

Справочник по орбитальной ВИГ-сварке



Оригинальное издание 2009 , дополненное издание: 11/2014, Полисуд С.А.С. (Франция)
Фотографии, схемы и чертежи предназначены для обеспечения лучшего понимания и, следовательно, не являются частью договора.

Все права защищены. Запрещено любое воспроизведение, полное или частичное, настоящего документа, в любой форме или какими бы то ни было средствами, электронными или механическими, в том числе с помощью фотокопирования, записывающих устройств или компьютерной техники, без письменного разрешения издателя.

Напечатано в Москве.

Опубликовано компанией Polysoude, г. Нант, Франция

www.polysoude.com

info@polysoude.com





СОДЕРЖАНИЕ

1. Вступление	7
2. Что такое орбитальная сварка?	7
3. Краткая информация о ВИГ-процессе	7
3.1. Преимущества и недостатки ВИГ-процесса	8
3.2. Типы сварочных токов	8
3.3. Вольфрамовые электроды	9
3.4. Присадочные материалы	9
3.5. Газы	10
3.6. Тепловложение	11
4. Почему следует выбирать орбитальную сварку	13
4.1. Увеличение производительности по сравнению с ручной ВИГ-сваркой	13
4.2. Высокое качество сварки	13
4.3. Уровень подготовки операторов	13
4.4. Окружающая среда	13
4.5. Контроль качества	13
5. Отрасли, в которых применяется процесс орбитальной ВИГ-сварки	14
5.1. Авиакосмическая промышленность	14
5.2. Пищевая промышленность	14
5.3. Фармацевтическая и биотехнологическая промышленность	14
5.4. Производство полупроводников	15
5.5. Химическая промышленность	15
5.6. ТЭС и атомные электростанции	15
6. Особенности орбитальной сварки	16
6.1. Положения при сварке	16
6.2. Импульсный ток	16



6.3. Программирование по секторам	17
7. Аппаратные компоненты оборудования для орбитальной сварки	17
8. Программируемые источники питания	18
8.1. Общая информация	18
8.2. Переносные источники питания	18
8.3. Передвижные источники питания	19
8.4. Модульные источники питания	20
9. Головки для орбитальной сварки	20
9.1. Головки для сварки соединений "труба - труба"	20
9.2. Головки для сварки соединений "труба - трубная доска"	22
10. Механизмы подачи присадочной проволоки	23
11. Функции оборудования для орбитальной сварки	23
11.1. Управление газом	23
11.2. Ток	24
11.3. Вращение горелки	25
11.4. Подача присадочной проволоки	26
11.5. АРНД (автоматическая регулировка напряжения на дуге)	27
11.6. Поперечные колебания	28
11.7. Пульт дистанционного управления	29
11.8. Блок охлаждения	29
12. Программирование сварочного цикла	30
12.1. Структура программы сварочного цикла с 4-мя осями	30
12.2. Интерфейсы для программирования сварочных циклов	31
12.3. Программирование в автономном режиме	32
13. Регистрация данных в режиме реального времени	33
13.1. Общая информация	33
13.2. Встроенная система регистрации данных в режиме реального времени	33
13.3. Внешняя система регистрации данных в режиме реального времени	34
14. Сварка плавлением соединений "труба - труба"	34

14.1. Применение	34
14.2. Оборудование	35
14.3. Расчет сварочных параметров	37
14.4. Подготовка кромок под сварку	37
14.5. Заточка электрода	38
14.6. Формирующий газ	39
14.7. Химический состав и повторяемость швов	39
15. Сварка соединений "труба - труба" с присадочной проволокой	40
15.1. Применения	40
15.2. Выбор оборудования	40
15.3. Подготовка кромок под сварку	41
15.4. Позиционирование труб	42
15.5. Многопроходная сварка	42
15.6. Для АРНД необходима точная геометрия электрода	43
15.7. Формирующий газ	43
15.8. Граничные параметры	43
15.9. Геометрические настройки	44
15.10. Возможности для увеличения производительности орбитальной ВИГ-сварки	44
16. Орбитальная сварка соединений "труба - трубная доска"	46
16.1. Материалы и диапазон размеров труб	46
16.2. Сварочное оборудование	46
16.3. Специальные требования к трубам и подготовке кромок	47
16.4. Сварка труб, установленных заподлицо	48
16.5. Сварка выступающих труб	49
16.6. Сварка утопленных труб	51
16.7. Сварка с внутренней стороны трубной доски	52
17. Заключение	53



1. Вступление

Орбитальная ВИГ-сварка заняла прочное место среди способов промышленной сварки. Несмотря на широкое распространение этого процесса, многие специалисты имеют недостаточно знаний о его возможностях. Аэрокосмическая промышленность, авиация, атомная энергетика, фармацевтическая и пищевая промышленность – вот некоторые области применения ВИГ-сварки. С помощью орбитальной сварки изготавливается оборудование, которое ежедневно обеспечивает энергией предприятия и жилые дома.

В данной брошюре Вашему вниманию представлены основы процесса орби-

тальной сварки, а также информация об оборудовании: технические подходы, преимущества, общие и специальные применения и т.д. Для лучшего понимания текст снабжен иллюстрациями.

Приведенные таблицы и эскизы помогут специалистам найти ответ на вопрос, способна ли орбитальная сварка решить стоящие перед ними задачи. Если вы не нашли ответы на свои вопросы, задайте их специалистам (info@polysoude.ru) или посетите наш веб-сайт www.polysoude.ru

2. Что такое орбитальная сварка?

Когда при сварке труб предъявляются повышенные требования к качеству шва, целесообразно использовать орбитальную сварку. Сварочная горелка механической системой перемещается относительно стыка труб. Название орбитальная сварка появилось, потому что сварочная головка перемещается вокруг трубы, как по орбите.

Самое большое число применений орбитальной сварки относится к соединениям:

- Труба - труба.

- Труба - трубная доска.

В первом случае подразумеваются все виды соединений труб: стыковые соединения, приварка фланцев, отводов, тройников, клапанов и т.д., т.е. все сварочные работы при производстве трубопроводов.

Вторая группа касается изготовления котлов, теплообменников и включает в себя различные задачи, связанные с сваркой труб в трубные доски.

3. Краткая информация о ВИГ-процессе

Электрическая дуга возбуждается между неплавящимся вольфрамовым электродом и заготовкой. Сварочная ванна образуется за счет расплавления металла заготовки.

Для защиты расплавленной ванны и электрода от кислорода воздуха

используется инертный газ, например, аргон.

Присадочный металл подается непосредственно в сварочную ванну, где он расплавляется под воздействием энергии дуги.



3.1. Преимущества и недостатки ВИГ-процесса

3.1.1. Преимущества

- 1- Можно сваривать практически все металлы.
- 2- Можно сваривать различные типы сталей, включая стали с ограниченной свариваемостью, а также износостойкие никелевые сплавы, алюминий, медь, золото, магний, тантал, титан, цирконий и их сплавы. В некоторых случаях можно даже производить сварку латуни и бронзы, а с присадочной проволокой – сварку разнородных материалов.
- 3- Возможна сварка во всех пространственных положениях.

- 4- Очень надежный процесс, можно свести вероятность образования дефектов к менее, чем 1%.
- 5- В процессе сварки не образуется вредных дымов, а также шлака.
- 6- Параметры режима, влияющие на процесс, можно регулировать в широком диапазоне независимо друг от друга.
- 7- Можно производить сварку с присадочной проволокой или без.
- 8- Напряжением на дуге и другими параметрами можно управлять автоматически.

3.1.2. Недостатки

- 1- Низкая производительность по сравнению с другими дуговым процессами.
- 2- Высокие трудовые и материальные затраты на разработку технологии и режимов сварки.

- 3- Сложное оборудование, которое требует намного больше капитальных инвестиций, чем оборудование для ручной сварки.

3.2. Типы сварочных токов

В ВИГ-сварке применяются два типа сварочных токов:

- ▶ Наиболее часто используется постоянный ток.
- ▶ Переменный ток используется для сварки алюминия и его сплавов.

При сварке на постоянном токе электрод подсоединяется к отрицательному терминалу источника, т.е. происходит сварка на прямой полярности. В этом случае электроны перемещаются от электрода («-») к изделию («+»). Как считается, до 70% энергии дуги выделяется на изделии, что характеризует КПД 70%.

Постоянный ток обратной полярности (на электроде «+») практически не используется в ВИГ-сварке, за исключением специальных случаев сварки алюминия, которые встречаются

достаточно редко. При обратной полярности большее количество тепла выделяется на электроде, поэтому даже на низких токах необходимы большие диаметры вольфрамовых электродов по сравнению со сваркой на прямой полярности.

В режиме переменного тока полярность электрода периодически изменяется. В интервале времени действия обратной полярности электрод выступает в качестве анода, и благодаря эффекту очистки (катодное распыление) разрушается тугоплавкая пленка оксида алюминия. В период времени действия прямой полярности электрод является катодом, и выделяемая теплота идет на расплавление основного металла и образование сварочной ванны, а электрод остывает.

3.3. Вольфрамовые электроды

3.3.1. Типы электродов

Вольфрам является тугоплавким металлом с температурой плавления 3410°C. Он способен выдержать тепловое воздействие электрической дуги и сохранять твердость даже в раскаленном состоянии. В прошлом для ВИГ-сварки широко использовались торированные вольфрамовые электроды, но поскольку торий – низкорadioактивный элемент, то

необходимо специальное оборудование для заточки электродов, которое предотвращает попадание частиц в воздух.

В настоящее время используются вольфрамовые электроды с добавлением различных сплавов, например, лантанированные, которые не радиоактивны. Более того, их сварочные свойства близки к торированным.

3.3.2. Заточка электродов

Для того, чтобы получить необходимую степень проплавления, а следовательно, и достаточную точность повторения результатов сварки, вольфрамовый электрод должен быть заточен определенным образом.

При заточке электродов необходимо, чтобы отметки от шлифовального круга на конусной части электрода были расположены в направлении от основания конуса к вершине. Это гарантирует лучшее зажигание и стабильность дуги.



Правильная заточка – продольные отметки



Неправильная заточка – отметки в виде окружностей

3.4. Присадочные материалы

Ввод присадочной проволоки необходим, если:

- 1- Обязательно получение усиления шва.
 - 2- Выполняется сварка углеродистых сталей.
 - 3- Выполняется сварка труб с разделкой кромок, например, V или J-образной.
 - 4- Необходимо предотвратить металлургическое растрескивание при сварке труб из разнородных материалов.
- Хорошо известен пример сварки углеродистой стали с коррозионноустойчивой сталью 316, где в качестве присадочного

материала используется проволока из коррозионноустойчивой стали 309 или из никелевого сплава Inconel 82.

5- Если свариваемые материалы в процессе сварки изменяют свою структуру или химический состав.

Легирующие элементы могут выгорать во время сварки или формировать новую структуру. Например, карбид хрома образуется при сочетании хрома и углерода. Но недостаток хрома после сварки может спровоцировать нежелательную потерю свойств устойчивости к коррозии в ЗТВ.



3.5. Газы

3.5.1. Защитные газы

Наиболее часто в качестве защитного газа при ВИГ-сварке используется **аргон**. Он обеспечивает хорошие условия поджига, фокусировку, а также стабильность дуги даже на малых токах. В среде аргона можно сваривать все металлы.

Защитный газ для стандартной ВИГ-сварки должен иметь чистоту не менее 99,995%, а для сварки металлов, которые классифицируются как трудно свариваемые, например, титан, тантал, цирконий и их сплавов – не менее 99,998%.

Для увеличения энергии дуги в аргон можно добавлять от 2 до 5% водорода. Примесь водорода в аргоне повышает энергию на 10...20%, что приводит к лучшему проплавлению и увеличению скорости сварки. Однако, углеродистые стали склонны к поглощению водорода, что впоследствии может привести к образованию пор или холодных трещин, поэтому использование смесей водорода обычно не рекомендуется, а для сварки алюминия или титана - строго запрещено.

Энергия дуги также может быть

увеличена за счет использования смеси аргон-гелий. Массовая доля гелия может составлять 20, 50, 70%, также может использоваться чистый гелий. Гелий применяется для сварки чистого титана и его сплавов, потому что он не оказывает вредного воздействия на этот металл.

Смеси аргона, гелия и азота используются для сварки дуплексных и супердуплексных сталей.

В отличие от аргона, **гелий** имеет хорошую теплопроводность. Напряжение на дуге в среде гелия намного выше, чем в среде аргона, а поэтому и энергия дуги значительно больше. Столб дуги имеет более широкую форму, чем обуславливается лучшей проплавляющей способностью. Гелий применяется для сварки металлов с высокой теплопроводностью, таких, как медь, алюминий и сплавов легких металлов. Т.к. масса гелия меньше, чем аргона, то его расход для аналогичной защиты должен быть увеличен в 2-3 раза.

