

# РУКОВОДСТВО

Орбитальная ВИГ-сварка.  
Соединение "Труба-Отвод"





Автор: Жан-Пьер Барту  
Руководитель департамента  
"Исследований и разработок"  
Европейский дипломированный инженер  
в области сварки  
FR EWE 00388

Оригинальное издание: 2021 - Polysoude S.A.S., г. Нант, Франция.  
Фотографии, схемы и чертежи предназначены для лучшего понимания  
материала и не являются офертой.

Все права защищены. Без письменного разрешения издателя запрещено  
любое воспроизведение данного документа, полное или частичное, в  
любой форме и на каком бы то ни было оборудовании, электронном  
или механическом, в том числе с помощью фотокопирования,  
записывающих устройств или компьютерной техники.

Отпечатано в России.

Опубликовано Polysoude S.A.S., г. Нант, Франция.

[www.polysoude.com](http://www.polysoude.com) [info@polysoude.com](mailto:info@polysoude.com)

[www.polysoude.ru](http://www.polysoude.ru) [info@polysoude.ru](mailto:info@polysoude.ru)



## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Цель исследований	5
2. Современное состояние техники в области ручной ВИГ-сварки	5
3. Состояние техники в области ВИГ-орбитальной сварки	8
4. Проблемы ВИГ-орбитальной сварки соединений "труба-отвод"	10
5. Применяемые при автоматической орбитальной сварке разделки	12
6. Позиционирование трубы и отвода относительно друг друга	15
6.1. Теоретическая основа	15
6.2. Граничные варианты сборки под сварку	15
7. Сварка различных проходов	19
8. Смешанная U-V разделка кромок	23
9. Механическая обработка и оборудование	23
9.1. Различные поверхности разделки	24
9.2. Вот как достигается идеальная подготовка кромок под сварку	29
10. Выполнение корневого шва	31
10.1. Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении корневого шва	32
10.2. Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении корневого шва	32
10.3. Типичный сварочный цикл корневого шва	35
10.4. Советы для успешного выполнения корневого шва	35
10.5. Подготовка корневого шва соединения "труба-отвод"	36
10.6. Допуски на взаимное позиционирование заготовок	40
11. Выполнение "горячего" шва	41
11.1. Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении "горячего" шва	42



11.2.	Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении "горячего" шва	42
11.3.	Типичный сварочный цикл "горячего" шва	44
11.4.	Советы для успешного выполнения "горячего" шва	44
12.	Выполнение заполняющих швов	45
12.1.	Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении заполняющего шва	46
12.2.	Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении заполняющего шва	46
12.3.	Типичный сварочный цикл заполняющего шва	48
12.4.	Советы для успешного выполнения заполняющих швов	48
12.5.	Настройка функции АРНД при выполнении колебаний	50
13.	Выполнение облицовочного шва	51
13.1.	Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении облицовочного шва	52
13.2.	Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении облицовочного шва	52
13.3.	Типичный сварочный цикл облицовочного шва	54
13.4.	Советы для успешного выполнения облицовочного шва	54
13.5.	Соединение "труба-отвод" - облицовочный шов	55
14.	Сварка соединений с V-образной разделкой	57
15.	Выводы и рекомендации	61
15.1.	Библиотечные карты тех.процесса сварки	62
15.2.	Дополнительные примечания	62

## 1. Цель исследований

Одна из часто встречающихся задач в области орбитальной сварки – соединение трубы с фланцами, отводами, фитингами или тройниками.

За исключением вопросов, касающихся фиксации сварочных головок и связанных с затрудненным доступом к месту сварки, в настоящее время отсутствует системный подход к решению задач по сварке труб с отводами, аналогичных соединению "труба-труба".

В рамках проведенного исследования рассматриваются выполняемые в горизонтальном положении (позиция 5F) орбитальной сваркой соединения "труба-отвод" и предлагаются соответствующие поставленной задаче и современному уровню техники решения.

На основании представленных примеров задач описывается системный подход, который можно использовать для определения ключевых параметров сварки и других условий, позволяющих получать надежные соединения.

В первой части данного руководства описывается, какие условия должны быть непременно выполнены для получения качественного соединения "труба-отвод" и какие причины могут отвечать за появление отрицательного результата.

Накопленный в ходе проведения исследования опыт представлен в последней части руководства таким образом, что его можно использовать в качестве основы для создания соответствующих карт технологического процесса сварки. Такие карты техпроцесса сварки (WPS) уже сохранены в базе данных источников сварочного тока P6 и P6HW.

## 2. Современное состояние техники в области ручной ВИГ-сварки

Не углубляясь в детали, которые играют определенную роль для соединений "труба-труба", можно утверждать, что ВИГ-сварка лучше всего подходит для соединения различных материалов и получения качественных сварных швов.

Чтобы гарантировать воспроизводимый уровень качества соединений, необходимо обладать и использовать специальные знания и навыки, а также принимать ограничительные условия.

В зависимости от размеров соединяемых заготовок (диаметр и толщина) ручная ВИГ-сварка применяется исключительно для выполнения корневого



прохода или корневого + последующего заполняющего прохода, в то время как для облегчения заполнения разделки предпочитают другие способы сварки (в случае отсутствия средств механизации и наличия высоких требований к качеству шва чаще всего применяется ручная дуговая сварка покрытыми электродами).

Экономическая эффективность, которая в конечном итоге решает, что использовать, исключительно ручную ВИГ-сварку или комбинацию способов сварки, зависит от условий эксплуатации свариваемого изделия, свариваемых материалов, размеров организации и ожиданий относительно качества сварных соединений. Не следует также забывать о необходимости наличия опытных сварщиков.

В следующей главе будут описаны требования, которые следует выполнить для внедрения автоматической сварки, но сначала мы рассмотрим учитываемые при применении ручной ВИГ-сварки граничные условия.

При ручной и автоматической сварке чувствительных к воздействию кислорода материалов (низколегированные и коррозионностойкие стали, никелевые сплавы, титан и т.д.) необходимо использовать формирующий газ.



Основное преимущество ручной ВИГ-сварки заключается в том, что подготовка кромок под сварку не зависит от размеров свариваемых заготовок и может оставаться неизменной.

Для пограничных размеров (сверхтонкие и очень толстостенные) подготовка под сварку может быть несколько адаптирована, однако, в общем и целом, остается неизменной.

Особенность применения ручной ВИГ-сварки состоит в том, что, выполняя корневой проход, сварщик может заварить имеющийся зазор между свариваемыми заготовками.

Чтобы гарантировать равномерный зазор (обычно 3–4 мм, для тонкостенных изделий несколько меньше), заготовки фиксируются постановкой прихваток. За счет постановки определенного количества прихваток достигается прочность, требуемая для сопротивления возникающей в процессе сварки усадке, которая в свою очередь может привести к схлопыванию зазора.

В процессе выполнения прихваток зазор выдерживается за счет размерных прокладок, которые сварщик устанавливает по мере их наложения, следя за тем, чтобы не происходило заклинивание прокладок из-за усадки.

При определенных обстоятельствах (условиях) и должном уровне квалификации сварщика усадка может компенсироваться заранее установленным и увеличивающимся к завершению шва зазором.

В зависимости от величины заготовки зазор может быть установлен с помощью вставного кольца. В этом случае удастся избежать расплавления притупления и обеспечить одинаковый профиль корневого шва по всей длине.

При ручной сварке наложение корневого шва обычно происходит в несколько этапов (часто используется техника "сварка на подъем"). Это, среди прочего, позволяет лучше позиционировать места постановки прихваток и, если возможно, то равномерно распределить их по всей длине шва.

Недостаток такой технологии состоит в том, что, подходя к прихватке, сварщик должен прервать процесс сварки, чтобы иметь возможность зачистить ее, а затем продолжить накладывать корневой шов, стараясь максимально сохранить его геометрию.

Результат зависит в первую очередь от навыков сварщика. Высококвалифицированный сварщик способен компенсировать изменение размеров зазора и, при необходимости, сделать усадку равномерной путем последующего шлифования. Умение вышлифовать дефекты сварного шва относится к основополагающим навыкам хорошего сварщика.

Форма сварного шва зависит от квалификации сварщика, который должен постоянно адаптировать размер сварочной ванны в зависимости от величины зазора и положения при сварке, а также регулировать проплавление с помощью присадочного материала.

Следующий недостаток ручной сварки заключается в сложности обеспечения надежной газовой защиты, так как наличие зазора препятствует образованию ламинарного потока.

Что касается подготовки кромок под сварку, то можно использовать универсальную разделку с углом раскрытия  $37,5^\circ$  и притуплением от 1,5 до 2 мм.

Необходимо отметить отсутствие жестких требований к точности подготовки кромок и сборки под сварку при использовании ручного способа. Так как квалифицированный сварщик способен компенсировать отклонения в несколько мм без изменения режима сварки.

Подводя итоги, можно отметить следующие особенности технологии ручной ВИГ-сварки соединений "труба-труба":

- Достижение гарантированного результата можно обеспечить только при условии высокой квалификации сварщика



- Подготовка кромок под сварку практически не зависит от геометрии и условий эксплуатации свариваемого изделия.
- Требуемое сварочное оборудование сравнительно простое.
- Требуемое проплавление достигается за счет высокой квалификации сварщика.
- В процессе выполнения прохода существует возможность улучшить качество шва.
- Сварочный процесс легко планировать и выполнять.

Однако не следует забывать, что результат определяется квалификацией сварщика. Поиск и обучение сварщиков, которые одинаково хорошо сваривают во всех пространственных положениях, представляют собой сложную задачу.

А для того, чтобы обеспечить стабильное качество при условии неизменной производительности, необходимо иметь достаточный штат таких сварщиков. Уже при ПВ более 35 – 50% очень сложно или практически невозможно достигнуть стабильного результата в течение продолжительного времени.

Для особо чувствительных материалов неравномерная скорость сварки может приводить к постоянному снижению качества шва.

### **3. Состояние техники в области ВИГ-орбитальной сварки**

Трудности, связанные с поиском высококвалифицированных сварщиков, привели к тому, что организации в разных отраслях промышленности начали искать решения для уменьшения этой зависимости и для повышения производительности путем массового внедрения установок для автоматической и механизированной сварки.

Кроме того, связанные с условиями труда проблемы (ограниченность рабочего пространства, усиливающая тепловое и лучевое воздействие на организм) привели к значительному сокращению специалистов в этой травматичной и подвергаемой постоянному стрессу области.

В течение нескольких десятилетий частота использования установок для ВИГ-орбитальной сварки многократно увеличилась.

Сегодня предлагается широкий спектр сварочного оборудования для решения различных задач в области орбитальной сварки. Поразительно, как широко и разнообразно представлены комбинации источников сварочного тока и исполнительных механизмов (сварочных головок) на рынке.

Схожая ситуация наблюдается в области оборудования для подготовки кромок под сварку, где предлагается широкий спектр установок для всех существующих на практике разделок.



Изменения в подготовке под сварку привели к возможности получения сборки без зазора и преодолению зависимости качества шва от квалификации сварщика.

Отсутствие зазора создает стабильные граничные условия, в которых происходит сварка, и поэтому больше не требуется быстрой реакции сварщика.

Однако успешное применение автоматической орбитальной сварки возможно при выполнении следующих условий:

- применяются импульсные источники сварочного тока
- используются программируемые источники сварочного тока, которые позволяют синхронизировать оси (сварочные параметры) между собой
- наличие возможности избежать провисания корня шва при сварке в горизонтальном положении (5G-позиция)
- подготовка кромок под сварку соответствует решаемой задаче
- для выравнивания свариваемых заготовок используются определенные допуски
- применяемая технология сварки соответствует решаемой задаче.

В данном руководстве мы не будем останавливаться на указанных выше в общем-то общеизвестных требованиях, а сосредоточимся на особых условиях, которые нужно дополнительно соблюдать при сварке соединений "труба-отвод".

Для сравнения с ручной ВИГ-сваркой обобщим ниже преимущества и недостатки автоматической орбитальной сварки.

К преимуществам орбитальной сварки можно отнести следующие моменты:

- Повторяемость процесса. Аппаратура управления и программное обеспечение источника сварочного тока обеспечивает воспроизводимость запрограммированных сварочных параметров с высокой точностью от цикла к циклу сварки.
- Одинаковое тепловложение. Повторяемость сварочных циклов обеспечивает высокий уровень качества сварных соединений (компактность, механические характеристики), что при ручной ВИГ-сварке возможно только при определенных условиях.
- Прогнозируемая производительность. Постоянная высокая производительность, которая не зависит от физического состояния сварщика в течение длительного времени, позволяет с высокой степенью надежности разрабатывать производственные планы. Однако для реализации этого преимущества должны быть выполнены следующие условия:
  - при подготовке кромок под сварку должны соблюдаться жесткие допуски на отклонения;



- должна гарантироваться точность расположения заготовок друг относительно друга (минимальный либо отсутствующий зазор, соосность);
- следование прописанной технологии (точная установка сварочной головки, обеспечение чистоты заготовок под сварку, регулярное обслуживание оборудования);
- применение U-образной (рюмочной) разделки должно максимально использоваться при сварке различных конструкций и материалов.

### 4. Проблемы ВИГ-орбитальной сварки соединений "труба-отвод"

Для автоматической сварки во всех пространственных положениях лучше всего подходит U-образная подготовка кромок, которая по-другому называется "рюмочная разделка". Эта форма разделки позволяет удовлетворить все требования, предъявляемые геометрической форме сварного шва с внутренней стороны трубы.

При сварке соединений "труба-труба", как правило, без проблем можно получить указанную выше форму разделки кромок. Иным образом обстоят дела с соединениями трубы с концевыми элементами, как, например, при сварке трубы и отвода.

В этом случае часто можно столкнуться со следующими трудностями, которые возвращают нас к ряду давно известных проблем:

- Часто отводы изготавливаются и поставляются с уже готовой разделкой под ручную сварку, которая представляет собой V-образную разделку с углом раскрытия  $37,5^\circ$ , притуплением 1,5 – 2,5 мм и без калибровки внутренней стороны.
- Длина прямолинейного участка отвода в большинстве случаев недостаточна для того, чтобы зафиксировать установку для механической обработки кромок.
- В настоящее время отсутствуют (вряд ли существуют) промышленные решения для фиксации изготовленных отводов в мобильных или стационарных установках (не говоря уже о внутренней калибровке).

