, таких как аргон. Например, расход гелия или смесей на его основе, надо устанавливать в 2-3 раза выше.

Потоки окружающего воздуха также могут ухудшить защиту сварного шва. Наличие в цеху сквозняков или сварка на открытом воздухе могут потребовать дополнительных мер по защите зоны сварки, таких как увеличение расхода газа или установка защитных ширм.

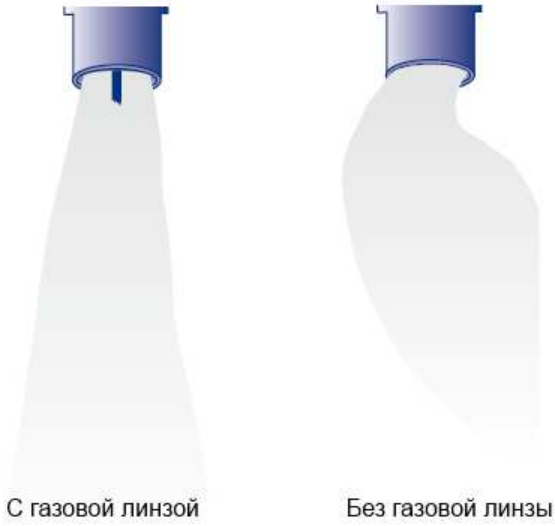
Газовые линзы

Большой вылет электрода или большой диаметр газового сопла требуют установки более высокого расхода защитного газа. Для таких случаев рекомендуют использовать газовую линзу. Это специальный аксессуар, поддерживающий ламинарность потока защитного газа при его большом расходе, позволяющий более качественно защищать электрод и зону сварки.



Это означает что:

- Расход защитного газа снижается примерно на 50%.
- Вылет электрода можно увеличить до 15-20 мм, что улучшает обзор места сварки или позволяет выполнять сварку в более труднодоступных местах.
- Снижается риск образования дефектов сварки, связанных со сквозняками.



Разницы в характерах потока защитного газа

Для обеспечения качественной защиты зоны сварки необходимо:

- Установить необходимый расход газа.
- Убедиться в отсутствии утечек газа.
- Для газовой магистрали использовать трубки из материалов не загрязняющих газ.
- Не превышать допустимый угол наклона горелки от вертикали.
- При длительных перерывах в работе не допускать попадания влаги в систему подачи газа.
- Оставлять в баллоне необходимое избыточное давление газа.
- Не варить на большом вылете электрода.
- Использовать газовые линзы.
- Не допускать утечек охлаждающей жидкости в горелку.
- Избегайте сварки на открытом пространстве

Защитные газы для TIG- сварки

Чаще всего при TIG-сварке в качестве защитного газа используют аргон с чистотой 99,99%. В отдельных случаях используют более чистый (но более дорогой) аргон с чистотой 99,995%, например для сварки титана.

Газ	Производитель газа	
	AGA	Alfax
Аргон 99,99%	Argon S	Argon N40
Аргон 99,995%	Argon SR	Argon U
Аргон + 0,03% NO	Mison 12	-
Гелий 99,995%	Helium	Helium U
70% Гелий + 30% Аргон	Helon 70	Inarc 17
30% Гелий + 70% Аргон	Helon 30	Inarc 13
95% Аргон + 5% Водород	Tyron 5	Noxal 5
95% Азот + 10% Водород	Naton 10	Газ для поддува

Необходимое время продувки изделия газом перед сваркой можно рассчитать по формуле:

$$T = \frac{V \times A}{G}$$

Где:
T – требуемое время продувки [мин]
V – внутренний объем изделия [л]
A – требуемая кратность обмена газа
G – установленный расход газа [л/мин]

Внутренний объем трубы рассчитывают по формуле:

$$V = \frac{\pi d^2 \times L}{4 \times 10^3}$$

Где:
V – внутренний объем изделия [л]
d – внутренний диаметр трубы [мм]
L – длина трубы [м]

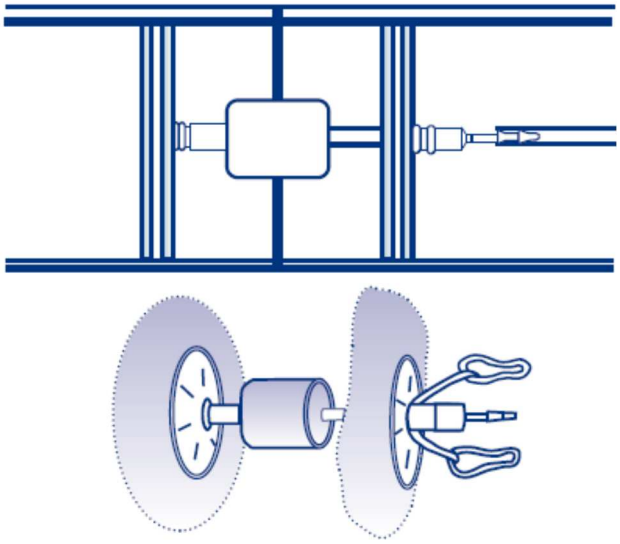
Газы для защиты корня шва

При сварке с полным проплавлением, в зависимости от марки свариваемого металла, может возникнуть необходимость в защите обратной стороны шва. Если этого не сделать, поверхность корня будет грубой и покрыта образовавшейся при контакте с воздухом оксидной пленкой. В обязательном порядке корень требуется защищать при сварке нержавеющих и кислотостойких сталей, титана и т.п. При сварке других высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов также может возникнуть необходимость в защите корня.

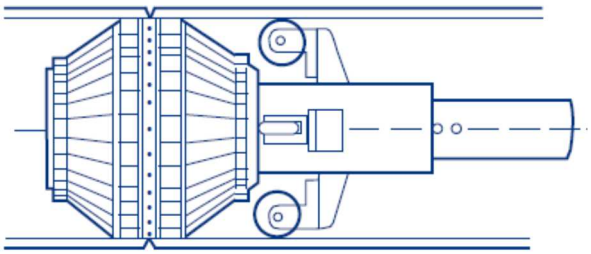
В качестве корневого используют чистый аргон или газ для поддува (90% N_2 + 10% H_2). Чаще всего применяют аргон, хотя газ для поддува дешевле. Выбор между аргоном и азото-водородной смесью определяется чувствительностью свариваемого материала к водородному охрупчиванию или водородной пористости. N_2/H_2 смесь можно применять при сварке аустенитных нержавеющих сталей. Водород вступает в реакцию с кислородом, чем защищает сварной шов.

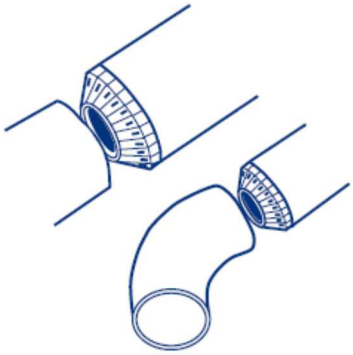
При сварке трубы ее можно просто заполнить защитным газом. Однако, если объем трубы большой, стоимость израсходованного для нее заполнения газа становиться значительной, а время заполнения длительным. Чтобы снизить содержание кислорода внутри трубы до требуемой концентрации, объем защитного газа должен превышать заполняемый объем. Для различных случаев отношения этих объемов отличаются и подбираются индивидуально, но в некоторых случаях объем израсходованного газа может в 5-10 раз превышать заполняемый объем, причем для меньших объемов трубы это значение выше.

Для экономии газа на поддув корня шва рекомендуется применять специальные приспособления. Например, это могут быть расширяемые резиновые уплотнители, вставляемые в трубу или различные типы металлических дисков с резиновыми манжетами.

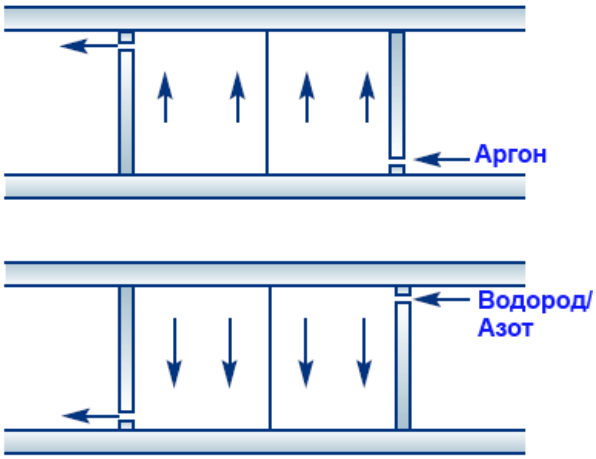


Очень хорошим решением данной задачи является применение специального приспособления, называемого центратором, предназначенного для совмещения свариваемых кромок труб, в котором по периметру предусмотрены отверстия для подачи к корню шва защитного газа. Центратор также удерживает кромки от смещения, что позволяет не выполнять прихваток. Кроме того, он забирает на себя часть тепла, вкладываемого в изделие, благодаря чему свариваемая труба будет при сварке меньше нагревается.

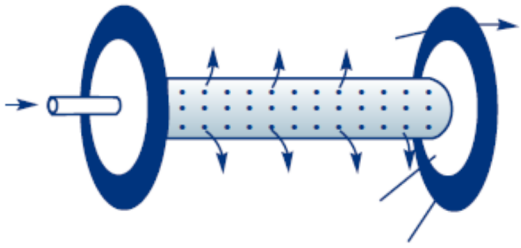




Т.к. аргон тяжелее воздуха, его рекомендуется подавать в нижнюю часть защищаемой газом полости. Плавно подаваемый в полость аргон оседает на дно, а воздух, остающийся сверху, постепенно вытесняется через верхнее дренажное отверстие.

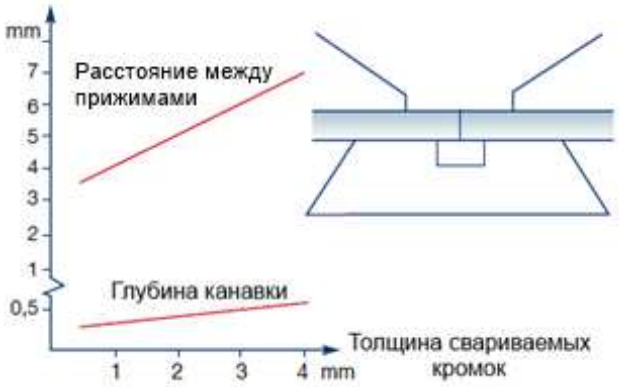


Дренажное отверстие, при защите корня шва аргоном, должно находиться сверху, чтобы воздух был полностью вытиснен из полости. Азото-водородная смесь легче воздуха, поэтому подача защитного газа наоборот, должна производиться сверху, а дренажное отверстие располагаться в нижней точке. Чтобы при заполнении аргон не перемешивался с воздухом, заполнение полости должно происходить достаточно медленно. Это особенно важно при небольших объемах. Для объемов до 3 л расход газа для защиты корня шва не должен превышать 5 л/мин. Рекомендуется также на входном штуцере устанавливать диффузор, чтобы газ просачивался через множество мелких отверстий. Это предотвратит образование завихрений внутри трубы.