Таблица ниже показывает, какие газы следует применять при сварке различных материалов:

	Ar	Ar + H ₂	Ar + Hé	Ar + N ₂	He
Углеродистые стали	***	**	**	*	**
Аустенитные стали	***	**	**	**	**
Дуплексные/супердуплексные стали	**	**	**	***	**
Медь	***	X	***	**	***
Алюминий	***	X	***	*	***
Титан	***	X	***	X	***

Ar	Аргон
N ₂	Азот
H ₂	Водород
He	Гелий
***	рекомендуется
**	возможно
*	не рекомендуется
X	запрещено

3.5.2. Газ для защиты корня шва

В большинстве применений орбитальной сварки обязательно получение качественного обратного валика, т.к. при эксплуатации он будет входить в контакт с рабочей средой. Чтобы устранить риск окисления, разогретый металл внутренней поверхности шва должен

быть защищен от кислорода воздуха во время и после сварки. В зависимости от свариваемого материала в газ для защиты корня могут вводиться такие восстановители, как N₂ или H₂. Самые распространенные газовые смеси для защиты корня приведены в таблице:

	Ar	N ₂	Ar + H ₂ ou N ₂ + H ₂
Углеродистые стали	***	***	*
Аустенитные стали	***	***	***
Дуплексные/супердуплексные стали	**	***	**
Медь	***	**	**
Алюминий	***	*	X
Титан	***	X	X

Ar	Аргон
N ₂	Азот
H ₂	Водород
***	рекомендуется
**	возможно
*	не рекомендуется
X	запрещено

3.6. Тепловложение

3.6.1. Влияние погонной энергии

Погонную энергию можно определить только расчетным путем, ее нельзя измерить. Она оказывает непосредственное влияние на скорость охлаждения шва и размеры зоны термического влияния (ЗТВ). Чем меньше погонная энергия, тем выше скорость охлаждения детали и меньше ЗТВ. При увеличении скорости охлаждения структурные превращения в основном металле, такие, как рост зерна и др., могут быть минимизированы, при этом не снижаются механические свойства и стойкость к коррозии. Для сварки многих материалов, например, термообработанных и коррозионностойких сталей, погонная энергия ограничена спецификацией производителя.

Для того чтобы обеспечить нужную

погонную энергию при ручной ВИГ-сварке, сварщик должен постоянно выдерживать заданную длину дуги, таким образом поддерживая постоянным напряжение и силу тока. Но, т.к. погонная энергия в значительной степени зависит от скорости сварки, сварщик должен заварить шов за определенные время. Это способны выполнить только высококвалифицированные сварщики-ручники.

В автоматической ВИГ-сварке все параметры сварочного режима, включая сварочный ток и напряжение, скорость сварки и скорость подачи присадочной проволоки контролируются электроникой источника питания. Поэтому выполнение требования поддержания установленных параметров постоянными не представляет проблемы.



3.6.2. Формула для определения погонной энергии

Энергия, приходящаяся на единицу длины шва (погонная энергия) Q_p в сварочном процессе, рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_p = (60 \cdot U \cdot I) / V_{св}$$

где U – напряжение на дуге, В;

I – сила сварочного тока, А;

$V_{св}$ – скорость сварки, мм/мин.

В вышеприведенной формуле не учитываются особенности различных сварочных процессов. Чтобы вычисление погонной энергии для различных сварочных процессов было наиболее точным, вводится специальный коэффициент K :

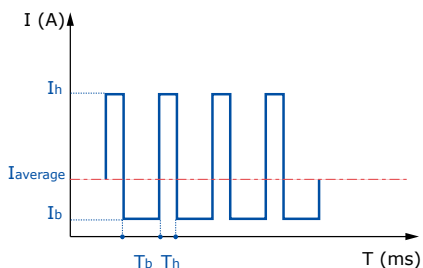
$$Q_p = (60 \cdot U \cdot I \cdot K) / V_{св}$$

При ВИГ-сварке коэффициент K лежит в интервале от 0,6 до 0,8, т.е. от 60 до 80% энергии дуги идет на нагрев заготовки, тогда, как остальная энергия уходит на нагрев горелки, газа и т.д.

Экспертная информация:

Для вычисления среднего тока при орбитальной ВИГ-сварке в импульсном режиме следует применять следующую формулу:

$$I_{average} = (I_h \times T_h + I_b \times T_b) / (T_b + T_h)$$



где I_i ток импульса, А;

T_i – время импульса, мс

I_n – ток паузы, А;

T_n – время паузы, мс.

4. Почему следует выбирать орбитальную сварку

Решение об использовании автоматической орбитальной ВИГ-сварки может основываться на различных критериях: экономических, технических, организационных и др. Орбитальная

сварка имеет ряд существенных преимуществ, благодаря которым она широко используется в промышленности. Главные преимущества:

4.1. Увеличение производительности по сравнению с ручной ВИГ-сваркой

По сравнению с ручной ВИГ-сваркой автоматический процесс ведет к повышению производительности. Монотонную работу сварщика в цеху или на монтаже может выполнять

автоматическое оборудование, которое гарантирует повторяемость результатов сварки и сводит временные затраты на ремонт до минимума.

4.2. Высокое качество сварки

Как правило, механизированная сварка значительно превосходит ручную по качеству сварных соединений. Единоразово созданную сварочную программу можно

повторить любое количество раз, т.е. обеспечить повторяемость качества сварки.

4.3. Уровень подготовки операторов

Т.к. квалифицированных сварщиков найти достаточно сложно, и их труд сопряжен с высокими издержками на заработную плату, часто операторами оборудования орбитальной сварки

являются механики, прошедшие специальный тренинг. Таким образом, используя автоматическое оборудование, вы снижаете издержки на заработную плату сварщиков.

4.4. Окружающая среда

Орбитальная сварка может выполняться даже в тяжелых условиях внешней среды: ограниченный доступ, недостаточная видимость, присутствие радиации.

Необходимо лишь правильно установить сварочную головку, и сварка может быть выполнена дистанционно с помощью системы видеонаблюдения.

4.5. Контроль качества

Современное оборудование для орбитальной сварки может осуществлять управление параметрами сварки в режиме реального времени. Информация о параметрах сварки может

быть сохранена или распечатана. Во время сварки происходит непрерывная передача данных в источник без помех для выполнения сварочной программы.



5. Отрасли, в которых применяется процесс орбитальной ВИГ-сварки

5.1. Авиакосмическая промышленность

Авиация была первой отраслью, специалисты которой осознали важность процесса ВИГ-сварки для своего производства. При строительстве одного самолета необходимо сварить более 1500 швов только в системе высокого давления. Ручная сварка тонкостенных труб малых диаметров сложна, поэтому требуемое качество соединения не может

быть гарантировано. Единственный выход в такой ситуации - это применение автоматической орбитальной сварки. В таком случае параметры режимов сварки четко управляются источником, поэтому качество всех швов будет соответствовать качеству контрольных соединений.

5.2. Пищевая промышленность

В пищевой промышленности предъявляются высокие гигиенические требования к системам трубопроводов. При сварке необходимо полное проплавление, исключается наличие любых дефектов: пор, трещин, подрезов и т.д., т.к. в них могут образовываться бактерии. Гладкие внутренние поверхности труб гарантируют

качественную очистку и дезинфекцию системы трубопроводов. Т.к. сварные соединения, удовлетворяющие этим требованиям, могут быть получены только с помощью орбитальной ВИГ-сварки, в настоящее время в пищевой промышленности большинством стандартов предусматривается применение только этого процесса.

5.3. Фармацевтическая и биотехнологическая промышленности

Все заводы фармацевтической промышленности должны быть оборудованы системами трубопроводов для транспортировки и обработки продукции, а также для безопасного снабжения производства чистыми паром и водой. К воде и ее производным, которые будут использоваться для

инъекций, требования по чистоте особенно высоки. Любые признаки коррозии и оксидов в системе трубопроводов строго запрещены. Чтобы исключить возможность их образования, поверхности могут быть пассивированы.

5.4. Производство полупроводников

В производстве полупроводниковых устройств используются электрополированные трубопроводы, изготовленные из коррозионностойкой стали. Обычно они имеют внешний диаметр 6,3 мм, толщину стенки 0,9 мм, по ним перекачивается технологический газ высокой очистки. К этим трубопроводам предъявляются

высокие требования: швы должны быть единообразны, с малым усилением для минимизации поверхности шва в трубе, иметь полное проплавление, отсутствие цветов побежалости и т.д. Такую задачу опытным операторам под силу выполнить только на надежном сварочном оборудовании.

5.5. Химическая промышленность

Значительная часть оборудования, эксплуатируемого на химических предприятиях, производится с помощью орбитальной сварки. Основное оборудование химического производства – это трубы, теплообменники, конвертеры, изготавливаемые из коррозионностойких теплоустойчивых сталей или сплавов титана, циркония, никеля, хрома и т.д. Т.к. эксплуатационный

ресурс производственных установок непосредственно зависит от качества сварных соединений, отраслевыми стандартами предусмотрены высокие требования к контролю процесса сварки и повторяемости результатов. Чтобы собрать один теплообменник, нужно качественно заварить сотни соединений, поэтому в химической промышленности орбитальная сварка незаменима.

5.6. ТЭС и атомные электростанции

При строительстве ТЭС и ядерных реакторов используются различные виды орбитальной сварки. Для монтажа систем управления реактором необходимо приваривать трубы малых диаметров, в производстве теплообменников применяется соединение труба-трубная доска. На монтаже свариваются трубы больших диаметров. Технология и

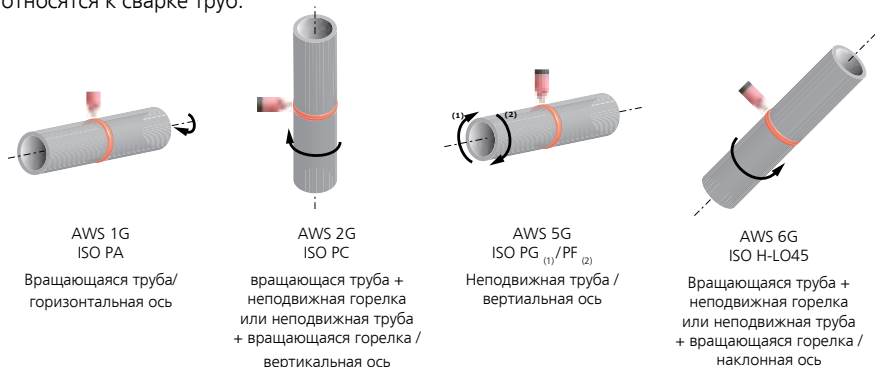
качество сварки должны тщательно контролироваться, поэтому с помощью системы регистрации данных можно в режиме реального времени получать информацию о процессе.



6. Особенности орбитальной сварки

6.1. Положения при сварке

Положения при сварке регламентированы стандартом ASME (Американское общество инженеров-механиков) в разделе IX и европейским стандартом EN 287/EN ISO 6947. Оба относятся к сварке труб.



6.2. Импульсный ток

Залог успеха использования орбитальной сварки – это правильное управление сварочной ванной во время всего цикла сварки. Необходимо обращать внимание на изменяющееся пространственное положение ванны. Например, осуществление орбитальной сварки в положениях PF/PG или 5G (неподвижная труба) сопряжено со следующими особенностями:

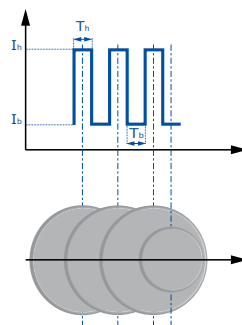
- 1- Изменение положения сварки и, следовательно, влияние силы тяжести
- 2- Изменение температуры заготовки.

Наиболее эффективный способ контролировать сварочную ванну во всех пространственных положениях – это использование импульсного сварочного тока.

Как правило, импульсный сварочный ток переключается между двумя уровнями - высоким и низким:

- ▶ в интервале времени T_i (время импульса) источник выдает высокий сварочный ток I_i (ток импульса). За этот временной промежуток объем сварочной ванны достигает максимума.
- ▶ в интервале времени T_p (время паузы) источник выдает низкий сварочный ток

и (ток паузы), таким образом, позволяя сварочной ванне остыть и уменьшить объем до минимума, что нивелирует воздействие силы тяжести.



Использование импульсного тока целесообразно в большинстве применений орбитальной сварки. Однако, например, при сварке труб диаметром более 114 мм и толщиной стенки более 10 мм значение силы тока паузы приближается к значению силы тока импульса, поэтому сварка, фактически, ведется на неимпульсном токе.

6.3. Программирование по секторам

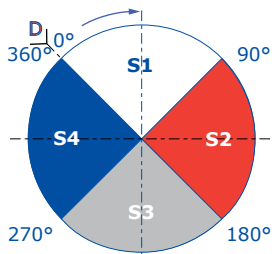
Во многих случаях использование импульсного тока недостаточно для получения приемлемых результатов сварки. Параметры режима должны быть адаптированы в соответствии с пространственным положением сварочной ванны, поэтому окружность трубы делится на зоны, которые называются секторами. При переходе к каждому следующему сектору параметры изменяются.