Указанные выше проблемы касаются в основном заготовок с коротким прямолинейным участком, таких, как отводы. На тройниках, фитингах, фланцах и т.п. проще закрепить установку для механической обработки и избежать описанных выше проблем. В случае, если у отвода есть достаточный для фиксации прямолинейный участок, а у производителя имеется в наличии подходящее оборудование, то необходимо подготовить кромку в виде U-образной разделки. Тогда мы получим классическую подготовку кромок с U-образной разделкой, как и для соединений

"труба-труба".

В отличие от обычного соединения "труба-труба" при решении этой задачи необходимо обращать внимание на способ получения отвода (литье, поковка), так как различные допуски на округлость формы могут привести к сложностям при расплавлении притупления.

В случае отсутствия возможности переработать имеющуюся у отвода подготовленную под ручную сварку кромку, необходимо применять смешанное соединение, состоящее из V- и U-образной подготовки.

Ниже подробно рассмотрим особенности обработки и получения соединений со смешанной формой разделки.

Дополнительные технические требования, которые возникают при автоматической орбитальной сварке соединений "труба-отвод", существенно отличаются от уже известных соединений "труба-труба".

Со стороны отвода обычно расположена V-образная разделка, так как отсутствует возможность его последующей механической обработки.

В рамках проведенного исследования смешанной разделки использовались обычные трубы, у которых V-образная разделка или отторцованный конец механически обрабатывались в U-образную разделку.

Для безззорного соединения с V-образной разделкой при сварке в потолочном положении и на спуск характерно появление провисания корня шва. Как и при сварке соединений "труба-труба", V-образная разделка не только неблагоприятна с точки зрения осуществления процесса сварки, но и увеличивает риск появления провисания и непроваров из-за дополнительного негативного воздействия силы тяжести и сил поверхностного натяжения.

При применении смешанной V/U-образной разделки можно снизить или вообще исключить вероятность появления провисания корневого шва при сварке на спуск и, особенно, при сварке в потолочном положении. При выполнении V-образной разделки на одной из сторон нужно использовать угол раскрытия в 45° (данный угол раскрытия универсальный для всех материалов) и минимально возможное притупление (желательно от 0,1 до 0,5 мм). В этом случае при точном позиционировании заготовок друг относительно друга будет обеспечено непрерывное соприкосновение контактных поверхностей притуплений смешанной разделки.

Данное исследование направлено на поиск условий, при которых возможно применение автоматической орбитальной сварки в случае смешанной V/U-образной разделки.



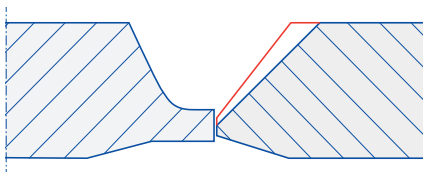
## 5. Применяемые при автоматической орбитальной сварке разделки – проплавление корня шва в потолочном положении

В принципе, можно рассмотреть четыре варианта подготовки, из которых только смешанная V/U-образная разделка гарантирует воспроизводимый позитивный результат.

<p>Форма сварного шва в потолочном положении, выполненного орбитальной сваркой, при условии беззазорной V-образной разделки</p>	<p>Данная разделка не подходит для ВИГ-орбитальной сварки. Ее применение возможно, однако она не гарантирует воспроизводимый результат</p>		<p>Силы поверхностного натяжения негативно накладываются на силу тяжести, что приводит к появлению провисания</p>
<p>Форма сварного шва в потолочном положении, выполненного ручной ВИГ-сваркой, при условии V-образной разделки с зазором</p>	<p>Применение автоматической ВИГ-орбитальной сварки невозможно</p>		<p>В зависимости от квалификации сварщика провисание может быть компенсировано</p>
<p>Форма сварного шва в потолочном положении, выполненного орбитальной сваркой, при условии классической U-образной разделки</p>	<p>Наиболее подходящая разделка для орбитальной ВИГ-сварки корневого шва без провисания. Ограничивается отсутствием возможности механической обработки кромки отвода</p>		<p>Форма притупления и правильно подобранные сварочные параметры обеспечивают безукоризненный результат</p>
<p>Форма сварного шва в потолочном положении, выполненного орбитальной сваркой, при условии смешанной V/U-образной разделки</p>	<p>Данная разделка – единственный возможный компромисс для получения орбитальной ВИГ-сваркой корневого шва без провисания, если отвод поставляется с готовой V-образной разделкой. Воспроизводимость результата не гарантируется.</p>		<p>Позитивный результат может быть достигнут за счет формы притупления U-образной разделки, контактной по верхности V-образной разделки и правильно подобранных сварочных параметров</p>

По аналогии со сваркой соединений "труба-труба" с U-образной разделкой, ниже описана последовательность создания КТПСв для соединения "труба-отвод" со смешанной U/V-образной подготовкой кромок.

Схематическое изображение такого соединения со смешанной подготовкой кромок:



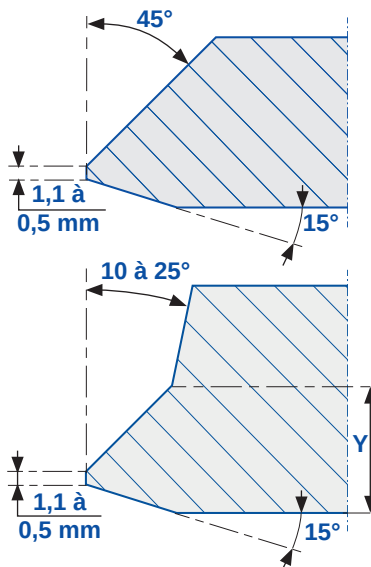
U-образная подготовка кромок трубы под сварку выполняется так же как и для обычного соединения "труба-труба", при этом размеры разделки будут зависеть от решаемой задачи

Стандартную подготовку кромки отвода (притупление 1,5 мм и угол раскрытия 37°) необходимо доработать.

Необходимость калибровки (обработки внутреннего диаметра) зависит от качества заготовки, а именно от округлости внутренней и внешней поверхности.

В дальнейшем принимаем, что U-образная подготовка кромок трубы выполняется в соответствии с решаемой задачей, а V-образная разделка для всех случаев предусматривает угол раскрытия в 45° и притупление в пределах 0,1 – 0,5 мм

Однако при так называемой средней толщине, когда размер Y находится в пределах 10 – 12 мм, угол раскрытия в 45° неблагоприятен. В этом случае предпочтителен ступенчатый угол раскрытия разделки, как показано на рисунке.

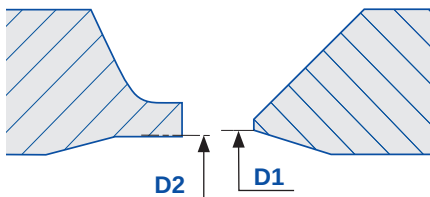




Проблема в подготовке смешанной разделки часто заключается в различии поперечных сечений трубы и отвода. Для отвода характерны большие допуски на овальность и толщину стенок. Это особенно заметно при попытках "выровнять" заготовки друг относительно друга с учетом разности диаметров, иногда требуется частично повернуть одну из заготовок, для поиска оптимального положения (этот же прием применяется и при сварке соединений "труба-труба").

Большая овальность и допуск по толщине стенки уменьшают допустимые отклонения диаметра  $D1$  (внутренний диаметр притупления V-образной части разделки). В идеальном случае диаметр  $D1$  и  $D2$  (внутренний диаметр притупления U-образной части разделки) должны быть одинаковы.

В особо критичных случаях, когда механическая обработка осуществлялась с помощью механического копира, получают эллиптические поперечные сечения с постоянно меняющимся диаметром.



## Минимально обрабатываемый диаметр в зависимости от формы отвода

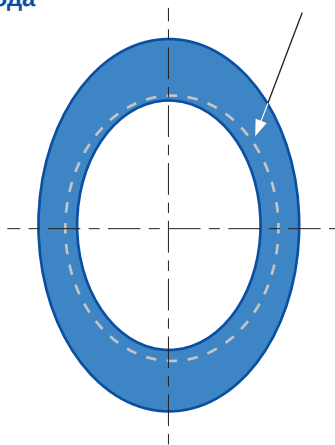
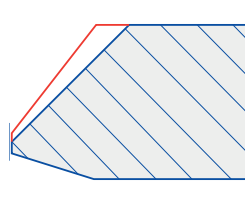


Рис. 1 - Типичное поперечное сечение отвода эллиптической формы с явно выраженной разнотолщиной

Чтобы обеспечить приемлемую смешанную разделку кромок, применяемая V-образная разделка должна быть доработана (притупление 1.5 мм и угол раскрытия 37°). О необходимости обработки по внутреннему диаметру нужно принимать индивидуальное решение в каждом конкретном случае.

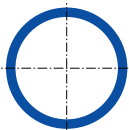


## 6. Positioning of pipe and branch relative to each other

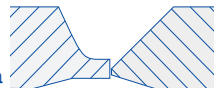
### 6.1. Theoretical basis

$$D1_{\text{Труба}} = D2_{\text{Отвод}} +$$

Отклонения от круглости



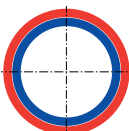
Идеальная подготовка кромок под сварку



### 6.2. Boundary variants of assembly for welding

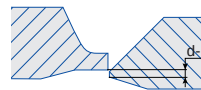
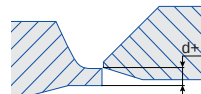
$$D1_{\text{Труба}} \neq D2_{\text{Отвод}}$$

D1 and D2 are concentric, the values of the parameters differ insignificantly, the assembly is characterized by a uniform displacement (under the condition of ideal mutual positioning)



Возможен один из двух вариантов сборки

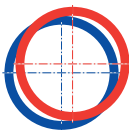
При большом смещении существует риск потери взаимного контакта



$$D1_{\text{Труба}} = D2_{\text{Отвод}} +$$

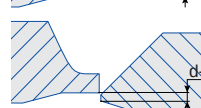
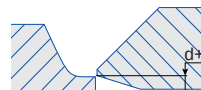
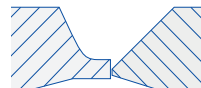
Отклонения от круглости

Due to displacement during positioning D1 and D2 are not concentric, displacements mirror each other (Displacement d+ on one half of the circumference transitions to d- on the remaining part, which should be taken into account when choosing the start point of welding)



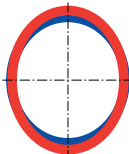
Распространенный вариант соединения труба/отвод

Случайное появление таких вариантов при сварке от одного шва к другому не позволяет адаптировать сварочные режимы



Эллиптическая форма элемента с V-разделкой

may appear when using equipment for edge processing with a mechanical copier. Even with concentric positioning, it is characterized by a changing displacement.

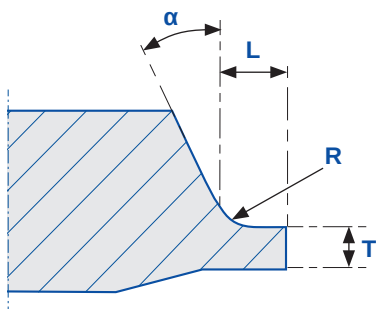




Корректно подобранные геометрические параметры U-образной разделки со стороны трубы имеют определяющее значение для качественной сварки соединений со смешанной формой разделки.

Первостепенное значение имеет величина притупления. Она зависит от качества отводов, а именно точности их изготовления, диаметра и свариваемого материала.

Как уже было показано, допуск на соосность заготовок должен быть на 0,1 мм меньше толщины притупления U-образной разделки. В случае расположения контактной поверхности V-образной разделки по внутренней или внешней кромке U-образной разделки усадка при сварке может привести к образованию зазора, который будет препятствовать образованию бездефектного сварного соединения (провисание корневого шва). В принципе нужно выбирать толщину притупления U-образной разделки максимально возможной, что позволит снизить требования к соосности собираемых заготовок.



$\alpha$  = Угол раскрытия

L = Длина притупления - определяющий параметр

R = Радиус перехода

T = Притупление - определяющий параметр

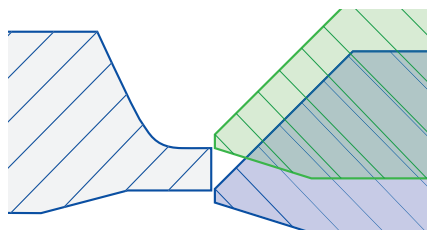


Рис. 2 - Величина притупления U-разделки определяет допуск на выравнивание заготовок

*Примечание: как правило, зазор в смешанной разделке не превышает 0,1 мм, за исключением ограниченных участков (0,3 до 0,5 мм максимум)*



Для каждого материала существует идеальное соотношение значений параметров U-образной разделки "притупление – длина притупления".

В связи с этим, мы рассмотрим коэффициент P/L, благодаря которому можно легко охарактеризовать поведение различных свариваемых материалов при формировании сварочной ванны, и, как следствие, сварного соединения. А именно, как влияют теплопроводность, силы поверхностного натяжения, вязкость расплавленного металла сварочной ванны на свариваемость.

В процессе изложения будет показано, что выбор значений величин T и L зависит от свариваемых материалов, но сначала необходимо объяснить, как геометрия разделки оказывает влияние на поведение материала при сварке.

Чтобы достичь необходимого проплавления, значения T и L подбираются исходя из физических свойств свариваемых материалов. Ниже будет показано, как можно использовать коэффициент P/L для их оптимизации.