Сварка начинается после того, как весь воздух будет вытеснен из трубы, но чтобы предупредить просачивания воздуха вовнутрь, подачу защитного газа к корню шва прекращать нельзя. Однако, чтобы избыточное давление не выдавливало сварочную ванну наружу, и не образовывался мениск в корне шва, расход должен быть не очень высоким, ~ 4…6 л/мин.

Обычно при сварке нелегированных и низколегированных сталей корень не защищают, но в некоторых случаях такая защита может дать некоторые преимущества. Например отпадает необходимость удаления окалины с корня шва. Также шов становиться гладким, что повышает его длительную прочность при циклических нагрузках, повышаются его антикоррозионные свойства, а сварочная ванна обладает большей текучестью. Поддув корня шва можно также осуществить при сварке плоских листов встык. Ориентировочные параметры такого прижимного приспособления с поддувом приведены ниже:



Газовая защита при сварке титана

При сварке титана качество газовой защиты имеет жизненно важное значение.

Титан на воздухе при нагреве очень быстро окисляется, более того, при температуре выше 400-650°C (данные различных от источников несколько разняться), кислород, азот, углерод и водород начинают диффундировать в металл, вызывая его резкое охрупчивание.

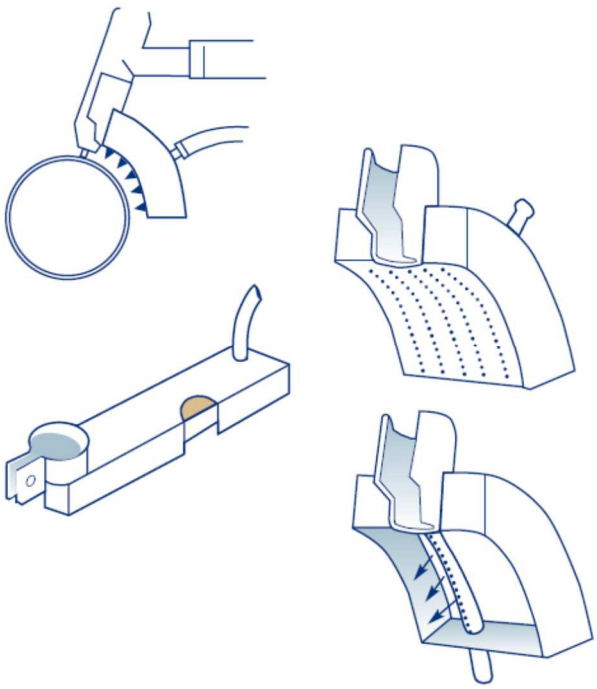
Чистота защитного газа при сварке титана имеет огромное значение. Содержание кислорода в нем не должно превышать 0,003% (<30 ppm*), а азота 0,008% (<80 ppm*)

** ppm - промилле*

Этим требованиям соответствует аргон Argon SR чистотой 99,995%, у которого общее содержание примесей не превышает 50 ppm или его эквивалент (например аргон высокой чистоты по ТУ 2114-002-49632579-2006 чистотой 99,998%).

Корень шва и околошовная зона также должны быть хорошо защищены. Показателем качественной защиты сварного соединения, и как следствие, сохранение пластических свойств титановых сплавов, является отсутствие на шве и околошовной зоне каких-либо цветов побежалости как с наружной стороны, так и со стороны корня шва. Для защиты околошовной зоны и неостывшего шва необходимо применять газовые шлейфы. Они иметь различные конфигурации, в зависимости от того, какие швы необходимо сваривать, кольцевые или плоские.

Аналогичные шлейфы также могут применяться и для сварки высоколегированных сталей.



Экологические аспекты

В процессе TIG-сварки из кислорода воздуха O_2 образуются молекулы газа озона O_3, опасного для здоровья человека.

Причиной его образования является ультрафиолетовое излучение дуги, когда молекула кислорода воздуха попадают под воздействие этих лучей. Происходит ее расщепление на атомы с последующим соединением их с другими молекулами кислорода. При увеличении расстояния до дуги интенсивность излучения падает и концентрация озона уменьшается. Снижение интенсивности образования озона можно достичь за счет применения аргон-гелиевой смеси, когда более тяжелый аргон опускается вниз и защищает расплавленный металл, а более легкий гелий поднимается вверх, оттесняя кислород воздуха дальше от дуги. За счет такого увеличения расстояния от дуги до молекул кислорода происходит уменьшение образование озона.

Также снизить концентрацию озона можно за счет подмешивания в аргон небольшого количества монооксида азота NO (~0,03%). Он активно вступает в реакцию с озоном, образуя незначительное количество диоксида азота NO_2, в концентрации не опасной для человека. Компания AGA производит эту смесь под названием Mison 12.

Параметры сварки

Для того чтобы получить требуемый внешний вид сварного шва, соответствующим принятым стандартам качества, необходимо знать все параметры TIG-сварки, понимать влияние каждого из них на сварной шов и уметь правильно их устанавливать, в зависимости от каждой конкретной ситуации. Ниже приведен перечень этих параметров и их влияние, которое они оказывают на сварной шов.

Параметр	Оказываемый эффект
Повышение значение рабочего тока импульса дуги:	Повышается глубина проплавления. Повышается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре. Снижается риск несплавления.
Снижение значение рабочего тока импульса дуги:	Снижается глубина проплавления. Повышается риск несплавления.
Повышение длительности времени импульса рабочего тока дуги:	Повышается глубина проплавления. Повышается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре. Снижается риск несплавления.
Снижение длительности времени импульса рабочего тока дуги:	Снижается глубина проплавления. Снижается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре. Повышается риск несплавления.
Повышение длительности времени импульса дежурного тока дуги:	Снижается глубина проплавления. Повышается риск несплавления.
Снижение длительности времени импульса дежурного тока дуги:	Повышается глубина проплавления. Повышается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре. Снижается риск несплавления.
Повышение напряжения на дуге:	Уменьшается вероятность излишнего усиление шва. Снижается риск несплавления.
Снижение напряжения на дуге:	Увеличивается вероятность излишнего усиления шва.
Увеличение скорости подачи присадочной проволоки:	Увеличивается высота усиления обратного валика. Повышается производительность наплавки. Снижается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре. Повышается риск несплавления.
Уменьшение скорости подачи присадочной проволоки:	Падает производительность наплавки. Повышается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре. Снижается риск несплавления.
Увеличение скорости сварки:	Снижается глубина проплавления. Уменьшается высота усиления обратного валика. Снижается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре. Повышается риск несплавления.
Снижение скорости сварки:	Повышается глубина проплавления. Повышается риск образования утяжки корня шва при сварке в положении 6 часов при полном проваре.

Дефекты сварки

Сварочные дефекты принципиально можно разделить на две группы:

• Наружные дефекты и отклонения, такие как подрезы, излишнее усиление шва, провалы корня и т.д. Подобные дефекты выявляются визуальным осмотром.

• Внутренние дефекты, такие как поры, окисные и шлаковые включения, непровары и т.д. Эти дефекты выявляются рентгеновским или ультразвуковым контролем.

Ниже приведены показатели, регулирующие параметры допустимых дефектов сварного шва в соответствии со шведским стандартом SS 066101. В нем требования к качеству сварного шва подразделены на четыре класса.

Эти четыре класса известны как WA, WB, WC и WD. Высшим классом является WA, который наличие дефектов практически не допускает. Напряженное состояние конструкции не позволяет пропускать выявленные дефекты выше заданного браковочного уровня.

Также дефекты и их отклонения, выявляемые рентгено-контролем, оцениваются по пятибалльной шкале. Эта шкала была разработана Комиссией IIW (International Institute of Welding – Международный Институт Сварки) и используется во всем мире.

По этой шкале для идентификации оценок используются разные цвета, но в Швеции вместо цветов используются цифры. Самый высокий балл - 5, а самый низкий - 1.

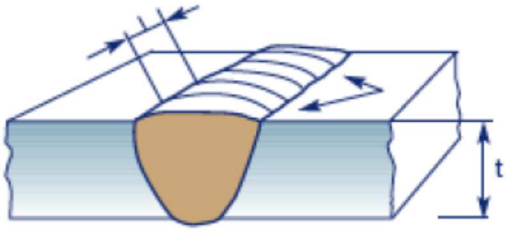
5 - черный цвет
4 - синий цвет
3 - зеленый цвет
2 - коричневый цвет
1 - красный цвет

Сварное соединение по результатам рентгено-контроля может быть пропущено, если оно получило квалификационный балл не ниже 4.

В настоящее время стандарт SS 066101 заменен на стандарты SS-ISO 5817 и SS-EN 25817 с уровнями качества B, C и D.

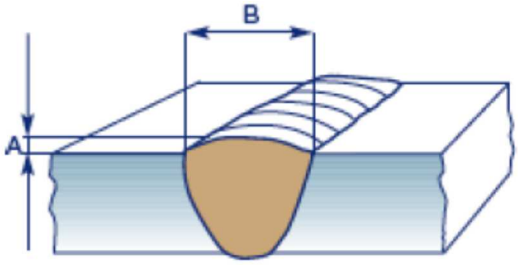
Дефекты при TIG-сварке

Виды дефектов и требования к качеству согласно стандарта SS 066101



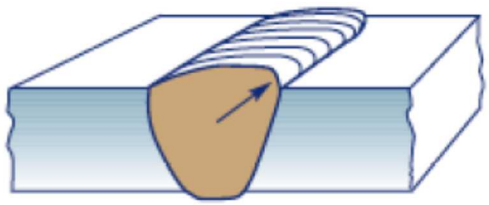
Подрез

Класс шва WB	Допустимы локальные если их глубина A ≤ 0,05 x t, но не более 0,5 мм и длине L ≤ 25 мм
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	По баллу 5 недопустимы, по баллу 4 аналогично классу шва WB



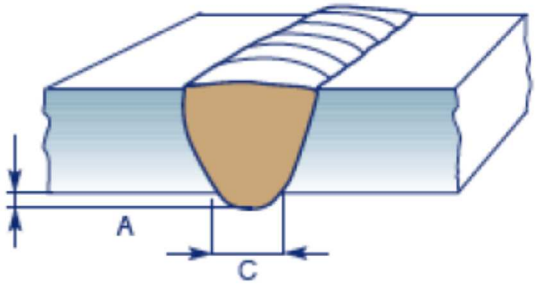
Избыточное усиление – шов симметричного сечения