В качестве иллюстрации возьмем поперечное сечение окружности (360°), разделенное на четыре равных сектора, каждый по 90°. Первый сектор начинается в точке D (в нашем случае стартовая позиция при сварке 10 часов 30 минут) и заканчивается в точке 1 ч 30 мин.

Каждый сектор соответствует определенному положению при сварке:

- сектор S1 от 0° до 90° нижнее положение;
- сектор S2 от 90° до 180° сварка в вертикальном положении сверху вниз;
- сектор S3 от 180° до 270° потолочное положение;

- сектор S4 от 270° до 360° сварка в вертикальном положении на подъем;



В зависимости от пространственного положения и температуры заготовки, которая постоянно нагревается от энергии дуги, значения параметров во всех секторах различны.

Как показывает практика, в большинстве случаев нет необходимости разбивать окружность на такое большое число секторов, как в нашем примере. Также количество секторов может изменяться в зависимости от конкретного применения.

7. Аппаратные компоненты оборудования для орбитальной сварки

Как правило, в независимо от сварочных задач оборудование для орбитальной сварки включает в себя следующие компоненты:

- Программируемый источник питания и ПДУ (выносной или интегрированный в сварочную головку);
- Сварочная головка;

- Механизм подачи проволоки (если необходим для конкретной задачи);

Результаты сварки зависят от конфигурации вышеназванного оборудования.



8. Программируемые источники питания

8.1. Общая информация

Источник питания для орбитальной сварки состоит из нескольких сборок, которые имеют определенные функции:

- ▶ Один или два силовых инвертера для выработки сварочного тока, а в случае наличия функции горячей проволоки – для подогрева присадочной проволоки. В настоящее время все передовые источники питания – инверторного типа.
- ▶ Программируемый блок контроля, основанный на интегрированном или внешнем ПК;
- ▶ Тракт охлаждения горелки и зажимных устройств;
- ▶ Система регистрации данных сварочного цикла.

Источники питания для орбитальной сварки могут быть разделены на три категории в зависимости от назначения.

8.2. Переносные источники питания

Такой источник имеет сравнительно небольшие размеры и массу, чтобы оператор самостоятельно мог переносить его к месту проведения работ. Благодаря своим размерам источник может проходить в люк или лаз для человека.

Самый компактный источник питания имеет массу менее 30 кг, и способен вырабатывать сварочный ток до 160 А. Для его питания необходимо однофазное

напряжение 220 В.

Программирование параметров режима сварки происходит с помощью интуитивно понятного интерфейса или ПДУ. Также возможно программирование по секторам.

Источники питания этого типа обеспечивают управление до 4-х осей, т.е. только 4 устройства могут быть запрограммированы, это: расход защитного газа, сила сварочного тока и



Источник питания PS 164-2



Источник питания P4

режимы импульса, скорость вращения головки и операции подачи присадочной проволоки. В источник встроена закрытая система охлаждения для водоохлаждаемых головок.

В новом источнике питания уже записаны некоторые сварочные программы. Их поиск осуществляется путем ввода информации с ПК о свариваемом соединении и материале. Система

осуществляет поиск во встроенной базе программ и предлагает использовать готовые программы, которые можно модифицировать под конкретную задачу.

Источник самостоятельно осуществляет адаптацию под данное напряжение питания, а также выполняет автоматический поиск подключенных устройств.

8.3. Передвижные источники питания

Т.к. эти источники питания тяжелее, чем описанные в п. 8.2, они устанавливаются на резиновые колеса для облегчения перемещения.

Эти источники снабжены выходами под напряжение питания 415 В (3 фазы), либо предусматривают возможность работы на различных напряжениях питания, и вырабатывают сварочный ток до 540 А. Для диалога машина-оператор предусмотрен удобный интерфейс и

полнофункциональный ПДУ.

Источники питания средней мощности созданы для программирования и управления 6-ю осями. Обычно эти оси относятся к защитному газу, силе сварочного тока и режиму импульса, скорости вращения головки, функциям подачи присадочной проволоки, а также автоматической регулировки напряжения на дуге (АРНД) и поперечных колебаний.



Источник питания P6 CW



Источник питания P6 HW



8.4. Модульные источники питания

Эти источники питания могут быть адаптированы под конкретную сварочную задачу: в зависимости от модели способны вырабатывать сварочные токи от 300 до 550 А. Они подключаются к 3-х фазному напряжению питания 380 В, либо предусматривают возможность работы на различных напряжениях питания. Программирование осуществляется с ПК и интерактивного программного обеспечения. Управление источником возможно с полнофункционального ПДУ.

Источники питания большой мощности разработаны для программирования 6-ти осей и более. Эти оси: расход защитного газа, сила сварочного тока и режим импульса, скорость вращения сварочной головки, функции подачи присадочной проволоки, АРНД и линейная осцилляция. Может быть установлен второй источник питания для подогрева присадочной проволоки.

Источники имеют возможность управления дополнительными осями, которые могут быть добавлены позднее. Для этого необходимо установить дополнительные платы в свободные

слоты в передней части источника.

Среди осей управления периферийным оборудованием присутствуют платы для управления специальными устройствами (подающими механизмами, системами регистрации данных, блоками охлаждения и т.д.) Эти платы оснащены входными и выходными портами, которые заказчик может запрограммировать самостоятельно.

Программирование источников питания большой мощности может быть выполнено с помощью ПК и ПО для Windows в режиме реального времени или режиме офлайн.



Источник питания PC 600-3

9. Головки для орбитальной сварки

9.1. Головки для сварки соединений "труба - труба"

9.1.1. Головки закрытого типа

Головки закрытого типа предназначены для сварки труб без присадочной проволоки. Номенклатура головок охватывает диапазон диаметров свариваемых труб от 1,6 мм до 168 мм (1/16" до 6" согласно ANSI). Этими головками наряду с аустенитными коррозионностойкими сталями также можно сваривать металлы, подверженные окислению, такие, как цирконий, титан и их сплавы. Чтобы закрепить головку на трубе требуется одна или две пары (в зависимости от применения) зажимных вкладышей.



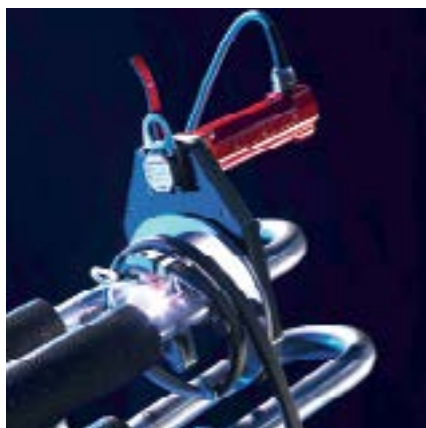
Сварочная головка закрытого типа серии MW

9.1.2. U-образные головки открытого типа

Открытые головки были созданы для осуществления орбитальной сварки как с присадочной проволокой, так и без. Диаметры свариваемых труб варьируются от 8 мм до 275 мм (от 5/16" до 11" согласно ANSI).

U-образные головки открытого типа оснащены ВИГ-горелкой с газовым диффузором. Газовая защита достигается только в прилегающей к горелке зоне, куда направлен поток защитного газа через газовую линзу. Во время сварки оператор имеет возможность контролировать дугу. Несимметричная конструкция горелки позволяет использовать ее для сварки в ограниченном пространстве (соединений, расположенных близко к стене, калачей и т.д.).

Позиционирование сварочной горелки может быть выполнено вручную или



Головка открытого типа серии MU

автоматически с помощью суппортов АРНД и поперечных колебаний.

9.1.3. Сварочные головки кареточного типа

Открытые орбитальные головки кареточного типа перемещаются вдоль стыка трубы по специальным направляющим, которые изготавливаются для труб диаметром от 114



Головка кареточного типа Polysar

мм (3 1/2"). Прочная конструкция головки позволяет перемещать по трубе достаточно тяжелое оборудование (двигатель, суппорты АРНД и поперечных колебаний, катушки с проволокой до 5 кг) даже при многопроходной сварке. Дополнительно могут быть установлены видеокамеры, дающие возможность оператору вести мониторинг и запись процесса сварки.

В зависимости от применения головки данного типа могут оснащаться стандартной ВИГ-горелкой с газовой линзой либо горелкой для сварки в щелевую разделку, которая дает улучшенную газовую защиту, сравнимую с головками закрытого типа.

9.2. Головки для сварки соединений "труба - трубная доска"

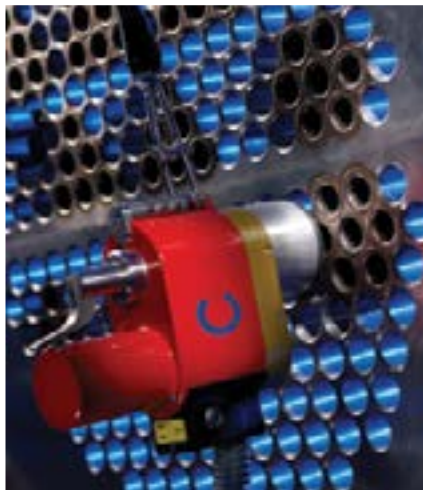
9.2.1. Головки для сварки соединений "труба - трубная доска" закрытого типа без присадочной проволоки

Эти головки предназначены для вварки труб в трубные доски ВИГ-способом без подачи присадочной проволоки. С их помощью можно выполнять сварку труб, слегка выступающих из трубной доски или установленных заподлицо. Диаметры ввариваемых труб от 9,5 мм (3/8") до 33,7 мм (1 1/3").

Сварка выполняется в атмосфере инертного газа в камере, что обеспечивает высокую степень защиты против окисления.

При установке головки дорн вставляется в трубу, а затем разжимается внутри.

С помощью сварочного копия, установленного в передней части головки, может выполняться сварка изнутри в трубах диаметром от 10 мм до 33,7 мм (13/32" до 1/2").



Головка TS-34 для сварки соединений "труба-трубная доска"

9.2.2. Головки для сварки соединений "труба - трубная доска" открытого типа с подачей присадочной проволоки или без

Орбитальные головки открытого типа для вварки труб в трубную доску с присадочной проволокой применяются для вварки труб от 10 мм (13/32") (внутренний диаметр) до 60 мм (внешний диаметр). ВИГ-горелка при этом перемещается вокруг трубы, которая может выступать,

быть утопленной или установленной заподлицо с трубной доской.

Головка оснащена горелкой с газовым диффузором. Необходимая газовая защита обеспечивается в прилегающей к горелке зоне, куда устремляется поток защитного газа. Если необходимо сварить чувствительные к окислению металлы, то газовая защита может быть улучшена путем установки газовой камеры.

Головки могут быть оборудованы встроенным подающим механизмом. Т.к. в рабочее положение головка устанавливается с помощью пневматического зажима, оператор может производить сварку несколькими головками одновременно. Сварочные копия позволяют сварщику выполнять сварку изнутри соединений без зазора.



Головка для сварки соединений "труба - трубная доска" TS 8/75

10. Механизмы подачи присадочной проволоки

Обычно подающий механизм либо встроен в сварочную головку, либо представляет собой внешнее устройство. Выбор подающего механизма обуславливается

геометрией катушек с проволокой, а также условиями эксплуатации и требуемой мобильностью оборудования.



Сварочная головка TS 8/75 со встроенным механизмом подачи проволоки



Внешний механизм подачи проволоки POLYFIL-3

11. Функции оборудования для орбитальной сварки

11.1. Управление газом



Мнемосхема управления газом на панели источника питания Polysoude серий P4 - P6

Существуют три способа управления газом в орбитальной сварке:

1- Регулируемый газовый редуктор, устанавливаемый на выходе устройства газоснабжения (баллона или сети), а также электромагнитный клапан, который управляется источником питания серии PC.

2- Регулируемый газовый редуктор, устанавливаемый на выходе устройства газоснабжения (баллона или сети), а также электромагнитный клапан, который управляется источником питания. Поплавковый ротаметр (расходомер с шариком) встроен в источник питания серии PC.

3- Регулируемый газовый редуктор,

устанавливаемый на выходе устройства газоснабжения (баллона или сети). Электронное устройство в источнике питания управляет расходом газа (источники PS 406-2 типа PC). Эти источники имеют возможность управлять расходами 4-х газов: два защитных газа и два дополнительных, как правило, это газы защиты корня и шва. Так называемая функция источника питания Vi-Gas позволяет переключить защитный газ после поджига дуги. Ее целесообразно использовать, если в качестве защитного газа применяется гелий. Чтобы избежать часто возникающих проблем при поджиге дуги в гелие, поджиг происходит в аргоне, а когда дуга стабилизировалась, аргон заменяется гелием.



Расход защитного газа постоянно контролируется и, в случае отсутствия газа, поджиг дуги блокируется. Если во время сварки расход газа падает ниже предварительно установленного уровня,

цикл сварки автоматически завершается. Благодаря этим возможностям предотвращается порча оборудования и заготовки.