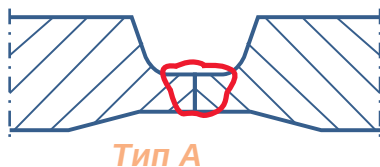
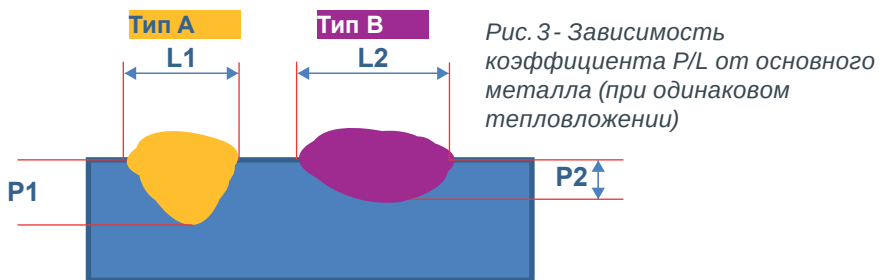


Рис. 4 - Толщина притупления увеличивается, ширина уменьшается  
-> Свариваемость улучшается

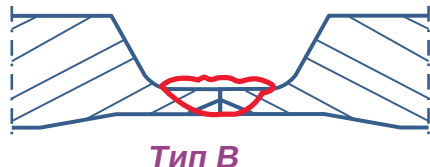


Рис. 5 - Толщина притупления уменьшается, ширина увеличивается  
-> Свариваемость ухудшается



Точность изготовления и геометрические размеры отводов оказывают большое влияние на выбор значения притупления  $T$ . Например, если речь идет о сварке труб диаметром от 2" до 4" с толщиной стенки от 4 до 5 мм, кромка которых изготовлена на обрабатывающем центре, что обеспечивает минимальное отклонение внутреннего и наружного диаметра, то в этом случае возможно точное соосное позиционирование заготовок и уменьшение параметра  $T$ . Оптимизированная таким образом величина притупления позволяет уменьшить ширину разделки и сократить время сварки, расход присадочного материала и уменьшить усадку. При сварке заготовок из того же материала, но диаметром от 31" и толщиной 20-25 мм, соосное позиционирование будет несравненно сложнее, поэтому необходим допуск на толщину и овальность величиной в несколько миллиметров. В этом случае необходимо выбирать максимально возможную величину притупления, чтобы обеспечить взаимное расположение заготовок в соответствии с требованиями автоматической сварки.

### **Коэффициент $P/L$**

*При сварке различных материалов необходимо применять разделки разной формы и тем самым адаптировать под существующие задачи.*

*Чтобы расширить выбор возможностей по взаимному позиционированию заготовок, необходимо предусмотреть максимально допустимую толщину притупления. При этом нужно пропорционально увеличить остальные размеры разделки, безусловно оставаясь в границах формирования сварочной ванны в различных пространственных положениях.*

*Нужно отметить, что существует возможность оптимизации параметров внутри установленных границ. Представленная здесь оптимизация параметров относится к геометрии разделки отвода и не зависит от ранее описанной формы сварного шва.*

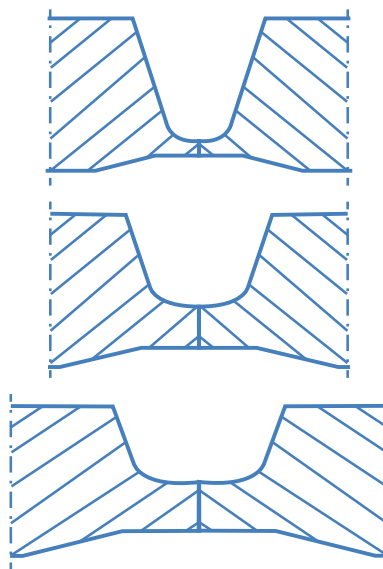


Рис. 6 - Подготовка кромок с одинаковым коэффициентом  $P/L$ . Данные примеры подготовки предназначены для решения разных задач.

## 7. Сварка различных проходов

Исследования проводились на заготовках из различных материалов и типоразмеров, что позволило определить универсальность полученных результатов и рекомендаций, диапазон и границы их применения.

С течением времени полученные данные могут обновляться и дополняться по мере накопления информации при решении сварочных задач.

При проведении исследований использовались следующие материалы и типоразмеры труб и отводов:

Материал	Размеры
Углеродистая сталь	168,3 x 13
Углеродистая сталь	168,3 x 8,8
Коррозионно-стойкая сталь 304 L	168,3 x 7,11
Коррозионно-стойкая сталь 304 L	60,3 x 5,5
Коррозионно-стойкая сталь 304 L	76 x 3,6
Коррозионно-стойкая сталь 304 L	88,9 x 5,5
Коррозионно-стойкая сталь Duplex	88,9 x 3,3

На базе существующих карт техпроцесса сварки были выполнены сварки указанных выше материалов и типоразмеров с применением сварочных головок серии MU AVC/OSC (АРНД/Поперечные колебания) и сварочного автомата типа POLYCAR, чтобы определить универсальность параметров для всего исследуемого диапазона.

При этом применялась одинаковая разделка и технология сварки по каждому проходу.

Полученная информация систематизировалась для каждого прохода, что позволяет применять ее при разработке технологии многопроходной сварки.

Во время исследования особое внимание уделялось программируемым параметрам и их взаимосвязи с основными факторами, влияющими на формирование шва (прохода).

Цель – определение границы варьирования данных параметров.

При создании сварных соединений использовались две отличающиеся друг от друга технологии:

- ▶ Для заготовок с диаметром до 4” и толщиной от 5 до 6 мм применялась ВИГ-сварка с холодной присадочной проволокой.
- ▶ Для заготовок с большим диаметром и толщиной стенки - ВИГ-сварка с подогретой проволокой.

Указанные выше значения – диаметр 4” и толщина от 5 до 6 мм – следует воспринимать как граничные значения, с превышением которых применение технологии ВИГ-сварки с подогретой присадочной проволокой становится



оправданным. В тоже время технология ВИГ-сварки с присадочной проволокой может применяться для всех типоразмеров.

Данные по заполняющим и облицовочным проходам предоставлены к сведению, так как их исполнение мало отличается от соответствующих проходов соединения "труба-труба", выполненного по следующей технологии: U-образная разделка, угол раскрытия 20°, заполнение с применением поперечных колебаний.

Существенные, основополагающие отличия наблюдаются при сварке корневого прохода соединения "труба-отвод". А именно, комбинация смешанной разделки и сварочных параметров – гарантия получения качественного многопроходного шва.

Вместе с подобранными под каждую конкретную задачу сварочными параметрами описанная ниже смешанная разделка может быть использована в качестве базы для разработки технологии сварки соединений "труба-отвод".

В следующих разделах будут рассмотрены техники выполнения различных проходов (корневой, с подогретой проволокой, заполняющий, облицовочный) согласно предложенной ниже структуре:

- ▶ Выбор функций и осей в зависимости от сварочной задачи.
- ▶ Определение геометрических размеров разделки и примеры значений сварочных параметров для различных задач.
- ▶ Типичный сварочный цикл.
- ▶ Принципиальные схемы (в основном для корневого шва и заполнения многопроходного шва).
- ▶ Примечания и пояснения.

Применяемое сварочное оборудование:

- Источник сварочного тока P6 HW (подогретая проволока) сварочная головка открытого типа MU 195 AVC/OSC HW;
- Источник сварочного тока P6 HW + сварочный автомат POLYCAR 60 и POLYCAR MP.





Выбранные оси и функции могут переноситься с одного источника сварочного тока на другой.

Как выбрать требуемые оси и функции на источниках сварочного тока P6 и P6 HW будет показано ниже.

Ожидаемый результат сварочной операции достигается при соблюдении следующих условий: правильное позиционирование сварочной головки на изделии; выполнение всех предписаний по подготовке кромок; позиционирование заготовок друг относительно друга в соответствии с требованиями (качество прихваток); применение дополнительной газовой защиты при сварке чувствительных к окислению материалов; выбор нужной сварочной программы.

Программирование сварочных параметров должно выполняться в строгом соответствии с выбранными картами техпроцесса сварки.

Используемые сварочные параметры разделяются на четыре группы:

	Ключевые параметры	<i>(значения параметров принимаются без изменений. В исключительных случаях возможна незначительная коррекция)</i>
	Важные параметры	<i>(при необходимости значения должны быть адаптированы под решаемую задачу)</i>
	З а в и с и м ы е параметры	<i>(играют важную роль, но их значения должны корректироваться в случае изменения других параметров, например, значение напряжения дуги должно быть изменено в случае изменения силы сварочного тока, чтобы расстояние "электрод – деталь" не изменилось, или сила тока подогрева проволоки меняется при изменении скорости подачи проволоки)</i>
	Прочие параметры	<i>(значения данных параметров не играют важной роли, однако должны быть заданы для управления сварочным циклом. Так время импульса для поперечных колебаний практически не оказывает влияние, однако важно для синхронизации со сварочным током)</i>

*Примечание: не все параметры были учтены в рамках данной классификации. Некоторые из них, такие как, например, время обрыва сварочной дуги хоть и важны, но мало отличаются от применяемых в обычных сварочных циклах. К таким параметрам принадлежат чувствительность функции АРНД, расход защитного газа.*

*В представленных ниже картах техпроцесса сварки отсутствуют сектора. Они могут быть добавлены при отработке технологии сварки заготовок заданных типоразмеров. Принцип добавления секторов для смешанной U-V разделки такой же, как и для V-образной разделки соединения "труба–труба". Так называемые механические настройки, напротив, уточнены.*

Программирование функций и выбор осей для источников сварочного тока серии P6 и P6 HW:

Общие настройки для всех карт техпроцесса сварки:

- ▶ Угол заточки электрода 30°
- ▶ Расстояние "электрод – деталь" - 3 мм от конца электрода до притупления U-образной разделки
- ▶ Расстояние "электрод – присадочная проволока":
  - 2,0 до 2,5 мм для сварки корневого шва
  - 2,0 мм для заполняющих швов и швов с подогретой проволокой
- ▶ Температура между проходами: для нержавеющей сталей и Duplex / охлаждение на воздухе после каждого прохода / max. температура между проходами: 80 °C



Выбор сварочных осей и программирование сварочных параметров на источниках сварочного тока P6 и P6 HW:

**Modifier programme**

Choix prog: 3\_CAP

Secteur: 1 / 5  
0 -> 3

N  
Libellé: Début secteur  
Valeur: 0

**Définir les fonctions + conditions des axes**

Menu "Fonctions et axes"  
sources de courant P6 et P6 HW

- Amorçage HF: Standard
- Amorçage Toucher: Standard
- Soudage: Pulsage thermique, Lisse
- Rotation: Vitesse, Pulsée

**Programmation avancée**

Programme en cours: 3\_CAP

	1	2	3	4	5
T10 - A	90.0	80.0	80.0	80.0	90.0
T20 - A	80.0	50.0	50.0	50.0	80.0
T22 - max	100	100	100	100	100
T23 - min	100	100	100	100	100
T24 - max	2.0	3.0	0.0	0.0	0.0
T25 - min	0				
T40 - C - min	70.0				
T21 - max/min	40	50	50	50	50
T42 - min	0.0	3.0	3.0	3.0	0.0
T43 - max	3.0				
T44 - min					
T41 - max	400	700	700	700	600
T45 - min	0.0	3.0	3.0	3.0	0.0

Secteur: 1  
Début secteur: 0  
Fin secteur: 3  
Couleur

N  
Libellé: Début secteur  
Valeur: 0

**Menu programmation sources de courant P6 et P6 HW**

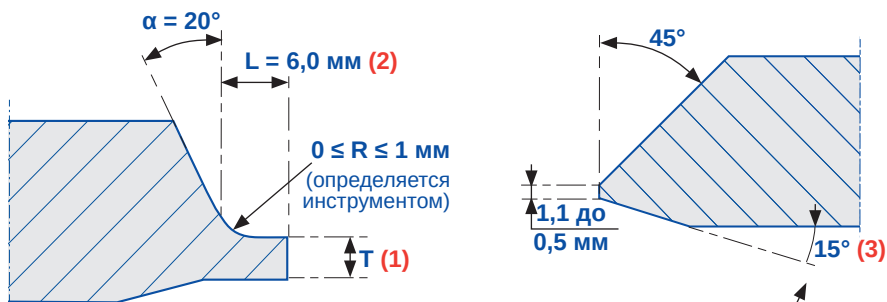
## 8. Смешанная U-V разделка кромок

Представленная ниже разделка охватывает на практике от 80 до 90 % соединений "труба-отвод", только для тонкостенных заготовок нужно скорректировать толщину притупления.

Геометрические размеры смешанной разделки:

Обработка со стороны трубы

Обработка со стороны отвода



- (1)  $T$  = величина притупления, выбирается в зависимости от свариваемого материала:
- $T = 2,5 \text{ мм}$  для низкоуглеродистых сталей (без формирующего газа)
  - $T = 2,0 \text{ мм}$  для легированных и мелкозернистых сталей (с формирующим газом)
  - $T = 1,2 \text{ мм}$  для материалов с удовлетворительной ограниченной свариваемостью (Duplex, Super-Duplex, титан и т.д.)
- (2) Стандартная ширина притупления - 6,0 мм (применяется в 80-90 % случаев)
- (3) В зависимости от точности отвода угол калибровки  $15^\circ$  может быть изменен.

## 9. Механическая обработка и оборудование

Для формирования разделки кромок под сварку соединений "труба-труба" и "труба-отвод" требуется высококачественная механическая обработка (высокое качество обработанной поверхности и жесткие допуски на размеры).

Соблюдение от заготовки к заготовке заданной геометрии и жестких допусков – основополагающее требование для получения повторяемости результатов при сборке и сварке, так как в процессе автоматической сварки нет возможности сглаживать отклонения как при ручной.



На практике орбитальная сварка труб и концевых элементов не предполагает сварку изнутри, поэтому внутренние поверхности труб и отводов, прилегающих к месту соединения, должны быть механически обработаны – "калиброваны". Данная калибровка по внутренней стороне обеспечивает отсутствие отклонения от округлости, а также часто необходима для получения геометрических размеров разделки, удовлетворяющих жестким требованиям на допуски.

Нижеприведенная схема дает представление о требуемых для получения разделки операциях механической обработки.