Класс шва WB	A ≤ 1,5 + 0,05 x B
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB



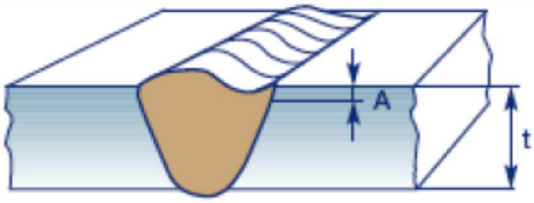
Несимметричность сечения шва – наличие смещения

Класс шва WB	Не допустимо
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB, если балл по шкале IIW ≤3



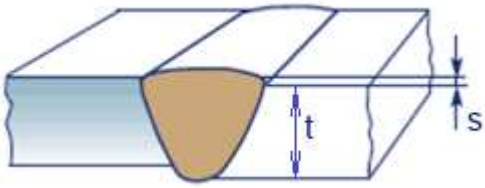
Провисание корня шва

Класс шва WB	A ≤ 1,5 + 0,1 x C
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB



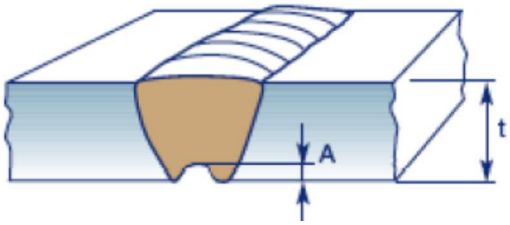
Неполное заполнение разделки

Класс шва WB	A ≤ 0,05 x t, не более 0,5 мм
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB



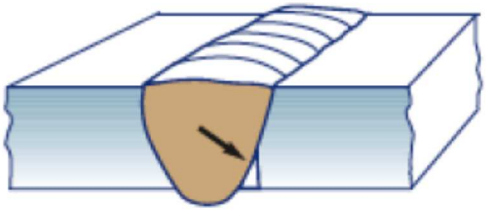
Превышение кромок

Класс шва WB	При t до 5 мм, s ≤ t x 0,5; но не более 1,0 мм При t от 5 до 10 мм, s ≤ t x 0,2 При t более 10 мм, s ≤ t x 0,1 + 1; но не более 4,0 мм
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB



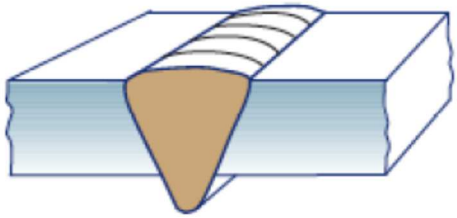
Утяжка корня шва

Класс шва WB	A ≤ 0,05 x t, не более 0,5 мм
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB



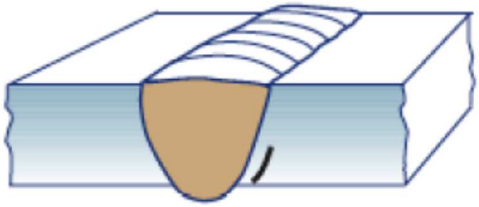
Несплавление

Класс шва WB	Не допустимо
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB



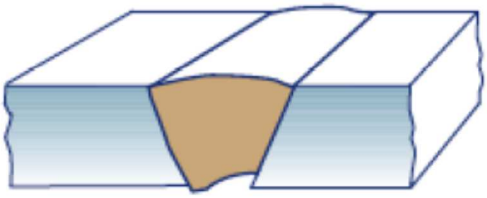
Превышение геометрических размеров шва

Класс шва WB	Не допустимо
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB, если балл по шкале IIW ≤3



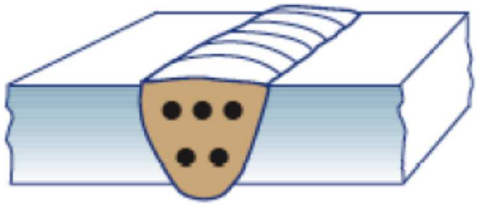
Трещина

Класс шва WB	Не допустимо
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB



Непровар

Класс шва WB	Не допустимо
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB, если балл по шкале IIW ≤3



Поры

Класс шва WB	Допускаются небольшие единичные поры или скопление пор округлой формы. Их размер не более 1/3 толщины металла при условии отсутствия дефектов в остальной части шва. Шлаковые включения приравниваются к крупным порам
Оценка результата рентгено-контроля по шкале IIW	Аналогично классу шва WB, если балл по шкале IIW 4-5

Подготовка кромок под сварку труб

В обычных условиях лучше всего использовать U-образную разделку. Ее можно проточить как на стационарном токарном станке, так и с помощью различных специализированных переносных установок для подготовки торцов труб. U-образная разделка должна иметь «притупление», определенной толщины с заданным радиусом перехода между ним и стенкой разделки. Стенка разделки также должна иметь определенный угол наклона. Очень важно, чтобы геометрические размеры разделок были постоянными для всех стыков, так как сварочное оборудование не может компенсировать различия в подготовке кромок.

Влияние толщины стенки

Толщина стенки играет ведущую роль при выборе конструкции сварного соединения. Изделие можно сваривать плавлением тела изделия (без присадочного материала) до тех пор, пока расплавленная ванна остается стабильной и ее можно контролировать, при условии, что свариваемый материал не требует дополнительной присадки во избежание образования пор.

Так можно сваривать без каких-либо серьезных проблем стыки из аустенитных нержавеющих и углеродистых стали с толщиной стенки приблизительно до 2 мм и с небольшими затруднениями до 3 мм. Стенку толщиной 4 мм сваривать таким способом уже очень сложно, и результаты получаются не очень хорошие, но тем не менее это все равно возможно. Таким же способом можно сваривать и титан, но допустимые толщины стенок надо уменьшать примерно на 20%.

Если речь идет о поворотном стыке трубы, то без разделки кромок можно сваривать и большие толщины. При увеличении толщины стенки увеличивается и объем сварочной ванны, что делает сварку более неустойчивой и затрудненной для контроля.

Противостоять этим проблемам помогает импульсным сварочный ток, а в некоторых случаях импульсным может быть даже вращение. Это приводит к тому, что плавление сварочной ванны чередуется с ее кристаллизацией, и это более эффективно ограничивает размер ванны.

Если размеры сварочной ванны становится слишком большими, необходимо выполнять разделку кромок, а сварка должна выполняться с подачей присадочной проволоки. При этом, сварка должна выполняться не в один проход с очень высоким удельным тепловложением, а в несколько проходов с подачей в сварочную ванну присадочного материала. Поэтому нагрев изделия происходит менее интенсивно, а потому процесс сварки гораздо легче контролировать. Количество проходов зависит от толщины стенки трубы и формы разделки кромок сварного соединения.

Если сварка выполняется без присадочного материала, сварной шов формируется из металл торцов труб, поэтому качество сварного шва во многом зависит от качества подготовки кромок. На качество шва оказывают влияние следующие параметры:

- Стабильность толщины стенки труб
- Плоскостность торцов труб
- Наличие на торце заусенцев
- Овальность труб
- Точность обработки кромок и возможность использования прихваток для сборки стыка
- Чистота концов труб
- Качество основного металла

Чтобы обеспечить хорошее качество шва, колебание толщины стенки по периметру трубы не должно превышать 3%. Неплоскостность торца трубы не должна превышать 1% от толщины стенки. На практике эти условия не должны вызывать каких-либо затруднений, так как большинство предлагаемых современным рынком инструментов, предназначенных для подготовки торцов труб под сварку, способны выполнять эти требования.

Как внутри, так и снаружи трубы, не должно быть заусенцев. Такие материалы, как высоколегированные нержавеющие стали, оказывают очень сильное изнашивающее воздействие на режущий инструмент, что может привести к образованию на обрабатываемых поверхностях подобных дефектов механической обработки. Образовавшиеся заусенцы необходимо удалить. Торцы труб должны плотно, практически без зазора, соприкасаться друг с другом. Зазор не должен превышать 5% от толщины стенки трубы. Соединение перед сборкой должно быть полностью очищено от следов СОЖ или смазок, окислов и грязи.

Качество шва полностью зависит от этих факторов, так как расплавленная ванна может смещаться на какую-либо из стенок стыка и вызывать его неполное проплавление. По этой же причине вольфрамовый электрод должен быть правильно заточен.

Присадочные материалы

Для TIG-сварки используется очень широкий ассортимент расходных сварочных материалов, которые обычно называют «сварочные присадки», и, обычно, они поставляются в виде проволок сплошного сечения которые подаются в расплавленную сварочную ванну без прохождения по ним сварочного тока. Сварочные присадочные материалы можно разделить по их типам на:

- Нелегированные и низколегированные стали
- Высоколегированные стали
- Алюминий и его сплавы
- Магний и его сплавы
- Медь и ее сплавы
- Никель и его сплавы
- Специальные сплавы, например на основе титана, циркония или молибдена

В случае сварки специальных сплавов, для которых соответствующий присадочный материал для TIG-сварки очень трудно найти в продаже или даже заказать, проволоку можно заменить на полосы вырезанные из основного металла. Также, если это позволяет конструкция, присадочным материалом может служить одна из свариваемых фасонных кромок изделия или отбортованные под сварку кромки изделия, которые, расплавляясь, образуют сварной шов.

При автоматической сварке TIG-сварке в качестве присадки используют проволоки на катушках тех же диаметров, что и при MIG/MAG-сварке. Повышенное содержание кремния, которое содержится в этих проволоки в качестве раскислителя и для повышения текучести расплавленного металла, является дополнительным преимуществом, которые может быть использовано для сварочной ванны получаемой методом TIG-сварки.

С точки зрения легирования, проволоки для TIG-сварки содержат в себе повышенное содержание легирующих элементов, что позволяет их, с некоторыми оговорками, использовать и для газо-кислородной сварки. В обратной ситуации, когда проволока предназначена для автогенной сварки, недостаточное легирование не позволяет применять ее для TIG-сварки.

Обычно TIG-сварка предусматривает применение присадочных материалов. Однако, относительно часто можно столкнуться с ситуацией, когда сварку ряда марок высоколегированных сталей выполняют без присадок, только оплавлением кромок изделия. На углеродистых сталях сварка без присадки практически не применяется из-за высокого риска образования пор. Их появления можно избежать за счет использования проволок с повышенным содержанием кремния (Si). Кремний снижает коэффициент поверхностного натяжении расплавленной ванны, благодаря чему растворенные в ней газы легче покидают шов через ее поверхность.

Необходимо помнить, что получить шов без пор можно только на стали спокойной выплавки.