11.2. Ток



Мнемосхема управления током на панели источника питания Polysoude серий P4 - P6

11.2.1. Поджиг дуги

Стандартный способ поджига дуги – пробой междугового промежутка с помощью кратковременной подачи (в течение 2 микросекунд) напряжения около 2 кВ частотой 50 Гц. Столб защитного газа между электродом и заготовкой ионизируется и приобретает токопроводящие свойства. Как следствие, дуга зажигается, и течет электрический ток. Этот способ поджига является стандартным для орбитальной сварки.

Однако существуют ограничения данного способа поджига. Они касаются длины кабеля между головкой и источником, которая в зависимости от применения

не должна превышать 30-50 м. Если же сварочная головка оснащена суппортом АРНД, то дугу можно поджечь способом, известным как Lift arc, т.е. касанием. Он заключается в следующем: горелка перемещается до касания электрода с изделием, а затем плавно отводится. В этот момент к электроду и изделию прикладывается потенциал. Когда дуга зажглась, горелка перемещается, обеспечивая предварительно заданную длину дуги. Компания ПОЛИСУД, разработавшая этот способ поджига дуги, гарантирует отсутствие включений вольфрама в сварном шве.

11.2.2. Сварочный ток

Сварочный ток – один из основных параметров ВИГ-процесса. Источник питания с большой точностью контролирует значение силы тока. При сварке на токах ниже 100 А гарантируется погрешность установленного тока не более 1 А. Если же сварка ведется на токах свыше 100 А, погрешность составляет не более 1%. Для удовлетворения требований различных применений, источники питания могут вырабатывать ток различной

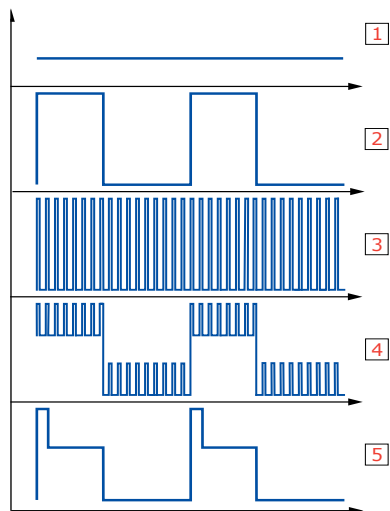
конфигурации:

- ▶ Неимпульсный сварочный ток (1), т.е. сила тока постоянная;
- ▶ Термический импульс (2): этот вид тока обычно используется для стандартной орбитальной ВИГ-сварки (см. главу 6.2.). Максимальная частота импульса 10 Гц.
- ▶ Ток с быстрым импульсом (3), т.е. частота импульса от 500 Гц до 10000 Гц. Эта форма тока сходна с неимпульсным

током, но отличие состоит в том, что быстрый импульс обеспечивает высокую стабильность дуги. Импульс не виден глазом, но может быть определен на слух.

► Быстрый термический импульс (4) – это комбинация термического и быстрого импульса.

► Импульсный ток с моноимпульсом (5): в начале каждого импульса действует высокий моноимпульс, который увеличивает давление дуги на ванну. Эта функция полезна при необходимости получения обратного валика корня шва в потолочном положении.



Виды диаграмм сварочного тока

11.2.3. Спад тока

Чтобы предотвратить образование кратера в конце шва, дугу нельзя обрывать мгновенно. Во время действия функции «Спад тока» сила сварочного тока линейно снижается к значению 30...4 А, после чего ток выключается. Для труб с большими толщинами стенок применяются более высокие токи обрыва дуги.

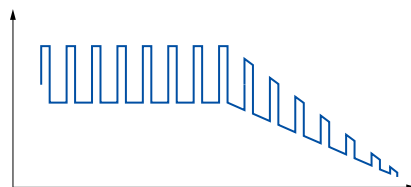
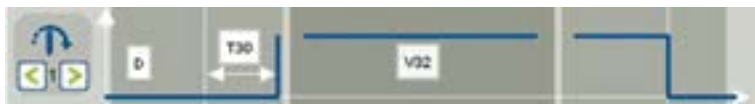


График спада тока

11.3. Вращение горелки



Мнемосхема управления вращением горелки на панели источника питания

Polysoude серий P4 - P6

При сварке перемещение горелки по трубе осуществляется с заданной скоростью. В стандартных применениях орбитальной

сварки линейная скорость перемещения горелки (скорость сварки) составляет от 50 до 200 мм/мин.



В большинстве случаев горелка перемещается не в импульсном режиме, т.е. с постоянной скоростью, однако перемещение может быть импульсным и синхронизированным с импульсами сварочного тока. Можно задавать разные скорости перемещения во время импульса и паузы тока. Как правило, при использовании импульсного перемещения головки горелка неподвижна ($V = 0$ мм/мин) в период действия тока импульса, а во время действия тока паузы горелка перемещается на шаг вперед.

Достижимая точность перемещения горелки составляет 1% от заданного значения. Стандартное оборудование ПОЛИСУД по запросу может быть оснащено импульсными эмиттерами или датчиками числа оборотов.

Импульсы воспринимаются системой управления источника для определения положения горелки относительно начальной точки. Это означает, что программирование сварочного цикла может быть выполнено, используя градусы поворота вместо времени вращения.

11.4. Подача присадочной проволоки



Мнемосхема управления подачей проволоки на панели источника питания Polysoude серий P4 - P6

Источник питания для орбитальной сварки предусматривает возможность подключения различных подающих механизмов. Скорость подачи проволоки изменяется от 0 до 8 мм/мин с точностью до 1%.

Стандартные функции подачи проволоки – управление началом и завершением подачи проволоки, скоростью подачи в импульсах. Это значит, что импульсы подачи проволоки могут быть синхронизованы с импульсами тока. Независимость между скоростью подачи проволоки и сварочным током позволяет осуществить обратную синхронизацию: т.е. импульс подачи проволоки осуществляется при паузе тока, т.е. проволока подается в маленькую сварочную ванну и расплавляется сопротивлением. Это бывает необходимо при использовании механической жесткости проволоки для

«продавливания» металла и получения выпуклой формы обратного валика.

В конце сварки проволока отводится от ванны на несколько миллиметров, что предотвращает формирование капли на конце проволоки или, еще хуже, ее «залипание» в застывшей ванне.

Экспертная информация:

1- Стандартные диаметры проволоки для сварки обычно лежат в интервале от 0,6 до 1,2 мм. Лучшее всего применять диаметр 0,8 мм.

2- Скорость плавления проволоки зависит не только от точности скорости подачи проволоки, но также от точности изготовления самой проволоки: колебание диаметра 0,8 мм в пределах 0,02мм изменяет количество наплавленного металла на 5%.

11.5. АРНД (автоматическая регулировка напряжения на дуге)

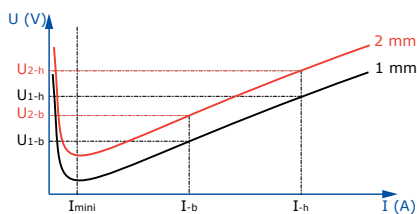


Мнемосхема управления АРНД на панели источника питания Polysoude серий P4 - P6

11.5.1. Теоретический подход

Очень важно во время сварки поддерживать длину дуги постоянной, однако способы ее измерения нетривиальны. Так или иначе, если условия сварки не меняются, то каждая длина дуги соответствует определенному напряжению. Этот эффект используется для контроля расстояния между электродом и заготовкой во время сварки.

Характеристика напряжения на дуге при разных длинах дуги и сварочных токах показаны на графике ниже:



Диаграммы измерения напряжения между электродом и заготовкой при длине дуги: 1 мм (черная линия) и 2 мм (красная линия).

Экспертная информация: Для сварочных токов ниже I_{\min} нельзя использовать АРНД. Считается, что I_{\min} – сила тока примерно 30 А.

▶ Правило №1: при одной и той же силе тока (I_b) увеличение длины дуги вызывает изменение напряжения на дуге (увеличение с U_{1-b} до U_{2-b}).

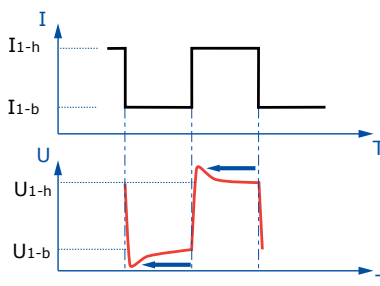
▶ Правило №2: при стабильном горении дуги (сила тока превышает I_{\min}) и нарастании тока (от I_b до I_h), напряжение на дуге также увеличивается (от U_{1-b} до U_{1-h}).

▶ Правило № 3: если используется другой тип защитного газа (при

неизменных сварочных режимах), длина дуги изменится, т.е., например, изменение только защитного газа с аргона на смесь аргон-водород приведет к значительному уменьшению длины дуги.

▶ Правило №4: если геометрия электрода изменяется (угол заточки, диаметр притупления), то при постоянной силе тока длина дуги изменяется. Или при постоянной длине дуги изменяется напряжение.

▶ Правило №5: если применяется импульсный сварочный ток, то импульсы напряжения непропорциональны.



Каждое изменение силы тока провоцирует пик на диаграмме напряжения, который обычно называют перерегулированием.



11.5.2. Функции АРНД

Т.к. для большинства сварочных применений используется импульсный ток, для настройки стабильной дуги необходимо применять правила 1 и 2.

▶ Блокировка измерения напряжения на дуге в период действия тока импульса или тока паузы. В течение периода, когда не происходит измерения напряжения на дуге, суппорт АРНД неподвижен, и положение электрода не изменяется. Настройка очень проста: вводится лишь один параметр.

▶ Измерения напряжение на дуге во время действия тока импульса и тока паузы. Такой способ контроля АРНД может применяться, если используется термоимпульс (<10 Гц).

▶ Чтобы получить оптимальные результаты и при этом минимизировать движения суппорта АРНД, можно устанавливать системные параметры (перечислены в порядке уменьшения важности):

- Чувствительность системы управления;
- Скорость перемещения электрода;
- Время отключения в момент начала импульса тока для «отсечения» эффекта перегулирования (см. правило №5).

11.5.3. Программируемое расстояние "электрод - деталь"

Используя суппорт АРНД, высота горелки относительно заготовки может быть запрограммирована. Начиная от исходного значения, горелка с помощью суппорта перемещается на заданное расстояние (в мм) на необходимую высоту.

Указанная функция обычно используется для установки электрода в необходимое положение, например, при сварке соединений «труба-трубная доска» и др., чтобы выполнять сварку по сложной траектории.

11.6. Поперечные колебания



Мнемосхема управления поперечными колебаниями на панели источника питания Polysoude серий P4 - P6

Если под сварку выполняется разделка, то заполняемая ширина шва становится достаточной большой и увеличивается с увеличением толщины стенки. В отличие от сварки ниточными швами, когда для заполнения одного слоя необходимо

выполнить несколько проходов, с помощью функции линейной осцилляции слой может быть полностью выполнен, если горелка перемещается от одной кромки к другой. Эти перемещения осуществляются приводным суппортом

и управляются системой осцилляции.

Параметры, которые необходимо настроить для правильной работы функции линейной осцилляции – это амплитуда колебаний, скорость перемещения горелки, а также время задержки на кромках.

Предусмотрена возможность синхронизации колебаний горелки с импульсами тока. Например, для лучшего сплавления кромок целесообразно применять импульс тока, когда на них задерживается горелка.

11.7. Пульт дистанционного управления (ПДУ)

ПДУ – это устройство, осуществляющее диалог между человеком и источником питания. На его панель выведены все необходимые команды.

► Режим «Без сварки»

При включении этого режима может выполняться управление всеми осями: вращением горелки, АРНД, осцилляцией и т.д. без дуги.

► Режим «Сварка»

В этом режиме происходит сварка, можно подстраивать сварочные параметры. Большинство ПДУ отображают на дисплее текущую информацию по сварке, как, например,

сварочный ток, напряжение на дуге, скорости перемещения головки и подачи проволоки, угловое положение головки и время с начала сварки.



ПДУ источника тока Р 6

11.8. Блок охлаждения

За исключением некоторых устройств для специальных применений головки для орбитальной сварки, как правило, водоохлаждаемые. Блок охлаждения встроено в источник питания.

Для тяжелых условий эксплуатации (сварка с подачей горячей проволоки, плазменная сварка) необходим внешний блок охлаждения.

В любом случае, расход охлаждающей жидкости постоянно контролируется во избежание повреждения частей водоохлаждающего тракта, например, горелки или источника питания. Если расход превышает максимально допустимый, то происходит отключение оборудования.

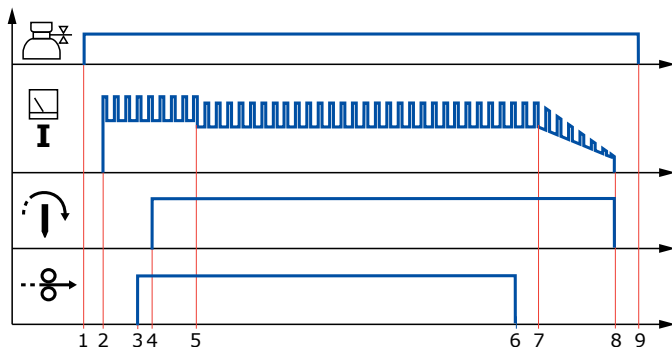


12. Программирование сварочного цикла

12.1. Структура программы сварочного цикла с 4-мя осями

Сложность написания программ зависит от применения и типа используемого сварочного оборудования. Так или иначе, структура программы создается, следуя одной и той же схеме логических

и хронологических правил. Например, программа стандартного сварочного цикла, включающая подачу проволоки, но без АРНД и линейной осцилляции, выглядит следующим образом.