### 9.1. Различные поверхности разделки

Ниже приведены операции, определяющие форму смешанной разделки:

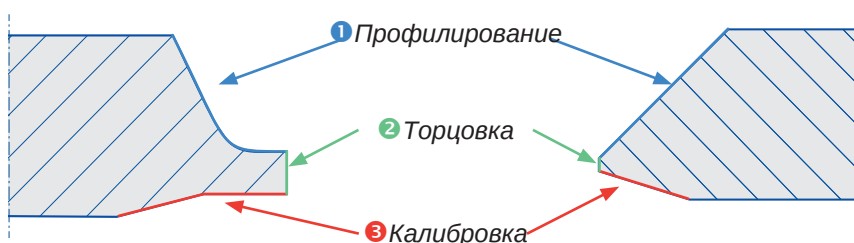
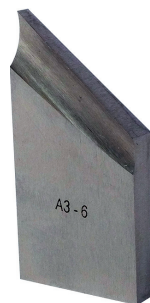


Рис. 7- Схематическое изображение двух профилей смешанной разделки и операции механической обработки

#### **Профилирование**

Выполняемая механическая обработка кромок формирует разделку в месте стыка, которая позволяет выполнить сварку на всю толщину свариваемых заготовок. Форма разделки под сварку подбирается в соответствии с применяемой технологией – сварка с поперечными колебаниями или попеременное наложение швов, позиция сварки, угол раскрытия кромок (одинаковый по толщине или ступенчатый). Правильно выбранная форма разделки облегчает процесс наложения проходов, способствует получению гомогенного соединения и, в итоге, обеспечивает его хорошие механические свойства. Фундаментом многослойного соединения, на котором строятся все последующие проходы, является корневой шов, при формировании которого происходит соединение притупления U-образной разделки трубы и контактной

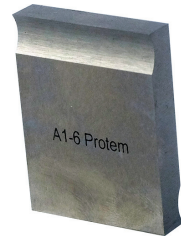




поверхности V-образной разделки отвода. Корневой шов, заполняющие проходы и облицовочный шов, создающий плавный переход, определяют возможность получения превосходного сварного шва

### **Формирование торца**

Торцовка трубы и отвода формирует величину притупления, которая определяет возможность взаимного позиционирования свариваемых заготовок с минимальными отклонениями друг относительно друга. Качественно выполненная торцовка позволяет избежать появления зазора и, как следствие, провисания корня шва.



### **Калибровка**

Возникающие при сборке отклонения по наружному и внутреннему диаметру свариваемых труб и отводов определяются точностью их производства, разброс которой в пределах допуска может составлять  $\pm 12\%$  от толщины трубы. Отклонение по наружному диаметру может быть сглажено при технологии наложения облицовочного шва с поперечными колебаниями. Решить задачу сглаживания по внутренней поверхности сложнее, так в этом случае речь идет о формировании корня шва. Поэтому большие отклонения по внутреннему диаметру должны быть компенсированы путем калибровки. При ее выполнении необходимо



учитывать два важных момента – выбор формы (площадка со скосом или просто скос) и поверхность заготовки, на которой фиксируется установка для механической обработки. Рекомендуется выполнять калибровку для средних и больших толщин (для заполнения разделки требуется от двух до трёх проходов). Фиксировать установку для механической обработки лучше всего по внутренней поверхности. Однако при недостаточной длине прямого участка, что характерно в первую очередь для отводов, центрирование происходит по наружному диаметру. Установка считается правильно отцентрированной при выполнении двух условий – при обработке снимается минимум материала и материал

снимается по всей поверхности в  $360^\circ$ . Выполнение этих условий обеспечивает равномерную толщину притупления, которая необходима для обеспечения повторяемости при сварке корневого шва.



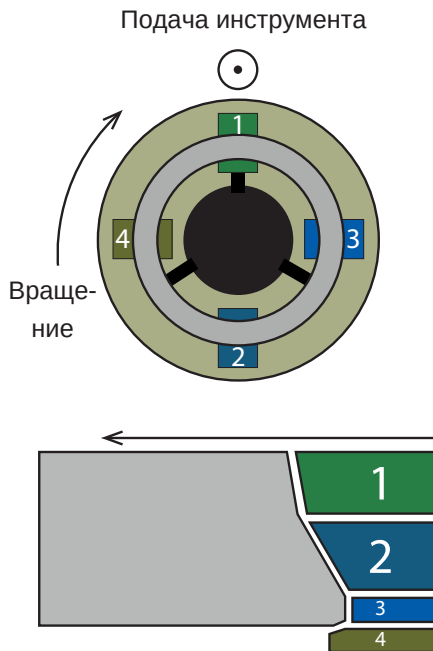
### Принципы механической обработки кромок

Формирование разделки под сварку происходит с помощью мобильных или стационарных установок для механической обработки. Такой подход позволяет получить требуемую точность при достаточном уровне повторяемости и при этом не изменять свойства свариваемого материала.

На оснащенных продольным суппортом установках рабочее движение осуществляется вдоль оси обрабатываемой трубы. Резцы располагаются таким образом, чтобы получить требуемую форму разделки.

Для получения разделки составной, сложной формы необходимо устанавливать несколько разных резцов. Высокопроизводительные установки для механической обработки позволяют устанавливать до 4-х резцов на инструментальной планшайбе одновременно. Это позволяет за один проход выполнить следующие операции: удалить металл под разделку, отторцевать притупление, выполнить калибровку внутренней поверхности.

Резцы №1 и №2 формируют ступенчатый контур разделки (вместо этих двух резцов можно применить один требуемой сложной формы), резец №3 торцует притупление и резец №4 применяется для калибровки внутреннего диаметра.



У установок данного типа подача резцов осуществляется вдоль оси трубы, поэтому они не предназначены для обрезки в размер.

Рис. 8 - Мобильная установка для механической подготовки кромок отрезанных в размер труб

### **Механическая обработка труб под U-образную разделку**

Для U-образной разделки труб с диаметрами от 60,3 до 168,3 мм из углеродистых, коррозионно-стойких и Duplex-сталей могут применяться установки фирмы PROTEM типа US25CH или US40. Для других диапазонов диаметров и задач по обработке кромок фирма Protet предлагает другие типы установок.

Мобильная установка для обработки кромок оснащена электрическим или пневматическим приводом.

В комплект ее оснащения входят следующие компоненты: клиновидные зажимные сухари, которые подбирают в соответствии с внутренним диаметром трубы, держатель(-ли) резцов, резцы различной формы, выбираемые в зависимости от решаемой задачи.

Обработка трубы под U-образную разделку требует применение минимум трех резцов: 1 – имеет форму контура U-образной разделки; 2 – для торцовки, располагается на инструментальной пластине напротив резца 1, 3 – для внутренней калибровки.

Установка позиционируется и фиксируется в трубе благодаря механической зажимной системе, которая приводится в действие ключом-трещоткой. После подключения питания можно начинать процесс механической обработки. Скорость обработки нужно выбирать в зависимости от физических свойств обрабатываемого материала, диаметра и толщины.



*Рис. 9 - Подготовка кромки под сварку установкой типа US40*



*Рис. 10 - Подготовка кромки под сварку установкой типа US25CH*



### **Механическая обработка отводов под V-образную разделку**

Для получения V-образной разделки с углом раскрытия кромки  $45^\circ$ , притуплением от 0,1 до 0,5 мм и калибровкой под углом  $15^\circ$  может применяться установка PROTEM серии FBB.

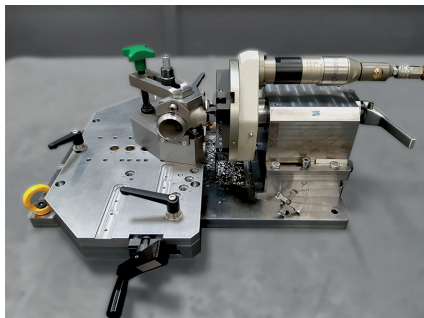
Данная стационарная установка подходит для отводов с внешним диаметром от 60,3 до 168,3 мм.

Она позволяет проводить за один проход следующие операции: фрезеровка скоса  $45^\circ$ , торцовка, калибровка. На инструментальной пластине можно расположить четыре держателя резца, которые совместно с установленными на них резцами позволяют выполнять разделки индивидуальной формы.

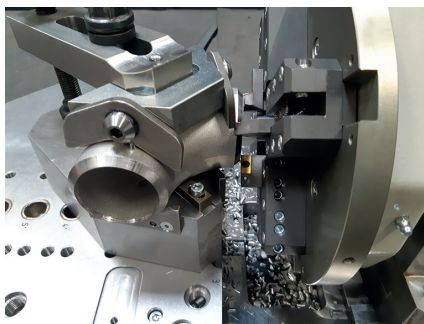
Благодаря наличию тонкой настройки положения шпинделя

( $\pm 2$  мм,  $0,078''$ ) установка позволяет точно позиционировать его по отношению к оси отвода.

Для регулировки осей ( $\pm 5$  мм,  $0,19''$ ) предусмотрен крестообразный суппорт. Фиксация и зажим отвода происходит вручную. Для этого предназначен небольшой стол (угол поворота  $90^\circ$ ) с автоматическим позиционированием относительно крестообразного суппорта. Наличие зажимных элементов V-формы облегчает фиксацию отводов различных диаметров.



*Рис. 11 - Стационарная установка для механической обработки отводов*



*Рис. 12 - Обработка отвода диаметром 60,3 мм (2"). V-образная разделка с углом  $45^\circ$ , с притуплением и калибровкой  $15^\circ$*

## 9.2. Вот как достигается идеальная подготовка кромок под сварку кромок под сварку

- ▶ Для подготовки кромок под сварку необходимо применять специализированные установки, которые обеспечивают требуемый результат и его воспроизводимость. Ассортимент фирмы PROTUM состоит из ряда установок, который охватывает все встречающиеся на практике диаметры, типы и материалы заготовок.
- ▶ Наравне с правильным выбором установки необходимо подобрать резцы, которые должны быть безупречно заточены, соответствовать получаемому контуру и подходить по своим характеристикам обрабатываемому материалу.

Скорость резания установок US25CH, US40 фирмы PROTUM находится в диапазоне от 10 до 15 м/мин. Поэтому рекомендовано использовать HSS-резцы или HSS-режущие пластины. HSS-режущие инструменты получили широкое распространение в настоящее время, в том числе благодаря возможности повторной заточки. Встречаются HSS-режущие пластины с различными покрытиями (TiN, TiAlN или TiSiN), которые увеличивают их срок службы и препятствуют спеканию стружки. Обычно у режущих пластин две рабочие кромки.

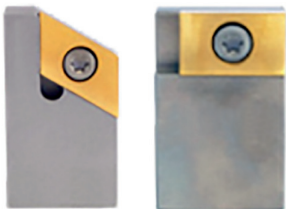


Рис. 15 - Держатели резцов для обработки фаски и торцовки



Рис. 13 - Установка для мех. обработки кромок US25CH с держателем резца 30° и 90°

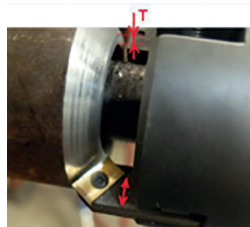


Рис. 14 - Точная установка держателей резцов обеспечивает постоянное притупление



Рис. 16 - Жесткое крепление резцов обеспечивается применением соответствующих сухарей



- ▶ Только тщательная настройка установки и регулировка держателей резцов обеспечивает безукоризненную подготовку кромок под сварку в пределах заданных допусков. Держатели резцов должны быть зафиксированы с необходимым усилием, чтобы при смене режущих пластин не нужно было бы заново производить настройки. Инструментальные пластины установок фирмы PROTEM позволяют монтировать одновременно четыре держателя резцов.
- ▶ Правильно выбранная скорость резания – основа получения качественной разделки под сварку. Ее выбор зависит от следующих факторов:
  - физических свойств обрабатываемого материала;
  - глубины резания;
  - профиля требуемой разделки;
  - и т.п.

Рекомендуемая скорость резания для мобильных установок фирмы PROTEM US25CH, US40 и стационарных установок для обработки отводов: от 8 до 10 м/мин для коррозионно-стойких сталей и от 9 до 15 м/мин для углеродистых сталей. На установках с электрическим приводом скорость резания регулируется за счет плавного поворота настроечного колеса. Таким образом можно подобрать требуемую скорость в зависимости от материала, диаметра и толщины заготовки. На установках с пневматическим приводом число оборотов устанавливается путем дросселирования с помощью расположенного на входе вентиля. Скорость вращения зависит от диаметра и толщины стенки трубы, твердости материала, а также профиля разделки.



Рис. 17- Красным кругом отмечен регулятор настройки скорости установки US40 с электрическим приводом



Рис. 18- Красным кругом отмечен регулировочный вентиль установки US40 с пневматическим приводом

- ▶ Для изготовления U-образной разделки с притуплением на трубе 60,3 x 5 мм из углеродистой стали с помощью установки типа US25CH с электрическим приводом рекомендуется установить число оборотов от 50 до 60 мин<sup>-1</sup>
- ▶ Для изготовления U-образной разделки с притуплением на трубе 114,3 x 8 мм из углеродистой стали с помощью установки типа US40 с электрическим приводом рекомендуется установить число оборотов от 25 до 28 мин<sup>-1</sup>
- ▶ Возникающие в процессе обработки шум и вибрации могут указывать на необходимость изменения скорости вращения или подачи, вне зависимости от того, электрическим или пневматическим приводом оснащена установка.
- ▶ Цвет и форма стружки также предоставляют информацию о том, насколько приемлемы условия резания. Получаемая стружка должна иметь толщину от 0,1 до 0,2 мм и не должна выглядеть так, как будто вырвана из трубы. В противном случае можно говорить о том, что скорость подачи высока или затупился режущий инструмент. Стружки синего цвета указывают на слишком высокую скорость резания. В случае применения карбидных режущих пластин допускается высокая скорость резания и наличие синей стружки возможно. (Типы установок фирмы PROTOM для высокоинтенсивной обработки PFM, BB, STA, TNO и OHSB).
- ▶ Применение правильно подобранной СОЖ способствует получению хорошего результата механической обработки. СОЖ повышает стойкость и время службы режущего инструмента, а также улучшает обрабатываемую поверхность и снижает тепловое воздействие на структуру обрабатываемого материала.

## 10. Выполнение корневого шва

Успешное наложение корневого шва зависит в первую очередь от подготовки кромок под сварку и создает основу техники сварки соединений "труба-отвод".