Химический состав присадочной проволоки должен быть таковым, чтобы при сварке не образовывались поры. Например, при автогенной сварке пламя обладает раскисляющими свойствами, в то время как при TIG-сварки такого эффекта нет. Этим объясняется, почему присадочные материалы для газо-кислородной сварки нельзя использовать для TIG-сварки. Защитный газ предохраняет расплавленную ванну только от воздействия окружающей атмосферы. Оксиды, находящиеся на поверхности металла, должны поглощаться элементами-раскислителями, входящими в состав присадочного материала, в данном случае кремнием (Si) и марганцем (Mn). Следы этих раскислительных процессов можно наблюдать в виде небольших островков шлака на поверхности сварного шва.

Вообще говоря, присадочный материал следует выбирать с тем же химическим составом, что и основной металл. На практике, т.к. металл присадки перемешивается с основным металлом, сварочный материал выбирается аналогичным основному или более высокого легирования.

Лучше использовать присадочный материал более высокого легирования, чем недолегированный.

Чем толще металл свариваемого изделия, тем большего диаметра требуется присадка, чтобы быстрее заполнялся стык. Тем не менее, очень важно, чтобы сварочная проволока не соприкасалась с вольфрамовым электродом. Однако, не всегда можно точно сказать какой диаметр подходит лучше, поэтому, для каждого конкретного случая лучше выполнить сварку контрольного образца. Например, при сварке труб с автоматами PRAB/PRC производства ESAB, диаметр проволоки не должен превышать 0,8 мм.

Присадочная проволока должна быть чистой. Ее следует хранить в запечатанной упаковке в сухом незапыленном месте, а этикетка должна иметь четкую маркировку. Чтобы избежать дефектов сварки, проволока должна храниться вдали от источников масла, жира, пыли и влаги. Если проволока находиться на катушке, перед началом сварки необходимо убедиться, что она равномерно намотана, а катушка свободно вращается.

Если кончик проволоки острый, то, прежде чем вставить ее в направляющий канал, торец проволоки необходимо притупить, чтобы предупредить повреждение канала. Любая неровность на поверхности проволоки может оказывать сильное абразивное воздействие на канал и направляющую насадку.

При автоматической сварке, точка ввода проволоки должна быть отрегулирована так, чтобы она попадала в головную часть сварочной ванны.

Также необходимо убедиться, что проволока не будет касаться вольфрамового электрода.

После остановки сварки, кончик проволоки рекомендуется откусить, чтобы предупредить попадание окислов в сварочную ванну.

Угол, под которым проволока вводится в сварочную ванну, влияет на процесс формирования шва. Чем больше угол, тем выше усиление обратного валика корня шва. В то же время, правильно выдержать более острый технически сложнее.

Для начала угол можно установить в пределах 15-30°. В процессе сварки этот угол можно изменять, а также его нужно периодически проверять, чтобы проволока не подавалась мимо ванны.

Проволоки ESAB под брендом Tigrod предназначены для **ручной** сварки неплавящимся электродом, а Autrod – для **автоматической**.

Tigrod обычно поставляются в пеналах по 5 кг длиной по 1000 мм.

Если сварка ручная, а прутки Tigrod по каким-либо причинам в данный момент клиенту не доступны, то в крайнем случае проволоку аналогичного типа можно отрезать от катушки или бобины.

Если для автоматической сварки используется блок подачи проволоки MTC 20 или более современные MEI 20 и MEI 21, следует использовать 200 мм катушки 46-го типа.

Обычно это проволоки диаметром 0,8 мм, но и диаметр 0,6 мм также можно использовать.

Подающие механизмы MTC 20, MEI 20 и MEI 21 стыкуются со сварочными автоматами PRB, PRC, PRF и PRG. Меньшие 100 мм катушки весом по 1 кг, тип 20 или 21 используются с автоматами PRD, PRI, POA и POB. Однако, номенклатура проволок ESAB на таких катушках весьма ограничена, поэтому их обычно приобретают у других поставщиков или перематывают самостоятельно с катушек других размеров.

Нелегированные и низколегированные стали

OK Autrod 12.51, OK Tigrod 12.61

Кремний-марганцовистая омедненная проволока. Применяется для сварки конструкционных углеродистых и низколегированных сталей. Ее применяют для сварки шведских марок SS 1306, 1311, 1312, 1330, 1332, 1330, 1332, 1350, 1411, 1412, 1414, 1432, 1434, 1435, 2101, 2103, 2172, 2174, 2106, 2107, 2116, 2132, 2133, 2134, 2142, 2143, 2144, 2145, Domex 300, 360, 400, OX 520, 525, 525, 540 и 542.

OK Autrod 12.64, OK Tigrod 12.64

Омедненная кремний-марганцовистая проволока для сварки для сварки нелегированных и низколегированных конструкционных сталей с номинальным пределом прочности 510-570 МПа. Ее применяют когда требуется более высокое содержание марганца и кремния в сравнении с OK Autrod 12.51 (OK Tigrod 12.61). Предел текучести у нее также выше. Химический состав наплавленного металла близок к OK Autrod 12.51 (OK Tigrod 12.61), однако, более высокое содержание в проволоки раскислителей позволяет снизить риск образования пор в сварном шве, а дополнительный Si позволяет также улучшить смачиваемость кромок основного металла. Однако, надо учитывать, что повышение кремния увеличивает склонность шва к образованию горячих трещин.

OK Tigrod 13.09

Легированные молибденом прутки, предназначенные для ручной сварки «легких» теплоустойчивых сталей легированных 0,5% Mo или высокопрочных сталей типа OX 602 и ей аналогичных. OK Tigrod 13.09 рекомендуется для сварки высокопрочных стали, когда требуются более высокая прочность на разрыв и ударная вязкость, чем это может обеспечить OK Autrod 12.51 (OK Tigrod 12.61).

OK Tigrod 13.12

Хром-молибден легированные прутки, предназначенные для ручной сварки теплоустойчивых, а также некоторых марок низколегированных высокопрочных сталей. Из шведских марок теплоустойчивых эту проволоку можно применять для SS 2216, 2223 и 2225 и им аналогичных сталей, из низколегированных высокопрочных для сталей OX600, OX800, USST1 и т.п. Для снижения риска образования холодных трещин, при сварке толщин более 8-10 мм, необходимо выполнять предварительный подогрев стыка и поддерживать межпроходную температуру около 150-200° С.

OK Tigrod 55

Низколегированные прутки, предназначенные для ручной сварки высокопрочных сталей, когда к сварному шву предъявляются высокие требования по ударной вязкости при низких температурах. При сварке необходимо выполнять предварительный подогрев стыка и поддерживать межпроходную температуру около 150-200° С, особенно для толщин более 8-10 мм.

OK Tigrod 13.22

Хром-молибден легированные прутки для ручной сварки теплоустойчивых сталей шведских марок SS 2218, 2224 и им аналогичных, таких как UHB Stato 28, Bofors RO 211, Sandvik HT8.

Типичный химический состав проволок

Проволока	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
12.51/12.61	0,1	0,85	1,5			
12.64	0,1	1,0	1,7			
13.09	0,1	0,6	1,1		0,5	
13.12	0,1	0,6	1,0	1,1	0,5	
55	0,1	0,7	1,4	0,6	0,25	0,55
13.22	0,7	0,6	1,0	2,5	1,0	

Высоколегированные и кислотостойкие стали

OK Autrod 308L, OK Tigrod 308L

Нержавеющая проволока с предельно низким содержанием углерода предназначенная для ручной и автоматической TIG-сварки нержавеющих сталей, содержащих около 19% Cr и 10% Ni.

OK Autrod 347Si, OK Tigrod 347Si

Нержавеющая проволока стабилизированная ниобием, предназначенная для ручной и автоматической TIG-сварки нержавеющих сталей типа 19% Cr, 8% Ni, Nb или 19% Cr, 9% Ni, Ti.

OK Autrod 308LSi, OK Tigrod 308LSi

Нержавеющая электродная проволока с предельно низким содержанием углерода предназначенная для ручной и автоматической TIG-сварки аустенитных сталей типа 19% Cr, 10% Ni, таких как шведские марки SS 2352, 2333, 2332, 2337, 2338 или их эквиваленты.

OK Autrod 316L, OK Tigrod 316L

Нержавеющая проволока с предельно низким содержанием углерода предназначенная для ручной и автоматической TIG-сварки кислотостойких сталей, типа 19% Cr, 10% Ni, 2-3% Mo.

OK Autrod 318Si, OK Tigrod 318Si

Дополнительно легированная ниобием проволока, предназначенная для ручной и автоматической TIG-сварки Ti и Nb-стабилизированных так называемых кислотостойких сталей типа 18% Cr, 12% Ni, 3% Mo. Молибден повышает стойкость к питтинговой коррозии, позволяя повысить допустимую температуру контактирующей с изделием агрессивной среды.

OK Autrod 316LSi, OK Tigrod 316LSi

Нержавеющая электродная проволока с предельно низким содержанием углерода предназначенная для ручной и автоматической TIG-сварки аустенитных кислотостойких сталей, таких как шведские марки SS 2353 и 2343, а также идентичных им сталей соответствующих другим стандартам или нержавеющих сталей с более низким легированием.

OK Autrod 309Si

Высоколегированная нержавеющая проволока предназначенная для автоматической TIG-сварки коррозионностойких сталей с конструкционными низколегированными и углеродистыми сталями, а также для наплавки переходных слоев при сварке изделий из двухслойных сталей. Учитывая разбавление присадочного металла основным металлом изделия, шов получаемый при сварке нержавеющей стали SS 2333 (типа AISI 304L) с «черной», не содержит хрупких мартенситных структур.

OK Autrod 309L, OK Tigrod 309L

Высоколегированная нержавеющая проволока с низким содержанием углерода применяемая для сварки проката или литья из аналогичных сплавов. Эта проволока также подходит для ситуаций, связанных с коррозионной стойкостью шва, когда для него требуется более высокое легирование, чем для основного металла. Она также применяется для сварки разнородных сталей, таких как «18/8», с нелегированной или низколегированной, а также для наплавки переходного слоя при сварке изделий из плакированных сталей.

OK Autrod 2209, OK Tigrod 2209

Высоколегированная нержавеющая проволока, предназначенная для сварки аустенитно-ферритных, так называемых «дуплексных», сталей, типа 1.4462, SAF 2205, Avesta 2205 и SS 2377. Металл сварного шва чрезвычайно устойчив к различным видам коррозий.

OK Autrod 16.95, OK Tigrod 16.95

Аустенитная нержавеющая сварочная проволока с высоким содержанием марганца. Разработана специально для сварки тяжело свариваемых и разнородных сталей. В основном используется для соединения сталей типа 18/8 с углеродистыми и низколегированными сталями.