1	начало сварочного цикла (активируется нажатием кнопки Старт (Start) на ПДУ;
От 1 до 2	Предварительная продувка газом задается в программе временем между началом цикла и поджигом дуги;
2	Поджиг дуги и начало действия импульсного сварочного тока. Время на таймере обнуляется;
От 2 до 3	Задержка подачи проволоки;
От 2 до 4	Задержка перемещения головки;
3	Начало подачи присадочной проволоки*;
4	Начало вращения сварочной головки*;
5	Начало другого сектора с измененными значениями сварочного тока;
6	Конец подачи сварочной проволоки* (может быть запрограммирован отвод проволоки). Как правило, завершение подачи проволоки начинается при 360° вращения горелки;
7	Начало снижения тока перед обрывом дуги. Обычно, оно начинается в 360° +5°...10°. Перекрытие осуществляется для переплавки начала шва и гарантированного отсутствия дефектов;
От 7 до 8	Время спада тока, гарантирующее отсутствие трещин и кратера в конце шва;
8	Обрыв дуги и останов вращения горелки;
От 8 до 9	Время послесварочной продувки газа для защиты зоны сварки до ее охлаждения и для защиты вольфрамового электрода от окисления;
9	Останов защитного газа и окончание сварочного цикла.

* В зависимости от предполагаемого результата функции могут программироваться в различной хронологической последовательности.

12.2. Интерфейсы для программирования сварочных циклов

Обычно используются два типа интерфейсов для взаимодействия между оператором и сварочным оборудованием.

1- На панели-схеме сварочный цикл представлен в графическом виде. Оператор может выбирать соответствующий параметр, наводя на него курсор, соответствующее значение выводится на дисплей и может быть при необходимости изменено. Но вначале должны быть зафиксированы общие настройки:

- ▶ импульсный или неимпульсный сварочный ток;
- ▶ подача проволоки включена/отключена, импульсная/ постоянная подача.

В зависимости от того, какие из вышеназванных настроек вы выбрали, доступны будут только необходимые для уточнения параметры. В источниках питания с микропроцессорным управлением PS 164-2 используется этот тип интерфейса. Программы могут быть сохранены на карту памяти.

Этот интерфейс позволяет работать с главными параметрами источника,

данные могут быть сохранены на карту памяти и переданы на ПК. Программное обеспечение позволяет создавать сварочный цикл в режиме оффлайн, управлять библиотекой. Т.к. программное обеспечение разработано под Windows, его легко понять и применять.

Файлы из ПК могут быть переданы в источник питания через карту памяти.

2- Недавно был разработан интуитивный графический интерфейс пользователя на базе Linux для работы на машинах орбитальной сварки. Схематическое изображение сварочного цикла представлено на сенсорном экране диагональю 10.4". Он позволяет оператору эффективно использовать все функции управления сварочным процессом и писать программы. Некоторые из функций интерфейса:

- ▶ Возможность вводить информацию об изделии;
- ▶ Создание связанных сварочных циклов для выполнения многопроходной сварки;
- ▶ Описание механических регулировок устройств, типа и характеристик газов,



Панель источника питания PS 164-2



электродов, присадочной проволоки и т.д.

- ▶ Система поиска, работающая по 8 параметрам одновременно;
- ▶ Компьютерная оптимизация параметров сварочных режимов для применений «труба-труба», «труба-трубная доска»;
- ▶ Автоматическое создание программ по заданным условиям для орбитальной сварки плавлением;
- ▶ Источники Р4 и Р6 оснащены вышеуказанными функциями. Их можно программировать онлайн или в автономном режиме с помощью соединения LAN. Возможно обновление ПО через сеть Ethernet.



Сенсорный экран источника питания Р4

12.3. Программирование в автономном режиме

Программирование сварочных циклов для сложных задач обычно осуществляется в автономном (оффлайн) режиме на ПК без соединения с источником.

Последовательность программирования – строка за строкой. Программирование похоже на программирование станков с ЧПУ, команды представлены на многих языках, включая русский. После

прохождения краткого тренинга каждый сварщик сможет самостоятельно создавать программы. ПО разработано под Windows, окно интерфейса очень похоже на рабочую среду Excel.

№	Имя	Тип	Единица	Значение	Минимум	Максимум
1	Время	Time	min	0.0	0.0	999.9
2	Скорость	Speed	mm/min	100	10	1000
3	Угол наклона электрода	Electrode angle	deg	45	0	90
4	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
5	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
6	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
7	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
8	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
9	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
10	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
11	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
12	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
13	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
14	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
15	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
16	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
17	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
18	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
19	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000
20	Скорость вращения	Rot. speed	rpm	100	10	1000

Программирование сварочного цикла источника серии PC



13.3. Внешняя система регистрации данных в режиме реального времени

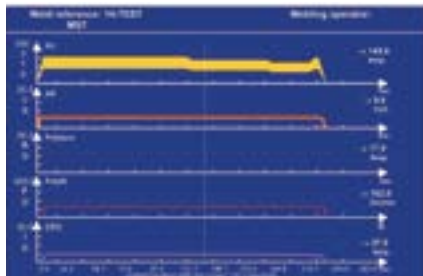
У источников питания серии РС нет встроенной системы регистрации параметров режима сварки. Система регистрации фирмы ПОЛИСУД работает в сочетании с программным обеспечением DASYLab. DASYLab – это рабочая среда, разработанная специально для регистрации данных, анализа и управления процессом в реальном времени.

Такие параметры, как величина силы сварочного тока, напряжения на дуге, скорости перемещения горелки и скорости подачи присадочной проволоки записываются с частотой 200 Гц. Когда запускается сварочный цикл, т.е. поджиг дуги, запись и сохранение на жестком диске параметров сварки начинается автоматически. Сохраненным файлам автоматически присваивается уникальное имя, содержащее дату и время сварки.

Во время сварки можно наблюдать за изменением параметров режима, которые графически отображаются на мониторе в виде диаграмм.

Система регистрации позволяет

оператору установить допустимые пределы отклонения параметров от заданных. В этом случае значение параметра сравнивается со значением, которое до этого было получено при сварке контрольного соединения. Если отклонения параметров при сварке достигают границ пассивного коридора (passive mode), то диаграмма изменяет свой цвет, когда же параметр выходит за пределы активного коридора (active mode), система регистрации параметров прерывает сварку.



Пример изображения диаграммы параметров системы регистрации данных ПОЛИСУД

14. Сварка плавлением соединений "труба - труба"

14.1. Применение

Сварка плавлением тонкостенных труб применяется во многих отраслях, например, полупроводниковая, пищевая фармацевтическая, химическая, аэрокосмическая промышленности, биохимия, производство инструментов и т.д. В большинстве случаев трубы

изготавливаются из коррозионностойкой аустенитной стали, иногда встречаются такие материалы, как никелевые сплавы и титан. Номенклатура труб охватывает диаметры от 1,6 мм до 170 мм, толщины стенок от 0,2 мм до 3,2 мм.

14.2. Оборудование

Сварку плавлением предпочтительно выполнять на таких источниках, как PS-164-2 или P4 в сочетании с орбитальными головками закрытого типа. В зависимости от применения закрытые головки можно разделить на две группы.



Источник питания P4 со сварочной головкой закрытого типа

14.2.1. Сварочные головки закрытого типа UHP



Сварочная головка закрытого типа UHP500-2

Головки серии UHP разработаны для удовлетворения требований особенно чистой сварки. Защитный газ подается непосредственно в место сварки, минуя прохождение редукторов и вращающихся частей. Таким образом, вероятность загрязнения шва инородными включениями значительно снижается.

Головки этого типа имеют значительно уменьшенные радиальный и осевой размеры. Головки UHP, спроектированные специально для сварки труб малых диаметров, имеют модульную конструкцию. Двигатель привода встроен в рукоятку, его работа может быть согласована с тремя видами редукторов: UHP 250-2 для труб диаметром до 6,35 мм (1/4"), UHP 500-2 для труб диаметром до 12,7 мм (1/2") и UHP 1500 для труб диаметром 33,7 мм (1 1/3"). Рукоятка присоединяется к головке непосредственно перед сваркой.

Зажимные кассеты и гибкие вставки для зажима труб, изготавливаемые из титана, соответствуют номенклатуре диаметров труб, которые используются в полупроводниковой промышленности и в сетях газов высокой чистоты. Несимметричная форма головки позволяет приваривать фитинги с малым вылетом. Крепежные блоки гарантируют точное центрирование и надежное закрепление труб всего диапазона малых диаметров.



14.2.2. Головки закрытого типа серии MW

Головки серии MW были разработаны для автогенной сварки без подачи присадочной проволоки. Диапазон свариваемых диаметров труб от 6 до 115 мм. В дополнение к отличному качеству сварных соединений, получаемых головкой MW, встроенный контур охлаждения в сочетании с теплоустойчивыми материалами конструкции головки значительно увеличивают производительность. Управление головкой можно осуществлять кнопками на ее рукоятке.

Фитинги и штуцеры, имеющие малый вылет, могут быть приварены с помощью комплекта для сварки отводов со смещенным электродом.



Сварочная головка закрытого типа серии MW

14.2.3. Головки открытого типа



Сварочная головка открытого типа серии MU

Головки открытого типа могут производить сварку как с присадочной проволокой, так и без нее. Следует обратить внимание на две важные особенности по сравнению с головками закрытого типа:

Газовая защита охватывает только зону вокруг горелки, а не всю зону сварки. Это может вызвать проблемы при сварке чувствительных к окислению металлов и сплавов.

Заготовка трубы с одной из сторон должна быть достаточно широкой для закрепления на ней головки.

14.3. Расчет сварочных параметров

Существует возможность рассчитывать параметры для сварки плавлением (без присадочной проволоки) в зависимости от диаметра и толщины стенки труб.



Меню доступа к существующим сварочным программам

14.4. Подготовка кромок под сварку

Для автоматической орбитальной сварки требуется точная подготовка труб и сборка под сварку. Чтобы выполнить разделку надлежащего качества, необходимо использовать специальную торцевальную машину. Все неровности должны быть полностью удалены, зазор отсутствовать, а стык труб иметь одинаковые размеры по всему периметру. В зоне сварки не допускается наличие жиров, влаги и других загрязнений.

Перед началом сварки трубы следует собрать соосно на прихватках. Во время выполнения прихваток необходимо использовать формирующий газ во избежание появления оксидов. Т.к. хром имеет высокую температуру плавления, то голубые и темные пятна от прихваток могут привести к несплавлению во время сварки.

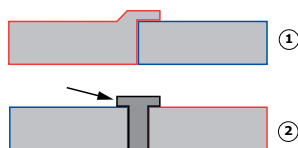
Диаметр прихваток должен быть меньше ширины сварного шва. Сварщик должен делать прихватки без присадочной проволоки, чтобы гарантировать их

Расчеты основываются на формулах для коррозионностойкой стали (300-й серии, а именно 316L), но результаты могут быть применены и для других материалов. Новые источники питания, такие, как P4 и P6 оснащены ПО, которые рассчитывает сварочные параметры автоматически при отсутствии в библиотеке программ для запрошенной задачи.

Достоверность рассчитанных результатов может быть подтверждена сваркой соединений. Материалы одинакового назначения и имеющие схожий химический состав могут иметь различные сварочные свойства (см. 14.7. Химический состав и повторяемость швов).

последующую переплавку во время сварки.

Экспертная информация: Для усиления шва можно немного модифицировать соединение, т.е. подготовить т.н. нахлесточный воротник (1). Другой вариант – в зазор поместить кольцо (2). Правильно подобрав материал, вторым способом можно производить сварку разнородных материалов, которые иначе не могли бы быть сварены.



14.5. Заточка электрода

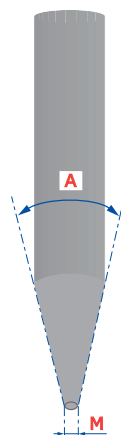
Для получения стабильной дуги постоянной формы вольфрамовые электроды, которые используются как для автоматической, так и для ручной ВИГ-сварки, должны иметь конусообразную форму. Диаметр электрода, угол заточки «А» и диаметр притупления «М» зависят от силы тока. Угол заточки «А» должен иметь значение от 18° до 30° , диаметр притупления должен быть в интервале от 0,1 до 0,5 мм. Чем выше сила тока, тем больше должен быть диаметр притупления.

Электрод должен иметь длину, соответствующую данной сварочной головке, внешнему диаметру трубы и длине сварочной дуги. Во многих случаях не просто затачивать электроды прямо на месте сварки, даже используя специальную машинку. Иногда выгоднее купить уже заточенные электроды.