При сварке корня шва применяется импульсный сварочный ток 100/500 мкс. Необходимо отметить, что подача проволоки синхронизирована обратным порядком (току паузы соответствует импульс подачи сварочной проволоки), таким образом осуществляется внешнее воздействие на сварочную ванну со стороны проволоки. Аналогичным образом сварщик при ручной сварке "подталкивает" сварочную ванну подаваемой присадкой.

Предлагаемый обратный порядок синхронизации не применяется при наложении других швов, так как затрудняет дегазацию во время кристаллизации, что может привести к появлению пор.



## 10.1. Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении

Материал		Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Вид тока	
Коррозионно-стойкая сталь	DUPLEX	88,9 x 3,3	89X3,3CM3	Корневой	импульсный	
	304 L	76,3 x 3,6	76x3,6CM3	Корневой	импульсный	
		60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Корневой	импульсный	
		88,9 x 5,5	89X5,5-JV	Корневой	импульсный	
		168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Корневой	импульсный	
Углеродистая сталь		168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Корневой	импульсный	
		168,3 x 13	168X13-JV	Корневой	импульсный	

## 10.2. Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении

Материал		Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Период (мкс)		
					Тим T22	Тп T23	
Коррозионно-стойкая сталь	DUPLEX	88,9 x 3,3	89X3,3CM3	Корневой	100	500	
	304 L	76,3 x 3,6	76x3,6CM3	Корневой	100	500	
		60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Корневой	100	500	
		88,9 x 5,5	89X5,5-JV	Корневой	100	500	
		168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Корневой	100	500	
Углеродистая сталь		168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Корневой	100	500	
		168,3 x 13	168X13-JV	Корневой	100	500	



## корневого шва

	Вращение	Проволока	Подогретая проволока	АРНД	Колебания	Место старта
	постоянное	импульсная	-	Ток паузы	-	3 часа
	постоянное	импульсная	-	Ток паузы	-	3 часа
	постоянное	импульсная	-	Ток паузы	-	3 часа
	постоянное	импульсная	-	Ток паузы	-	3 часа
	постоянное	импульсная	импульсная	Ток паузы	-	3 часа
	постоянное	импульсная	импульсная	Ток паузы	-	3 часа
	постоянное	импульсная	импульсная	Ток паузы	-	3 часа

## корневого шва

	Ток Ось 1 (А)		Скорость сварки (мм/мин)	Скорость подачи проволоки (мм/мин)		Ток подогрева проволоки Ось 2 (А)		Колебания			Напряжения дуги (В)	
	Им I22	Ip I23	V32	Vим/ V42	Vп/ V43	Им/ I22	Ip/ I23	LB (мм)/ A62	VB (мм/ мин)/ V60	Tb (сек)/ T62-63	Uим/ H51	Uп/ H53
	80	55	50	600	600							8,0
	105	68	50	400/0	750/900							7,4
	130	85	50	400	1150							7,4
	120/100	72/75	50	400	900/1200							7,4
	145/152	80/85	60	600	1800/1200	5	30/40				8,6	
	195/180	145/130	70	1000	2000/2500	5	50				10	
	200	160/145	70	1000	2500/2000	5	30/60				9,4/10,2	



Значения времени импульса и паузы, а также обратная синхронизация подачи проволоки с током импульса оказывают влияние на формирование корневого шва за счет воздействия проволокой на кристаллизующийся металл. Усиление корневого шва в определенной степени пропорционально низкой скорости подачи проволоки.

	S1	S2	S3	S4	S5
-T45 - sec	0	2	145	230	356
-T41 - sec					
-V42 - mm/min	750	1000	1000	1000	750
-V43 - mm/min	1250	2500	2000	2000	1250
-T44 - sec	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0
-H50 - mm	2.0				
-T50 - sec	1.0				

В сварочной программе для корня шва трубы  $\varnothing 168,3 \times 13$  (см. выше) показано, что в секторе S2 (от  $2^\circ$  до  $145^\circ$ , охватывает отрезок между 3 и 8-ю часами) установлена высокая скорость подачи присадочной проволоки, что позволяет воздействовать на формирование сварочной ванны и избежать вогнутости шва.

Чтобы избежать провисания шва при сварке "на подъем" и в нижнем положении, уменьшают скорость подачи проволоки  $V_{им}$ .

В зависимости от предъявляемых к шву требований и от необходимой производительности можно определять геометрию корневого шва путем уменьшения скорости

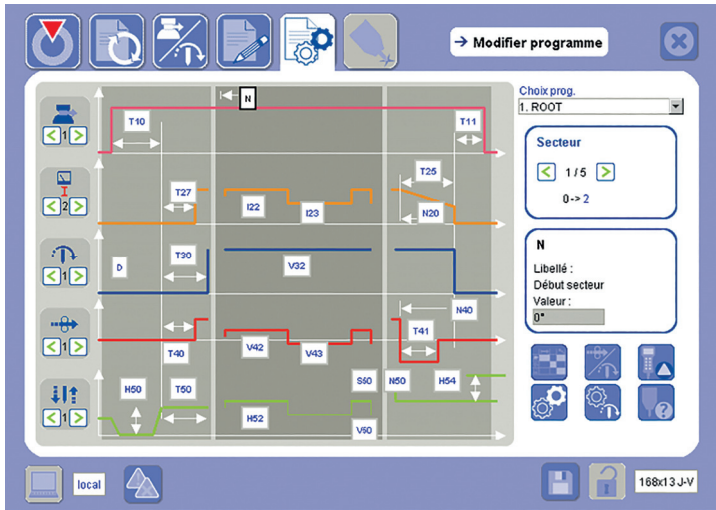


Рис. 19- Профиль сварного шва в потолочном положении, труба  $\varnothing 168$  мм (сварка без формирующего газа)

подачи проволоки во время паузы.

*Примечание: Увеличенное усиление шва, наблюдаемое на большинстве представленных фотографий, получено специально, так как очень просто добиться его уменьшения в потолочном положении.*

### 10.3. Типичный сварочный цикл корневого шва



Внешнее воздействие проволокой на формирование сварочной ванны достигается за счет присваивания большего значения скорости подачи V43 по сравнению со скоростью подачи V42 при программировании.

### 10.4. Советы для успешного выполнения корневого шва

- ▶ Форма и размеры разделки кромки определяются в зависимости от свариваемого материала (величина притупления T при постоянной ширине L, зависящий от толщины угол раскрытия кромки).
- ▶ Продолжительность тока импульса должна быть в пределах 100/500 мкс.
- ▶ Импульс подачи проволоки должен быть в противофазе с импульсом сварочного тока (высокая скорость подачи проволоки при токе паузы).
- ▶ Функция АРНД синхронизирована по току паузы.
- ▶ Формирование внутренней стороны шва управляется путем изменения скорости подачи проволоки во время паузы.
- ▶ Скорость сварки выбирается из области низких значений (около 50 мм/мин).



- ▶ Применение технологического приема "подачи проволоки в противофазе со сварочным током" возможно только при формировании корневого шва, так как он препятствует дегазации во время кристаллизации и увеличивает риск образования пор.
- ▶ Для больших диаметров возможно применение ВИГ-сварки с подогретой присадочной проволокой.
- ▶ При больших допусках заготовки можно располагать электрод не по центру стыка, а смещать его в сторону трубы.
- ▶ Рекомендуемая точка старта сварки – три часа, что позволяет сварить первую четверть шва по холодному металлу и избежать вогнутости шва в потолочном положении.

### 10.5. Подготовка корневого шва соединения "труба-отвод"

Размеры  $\varnothing 60,3 \times 5,5$  мм, Коррозионно-стойкая сталь 304 L

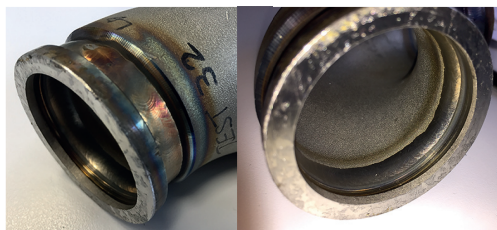
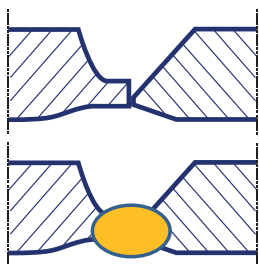
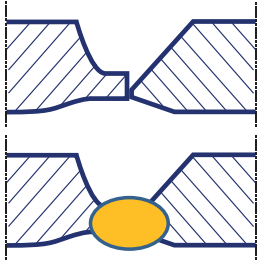


Рис. 20 - Слева – сварной шов в потолочном положении, справа – в нижнем

Рис. 21 - Слева – сварной шов в положении на подъем, справа – на спуск



Размеры  $\varnothing 76 \times 3,6$  мм, Коррозионно-стойкая сталь 304 L



Нижнее  
положение

На подъем

Потолочное  
положение



На спуск



Размеры  $\varnothing 88,9 \times 3,3$  мм, Duplex

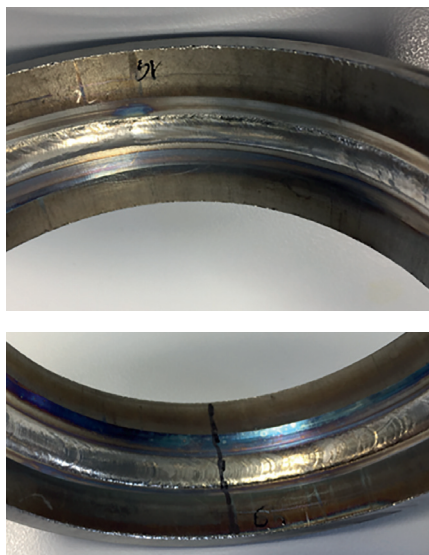
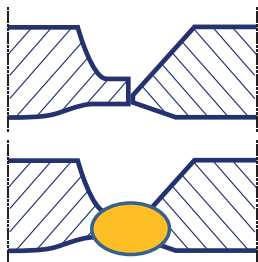


Рис. 22 - Сварной шов, нижнее положение – верхнее фото, потолочное положение – нижнее фото

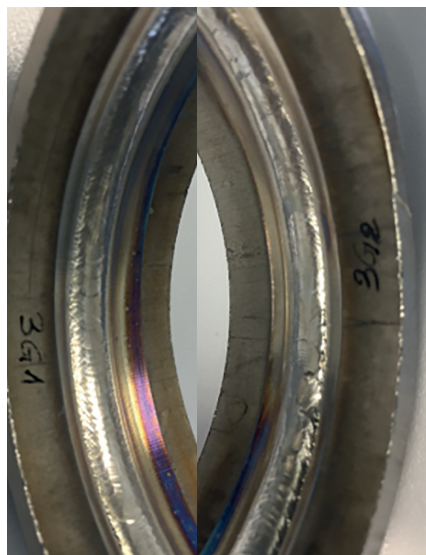


Рис. 23 - Сварной шов, на подъем – слева, на спуск – справа

Размеры  $\varnothing 168,3 \times 13$  мм, углеродистая сталь

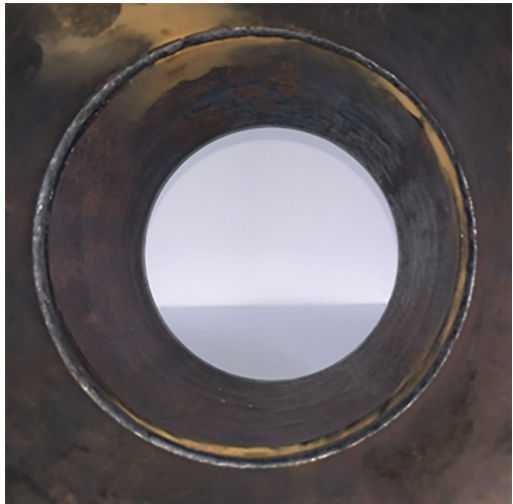
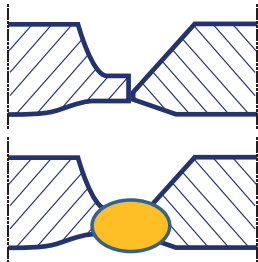


Рис. 24- Сварной шов в нижнем положении – вверху и в потолочном положении – внизу



Рис. 25- Сварной шов в положении на подъем – слева и на спуск – справа



### 10.6. Допуски на взаимное позиционирование заготовок

Ниже приведены граничные значения, которые необходимо соблюдать, чтобы, применяя разработанные КТПСв, получить воспроизводимые результаты. Первые два эскиза показывают максимально возможные отклонения.