Типичный химический состав проволок

Проволока	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	N
308L	≤0,03	0,4	1,8	20	10			
347Si	≤0,08	0,8	1,8	20	10		0,7	
308LSi	≤0,03	0,85	1,8	20	10			
316L	≤0,03	0,4	1,8	18,5	12	2,7		
318Si	≤0,08	0,8	1,8	19	12	2,6	0,7	
316LSi	≤0,03	0,85	1,8	18,5	12	2,7		
309Si	0,08	0,8	1,8	23,5	13,5			
309L	≤0,03	0,4	1,8	24	13			
2209	≤0,025	0,5	1,5	22	8,5	3,2		0,16
16.95	≤0,2	0,85	7	18,5	8,5			

Алюминий и его сплавы

OK Autrod 1070, 1450, OK Tigrod 1070, 1450

Чистая алюминиевая проволока с содержанием Al 99,5% для TIG и ацетилено-кислородной сварки алюминия и его сплавов (для ацетилено-кислородной сварки требуется специальный флюс). Разница между 1070 и 1450 заключается в том, что в 1450 добавлено немного титана для повышения сварочно-технологических свойств (наплавленный металл получается более мелкозернистым, благодаря чему менее склонен к образованию трещин). Эти проволоки применяют для сварки шведских алюминиевых марок сплавов типа SS 4005, 4007, 4008 и 4010.

OK Autrod 4043, OK Tigrod 4043

Алюминиевая проволока легированная 5% кремния для ручной и автоматической TIG-сварки алюминиевых сплавов типа Al-Si и Al-Mg-Si с содержанием кремния до 10%. Рекомендуется для сварки шведских алюминиевых сплавов марок типа SS 4104, 4212, 4224, 4230, 4231, 4244, 4251 и 4253.

OK Autrod 5356, OK Tigrod 5356

Алюминиевая проволока легированная 5% магния для TIG-сварки алюминиевых сплавов типа Al-Mg стойких к коррозии в морской воде с содержанием магния до 5%. Обладает более высокой стойкостью к образованию трещин в сравнении с Al-Mg проволоками с меньшим содержанием магния.

OK Autrod 5183, OK Tigrod 5183

Алюминий-магний-марганцовистая проволока для TIG-сварки высокопрочных алюминиевых сплавов типа EN AW 5083 ему аналогичных.

Типичный химический состав проволок

Проволока	Al	Zn	Fe	Si	Mn	Mg
1070	99,7	≤0,04	≤0,25			
4043	осн.	≤0,1	≤0,4	5,0	≤0,05	
1450*	99,5	≤0,07	≤0,4			
5356	осн.		≤0,4	≤0,25	≤0,2	5,0
5183	осн.		≤0,4	≤0,25	0,7	4,8

** В проволока 1450 дополнительно легирована 0,2% Ti*

Другие материалы

OK Autrod 19.12, OK Tigrod 19.12

Медная проволока для ручной и автоматической TIG-сварки чистой меди и низколегированных медных сплавов. Рекомендуется для сварки шведских медных марок сплавов типа SS 5010, 5011, 5013 и 5015.

Фасовка: катушки с проволоками диаметром 1.0, 1.2 и 1.6 мм по 15 кг, пеналы с прутками длиной 1000 мм диаметром 2.0 и 2.4 мм по 5 кг.

Типичный химический состав: Mn=0.25%, Si=0.25%, Sn=0.7%, Cu min 98%.

OK Autrod 19.40, OK Tigrod 19.40

Проволока из алюминиевой бронзы, для ручной и автоматической TIG-сварки. Применяется для сварки и наплавки проката и литья из алюминиевых бронз. Наплавленный металл характеризуется высокой прочностью, хорошей износостойкостью, великолепной коррозионной стойкостью, в том числе в соленой воде.

Фасовка: бобины MaraphonPac диаметром 1.0 и 1.2 мм по 100 и 200 кг, катушки с проволокой 1.0 мм по 5 кг, катушки с проволоками диаметром 0.8, 1.0 и 1.2 мм по 15 кг, пеналы с прутками длиной 1000 мм диаметром 2.4 мм по 5 кг.

Типичный химический состав: Al=8%, Mn≤0.5%, Fe≤0.5%, Cu основа.

OK Autrod 19.49, OK Tigrod 19.49

Медная-никелевая проволока для ручной и автоматической TIG-сварки мельхиоровых сплавов типа 90% Cu + 10% Ni, 80% Cu + 20% Ni и 70% Cu + 30% Ni. Наплавленный металл характеризуется великолепной коррозионной стойкостью, в том числе в соленой воде.

Фасовка: катушки с проволоками диаметром 1.2 мм по 15 кг, пеналы с прутками длиной 1000 мм диаметром 1.6, 2.0 и 2.4 мм по 5 кг.

Типичный химический состав: Ni=30%, Mn=0.8%, Fe=0.5%, Ti=0.3%, Cu основа.

OK Autrod NiCrMo-3, OK Tigrod NiCrMo-3

Проволока применяется для сварки коррозионностойких и жаропрочных сплавов, сталей легированных 9%Ni и им аналогичных, обеспечивающих высокие показатели ударной вязкости при криогенных температурах, а также соединения различных разнородных материалов.

Наплавленный металл имеет хорошие механические характеристики при высоких и низких температурах, обладает хорошей устойчивостью к питтинговой коррозии и коррозионному растрескиванию под напряжением.

Фасовка: бобины MaraphonPac с проволоками диаметром 1.0, 1.1, 1.2 и 1.6 мм по 150, 250 и 500 кг, катушки с проволоками диаметром 0.9, 1.0, 1.1, 1.2 и 1.6 мм по 5 и 15 кг, пеналы с прутками длиной 1000 мм диаметрами 1.6, 2.0, 2.4 и 3.2 мм по 5 кг и длиной 500 мм диаметрами 1.6, 2.0 и 2.4 мм по 1 кг.

Типичный химический состав: Ni min 60%, Cr=22%, Mo=9%, Nb=3.5%

OK Autrod NiCr-3, OK Tigrod NiCr-3

Проволока типа Inconel 82. Применяется для сварки высоколегированных жаропрочных и коррозионностойких сплавов.

Фасовка: катушки с проволоками диаметром 0.8, 1.0, и 1.2 мм по 15 кг, пеналы с прутками длиной 1000 мм диаметрами 1.6, 2.0 и 2.4 мм по 5 кг.

Типичный химический состав: Ni min. 67%, Cr=20%, Nb=2.5%, Mn=3%

Автоматизация TIG-сварки

Историческое прошлое

Автоматическая сварка труб получила свое начало в первой половине 50-х годов в Южной Калифорнии, на предприятиях появившейся тогда аэрокосмической промышленности. Здесь были разработаны первые сварочные головки для TIG-процесса. Когда эти разработки начали показывать положительные результаты, к процессу их создания подключились и другие компании предлагая рынку все более сложное оборудование. В первую очередь речь шла о дизайне механической части сварочной головки.

Изначально использовались стандартные источники питания. Затем, их стали адаптировать под соответствующие новые требования, предъявляемые разрабатываемым оборудованием.

Первое поколение головок было способно выполнять сварку только без присадочных проволок. Впоследствии были разработаны механизмы подачи проволоки, что позволило сваривать более толстые металлы. Применение присадочных проволок также позволило допустить некоторую степень искривления оси трубопровода, что было бы критично, если бы сварка выполнялась только оплавлением кромок изделия. Подача проволоки в сварочную ванну позволяла легче справиться с такими неточностями сборки.

Примерно в это же время была разработана система автоматического слежения за дугой по напряжению (АРНД). Данная система позволяла во время сварки автоматически контролировать расстояние между электродом и изделием. Это было особенно важно, когда заполнение разделки выполнялось в нескольких проходов. Затем, в этот механизм перемещения горелки была добавлена функция ее поперечного колебания.

Современные сварочные головки имеют небольшой вес, легко инсталлируются на изделие и способны выполнять высококачественную сварку с использованием всех перечисленных выше функций.

Современное производство потребовало наличие электронных систем, которые бы с высокой точностью могли бы контролировать сварочный ток и остальные функции которыми наделена сварочная головка, поэтому производители начали разрабатывать источники питания, позволяющие автоматически контролировать эти параметры. Изначально эти источники строились на основе релейных схем и имели аналоговое управление. Их возможности были ограничены тем, что позволяли контролировать очень ограниченное число параметров, а операторы были вынуждены непрерывно отслеживать процесс сварки.

Разработка микропроцессоров создала дополнительные возможности управления процессом. Теперь такое оборудование можно смело назвать полностью автоматизированным. Серьезный технический прорыв в этой области произошел в начале 80-х годов. Для мониторинга процесса стали использовать инфракрасные датчики и видеокамеры. В роботизированных комплексах также стали использовать процесс TIG-сварки.

Примеры применения

В некоторых случаях, автоматизация процесса сварки не представляется возможным или целесообразной, поэтому, для полноценного использования подобного оборудования, необходимо учитывать ряд факторов:

Возможность сварки

Является ли сварной шов прямолинейным? Можно ли его выполнить только за счет вращения изделия или требуются более сложные движения? Можно ли сварку выполнить только оплавлением кромок или потребуется подача присадочной проволоки? Нужна ли присадка для подавления процесса порообразования?

Допуски и отклонения

Достаточно узок диапазон отклонений геометрических размеров сварного стыка, чтобы процесс сварки можно было каждый раз выполнять на одних и тех же режимах?

Металлургические факторы

Является ли выбранный материал изделия свариваемым? Одобрены ли выбранные материалы для производства вашей конструкции или потребуется их сертификация? Достаточно ли постоянен ли химический состав применяемого вами металла от партии к партии?

Требования заказчика / к качеству

Требуется ли автоматизация сварки или же достаточно квалификации сварщика и небольшой механизации процесса?

Массовость производства

Есть ли смысл приобретать установку для выполнения ограниченного числа сварных швов? Позволяют ли существующие объемы производства в полной мере загрузить приобретаемую установку, чтобы обеспечить ее окупаемость, а если нет, планируется ли в ближайшей перспективе расширение объемов производства?

Требования к оператору

Даже самые квалифицированные сварщики устают и теряют концентрацию, чего не происходит с автоматическим оборудованием. Однако, есть ли у клиента сотрудники, обладающие минимально необходимым объемом знаний и готовые изучить и использовать новые технологии? Когда сварщики впервые сталкиваются с автоматическим оборудованием, остро встает вопрос, готовы ли они отказаться от своих устоявшихся стереотипов работы и принять новые знания, не сформировав в своем сознании отрицательное отношение к вопросу автоматизации процесса? Если персонал не готов к изменению своих мировоззрений, то приобретение автоматического комплекса приведет лишь к экономической неудовлетворенности заказчика предложенным ему решением.

Применяемость автоматического оборудования

Автоматическое оборудование для сварки труб наиболее подходит для случаев, когда имеется много однотипных сварных швов. Лучше всего, если это прямые кольцевые стыковые швы. Машина выполняет сварку, при этом оператор не испытывает физических напряжений. Машина каждый раз сваривает идентичные швы в соответствии с установленной отработанной программой, при условии, что кромки хорошо подготовлены, а оператор точно собирает стыки труб и каждый раз на одинаковом расстоянии от стыка фиксирует сварочную головку.