Экспертная информация:

вольфрамовые электроды должны быть заменены до износа, этим предотвращается появление многих

дефектов (нестабильность дуги, сложность поджига). Иногда требуется менять электрод после выполнения каждого прохода.



Заточка электрода

Диаметр электрода		Постоянный ток, А		Переменный ток, А
		Прямая полярность (-)	Обратная полярность (+)	
0.020"	0,05 мм	5-20		10-20
0.04"	1,0 мм	15-80		20-30
1/16"	1,6 мм	70-150	10-20	30-80
3/32"	2,4 мм	150-250	15-30	60-130
1/8"	3,2 мм	250-400	25-40	100-180
5/32"	4,0 мм	400-500	40-55	160-240
3/16"	4,8 мм	500-750	55-80	190-300
1/4"	6,4 мм	750-1100	80-125	325-450

Диаметры электродов в зависимости от силы тока

14.6. Формирующий газ

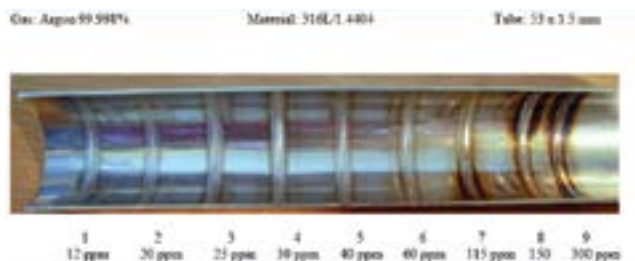
Во время сварки внутренняя поверхность труб должна быть защищена от окисления. Поэтому изнутри подается формирующий газ. Чистота формирующего газа зависит от требуемого качества шва. Перед тем, как сварка начнется, необходимо провести предварительную продувку газа, чтобы исключить кислород из газового тракта. Оставшееся содержание кислорода в тракте формирующего газа должно быть проверено на выходе. Если оно снизилось до приемлемого уровня, сварку можно начинать. Как правило, при применении головок UHP (Ultra High Purity) уровень кислорода должен опуститься до 0,001%.

Экспертная информация: в газе на выходе из тракта должны отсутствовать влага и другие посторонние примеси.

Во время сварки необходимо поддерживать постоянный расход формирующего газа и давление, чтобы избыточное давление не спровоцировало формирование обратного валика вогнутой формы.

Если свариваются трубы с диаметрами менее 9,52 мм (3/8"), то давление газа может использоваться, чтобы предотвратить образование выпуклого обратного валика, а также уменьшение внутреннего диаметра трубы вследствие утяжки.

Экспертная информация: светлый оттенок на поверхности металла, вызванный наличием кислорода в формирующем газе, может быть устранен с помощью пассивации.



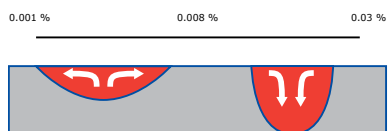
Влияние содержания кислорода в формирующем газе на цвет обратного валика

14.7. Химический состав и повторяемость швов

При сварке коррозионностойкой стали могут возникнуть проблемы в связи с низким содержанием серы в основном металле. Сера влияет на силы поверхностного натяжения сварочной ванны. Высокое содержание серы характеризуется узкой и глубокой ванной, а низкое содержание широкой, но мелкой ванной с малым проплавлением, что объясняется эффектом Марангони.

Если деталь с очень низким содержанием серы должна быть сварена с деталью с высоким содержанием серы, то дуга

может полностью отклониться на заготовку с меньшим содержанием серы, таким образом, нарушается технология сварки. В некоторых случаях проблема может быть разрешена двукратным повторением сварки, предусмотренной технологией.



Влияние серы на сварочную ванну



15. Сварка соединений "труба - труба" с присадочной проволокой

15.1. Применения

В следующих случаях необходимо применять присадочную проволоку при орбитальной сварке:

- Сварка труб с разделкой кромок;
- Свариваемые трубы изготовлены из разнородных материалов;
- Швы должны быть усилены;
- С помощью сварки плавлением не удается получить оптимальное сочетание качеств прочность-коррозионная стойкость.

Сварка соединений "труба - труба" с присадочной проволокой часто применяется в энергетическом секторе (электростанции), а также на химических и нефтехимических производствах.

Используется широкая номенклатура материалов:

- Углеродистая конструкционная сталь;
- Низколегированная хромистая или хромомарганцевая сталь;
- Высоколегированная хромоникелевая сталь (аустенитная или аустенитно-ферритная);
- Никелевые сплавы (например, т.н. сплавы Inconel или Hastelloy)

Диаметры труб могут быть разнообразными, однако самые популярные диаметры лежат в интервале между 26,9...219 мм (3/4" ... 8"), а толщины стенок - в интервале 2,77...12,7 мм.

15.2. Выбор оборудования

Для орбитальной сварки с подачей присадочной проволоки может использоваться стандартное оборудование с 4-мя программируемыми осями (защитный газ, сила тока, вращение горелки и скорость подачи проволоки) или с 6-ю осями (4 оси

+АРНД и поперечные колебания).

Нижеприведенная таблица содержит технические требования для оборудования с 4-мя и 6-ю осями

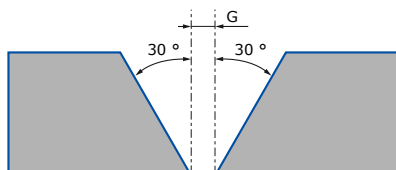
Критерий		Тип оборудования	
		4 оси	6 осей
Толщина стенки	малая (<4 мм)	+	+
	средняя и большая (> 4 мм)	-	+
Доступность	плохая	+	-
	хорошая	+	+
Последовательность сварки	простая	+	+
	сложная	-	+
Степень автоматизации	низкая	+	+
	высокая	-	+

В случае проведения сварки в зоне с плохой доступностью рекомендуется использовать оборудование с 4-мя

программируемыми осями.

15.3. Подготовка кромок под сварку

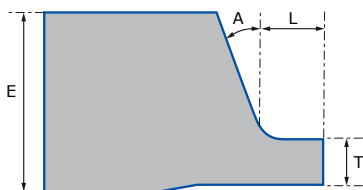
Как правило, для сварки труб, отводов, фланцев ручной аргонодуговой сваркой применяется V-образная разделка кромок с зазором. По нескольким причинам, этот тип разделки не может применяться для орбитальной сварки (зазор недопустим, прихваточные швы невозможно удалить, не может быть обеспечена защита корня формирующим газом и т.д.).



Подготовка кромок труб для ручной ВИГ-сварки

Разделка кромок для орбитальной сварки всегда исключает зазор ($G=0$). Однако при использовании V-образной разделки невозможно достичь равномерного проплавления, наоборот, в некоторых пространственных положениях возможно образование вогнутой формы шва.

Чтобы избежать этих проблем и получить необходимое равномерное проплавление, следует выбрать J-образную разделку с усом шириной L и толщиной T . Ссылки на рекомендуемую подготовку кромок в зависимости от диаметра трубы и толщины стенки даны в таблице далее:



Рекомендуемая подготовка кромок для орбитальной ВИГ-сварки

Диапазон труб (мм)	Угол (°)	Ус (мм)	
Толщина стенки (мм)	A	T	L
$3 < E \leq 6$	30°	1	2
$E \leq 6$		1,5	2
$10 \leq E \leq 15$	20°		

Экспертная информация:

Для автоматической сварки внутренний диаметр трубы обычно механически обрабатывается под толщину T с допуском ($\pm 0,2 \dots 0,3$ мм).

Чтобы можно было гарантировать необходимую точность и повторяемость подготовки кромок, необходимо использовать специальные торцевальные машины. В настоящее время применяются два вида машин:

- Стационарные, спроектированные специально для работы в цеху;
- Электронные или пневматические переносные машины, которые можно использовать на месте проведения работ.



Переносная машинка для подготовки торцов труб

Чтобы очистить трубу из углеродистой стали от ржавчины, поверхностных жиров и прочих загрязнений, внешнюю поверхность трубы необходимо механически обработать.

Экспертная информация: Свариваемые



Стационарная цеховая машина для подготовки торцов труб

материалы должны быть проверены на остаточный магнетизм. Допустимая индукция магнитного поля – 3 Гаусса. Если она превышает указанное значение, то во время сварки могут возникнуть такие дефекты: пористость, «непроплав» и т.д.

15.4. Позиционирование труб

Перед началом орбитальной сварки, трубы должны быть собраны на прихватках. Обычно максимальное смещение кромок не должно превышать половину толщины уса Т. Чтобы получить равномерное проплавление, прихваточные швы должны быть выполнены без присадочной проволоки или с минимальным ее вводом. Подготовленные под сварку торцы

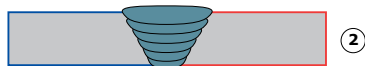
труб должны быть точно подогнаны, исключая зазор.

Если производится сварка коррозионно-стойкой стали, никелевого сплава, титана или его сплава, то подача формирующего газа обязательна. Фактически, углеродистая сталь может свариваться без формирующего газа, но в этом случае будет худшая повторяемость швов.

15.5. Многопроходная сварка

Для выполнения многопроходной сварки применяются разные методы. Какой конкретно будет использоваться, зависит от конфигурации оборудования:

1- С помощью оборудования с 4-мя программируемыми осями можно выполнять только сварку ниточными швами, т.е. разделка заполняется валиками. В некоторых случаях, даже при наличии АРНД и осцилляции все равно применяется сварка ниточными швами (1), например, в положениях 2G или PC, а также при угле наклона 45°, т.е. 6G или H L045.



Способ заполнения разделки при многопроходной сварке

2- Оборудование с 6-ю программируемыми осями позволяет осуществлять поперечные колебания горелки. Можно заполнять один слой за один проход (2).

Многопроходная сварка ниточными швами достаточно сложна и занимает много времени, т.к. после каждого прохода необходимо останавливать сварку и производить механические настройки: корректировку положения электрода и т.д.

Сварочное оборудование с б-ю программируемыми осями значительно снижает время ручных регулировок. Расстояние между электродом и

изделием отслеживается системой АРНД, функция осцилляции позволяет заполнять слой за один проход. Электрод автоматически центруется по стыку. Несколько проходов могут выполняться последовательно, наматывание кабелей также осуществляется автоматически, поэтому оператор может полностью сосредоточиться на наблюдении за процессом сварки.

15.6. Для АРНД необходима точная геометрия электрода

Для автоматической орбитальной сварки вольфрамовые электроды должны иметь абсолютно одинаковую геометрическую форму. Даже малые различия в форме электрода могут привести к значительным изменениям напряжения на дуге, которое является базовым значением для АРНД (см. главу 11.5.1). Разница в напряжении будет преобразована системой АРНД в измененную длину дуги, что в свою

очередь приведет к изменению размера сварочной ванны.

Экспертная информация: увеличенная длина дуги провоцирует уменьшение давления дуги и может повлечь недостаточное проплавление и вогнутую форму поверхности шва. Если же дуга очень короткая, электрод быстро изнашивается.

15.7. Формирующий газ

Для ручной сварки углеродистой стали защита корня шва формирующим газом необязательна, она производится защитным газом, который поступает внутрь трубы через зазор V-образной разделки. В случае орбитальной сварки с J-образной подготовкой кромок без зазора, использование формирующего газа настоятельно рекомендуется.

Этим можно подавить образование тугоплавкого силиката цинка, которое происходит в случае, если сваривается сталь с повышенным содержанием силиката марганца. Таким образом, можно достигнуть лучшей повторяемости сварных швов. Виды формирующих газов для разных материалов приведены в главе 3.5.2.

15.8. Граничные параметры

Важность граничных параметров в орбитальной сварке, т.е. тех, которые не программируются, часто недооценивается. Как следствие, получается низкая повторяемость швов и сниженная производительность. Некоторые из граничных параметров перечислены ниже:

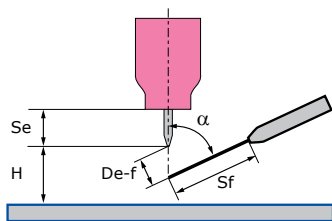
- Защитный газ: вид, чистота, расход;
- Формирующий газ: вид, чистота, расход;

- Газовая линза: тип и размер;
- Керамическое споло: размер, диаметр и длина;
- Электрод: тип, диаметр, угол заточки, вылет;
- Проволока: классификация и диаметр, номер плавки, угол подачи, точка ввода;
- Положение начала сварки;
- Температура между проходами;
- Положение кабеля земли и контакт.



15.9. Геометрические настройки

Геометрические настройки горелки и проволоки должны выполняться с максимальной точностью.



1- Угол α между электродом и проволокой должен быть установлен между 50° и 80° .