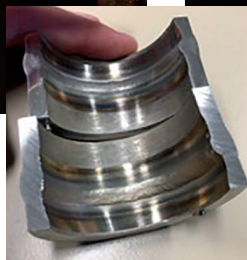
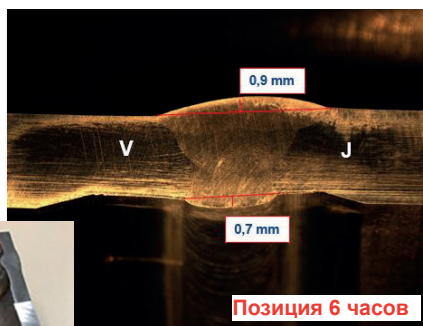
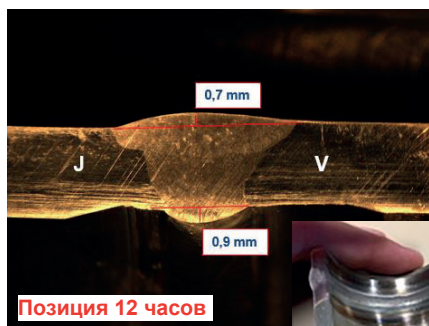
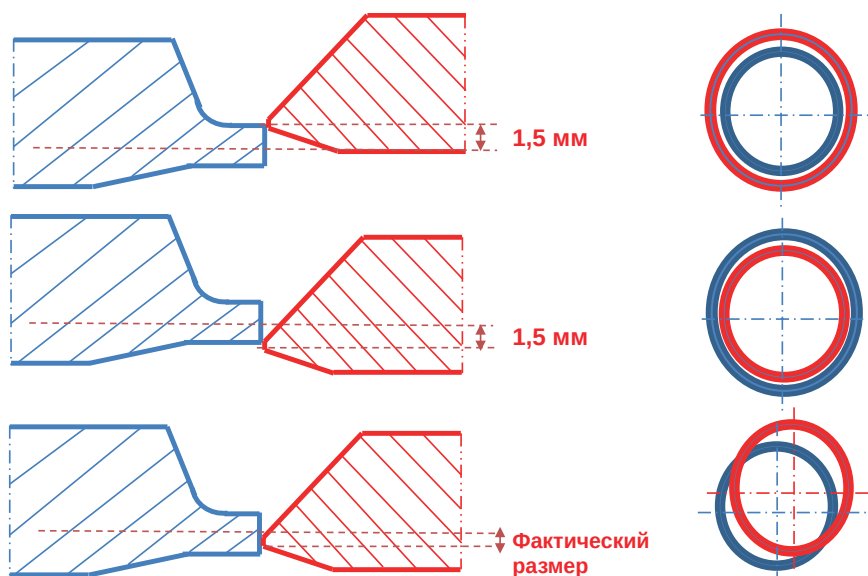


Рис. 26 - Шлиф соединения "труба-отвод"  $\varnothing 60,3$  мм х 5,5 мм. Коррозионная сталь 304L. КТПСв 60X5,5CM2 после оптимизации



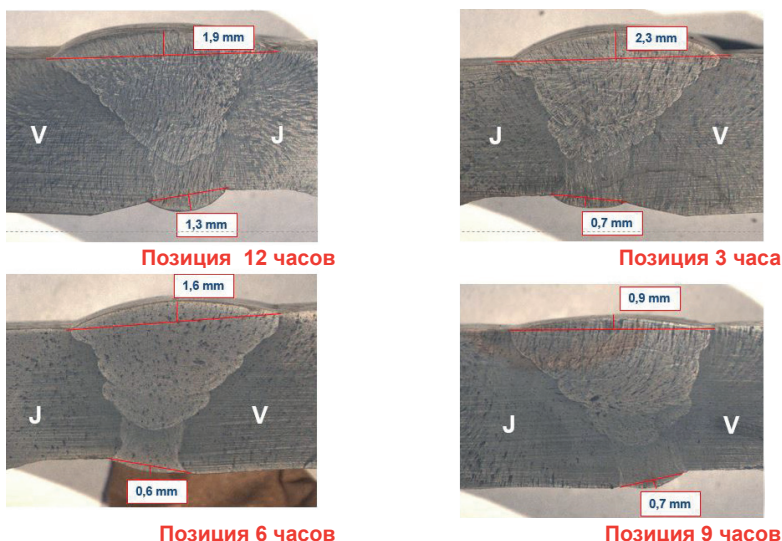


Рис. 27 - Шлиф соединения "труба-отвод"  $\varnothing$  168,3 мм x 13 мм из углеродистой стали. КТПСв 168X13-JV после оптимизации. Пример облицовочных швов при малой толщине стенки.

## 11. Выполнение "горячего" шва

Наложение шва с подогретой проволокой при орбитальной сварке должно выполняться с особой тщательностью, что связано с повторным расплавлением корневого шва, которое, в свою очередь может оказать негативное влияние на внутреннюю сторону соединения (от провисания корня шва, недостаточного внутреннего усиления до появления пор по линии сплавления).

При изготовлении смешанной U-V образной разделки необходимо принять во внимание, что V-образная разделка кромки приводит к значительному увеличению отвода тепла, что существенно облегчает выполнение сварки. При этом необходимо учитывать, что оплавление этой стороны должно происходить в определенных границах и не приводить к искажению профиля. Такое ограничение позволяет существенно упростить наложение заполняющих швов.

Описанный выше подход применяется при сварке большинства соединений, необходимо только подобрать значения параметров в зависимости от размеров заготовки и свариваемого материала.



### 11.1. Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении

Материал		Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Вид тока
Коррозионно-стойкая сталь	DUPLEX	88,9 x 3,3	89X3,3CM3	Горячий шов	импульсный
	304 L	76,3 x 3,6	76x3,6CM3	Горячий шов	импульсный
		60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Горячий шов	импульсный
		88,9 x 5,5	88,9X5,5-JV	Горячий шов	импульсный
		168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Горячий шов	импульсный
Углеродистая сталь		168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Горячий шов	импульсный
		168,3 x 13	168X13-JV	Горячий шов	импульсный

### 11.2. Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении

Материал		Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Период (мкс)		Ток (А)	
					Тим T22	Иим I22	Иим I22	
Коррозионно-стойкая сталь	DUPLEX	88,9 x 3,3	89X3,3CM3	Горячий шов	100	100	80	
	304 L	76,3 x 3,6	76x3,6CM3	Горячий шов	100	100	92	
		60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Горячий шов	100	100	100	
		88,9 x 5,5	88,9X5,5-JV	Горячий шов	100	100	100	
		168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Горячий шов	100	100	220	
Углеродистая сталь		168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Горячий шов	100	100	250	
		168,3 x 13	168X13-JV	Горячий шов	100	100	250	

## "горячего" шва

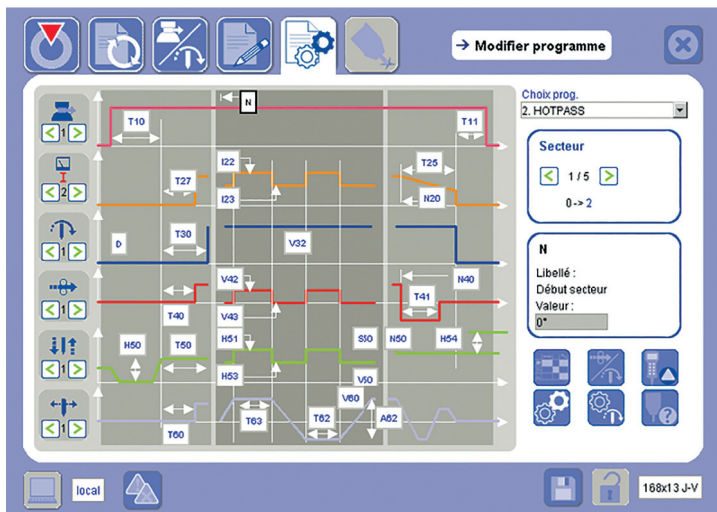
	Вращение	Проволока	Подогретая проволока	АРНД	Колебания	Место старта
	постоянное	импульсная	-	Ток имп/паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час
	постоянное	импульсная	-	Ток имп/паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час
	постоянное	импульсная	-	Ток имп/паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час
	постоянное	импульсная	-	Ток имп/паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час
	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час
	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час
	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час

## "горячего" шва

Ось 1	Скорость сварки (мм/мин)	Скорость подачи проволоки (мм/мин)		Ток подогрева проволоки Ось 2 (А)		Колебания			Напряже-ние дуги (В)	
		Vим/ V42	Vп/ V43	Iим/ I22	Iп/ I23	LB (мм)/ A62	VB (мм/мин)/ V60	Tb (сек)/ T62-63	Uим/ H51	Uп/ H53
60	60	600	600			5,5	550	0,4	8,8	8,4
62	40/50	1500/ 1000	400/ 900			4,4	650	0,5	8,8	8,0
70/80	50	900	400			5,8	550	0,4	8,8	8,4
70/80	50	900	400			5,8	550	0,4	8,8	8,4
90	75	2800/ 3000	1800	40	30	7,2	700	0,4	10,4	8,8
130	80	3500	2500	80	70	7,2	700	0,3	10,2	8,6
140	80	3500	2500	65/ 40	65	6,0	700	0,3	9,8	8,5



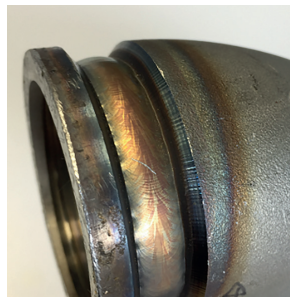
### 11.3. Типичный сварочный цикл "горячего" шва



За исключением вращения, все остальные параметры сварки программируются в импульсном виде. Особенно важна синхронизация междусварочным током и поперечными колебаниями. Продолжительность задержки в крайнем положении определяет значение тока импульса, ток паузы зависит от скорости и амплитуды колебаний.

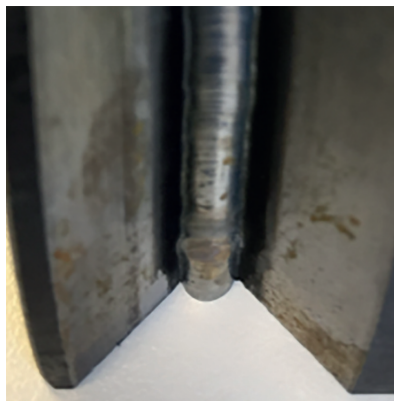
### 11.4. Советы для успешного выполнения "горячего" шва

- ▶ Если значения сварочных параметров подобраны таким образом, что появляется увеличенное усиление шва, то это приведет к недостаточному сплавлению по краям. Сварочный ток должен быть синхронизирован с колебаниями, чтобы добиться надежного расплавления кромок.
- ▶ Скорость подачи проволоки на краю должна быть низкой, чтобы не препятствовать плавлению.
- ▶ Синхронизация сварочного тока с задержкой на краю способствует расплавлению. Продолжительность задержки должна составлять от 0,3 до 0,4 с.
- ▶ Скорость вращения задается достаточно низкой (от 45 до 50 мм/мин.), что



обеспечивает необходимое для расплавления время и требуемое перекрытие (т.е. электрод в процессе колебания от края к краю проходит очень короткое расстояние).

- ▶ Амплитуда колебаний выбирается в зависимости от ширины разделки таким образом, чтобы электрод останавливался как можно ближе к краю, при этом скорость поперечных колебаний должна быть низкой. При выборе также принимают во внимание необходимость того, чтобы продолжительность движения от края к краю была равна или больше (предпочтительно) времени задержки на краю и тем самым предоставляют достаточно времени для охлаждения сварочной ванны.
- ▶ При смешанной разделке практически отсутствует опасность получения сильного оплавления со стороны отвода.
- ▶ Значение напряжения дуги не является существенным параметром, при этом нужно стремиться получить короткую дугу.
- ▶ Снизить риск образования пор можно за счет импульсной подачи проволоки, значения которой подобраны в связке с силой сварочного тока (постоянной подачи проволоки нужно избегать).



#### ***При применении ВИГ-сварки с подогретой проволокой:***

- ▶ В этом случае приходится иметь дело с повышенным сварочным током и с увеличенным объемом сварочной ванны, поэтому рекомендуемая скорость сварки с холодной проволокой от 45 до 50 мм/мин должна быть увеличена до 80 мм/мин для ВИГ-сварки с подогретой проволокой. Значения остальных сварочных параметров тоже должны быть увеличены.

## **12. Выполнение заполняющих швов**

При сварке относительно тонкостенных заготовок соединение состоит из корневого шва, "горячего" шва и облицовочного шва. В то же время для толстостенных конструкций дополнительно необходимы один или несколько заполняющих швов.

Заполняющим швам придается важное значение, так как они определяют производительность сварки конструкции.



## 12.1. Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении

Материал	Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Вид тока	
Коррозионно-стойкая сталь 304 L	60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Заполняющий	импульсный	
	88,9 x 5,5	89X5,5-JV	Заполняющий	импульсный	
	168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Заполняющий	импульсный	
Углеродистая сталь	168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Заполняющий	импульсный	
	168,3 x 13	168X13-JV	Заполняющий 1	импульсный	
			Заполняющий 2	импульсный	
Заполняющий 3			импульсный		

## 12.2. Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении

Материал	Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Период (мкс)		Ток (А)	
				Тим T22	Им I22	Им I22	
Коррозионно-стойкая сталь 304 L	60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Заполняющий	100	100	110	
	88,9 x 5,5	89X5,5-JV	Заполняющий	100	100	110	
	168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Заполняющий	100	100	195/ 190	1
Углеродистая сталь	168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Заполняющий	100	100	280	
	168,3 x 13	168X13-JV	Заполняющий 1	100	100	280	
			Заполняющий 2	100	100	300	

## заполняющих швов

	Вращение	Проволока	Подогретая проволока	АРНД	Колебания	Место старта
И	постоянное	импульсная	-	Ток имп/ паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	11 часов
И	постоянное	импульсная	-	Ток имп/ паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	11 часов
И	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/ паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	11 часов
И	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/ паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	11 часов
И	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/ паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	11 часов
И	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/ паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	12 часов
И	постоянное	импульсная	импульсный	Ток имп/ паузы	Синхронизация по 2-м сторонам - Движение постоянное	1 час

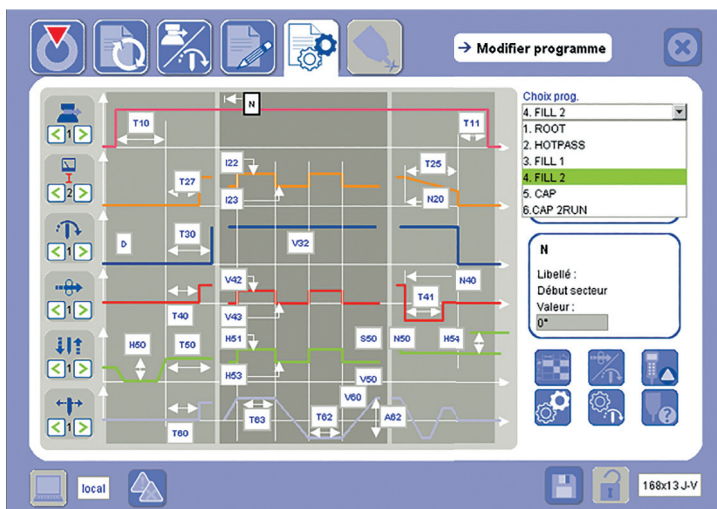
## заполняющих швов

Ось 1	Скорость сварки (мм/мин)	Скорость подачи проволоки (мм/мин)		Ток подогрева проволоки Ось 2 (А)		Колебания			Напряжения дуги (В)	
		Vим/ V42	Vп/ V43	Iим/ I22	Iп/ I23	LB (мм)/ A62	VB (мм/мин)/ V60	Tb (сек)/ T62-63	Uим/ H51	Uп/ H533
88	40/45	1000/ 1200	1000/ 1200			7,0	550	0,4	9,0	8,6
88	40/45	1000/ 1200	1000 / 1200			6,0	550	0,4	9,0	8,6
115/ 110	75	4500	2500	45	45	9,4	800	0,4	10,6	9
170	85	6500	4800	105	95	10	1000	0,3	10,6	9
170	85	6000	4500	80	80	7,6	900	0,3	10,6	9,0
176	75	6000	4500	90/ 85	80	9,8	1200	0,3	11,0	8,8



### 12.3. Типичный сварочный цикл заполняющего шва

Сварочный цикл заполняющего шва идентичен сварочному циклу "горячего" шва, с тем лишь отличием, что сварка ведется на более высоких значениях параметров. Это гарантирует необходимую производительность при сварке изделий средних и больших толщин.