Преимущества автоматической сварки

Автоматика может поддерживать длину дуги значительно более точно, чем сварщик при ручной сварке. В частности, автоматическим оборудованием для орбитальной сварки легко сваривать тонкостенные трубы, а работа на нем фактически сводиться к вопросу простого нажатия кнопки «Пуск/Стоп», однако, если качество подготовки кромок и сборки не очень хорошее, требуется постоянный контроль за процессом. В этом случае необходимо иметь пульт дистанционного управления, чтобы в процессе сварки можно было изменять такие параметры, как ток или позиционирование горелки относительно стыка. Параметры сварки стандартных труб или труб, которые клиент наиболее часто сваривает, можно сохранять в базе программ оборудования и вызывать раз при сварке того же типа труб. Другие преимущества заключаются в следующем:

- Проще сваривать трубы, для которых критичен перегрев
- За счет программирования проще свести к минимуму величину усиления внутреннего и наружного валиков шва
- Повторяемость результата сварки в любой точке шва
- Более надежная сварка тяжело свариваемых материалов
- Шаговое вращение и пульсирующая подача проволоки облегчают контроль сварочной ванны
- Повышение производительности
- Получение, идентичных сварных швов с хорошим товарным видом
- Снижение количества дефектов
- Сварщиков проще обучить
- Улучшение условий труда сварщика

Рентабельность

Заказчику, прежде чем давать заявку на приобретение автоматического оборудования, необходимо провести тщательный анализ разновидностей сварных швов, чтобы указать их в техническом задании. Если подрядчик/заказчик уже имеет оборудование которое позволяет решать его задачи ручной сваркой, то можно поднимать вопрос о механизации этого процесса. Внедрение механизированного оборудования не на много сложнее, чем процесса использования оборудования для ручной сварки. Когда клиент задумывается о покупке оборудования, важно, чтобы в своих расчетах он учитывал не только прямые затраты. Экономические расчеты также должны учитывать перспективы его дальнейшего развития и улучшение качества за счет автоматизации TIG-сварки. В зависимости от количества сварных швов и их длины, машина должна окупиться через примерно через 12 месяцев. Если загрузка оборудования не будет приносить расчетную прибыль, можно задуматься о сдаче его в аренду. Важно, чтобы заказчик был настроен позитивно, чтобы ему уделялось достаточное внимание, так как от этого зависит успешность внедрения приобретаемого им оборудования.

Требования к квалификации клиента

Во многих случаях заказчик указывает, что ему необходимо автоматическое оборудование для сварки труб. Иногда это связано с требованиями к качеству, которые предъявляются в сварному шву. Они могут относиться к глубине проплавления, величине зоны термического влияния, допустимости утяжки и цвету сварного шва, его внешнему виду и пористости. Виды оценок качества сварного шва можно разделить на визуальные и с использованием различных методов инструментального контроля. Визуальные оценки включают в себя:

- Наличие менисков
- Наличие непроваров корня шва
- Провисание корня шва
- Смещение кромок
- Ширина сварочного шва
- Цвета побежалости поверхности шва
- Поверхностные трещины

Сварка в узкий зазор

Введение

TIG-сварка – это хорошо зарекомендовавший себя способ сварки, когда к сварным швам предъявляются очень высокие требования к их качеству. Однако, из-за относительно низкой производительности этого способа, корневой проход часто выполняют TIGом, а заполнение MMA-сварка.

Но TIG-сварку можно использовать и для заполнения всего сечения сварного соединения т.к. они имеет ряд качественных преимуществ. Одним из них является возможность уменьшения углов раскрытия кромок, и, тем самым, снижение объемов наплавляемого металла при сварке толстостенных изделий.

Это достигается TIG-сваркой в узкий зазор характеризующейся очень небольшой шириной разделки и малым объемом наплавляемого металла. Сварка возможна во всех пространственных положениях и применяется в основном для нержавеющих и углеродистых сталей. Увеличение производительность становиться заметным при толщине стенок более 7 мм. К преимуществам сварки в узкощелевую разделку относятся:

- Сокращение времени сварки - повышение производительности
- Меньшие сварочные напряжения и деформации
- Снижение расхода сварочных материалов

Для сварки в узкий зазор труб компания ESAB предлагает своим клиентам сварочную головку PRD, стыкуемую с программируемыми инверторными источникам питания PROTIG 250 или PROTIG 315.

Общие рекомендации

Ниже даны наиболее общие рекомендации и предупреждения связанные с выполнении TIG в узкий зазор головкой для сварки труб PRD.

Основной металл

Можно сваривать трубы из различных марок высоколегированных и конструкционных сталей с толщиной стенки до 80 мм.

Подготовка кромок

Параметры разделки кромок варьируется в зависимости от материала. Для углеродистой стали суммарный угол раскрытия кромок делают около 4º, а величину притупления 3-4 мм. При сварке аустенитной нержавеющей стали угол раскрытия увеличивается до 6º, а притупление уменьшают до 2-3 мм. Проточку кромок выполняют специальной орбитальной фаскорезательной машиной, причем обработать надо не только торцы, но и внутреннюю поверхность трубы, чтобы компенсировать отклонения толщины ее стенки. Кромки стыка должны быть тщательно очищены перед сваркой. Для очистки можно использовать ацетон или какой-либо спирт.

Подключение кабеля массы к заготовке

При сварке в узкий зазор важно, чтобы между заготовкой и источником питания было хороший электрический контакт. Если контакт недостаточно надежен, это может вызвать эффект магнитного дутья. Наилучшим способом предотвращения данной проблемы является установка медного хомута вокруг трубы и подключение его к источнику питания.

Сборка стыка

Прихватку стыка можно выполнить как ручной горелкой, так и горелкой непосредственно головки PRD. С точки зрения качества газовой защиты мы рекомендуем использовать головку PRD. Другой проблемой ручной прихватки является то, что очень ограничен доступ к собираемым кромкам в узком зазоре стыка. Очень важно, чтобы трубы правильно центрировались относительно друг друга во время сборки. Это центрирование лучше всего выполнять на специальных сборочных приспособлениях. ESAB не может рекомендовать какой-либо конкретный тип сборочного центратора, т.к. их разрабатывают под каждый отдельный случай.

Чтобы избежать дефектов в корневом проходе, прихватки после сборки необходимо подчистить.

Сварочные инструменты

Очень важно устанавливать направляющий рельс, по которому перемещается сварочная каретка, строго параллельно сварному швом по всему периметру трубы. В противном случае потребуется корректировать положение горелки в процессе сварки с помощью блока дистанционного управления.

Предварительный подогрев стыка

В ряде случаев может возникнуть необходимость в предварительном подогреве стыка до температур порядка 200° С. В этом случае следует использовать рекомендуемый в инструкцией направляющий рельс, предназначенный для работы при повышенных температурах. У этих направляющих установочные опорные шпильки должны быть длиннее, поэтому для крепления горелки с газовым соплом для сварки в узкий зазор

необходимо использовать специальную промежуточную пластину.

Электроды

После того, как были сняты с производства вольфрамовые электроды, легированные 2% оксида тория, для сварки в узкий зазор рекомендуется использоваться лантанированный электрод. Его рабочий конец должен быть заточен так, чтобы угол при вершине составлял около 45°.

Стандартный диаметр электрода для сварки в узкий зазор составляет Ø 3,2 мм. Также можно использовать электрод диаметром Ø 4,0 мм. Положение электрода должно быть таким, чтобы его острие было направлено на ось трубы. Чтобы откорректировать положение электрода относительно линии стыка время сварки, необходимо использовать функцию перемещения горелки +/- на пульте дистанционного управления.

Механизм подачи проволоки

Головка PRD укомплектована механизмом подачи присадочной проволочной, установленном на сварочной каретке. Чтобы гарантировать стабильность скорости подачи проволоки, направляющие каналы необходимо периодически продувать и регулярно осматривать. Механизм подачи укомплектован системой правки проволоки, которая необходима при сварке головкой PRD. Она представляет собой набор роликов, проходя через которые скрученная на катушку проволока выпрямляется.

Присадочная проволока

Диаметр используемой присадочной проволоки должен быть в диапазоне 0,8-1,2 мм. Угол между касательной к поверхности изделия и проволокой должен быть составлять около 25- 30°.

Защитный газ

Для повышения скорости сварки и улучшения смачиваемости кромок, рекомендуется использовать газовую смесь, которая содержит 70% He + 30% Ar. Для сварки аустенитных нержавеющих сталей также можно использовать смесь водорода и аргона. Расход газа должен составлять около 15-20 литров в минуту.

Поддув корня шва

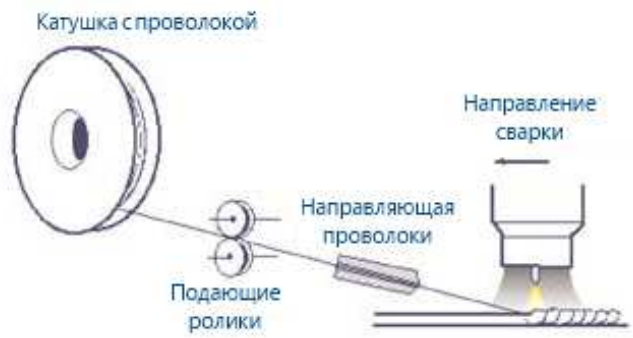
При сварке нержавеющих сталей, чтобы избежать окисления в корня шва, необходимо использовать газ для его защиты. В качестве него используют аргоном или азото-водородную смесь. Для полного вытеснения воздуха защитным газом из корневой полости, его обычно уходит от семи до девяти объемов этой полости. Расход газа на поддув обычно составляет шесть литров в минуту. При сварке нелегированной или низколегированной стали корень обычно не защищают.

Процесс сварки

Чтобы гарантировать хорошее смачивание кромок стыка, сварка как правило выполняется с режиме импульсного тока. Облицовочный проход обычно выполняется с поперечными колебаниями горелки. Скорость сварки корневого прохода составляет около 0,8 мм/с и 1,0-2,5 мм/с для заполняющих проходов. Производительность наплавки варьируется, но обычно она составляет 0,5-0,7 кг/час

Сварка корневого шва

При сварке корневого прохода проволока всегда должна поступать с головную часть сварочной ванны. Во избежание образования утяжки корня в положении «6 часов» при сварке корневого прохода, необходимо четко отрегулировать количество подаваемой проволоки при сварке контрольных стыков. Эти параметры необходимо сохранить в программе сварки.



Заполняющие проходы

Первый заполняющий проход после корневого шва должен выполняться с подачей проволоки обязательно в головную часть сварочной ванны.