2- Расстояние между кончиком электрода и проволокой $De-f$ должно составлять от 1,5 мм до 3 мм. Для выполнения корневого прохода можно использовать большее значение, т.к. жесткость проволоки позволяет «продавливать» ванну и получать выпуклый обратный валик. Для выполнения заполняющих

и облицовочных слоев рекомендуется уменьшить данное расстояние до 2 мм. В этом случае проволока оказывается ближе к дуге и быстрее плавится, а, следовательно, можно вводить большее количество проволоки, а также избежать дефектов.

3- Вылет проволоки Sf следует установить в интервале между 8 и 12 мм. Если оно слишком мало, то либо сгорит наконечник, либо на нем залипнет проволока. А если оно слишком велико, то проволока может изгибаться и, например, попасть на электрод.

4- Междуговой промежуток H следует выставлять в пределах от 2 мм до 3 мм. В случае применения б-и осевого оборудования это расстояние будет поддерживаться функцией АРНД. Однако, для сварки корневого прохода этот зазор должен быть уменьшен до 1...2 мм (см. главу 11.5).

15.10. Возможности для увеличения производительности орбитальной ВИГ-сварки

Орбитальная ВИГ-сварка с холодной присадочной проволокой является хорошим выбором для стандартного применения, которое требует высокое качество швов, но по сравнению с другими дугowymi процессами, имеет

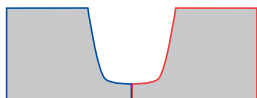
15.10.1. Сварка в щелевую разделку

Значительное увеличение производительности может быть достигнуто за счет уменьшения разделки. Технология сварки в щелевую разделку подразумевает утяжку заготовки после каждого прохода. Размер разделки у основания соединения, т.е. в корневой части, должен позволять установку горелки для сварки в щелевую разделку,

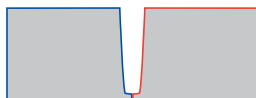
относительно низкий коэффициент наплавки (0,15...0,5 кг/ч). Для повышения эффективности процесса целесообразно использовать сварку в щелевую разделку или/и подачу горячей проволоки.

которая осуществляет сварку ниточными швами, получается, что на один слой приходится один проход. В результате утяжки раскрытие разделки немного уменьшается после каждого прохода. Эта технология может иметь экономический эффект при сварке деталей, имеющих толщину от 25 мм до 250 мм.

Экспертная информация: способ сварки в узкощелевую разделку не рекомендуется для материалов, которые склонны к горячему растрескиванию



Обычно используемая в орбитальной ВИГ-сварке J-образная разделка



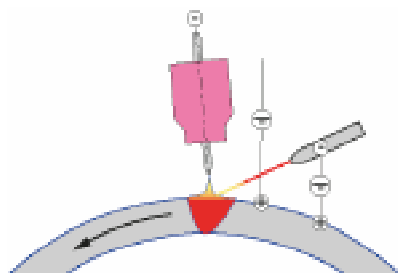
Разделка для сварки в щелевую разделку



Макрошлиф шва, полученного сваркой в щелевую разделку

15.10.2. Сварка с подачей горячей проволоки

Высокая производительность без потери качества может быть достигнута с помощью применения ВИГ-сварки с подачей горячей проволоки. В этом случае присадочная проволока нагревается дополнительным источником тока. Этот способ приводит к заметному увеличению коэффициента наплавки, т.е. 1 кг/ч для орбитальной сварки и значительно больше для наплавки.



Принцип работы сварки с подачей горячей проволоки

15.10.3. ВИГ-сварка в щелевую разделку с подачей горячей проволоки



Горелка для ВИГ-сварки в щелевую разделку с подогретой присадочной проволокой

Наибольшая производительность достигается комбинацией сварки в узкощелевую разделку и подачей горячей проволоки. Этот способ используется главным образом для сварки труб, работающих на электростанциях под высоким давлением и температурой. Только несколько компаний во всем мире способны произвести сложное оборудование и технологии для этих целей. Ответом на данную проблему может служить источник питания производства ПОЛИСУД РС 600-3 HW в сочетании с орбитальной головкой, например, Polysar MP 200, оснащенной горелкой для сварки в щелевую разделку.

16. Орбитальная сварка соединений "труба - трубная доска"

16.1. Материалы и диапазон размеров труб

Практически все свариваемые материалы используются в конструкции "труба - трубная" доска, однако, диапазон размеров труб ограничен. Диапазон диаметров находится пределах 12,7...101,6 мм, толщины стенки 0,5...5 мм. Большинство диаметров труб лежат в интервале от 19,05 мм (3/4") до 38,1

(1,5"), а толщины стенок от 1,65 мм до 3,4 мм.

Котлы и теплообменники применяются во многих отраслях промышленности, например, на химических, нефтехимических заводах, электростанциях.

16.2. Сварочное оборудование

В большинстве случаев сварочное оборудование, используемое для сварки соединений "труба - трубная доска" адаптировано к конкретному виду применения и степени автоматизации:

1- Сварочное оборудование с 3-мя программируемыми осями (газ, сварочный ток, вращение головки) состоит из стационарного источника питания* и закрытой сварочной головки. Это оборудование позволяет производить сварку плавлением, т.е. без

присадочной проволоки.

* Переносные источники питания довольно редко используются для этих задач, т.к. в большинстве случаев нет необходимости в перемещении источника.

2- Сварочное оборудование, включающие 4 программируемые оси (газ, сварочный ток, вращение, АРНД) состоит из стационарного источника питания и головки открытого типа. Оборудование подходит для однопроводной сварки. Два прохода могут быть выполнены за два отдельных шага.

3- Сварочное оборудование с программируемыми 5-ю осями (газ, ток, вращение, подача проволоки, АРНД) состоит из 6-и осевого источника питания и сварочной головки типа TS 8/75 с АРНД. Корректировка положения горелки после каждого прохода может быть запрограммирована и выполнена без прерывания цикла сварки.



Пример применения оборудования с 3-мя осями: сварочная головка TS 34



4- Сварочное оборудование с 6-ю программируемыми осями (газ, сварочный ток, вращение головки, подача проволоки, АРНД, осцилляция) сочетает в себе источник серии РС и сварочную головку типа 20/160. Оборудование позволяет выполнять многопроходную сварку (два или более прохода), горелка может быть расположена в радиальном направлении.

Макрошлиф шва, сваренного с обратной стороны трубной доски

16.3. Специальные требования к трубам и подготовке кромок

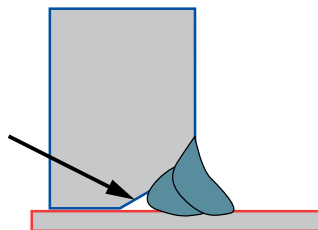
По сравнению с ручной сваркой подготовка к сварке соединения «труба-трубная доска» требует повышенного внимания.

1- Трубы должны быть бесшовными (или со снятым усилением). Погрешность концентричности внутренней и внешней поверхности должна быть минимальна. В стандартных применениях (труба утоплена, установлена заподлицо или выступает из трубной доски). Большая погрешность концентричности внутреннего и внешнего диаметров негативно повлияет на расстояние между деталью и электродом, т.е. на длину дуги.

2- При сварке труб на спуск возникает риск несплавления кромок. Похожая проблема имеет место при сварке

соединений с V-образной подготовкой кромок. В таком случае лучше выполнять J-образную разделку кромок.

3- В некоторых случаях, если эксплуатация требует хорошую теплопроводность между трубой и трубной доской, между ними необходимо выбрать зазор развальцовкой.



Несплавления в корне V-образного соединения



Небольшой зазор необходим для сборки соединения перед сваркой, но, если он становится слишком большим, то могут возникнуть проблемы повторяемости сварки. Однако, сложно определить максимальное значение допустимого зазора, он зависит от толщины стенки трубы и требуемого качества шва.

Экспертная информация: Для того, чтобы приобрести оптимальные центрирующие инструменты для головки, каждый заказ нужно сопровождать информацией о глубине развальцовки,

диаметре трубы в развальцованной зоне, а также номинальный диаметр трубы.

4 - Зона контакта между трубой и трубной доской должна быть чистой. Жиры, масла, а также другие загрязнения, оставшиеся на трубе после ее производства, могут вызвать образование полостей в шве.

5 - Нельзя делать очень сильную развальцовку, т.к. это может привести к взрывоопасному эффекту дегазации.

16.4. Сварка труб, установленных заподлицо

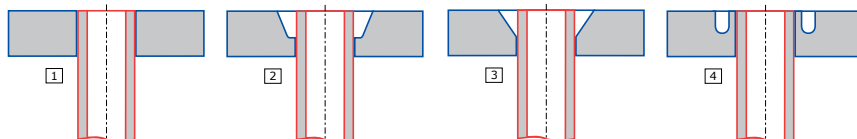
Орбитальная сварка установленных заподлицо труб может выполняться с присадочной проволокой или без нее в зависимости от применения. Различные варианты соединений представлены ниже:

1 – Стандартная подготовка

3 – V-разделка

2 – J-разделка

4 – Разделка канавочного типа



16.4.1. Вварка труб, установленных заподлицо, без присадочной проволоки

Наиболее часто для вварки труб, установленных заподлицо с трубной доской, используется стандартная подготовка под сварку (1), подготовка под номером (4) применяется редко. В случае применения труб диаметром 10...32 мм рекомендуется использовать специально разработанную для этого головку и производить сварку без подачи присадочной проволоки.

Задача оператора – лишь установить сварочную головку и запустить сварочный цикл, который будет выполнен автоматически. Таким образом, оператор может одновременно работать с несколькими сварочными головками.

Стандартное применение: сварка конденсаторов электростанций. В этом

применении титановые трубы имеют толщину стенки около 1 мм, трубная доска изготавливается из стали, а затем на нее выполняется наплавка титанового слоя.



Пример вварки труб, установленных заподлицо, в трубную доску головками TS 34

16.4.2. Сварка труб, установленных заподлицо, с присадочной проволокой

Для этой задачи должно использоваться сварочное оборудование, оснащенное 4-мя или 5-ю программируемыми осями. Открытая головка для вварки труб в трубную доску должна иметь следующие устройства:

- Встроенный или внешний механизм подачи;
- С АРНД или без;
- С камерой для защитного газа или без (для сварки титана или

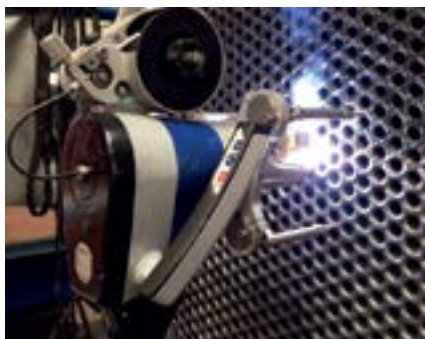
циркония);

- Угол горелки 0° или 15°.

Экспертная информация: функция АРНД особенно рекомендуется для вварки труб, установленных "заподлицо".

Большинство применяемых соединений соответствует рисункам 1, 2 или 3. V-образную разделку кромок применять не рекомендуется, т.к. она может послужить причиной непроплавления в корне шва. Предпочтительной является J-образная подготовка кромок со скруглением или без. Если глубина разделки превышает 1,5 мм, трубу следует устанавливать посередине высоты разделки. Максимальная глубина, на которую может быть утоплена труба – это 50% толщины стенки, после сварки соединение оказывается заподлицо с трубной доской.

В зависимости от требуемой геометрии шва необходимо выполнять один или два прохода. Один проход обеспечивает герметичность соединения. Чтобы обеспечить его прочность, нужно выполнить второй проход



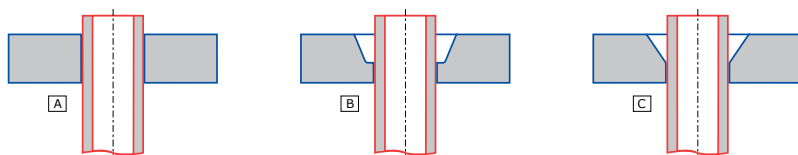
Пример вварки труб, установленных заподлицо с трубной доской, двумя головками TS 8/75

16.5. Сварка выступающих труб

Выступающие трубы всегда свариваются с введением присадочной проволоки, но иногда первый проход выполняется без проволоки. Как видно из рисунка ниже, возможны различные виды соединения:

A – стандартная подготовка без разделки C – V-образная подготовка кромок

B – J-образная подготовка кромок





Для этих задач может использоваться сварочное оборудование с 4-мя или 5-ю программируемыми осями. В зависимости от длины выступающего участка трубы, угол наклона горелки различен. Стандартные углы горелки 15° и 30°:

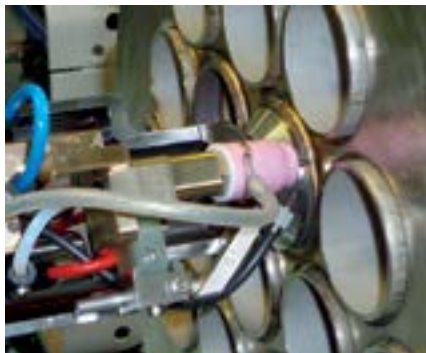
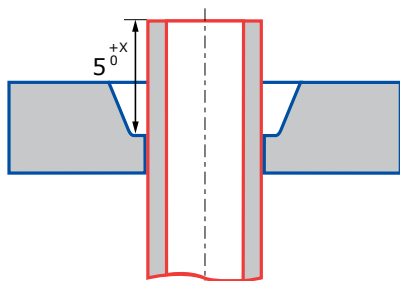
▶ Горелки с углом 15° предпочтительно использовать при сварке тонкостенных труб (от 1,6 до 2,11 мм), таким образом, предотвращая оплавление внутренней поверхности трубы.