### 12.4. Советы для успешного выполнения заполняющих швов

- ▶ Применяется только импульсный сварочный ток, который синхронизирован с поперечными колебаниями горелки.
- ▶ Подача проволоки осуществляется в импульсном режиме, и функция АРНД активирована как для тока импульса, так и для тока паузы (т.е. необходимо запрограммировать два значения напряжения дуги, для импульса и паузы).
- ▶ Только скорость вращения (соответствует линейной скорости сварки) выбирается постоянной.
- ▶ Ток импульса, скорость подачи проволоки и верхнее значение напряжения для функции АРНД синхронизированы с временем задержки на краю. За исключением временного промежутка в начале сварочного цикла, когда функция поперечных колебаний еще не активизирована, управление формированием шва осуществляется через "поперечные колебания".
- ▶ Обычно применяемая на практике скорость сварки лежит в пределах 40 - 50 мм/мин для ВИГ-сварки с холодной присадкой, применяя ВИГ-



сварку с подогретой проволокой можно ее повысить до 70-90 мм /мин (максимальное значение – около 120 мм/мин).

- ▶ Толщина заполняющего шва для ВИГ-сварки с холодной проволокой - от 1 до 1,5 мм и 2 мм – для ВИГ-сварки с подогретой проволокой.
- ▶ Время задержки горелки на краю (справа и слева) на практике составляет 0,3 сек. Чтобы улучшить сплавление, можно увеличить сварочный ток импульса, амплитуду колебаний, повысить скорость подачи проволоки и верхнее значение напряжения дуги для функции АРНД. При низкой скорости сварки, которая характерна для ВИГ-сварки с холодной присадкой, значение времени задержки на краю может быть увеличено до 0,4 сек (рекомендация подходит для всех случаев ВИГ-сварки с холодной проволокой).
- ▶ Продолжительность тока паузы – результат запрограммированной амплитуды и скорости колебаний. Она тяжело поддается расчетам, так как колебание происходит неравномерно, с ускорением в начале и торможением в конце.

Самый простой метод в подборе параметров колебания горелки заключается в соблюдении пропорции между амплитудой и скоростью колебаний. Приведенные ниже значения дают представление о необходимом соотношении амплитуды и скорости колебаний при неизменной линейной скорости сварки и одинаковом внешнем виде шва. В качестве неизменности и одинаковости (см. выше) может быть выбрана степень перекрытия формирующихся при импульсе сварочных ванн (одинаковая чешуйчатость или одинаковое расстояние между линиями кристаллизации).

Амплитуда колебаний (мм)	Скорость колебаний (мм/мин)
от 2 до 3	от 450 до 600
от 3 до 5	от 500 до 750
от 5 до 8	от 550 до 950
от 8 до 10	от 800 до 1000
до 10 - 12	750 до 1200

*Примечание:*

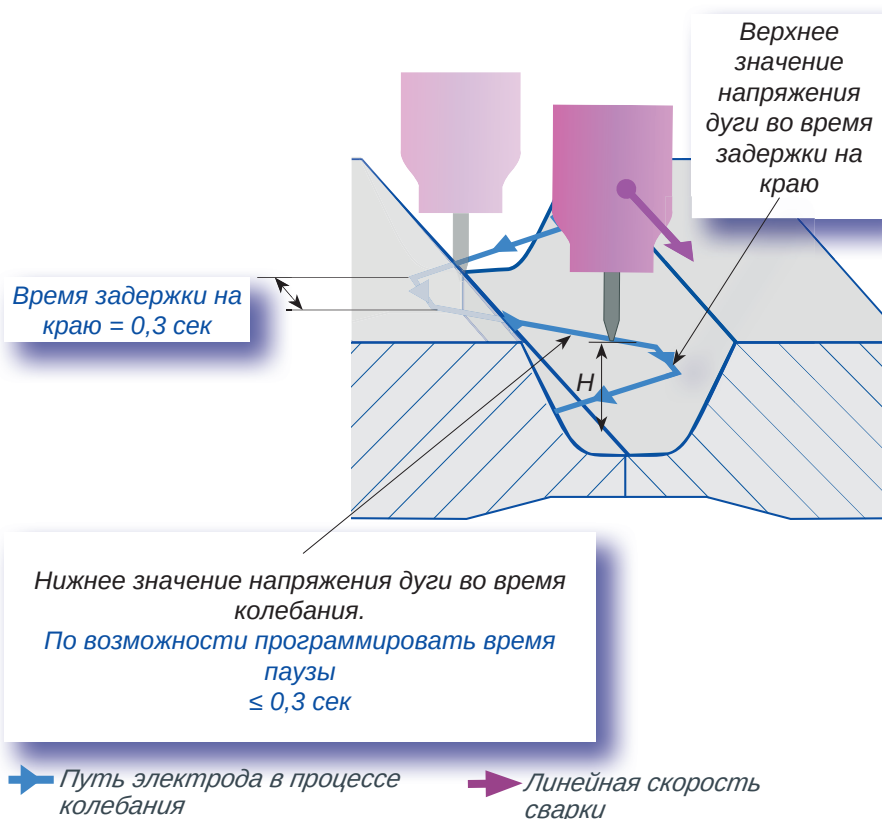
*Значения в таблице приведены для времени задержки по краям от 0,3 до 0,4 сек и скорости сварки от 50 до 100 мм/мин.*

Для настройки функции АРНД существуют три варианта, выбор которого зависит от свойств свариваемого материала. Разница между вариантами заключается в некоторой диспропорциональности между током и напряжением дуги (см. следующий раздел “Настройка функции АРНД при выполнении колебаний”).

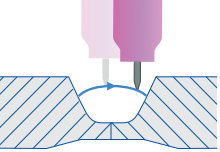


### 12.5. Настройка функции АРНД при выполнении колебаний

При программировании функции АРНД вводимое нижнее значение напряжения дуги соответствует напряжению при токе паузы и должно устанавливать предпочтительную длину дуги в пределах от 1.5 до 2 мм. При программировании функции АРНД вводимое верхнее значение напряжения дуги соответствует напряжению при токе импульса и должно устанавливать предпочтительную длину дуги в тех же пределах от 1.5 до 2 мм.



При программировании функций АРНД существуют три варианта:

Прямолинейное движение	Движение с занижением у края	Движение с подъемом у края
		
Задаваемые напряжения дуги импульса и паузы одинаковы	Задаваемое напряжение дуги паузы больше, чем импульса	Задаваемое напряжение дуги паузы меньше, чем импульса

*Примечание: Любой выбор значения напряжения дуги должен быть обоснован и зависит от свариваемого материала, воздействия силы тяжести, формы профиля разделки, а также желаемой величины проплавления сторон. Для определенных случаев можно воспользоваться оказываемым дугой давлением.*

### 13. Выполнение облицовочного шва

При наложении облицовочного шва малоразмерных заготовок следует соблюдать жесткие условия.

Обусловленный малыми размерами уменьшенный теплоотвод обуславливает применение импульсного тока, который позволяет контролировать процесс охлаждения сварочной ванны (более подробно рассмотрим на следующей странице).

Облицовочный шов выполняется после того, как разделка полностью заполняется металлом (определяется по полному оплавлению кромок).

Полное оплавление кромок позволяет выбрать необходимую амплитуду колебаний. Время задержки по краям выбирается максимально коротким и без синхронизации с током импульса.

Такой подход – короткое время задержки без синхронизации с током импульса – приводит к появлению большой сварочной ванны при широкой амплитуде, что препятствует появлению пор в верхнем слое.

При времени задержки 0,2 сек получается облицовочный шов с гладким переходом и оптимальным углом наклона усиления.



### 13.1. Сварочные параметры, функции и выбор осей при наложении

Материал		Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Вид тока
Коррозионно-стойкая сталь	DUPLEX	88,9 x 3,3	89X3,3CM3	Облицовочный	импульсный
	304 L	76,3 x 3,6	76x3,6CM3	Облицовочный	импульсный
		60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Облицовочный	импульсный
		88,9 x 5,5	88,9X5,5-JV	Облицовочный	импульсный
		168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Облицовочный	импульсный
Углеродистая сталь		168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Облицовочный	постоянный
		168,3 x 13	168X13-JV	Облицовочный 1+2	постоянный

### 13.2. Рекомендуемые значения сварочных параметров при наложении

Материал		Размеры (мм)	КТПСв	Проход	Период (мкс)		Ток Ось 1 (А)	
					Тим T22	Иим I22	Иим I22	Ip I23
Коррозионно-стойкая сталь	DUPLEX	88,9 x 3,3	89X3,3CM3	Облицовочный	100	100	86	56
	304 L	76,3 x 3,6	76x3,6CM3	Облицовочный	100	100	86	56
		60,3 x 5,5	60X5,5CM2	Облицовочный	100	100	110	70/90
		88,9 x 5,5	88,9X5,5-JV	Облицовочный	100	100	110	70/90
		168,3 x 7,11	168X7,1-JV	Облицовочный	100	100	160	95/100
Углеродистая сталь		168,3 x 8,8	168X8,8-JV	Облицовочный	100	100	210	
		168,3 x 13	168X13-JV	Облицовочный 1+2	100	100	175	

## Облицовочного шва

Вращение	Проволока	Подогретая проволока	АРНД	Колебания	Место старта
постоянное	постоянная	-	Ток паузы	не синхронизировано	12 часов
постоянное	постоянная	-	Ток паузы	не синхронизировано	12 часов
постоянное	постоянная	-	Ток паузы	не синхронизировано	12 часов
постоянное	постоянная	-	Ток паузы	не синхронизировано	12 часов
постоянное	постоянная	постоянный	Ток имп/паузы	не синхронизировано	12 часов
постоянное	постоянная	постоянный	постоянный	не синхронизировано	12 часов
постоянное	постоянная	постоянный	постоянный	не синхронизировано	12 часов

## Облицовочного шва

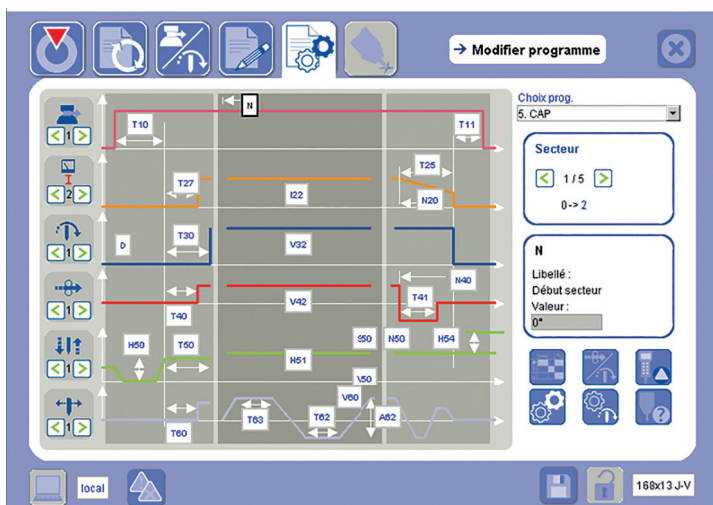
Скорость сварки (мм/мин)	Скорость подачи проволоки (мм/мин)		Ток подогрева проволоки Ось 2 (А)		Колебания			Напряже-ние дуги (В)	
	Vим/ V42	Vп/ V43	Iим/ I22	Iп/ I23	LB (мм)/ A62	VB (мм/мин)/ V60	Tb (сек)/ T62-63	Uим/H51	Uп/H53
50	700				7,6	600	0,2		8,4
50	500				7,8	600	0,2		8,2
40/45	700/ 900				9,0	600	0,2		9,0
40/45	500/900				8,7	600	0,2		9,0
65	3200		50		14,4	1000	0,2	9,8	8,8
80	4200/4500		80		12,5	1200	0,2	10,5	
80	2000		35		7,2	1200	0,2	10,0	



### 13.3. Типичный сварочный цикл облицовочного шва

КТПСв 168 X 13 –JV / Облицовочный шов с подогретой проволокой.

При орбитальной сварке в позиции 5G (расположенная горизонтально неподвижная труба), начиная с заготовок определенных размеров, для выполнения облицовочного шва можно использовать постоянный ток, что облегчает создание сварочной программы, настройку функции АРНД и сглаживание значительных отклонений на взаимное позиционирование.



### 13.4. Советы для успешного наложения облицовочного шва

- ▶ При сварке заготовок небольшого размера для облицовочного шва используется импульсный ток без синхронизации, начиная с размеров, характеризующихся повышенным отводом тепла, применяют постоянный ток, в том числе и с применением подогретой присадочной проволоки.
- ▶ В случае возникновения проблем с использованием постоянного тока, рекомендуется импульсный ток со значениями импульс/пауза 50/50 или лучше 100/100 мкс; регулировка функции АРНД по нижнему значению сварочного тока не очень эффективна из-за высокой скорости колебаний и короткого времени паузы.
- ▶ Скорость вращения (сварки) – постоянная, обычная скорость сварки при холодной присадочной проволоке лежит в пределах от 45 до 80 мм/мин.
- ▶ Амплитуда колебаний должна быть достаточной, чтобы полностью перекрыть предыдущие проходы. Программирование амплитуды с запасом в 1 – 2 мм помогает избежать необходимости коррекции во время сварки.
- ▶ Скорость колебаний – высокая (от 600 до 800 мм/мин при небольших

толщинах и от 1000 до 1200 мм/мин. – при повышенных).