Для остальных заполняющих проходов проволока может подаваться как спереди, так и сзади. Это достигается за счет изменения направления движения сварочной каретки.

Процедура изменения направления сварки может быть заранее запрограммирована. Однако, когда проволока подается в головную часть ванны, важно очень точно настроить точку ввода проволоки, иначе она может коснуться электрода или не попадать в расплавленную ванну. Эту настройку можно выполнять ручную между проходами вовремя самой процедуры сварки или заложить в программу сварочного процесса.

Напряжение на дуге, при сварке заполняющих проходов, обычно увеличивают на 0,4 вольта в сравнении с корневым.

Облицовочный проход, как правило, выполняют с поперечными колебаниями горелки, чтобы получить не очень высокое усиление шва и обеспечить визуально плавный переход между сваренными трубами.

Требование к персоналу

Процесс TIG-сварки в узкощелевую разделку с использованием головки PRD должен выполняться обученным оператором. Он должен обладать базовыми знаниями по TIG-сварке, и пройти примерно недельный курс подготовки по специфике TIG-сварки в узкий зазор.

Аннотация

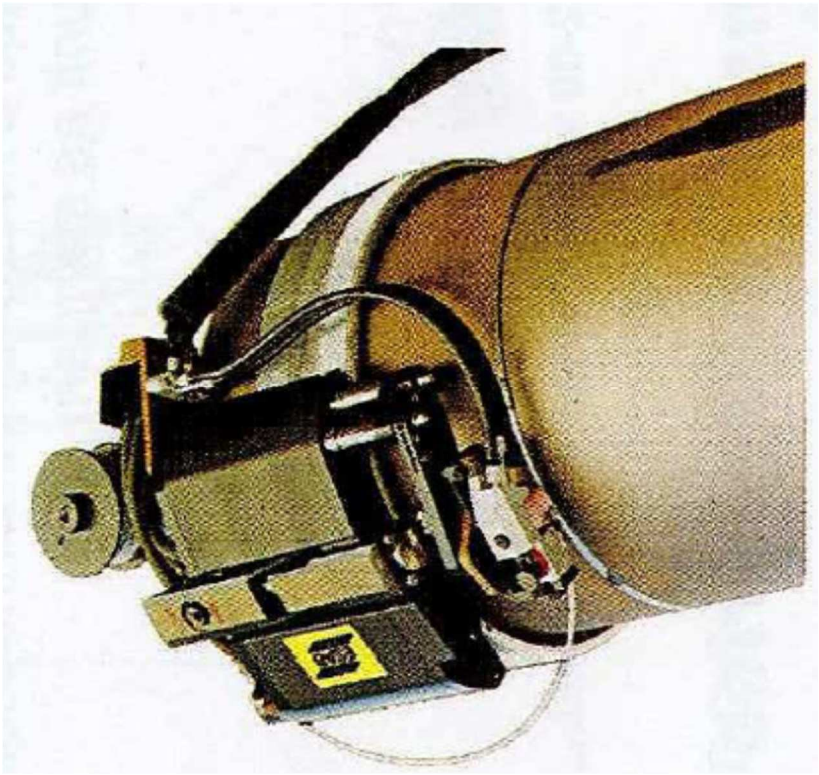
Наиболее важными требованиями, касающимися TIG-сварки в узкощелевую разделку с использованием головки PRD, являются:

Крепление кабеля массы:	Через медный хомут вокруг трубы
Электрод:	Вольфрамовый с 1,5% диоксида лантана
Диаметр электрода:	Ø 3,2 или 4,0 мм
Угол заточки электрода:	45°
Диаметр присадочной проволоки:	Ø 0,8…1,2 мм
Угол ввода проволоки в ванну:	25…30°
Защитный газ:	70% He + 30% Ar
Расход защитного газа:	15…20 л/мин
Газ для защиты корня шва:	Аргон или азото-водородная смесь
Продувка внутренней полости трубы:	7…9 объемов этой полости
Скорость сварки	
- корневой проход:	0,8 мм/с
- заполняющие проходы:	1…2,5 мм/с
Производительность наплавки:	0,5…0,7 кг/час для заполняющих проходов

Примеры применения

Спецификация:

Оборудование:	A21 - PROTIG
Головка:	PRD
Материал трубы:	S355J0 (1.0553)
Наружный диаметр трубы:	Ø 350 мм
Толщина стенки трубы:	t = 17,5 мм
Пространственное положение стыка:	G5 (вертикальное)
Присадочная проволока:	OK Autrod 12.64
Диаметр присадочной проволоки:	Ø 1,2 мм
Марка электрода:	WL-15 Gold Plus
Диаметр электрода:	Ø 3,2 мм
Угол заточки электрода:	45°
Защитный газ:	70% He + 30% Ar
Стартовая позиция горелки	
- корневой и первый заполняющий:	На 2 часа, сварка против часовой стрелки
- последующие проходы:	На 12 часов, сварка против часовой стрелки
Время горения дуги:	90 мин
Общее время сварки:	120 мин
Скорость сварки	
- корневой проход:	0,8 мм/с
- заполняющие проходы:	1,22 мм/с



Сварка алюминия

Двумя доминирующими способами сварки алюминия являются процессы MIG и TIG-сварки, при этом алюминиевые сплавы также сваривают плазменной и контактной сваркой, а также покрытыми электродами. TIG-сварка лучше подходит для небольших по размеру изделий, в ситуациях, когда требуется красивый внешний вид шва и при односторонней сварке, когда доступ к корню шва с обратной стороны невозможен, например, при сварке труб. Обычно алюминий сваривают на переменным током.

Для алюминия представляет интерес процесс сварки MIG-puls, который быстро завоевывает популярность среди потребителей. Главным его преимуществом является то, что он обеспечивает стабильный струйный перенос плавящейся проволоки даже на малых токах, что приводит к эффективному контролю сварочной ванны и минимальному разбрызгиванию. Также снижается риск возникновения дефектов сварного шва.

При автоматической сварке алюминиевых труб, особенно если сварка выполняется в положении 5G, необходимо учитывать следующие специфические моменты, связанные со сваркой алюминиевых сплавов.

Для получения качественного результата по всему периметру шва необходимо отработать параметры сварки на каждом из секторов трубы, которые позволят обеспечить полный контроль за сварочной ванной и сохранить в памяти оборудования эту программу. Одной из особенностей алюминия является высокая температура плавления его оксидной пленки, которая образуется на поверхности заготовки. Если этот оксид смешивается с металлом расплавленной ванны, то образуются дефекты сварного шва.

Преимущество TIG-сварки переменным током в связи с заключается в том, что при сварке на таком токе происходит эффективное разрушение этого оксида, однако, источники питания AC/DC тока обычно не производятся программируемыми.

Разрушения этого оксида можно быть также добиться при сварке на постоянным токе обратной полярности («+» полюс на электроде). Но недостатком этого метода, однако, является то, что электрод на этой полярности может перегреваться и плавиться, тем сильно самым снижается допустимая плотность тока, протекающего через электрод.

Сварка алюминия на постоянном токе

В последние годы были разработаны процессы сварки алюминиевых труб с использованием источника ESAB A21 PROTIG и новой сварочной головки PRI. В этом случае сварка выполняется на постоянном токе прямой полярности – электрод подключается к минусу. Для получения хорошего результата сварки необходимо соблюдать ряд условий. Они заключаются в следующем:

- В качестве защитного газа использовать чистый гелий
- Необходимо применение присадочных материалов
- Угол заточки электрода при вершине 30°
- Непосредственно перед началом сварки кромки необходимо обезжирить и зачистить стальной щеткой
- Приложить осевое усилие на торцы труб для устранения возможных зазоров

Использование гелия в качестве защитного газа предъявляет к источнику питания и сварочной головке отдельные требования. Гелий трудно ионизируется, поэтому некоторые источники питания оснащены функцией стартового газа, когда дуга зажигается в чистом аргоне, после чего источник питания автоматически переключается на подачу гелия. Использование лантанированных электродов также облегчает поджиг дуги.

Другое нюанс, который надо учитывать, состоит в том, что напряжение на дуге при использовании гелия примерно на 40% выше, чем напряжение на аргоне. Поэтому желательно, чтобы головка была оснащена системой АРНД. В противном случае малейшее изменение длины дуги может оказать существенное влияние на дуговое напряжение и, следовательно, на величину тепловложения.

ESAB производит универсальные головки для сварки алюминиевых тру. Они известны как PRI и выпускаются для труб следующих диаметров: 36…80 мм, 71…160 мм и 140…220 мм. Эти головки оснащены системой автоматического слежения за длиной дуги по напряжению (АРНД) и блоком подачи присадочной проволоки. Эти опции также включены в конструкцию головок PRD для больших диаметров, а потому их также можно использоваться для сварки алюминия.

Инструкции

Нижеприведенная инструкция содержит описание всех операций и переходов, которые необходимо выполнять при сварке встык труб из свариваемых алюминиевых сплавов головками PRD и PRI укомплектованных источниками питания инверторного типа PROTIG 250 или PROTIG 315.

Основной металл

Материалом трубы должен быть свариваемый алюминиевый сплав, соответствующий стандарту DIN 1746.

Торцовка кромок

Без разделки можно сваривать толщины до 3 мм. Наружная кромка стыка должна быть максимально прямоугольной, а внутренняя скруглена до радиуса r=0,5 мм. Допуск на толщину стенки трубы не должен превышала 0,05 мм, а эллипсность трубы после обработки не превышала 0,2 мм.

Очистка труб

При необходимости, концы трубы должны быть обезжирены и протравлены на расстоянии 100 мм от свариваемого торца трубы, чтобы удалить загрязнения, оставшиеся после ее торцовки. Средство для обезжиривания: ацетон, спирт или щелочные моющие средства. Травильное средство: на 1 л воды 65 г хромовой кислоты H_2CrO_4 и 15 мл 85% ортофосфорной кислоты H_3PO_4, время травления 2…10 минут. Также свариваемые поверхности можно очистить вращающейся щеткой из нержавеющей стали.

Окончательная подготовка кромок

Непосредственно перед сваркой оксидная пленка как внутри, так и снаружи трубы должна быть удалена минимум на ширину 10 мм от свариваемого торца труб. Это можно сделать с помощью вращающейся щетки из нержавеющей стали. Оксидный слой с торца трубы должен быть удален с помощью надфиля.

Электрод

Рекомендуется вольфрам, легированный лантаном, содержащий 1,5-2% диоксида лантана. Электрод должен быть заточен под угол 20°, а его острие скруглено радиусом 0,3±0,1 мм. Положение электрода должно быть отрегулировано так, чтобы его кончик был направлен строго на центр трубы. Расстояние между электродом и заготовкой должно составлять 2,5 мм. Диаметр электрода должен выбираться так, чтобы он соответствовал выбранному рабочему току:

Ø 1,6 мм – до 150 А

Ø 2,4 мм – 120…220 А

Ø 3,2 мм – 200…300 А

Электрод должен перетачиваться перед сваркой каждого нового шва.