▶ Горелки с углом 30° применяются для труб с толщиной стенки более 2,5 мм, если вокруг ввариваемой трубы достаточно пространства, т.е. не происходит оплавление соседних

отверстий.

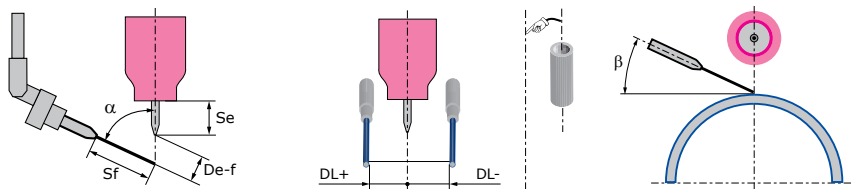
В любом случае, чтобы не произошло оплавления торца трубы, участок трубы от основания разделки (корня) до торца должен иметь длину не менее 5 мм.

Примечание: Если используется 5-ти осевое оборудование, АРНД должна функционировать в режиме *relative height mode* (режим относительной высоты). Таким образом можно регулировать расстояние между электродом и трубной доской независимо от положения горелки, получая наилучший результат сварки.



Пример сварки труб, выступающих из трубной доски, сварочной головкой TS 8/75

Особое внимание должно быть уделено обучению операторов. В отличие от сварки соединений "труба - труба", где регулировка горелки и направляющего наконечника проволоки осуществляются в одной плоскости, при сварке соединений "труба - трубная доска" выполняется пространственная регулировка.



16.6. Сварка утепленных труб

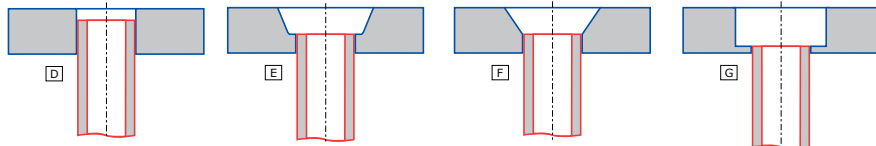
Возможные соединения представлены ниже:

D: Стандартная подготовка без разделки

E: J-образная разделка

F: V-образная разделка

G: Приварка трубы к обратной поверхности трубной доски



Для сварки соединений D, E, F может быть задействовано сварочное оборудование с 4-мя или 5-ю программируемыми осями и головка открытого типа.

Подготовка соединения типа G обычно применяется в нефтехимической промышленности. Для его сварки необходимо использовать сварочное оборудование с 6-ю программируемыми осями и головку TIG 20/160 с внешним зажимным устройством. Данное применение часто требует специального изучения проекта касательно

оптимальной технологии сварки и установки зажимного устройства.

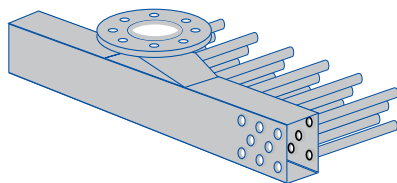
Экспертная информация:

в зависимости от требуемых размеров шва, необходимо выполнять один или два прохода. Первый проход всегда нужен для обеспечения герметичности соединения. Если к соединению предъявляются требования по механической прочности и износостойкости, то необходимо выполнять второй проход.

Особенное применение: Сварка по внутренней стороне трубной доски двустенного коллектора, который применяется в системах воздушного охлаждения и конденсаторах жидкостей. Задействование системы АРНД в данном случае необходимо.



Сварка по обратной поверхности трубной доски двустенного коллектора





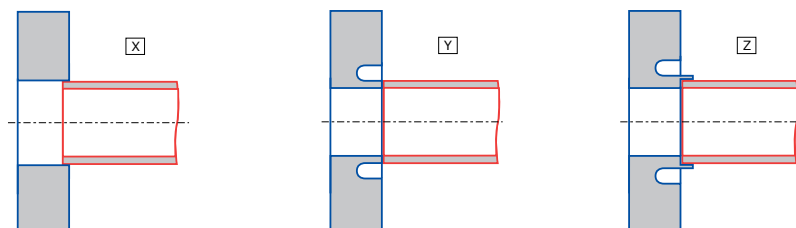
16.7. Сварка с внутренней стороны трубной доски

Чтобы в период эксплуатации предотвратить образование коррозии между трубой и трубной доской, соединение должно быть герметичным. Для этого нужно выполнить сварку изнутри трубы, т.е. приварить трубу к обратной (невидимой) поверхности трубной доски. Данное применение требует высокой точности как подготовки под сварку, так и самой сварки. Некоторые возможные разделки под сварку представлены ниже:

X: Стандартная без разделки

Z: Разделка канавочного типа, с отбортовкой

Y: Разделка канавочного типа, без отбортовки



Подготовка кромок, как показано на рисунке X, не рекомендуется, т.к. большая разница в массе между трубой и трубной доской не гарантирует получение проплавления.

Подготовка на рисунке Y решает проблему проплавления с помощью создания зоны сварки с более сбалансированным соотношением массы трубы и трубной доски.

Сходства между подготовкой кромок по схеме Z со стандартным применением "труба - труба".

- Благодаря отбортовке труба размещается соосно отверстию;
- Оплавленный воротник добавляет металл в соединение, что увеличивает механическую прочность шва.
- Уменьшается вогнутость шва.

Экспертная информация: в отличие от классических применений "труба - трубная доска", сварка изнутри по обратной поверхности трубной доски нуждается в газовой защите корня шва (снаружи трубы). Только в соединении

X, когда труба располагается достаточно глубоко в отверстии (т.е. на половину толщины стенки трубы), защита корня не требуется. Однако, если обратная сторона доски доступна, можно обеспечить местную защиту.

При сварке труб внутренним диаметром более 35 мм можно использовать присадочную проволоку.



Пример сварки утепленных труб в трубную доску

Расстояние от поверхности трубной доски до стыка должно быть очень точным. Оператор не может видеть положение горелки внутри трубы, а, следовательно, и сварочной дуги, поэтому не имеет возможности вносить корректировки.

Проблемы сварки сходны с описанными в главе 1.4. для сварки соединений "труба - труба", плавлением.

Для этих задач может быть использовано сварочное оборудование, имеющее три или четыре программируемые оси. При сварке соединения X необходимы 5 программируемых осей, при этом сварочные головки должны быть

оборудованы специальным копьём для внутренней сварки.

Если к коллектору необходимо приваривать ниппели (это типичное применение в области производства оборудования для электростанции), происходит соединение однородных материалов. В этом случае подготовка под сварку и разделка кромок должны быть такими же, как при внутренней сварке по задней поверхности трубной доски.

17. Заключение

В заключение важно подчеркнуть значимость орбитальной ВИГ-сварки в проектах, где требуется стабильно высокое качество сварных соединений. На протяжении многих лет французская компания ПОЛИСУД занимается проектированием и производством оборудования для ВИГ-сварки. ПОЛИСУД производит как стандартное оборудование, так и специальное, т.е. под конкретные задачи заказчика. Модульная конструкция сварочных головок, источников питания, позволяет предложить заказчику оптимальную конфигурацию оборудования, принимая во внимание особенности данного проекта.

И, наконец, получая отзывы от клиентов и разделяя их опыт решения технических задач, ПОЛИСУД стал лидером рынка в производстве оборудования для автоматической ВИГ-сварки. Департаменты продаж и применения автоматических систем, а также инженерный отдел компании будут рады помочь Вам в решении сварочных задач.



Для заметок

Для заметок



Ваши партнеры по всему миру

АВСТРАЛИЯ
POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

АВСТРИЯ
POLYSOUDE AUSTRIA GmbH
☎ +43 (0) 3613 2 00 36

БЕЛЬГИЯ
POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36
POLYSOUDE BENELUX (SERVICE)
☎ +31 (0) 653 38 85 58

БРАЗИЛИЯ
AJADE COMÉRCIO INSTALA-ÇÕES E SERVIÇOS LTDA
☎ +55 (0) 11 4524 3898

БОЛГАРИЯ
KARWELD EOOD
☎ +359 (0) 2973 32 15

КАНАДА
MAG TOOL INC.
☎ +1 (0) 780 4 47 19 04
☎ +1 (0) 519 651 10 50

КИТАЙ
POLYSOUDE SHANGHAI CO. LTD.
☎ +86 (0) 21 64 09 78 26

ХОРВАТИЯ
EUROARC D.O.O.
☎ +385 (0) 1 240 60 77

ЧЕХИЯ
POLYSOUDE AUSTRIA GmbH
☎ + 420 602 602 855

ДАНИЯ
POLYSOUDE DENMARK
☎ +45 (0) 32 94 85 10

ЕГИПЕТ
POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

ФИНЛЯНДИЯ
SUOMEN TEKNOHAUS OY
☎ +358 (0) 927 47 2 10

ФРАНЦИЯ
POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ГЕРМАНИЯ
POLYSOUDE DEUTSCHLAND
☎ +49 (0) 7154 1796 90
☎ +49 (0) 2171 58 1336

ВЕЛИКОБРИТАНИЯ
POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

ГРЕЦИЯ
POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ВЕНГРИЯ
POLYWELD GmbH
☎ +36 (0) 28 42 22 36

ИНДИЯ
POLYSOUDE INDIA
☎ +91 (0) 20 400 35 931

ИНДОНЕЗИЯ
P.T. TIRA AUSTENITE
☎ +62 (0) 21 460 25 94

ИЗРАИЛЬ
ADLER & STERN LTD.
☎ +972 (0) 484 1 38 59



ИТАЛИЯ
POLYSOUDE ITALIA SRL
☎ +39 (0) 2 93 79 90 94

ЯПОНИЯ
GMT CO Ltd.
☎ +81 (0) 44 222 67 51
☎ +81 (0) 789 35 67 51

ИОРДАНИЯ
POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

ЮЖНАЯ КОРЕЯ
СHEMIKO CO. LTD
☎ +82 (0) 2 567 5336

МАЛАЙЗИЯ
POLYSOUDE ASIA
☎ +86 (0) 65 862 60 08

МЕКСИКА
ASTRO ARC POLYSOUDE INC.
☎ +1 (0) 661 702 0141

НИДЕРЛАНДЫ
POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

POLYSOUDE BENELUX (SERVICE)
☎ +31 (0) 653 38 85 58

НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ
POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

НОРВЕГИЯ
POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

ПАКИСТАН
POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ФИЛИППИНЫ
POLYSOUDE ASIA
☎ +86 (0) 65 862 60 08

ПОЛЬША
ZALCO Sp. z.o.o.
☎ +48 (0) 22 894 55 00
UNIDAWELD - BEDZIN
☎ +48 (0) 32 225 50 60
ПОРТУГАЛИЯ
PRAXAIR SOLDADURA S.L.
☎ +34 (0) 91 453 30 00

РУМЫНИЯ
DEBISUD S.R.L.
☎ / Fax +40 (0) 255 21 57 85

РОССИЯ + СНГ.
Представительство
АОУТ "ПОЛИСУД"
☎ +7 (0) 495 564 86 81

САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
ALRUQUEE MACHINE TOOLS
☎ +966 (0) 385 7 63 87

СИНГАПУР
POLYSOUDE ASIA
☎ +86 (0) 65 8682 60 08

SIN SOON HUAT WELDING PRODUCTS PTE. LTD
☎ +65 (0) 62 65 60 88
СЛОВАКИЯ
POLYSOUDE AUSTRIA GmbH
☎ +43 (0) 361 32 00 36

ЮАР
POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ИСПАНИЯ
PRAXAIR SOLDADURA S.L.
☎ +34 (0) 91 785 77 09

ШВЕДИЯ
POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

ШВЕЙЦАРИЯ
POLYSOUDE (SWITZERLAND) INC.
☎ +41 (0) 43 243 50 80

ТАЙВАНЬ.
FIRST ELITE ENT. CO. LTD.
☎ +886 (0) 287 97 88 99

ТАЙЛАНД
POLYSOUDE ASIA
☎ +86 (0) 65 6862 60 08

ТУРЦИЯ
EGE MAKINE.
☎ +90 (0) 212 2 37 36 00

ОАЭ
GERMAN GULF ENTERPRISES LTD.
☎ +971 (0) 65 31 61 71

УКРАИНА
Представительство
АОУТ "ПОЛИСУД"
☎ +7 (0) 495 564 86 81

США
ASTRO ARC POLYSOUDE INC.
☎ +1 (0) 661 702 0141

ВЕНЕСУЭЛА
POLYSOUDE LATIN AMERICA
☎ +58 (0) 243 242 4541