Центрирование труб

Перед сваркой, чтобы получить оптимальный результат, трубы должны быть тщательно сцентрированы относительно друг друга и состыкованы. Если возможно, следует использовать центрирующие приспособления. Желательно предусмотреть возможность использования инструмента, создающего осевое давление на трубы во время сварки. Центрирующие приспособления могут быть различных исполнений, как с внутренним, так и внешним центрированием стыков труб.

Подключение кабеля массы

Чтобы гарантировать отсутствие каких-либо отклонений или иных нестабильностей дуги при сварке, к подключению кабеля массы к изделию следует относиться очень внимательно. По этой причине рекомендуется, чтобы клемма массы представляла собой медный хомут, плотно закрепляемый на наружной стороне трубы, для обеспечения оптимального электрического контакта по всему ее периметру. Перед подсоединением клеммы массы рекомендуется очистить контактную поверхность трубы от оксидного слоя.

Прихватка свариваемых кромок

Фиксация свариваемых кромок труб должна выполняться с помощью прихваток. Прихватываемые кромки должны быть плотно прижаты друг к другу. Обычно достаточно трех точек, расположенных равномерно по периметру трубы. Перед началом сварки прихватки необходимо зачистить щеткой.

Подача присадочной проволоки

Опыт показывает, что использовать для подачи алюминиевых присадочных проволок отдельные подающие механизмы, не связанные со всем сварочным оборудованием, не рекомендуется, так как невозможно всегда выдерживать ее идеально одинаковой на протяжении всего процесса сварки и от стыка к стыку. По этой причине головки PRI и PRD укомплектованы своими механизмами подачи проволоки, установленными на их каретках, чтобы участок проволоки от подающих роликов до сварочной ванны был как можно более коротким. Чтобы обеспечить стабильную скорость подачи проволоки, канал, ко которому она подается, необходимо регулярно промывать и проверять.

Присадочные проволоки

Присадочная проволока абсолютно необходима при сварке алюминия постоянным током. Проволока должна быть сухой и чистой, без оксидных слоев. Пальцы никогда не должны касаться ее поверхности. При использовании головки PRI диаметр проволоки должен составлять 1,0 мм, а PRD могут использоваться проволоки диаметром 1,0 или 1,2 мм.

Позиционирование присадочной проволоки

Сопло, направляющее проволоку, необходимо расположить так, чтобы выступающий конец проволоки касался поверхности трубы непосредственно перед расплавленной ванной. При этом должно быть выставлено правильное расстояние от сопла до ванны. Если на конце проволоки образуется шарик, это означает, что проволока выставлена неправильно, или ее вылет из сопла слишком длинный.

Настройки оборудования

При настройке системы автоматического регулирования напряжения дуги (АРНД) важно помнить, что оно на 40% выше при использовании в качестве защитного газа гелия по сравнению с аргоном.

Защитный газ

В качестве защитного газа следует использовать чистый (100%) гелий. При длительном перерыве между сварками (более 2-х часов), перед зажиганием дуги необходимо обеспечить достаточное время предварительного продува системы защитным газом. Шланги и надежность их соединения следует регулярно проверять. Максимальный поток защитного газа выбирается в зависимости от внутреннего диаметра газового сопла. Существует эмпирическое правило, которое гласит – на один мм внутреннего диаметра сопла расход защитного газа приблизительно один 1 л/мин. Например, расход газа не должен превышать 10 литров в минуту для газового сопла с диаметром выходного отверстия 10 мм.

Защита корня шва

При сварке алюминия особой надобности в защите корня шва нет. При использовании газа для защиты корня шва, поверхность обратного валика будет немного светлее. В качестве защитного газа рекомендуется использовать чистый аргон.

Другие рекомендации

Расплавленный алюминий очень интенсивно поглощает влагу из воздуха. Поэтому, при высокой относительной влажности, сварку алюминия следует избегать.

Резюме

Наиболее важными моментами при сварке алюминиевых труб TIG-сваркой на постоянном токе прямой полярности головками PRD и PRI являются следующие:

Разнотолщиность свариваемых кромок:	Не более 0,05 мм
Эллипсность трубы:	Не более 0,05 мм
Электрод:	Вольфрамовый с 1,5% диоксида лантана
Диаметр электрода:	Ø 1,6 мм для $I_{св}$ до 150 А Ø 2,4 мм для $I_{св}$ 120-220 А Ø 3,2 мм для $I_{св}$ 200-300 А
Угол заточки электрода:	20°
Радиус скругления кончика электрода:	R=0,3±0,1 мм
Длина дуги:	2,5мм
Диаметр присадочной проволоки:	PRI Ø 1,0 мм PRD Ø 1,0 или 1,2 мм
Защитный газ:	100% гелий
Расход защитного газа:	10 л/мин при диаметре сопла 10 мм

Пример сварки алюминия

Описание процесса

Ниже следует описание сварки алюминиевой трубы диаметром 57 х 3 мм.

Сварка выполняется головкой PRI.

Ниже, в хронологическом порядке, перечислены шаги, которые должны быть выполнены для того, чтобы получить хорошие результаты при сварке стыка:

• С помощью вращающейся щетки удалите слой окислов на расстоянии не менее 10 мм от торца трубы.

• Установите на трубу специальный зажим кабеля массы (предварительно очистить щеткой или пескоструйной обработкой поверхность трубу).

• Установите сварочную головку.

• Установите горелку в положении первой прихватки.

• Проверьте правильность установленного дугового промежутка.

• Загрузите программу прихватки стыка.

• Используя специальное зажимное устройство, создайте осевое сжимающее усилие на трубу.

• Выполните первую прихватку.

• Поднимите горелку и поверните его на позицию второй прихватки.

• Установите правильную длин дуги.

• Выполните вторую прихватку.

• Поднимите горелку и поверните его на позицию третьей прихватки.

• Установите правильную длин дуги.

• Выполните третью прихватку.

• Поднимите горелку и провернув ее на один оборот установите в положение старта сварки.

• Загрузите программу сварки.

• Установите правильные длину дуги и положение присадки к поверхности трубы.

• Выполните сварку.

• После сварки, горелка необходимо поднять, а сварочную головку снять с трубы. Конец проволоки необходимо откусить, а сварной шов зачистить щеткой.

Спецификация	
Оборудование:	A21 – PROTIG 315
Головка:	PRI 36-80
Материал трубы:	Алюминий
Параметры трубы:	Ø 57 мм; t = 3 мм
Прихватка	
Положение стыка:	G5 (вертикальное)
Присадочная проволока:	OK Autrod 5356 (AlMg5)
Проволока:	Ø 1,0 мм
Электрод:	Ø 2,4 мм
Угол заточки:	30°
Скругление острия:	R=0,3±0,1 мм
Дуговой промежуток:	2,5 мм
Защитный газ:	100% He
Поддув корня:	–
Положения прихваток:	1-я на 0° 2-я на 90° 3-я на 270°
Сварка	
Положение стыка:	G5 (вертикальное)
Присадочная проволока:	OK Autrod 5356 (AlMg5)
Проволока:	Ø 1,0 мм
Электрод:	Ø 2,4 мм
Марка электрода:	WL-15 Gold Plus
Угол заточки:	30°
Скругление острия:	R=0,3±0,1 мм
Дуговой промежуток:	2,5 мм
Защитный газ:	100% He
Поддув корня:	–
Стартовое положение горелки:	на 150°

Notes

Алфивитный указатель

Автоматизация....26
Алюминий....24
Аргон....12
Водород....12
Водяное охлаждение....8
Вольфрам....5
Высокочастотный генератор....5
Газ для защиты корня шва....14, 29, 33
Газовая защита....12
Газовая линза....13
Газовое сопло....9
Гелий....12
Дефекты сварки....18
Дуговая сварка вольфрамовым электродом в защитном газе (GTAW)....3
Защитный газ....11, 14, 29
Класс требования к качеству сварного шва....18
Несплавление....19
Параметры сварки....17
Подача присадочной проволоки....32
Подключение кабеля массы....32
Постоянный ток прямой полярности (DC-)....5
Подрез....18
Превышение геометрических размеров шва....19
Прихватка....28
Провисание корня шва....18
Сварка в узкий зазор....28
Титан....15
Толщина стенки....20
Требования к квалификации....27
Трещина....19
Утяжка корня шва....19
Экологические аспекты....16
Электрод....9

Содержание

• Введение
• История TIG-сварки
• Основы TIG-сварки
• Принцип TIG-сварки
• Зачем нужна TIG-сварка?
• Оборудование
• Источники питания
• Сварочные горелки
• Газовые сопла
• Электроды
• Защитные газы
• Аргон
• Гелий
• Аргон-водородные смеси
• Газовая защита
• Газовые линзы
• Защитные газы для TIG-сварки
• Газы для защиты корня шва
• Газовая защита при сварке титана
• Экологические аспекты
• Параметры сварки
• Сварочные дефекты
• Дефекты при TIG-сварке
• Подготовка кромок под сварку труб
• Влияние толщины стенки
• Присадочные материалы
• Нелегированные и низколегированные стали
• Высоколегированные и кислотостойкие стали
• Алюминий и его сплавы
• Другие материалы
• Автоматизация TIG-сварки
• Историческое прошлое
• Примеры применения
• Преимущества автоматической сварки
• Сварка в узкий зазор
• Введение
• Общие рекомендации
• Аннотация
• Примеры применения
• Сварка алюминия
• Сварка алюминия на постоянном токе
• Пример сварки алюминия
• Алфавитный указатель

За дополнительной информацией обращайтесь в офисы ООО «ЭСАБ».

Москва т.+7 (495) 663 20 08, ф. 663 20 09,
Санкт-Петербург т. +7 (812) 644 01 41, ф. 644 01 42,
Екатеринбург т. +7(343) 286 38 91, ф. 382 07 96,
Казань т. +7(843) 291 75 37, 291 75 48, ф. 291 75 38,
Новосибирск т./ф. +7(383) 328 13 58, моб. +7 (913) 202 70 98
Орел т./ф. +7(4862) 55 89 44, моб. +7 (919) 209 52 15,
Ростов-на-Дону т./ф. +7 (8632) 01 81 55,
Хабаровск т./ф. +7 (4212) 75 91 25, моб. +7 (914) 172 91 30
Киев т. +38 (044) 583 55 67, ф. 583 51 66,
Алматы т. +7 (727) 352 86 60, ф. 352 86 61,
Минск т. +375 (17) 328 60 49, т./ф. 328 60 50
e-mail esab@esab.ru Полный список дистрибьюторов на www.esab.ru