- ▶ Наложение облицовочного шва начинается после того, как выполнены все заполняющие проходы. В случае совмещения заполняющего и облицовочного шва необходимо устанавливать рекомендуемые для заполняющего шва значения параметров сварки, при этом необходимо учитывать появление опасности возникновения пор при сварке "на подъем" и увеличенного усиления шва при сварке в нижнем положении.
- ▶ Время задержки по краям (справа и слева) всегда составляет 0,2 сек. Плавный переход, равномерный внешний вид и увеличенная высота прохода достигается за счет увеличения сварочного тока и уменьшения скорости сварки.

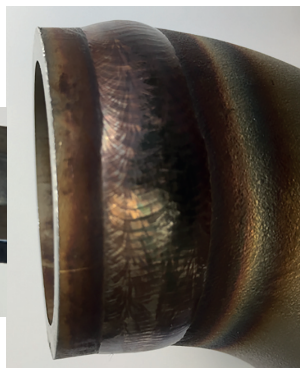
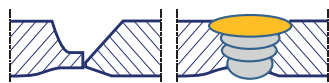
#### **При применении ВИГ-сварки с подогретой проволокой:**

- ▶ При сварке с подогретой присадочной проволокой применяется постоянный сварочный ток и постоянная подача присадочной проволоки, функция АРНД программируется по постоянному току. Такой подход к программированию АРНД позволяет сварочной горелке огибать контур шва даже при большой разнице по высоте свариваемых сторон.
- ▶ Для заготовок с диаметрами средних размеров амплитуда колебаний составляет 8-10 мм. При амплитудах более 12 мм необходимо оценить преимущества наложения двух швов рядом вместо одного при выполнении облицовочного прохода. Такая необходимость может возникнуть при смешанной U-V образной разделке заготовок толщиной от 10 мм (при угле раскрытия V-образной кромки 45°).

### **13.5. Соединение "труба-отвод" – облицовочный шов**

При сварке тонкостенных заготовок воздействие силы тяжести может быть компенсировано применением импульсного сварочного тока.

Плавный переход "шов-основной металл" достигается при времени задержки по краям 0,2 сек.

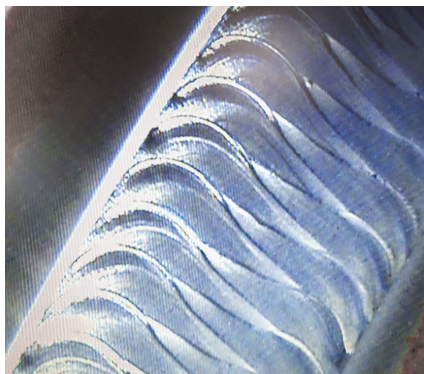


*Рис. 28- Вид облицовочного шва при ВИГ-сварке с подогретой проволокой толстостенных соединений "труба-отвод"*

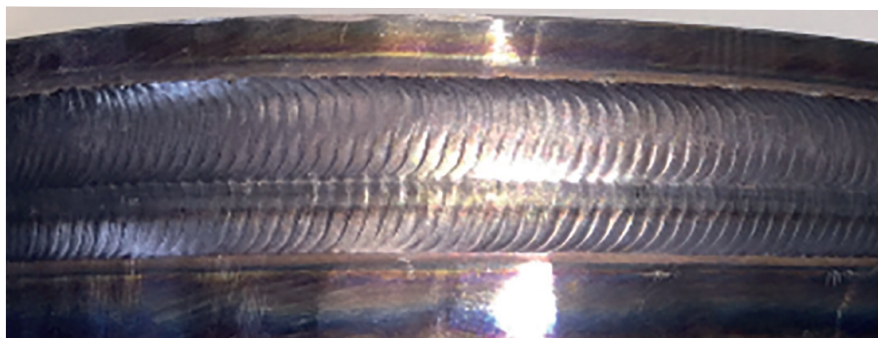


При сварке больших толщин (в большинстве случаев применяется подогретая проволока) требуемый профиль шва получают за счет использования постоянного тока, увеличенной амплитуды и скорости сварки.

Для широкой разделки кромок целесообразно при формировании облицовочного прохода накладывать несколько швов рядом вместо одного с большой амплитудой.



*Рис. 29 - Вид облицовочного шва при ВИГ-сварке с подогретой проволокой толстостенных соединений "труба-отвод"*



*Рис. 30 - Вид облицовочного прохода при сварке широкой разделки*



## 14. Сварка соединений с V-образной разделкой

Первоначальная цель исследования заключалась в поиске универсальной разделки кромок для соединений "труба-отвод" на базе V-образной разделки.

Такая подготовка была бы идеальным решением, так как она подходила бы как для автоматической, так и для ручной сварки.

В рамках данного исследования были отработаны сварки соответствующих типоразмеров.

Для трубы  $\varnothing 168 \times 13$  мм была разработана карта техпроцесса сварки (доказательства позитивного результата при применении данной КТПСв представлены на следующей странице).

Дальнейшие исследования с трубами из нержавеющей стали показали, что добиться схожего результата при решении других задач в области орбитальной сварки не получилось.

В отдельных случаях существует возможность получить бездефектное, с хорошим внешним видом сварное соединение "труба-отвод" с V-образной разделкой. При этом необходимо отметить решающее значение граничных условий, так как незначительное отклонение в размерах заготовок или в химическом составе присадочной проволоки может поставить под сомнение прилагаемые для получения нужного результата усилия.

Поэтому единичные успешные попытки сварки заготовок с V-образной разделкой не могут служить подтверждением универсальности данного профиля подготовки кромок под сварку.

V-образная разделка характеризуется значительным отводом вводимого при сварке тепла, а силы поверхностного натяжения не только препятствуют получению требуемого проплавления, но и усложняют вплоть до невозможного получение желаемого профиля сварного соединения.

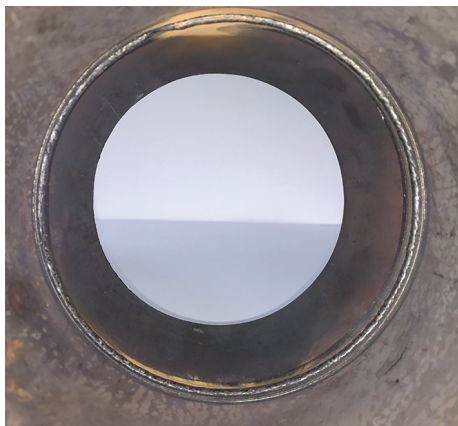
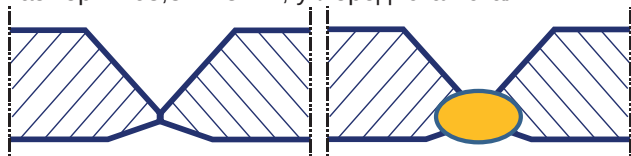
Тот факт, что ряд коррозионно-стойких сталей является ограничено свариваемыми, является дополнительным препятствием для применения V-образной разделки.

Попытки подобрать параметры для сварки корневого шва соединения "труба-отвод" из коррозионно-стойкой стали  $\varnothing 88,9 \times 5$  мм не привели к получению приемлемого результата, и это без учета возможного смещения свариваемых заготовок.



*Соединение "труба-отвод" с V-образной разделкой – корневой шов*

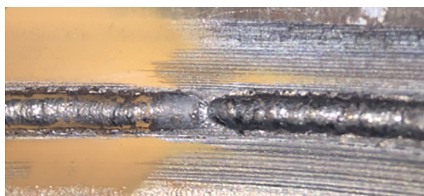
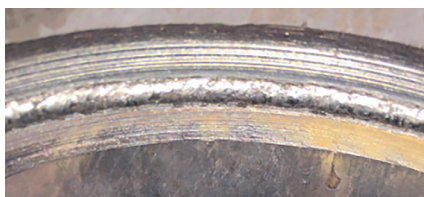
Размеры 168,3 x 13 мм, углеродистая сталь



*Рис. 31 - Качественный шов при V-образной разделке. Исключение из правил*



*Рис. 32 - Участок шва "на подъем" (слева) и "на спуск" (справа)*



*Рис. 33 - Участок шва в потолочном положении (сверху) и в нижнем положении (снизу)*

Размеры 88,9 x 5 мм, Коррозионно-стойкая сталь 304 L

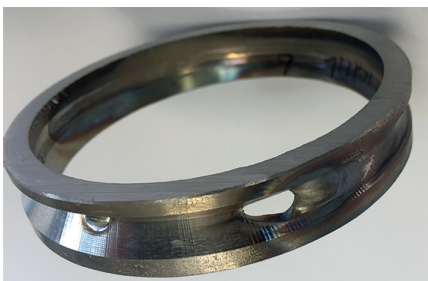
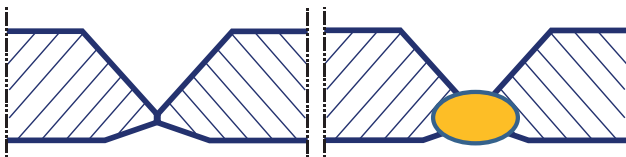


Рис. 34 - Дефекты сварного соединения, выполненного из коррозионно-стойкой стали с ограниченной свариваемостью. Усугублено V-образной разделкой



## 15. Выводы и рекомендации

Полученные в результате проведенных исследований данные дополняют разработанные для сварки соединений "труба-труба" в позиции 5G (неподвижная труба с горизонтальной осью) КТПСв.

Вопросы, связанные с различной свариваемостью материалов заготовок, не оставлены без внимания, а учтены в предлагаемых вариантах по подготовке кромок.

Геометрические размеры разделки кромок устанавливаются в зависимости от физико-химических свойств свариваемого материала в следующем порядке:

- Выбирается значение притупления Т с учетом предварительно принятого значения длины притупления  $L = 6,0$  мм;
- Угол раскрытия составляет  $20^\circ$ .

Значение притупления Т определяет допуск на размеры отвода с учетом того, что отклонения между внутренним и внешним диаметром притупления и контактной поверхностью V-образной поверхности отвода не должны превышать десятой доли миллиметра.

Поэтому важную роль играет качество изготовления отводов и технический уровень установки для обработки кромок (контактная поверхность отвода должна иметь минимальные отклонения от округлости, а ее величина составлять от 0,1 до 0,5 мм).

Следующим шагом является выбор и создание сварочной программы для каждого шва (прохода) в соответствии с установленными функциями и осями. Выбранные функции и оси позволяют использовать know-how фирмы Polysoude, которое заключается в подобранных для каждого шва значений параметров (например, программирование функции АРНД по току паузы для корневого шва или синхронизация для заполняющих швов).

На заключительном этапе окончательно устанавливаются значения сварочных параметров.

В приведенных ранее таблицах разным цветом обозначены поля, значения параметров в которых можно разделить на две большие группы: универсальные для различных задач и практически неизменяемые значения (время импульса и паузы при сварке корневого шва, время задержки на краю при поперечных колебаниях) и параметры, значения которых нужно подбирать в зависимости от решаемой задачи.



### 15.1. Библиотечные карты техпроцесса сварки

Выполненные исследования по орбитальной сварке охватили различные задачи в этой области.

Библиотека КТПСв, в которой содержатся разработанные сварочные программы для соединений "труба-отвод" со смешанной разделкой (входит в программное обеспечение источников сварочного тока Р6 НW), может быть расширена по мере накопления полученных в результате дальнейших исследований данных.

Для решения задачи по сварке нужно осуществлять выбор наиболее подходящей базовой КТПСв с учетом следующих критериев:

- Толщина стенки.
- Диаметр заготовки.
- Свариваемый материал.

В случае отсутствия подходящей КТПСв рекомендуется выбрать ближайшую со следующим в ряду диаметром.

В приведенной ниже таблице указаны поставляемые в программном обеспечении (Версия 00) КТПСв:

Материал	Размеры	КТПСв
Углеродистая сталь	168,3 x 13	168X13-JV
	168,3 x 8,8	168X8,8-JV
Коррозионно-стойкая сталь 304 L	168,3 x 7,11	168X7,1-JV
	88,9 x 5,5	89X5,5CM3
	60,3 x 5,5	60X5,5CM2
Коррозионно-стойкая сталь Duplex	76,3 x 3,6	76x3,6CM3
	88,9 x 3,3	89X3,3CM3

### 15.2. Дополнительные примечания

Данное руководство является вспомогательным материалом для разработки КТПСв соединений "труба-отвод" со смешанной U-V разделкой.

Данный тип подготовки кромок не получил широкого распространения, но он позволяет заменить ручную ВИГ-сварку на автоматическую орбитальную при изготовлении соединений в позиции 5G (неподвижная труба с горизонтальной осью).

Такая же разделка может быть использована при сварке заготовок в позиции 2G (неподвижная труба с вертикальной осью).

В этом случае для сварки корневого шва применяются сектора, а последующие проходы выполняются без применения функции колебаний.

В данном руководстве в основном рассматривается сварка заготовок диаметром от 1,5 до 2 дюймов и толщиной стенки около 3,5 мм с применением присадочной проволоки. Для этой задачи, в отличие от орбитальной ВИГ-сварки труб диаметром от 4 дюймов и толщиной от 5-6 мм, требуется более тщательная подготовка кромок.

Перед принятием решения о применении автоматической орбитальной сварки больших заготовок необходимо установить возможность соблюдения требуемых допусков с учетом размеров соединяемых деталей, имеющегося парка оборудования и возможности соблюдения соосности.

Безусловно, предлагаемый путь достижения желаемого результата не единственный и существуют другие методы, однако он позволяет быстро и просто разработать КТПСв для многих задач. Для этого требуется выбрать уже имеющиеся значения сварочных параметров и провести необходимую корректировку.

Еще одно преимущество в следовании рекомендациям данного руководства заключается в том, что нестандартные задачи могут быть быстро идентифицированы с последующим запросом о технической поддержке.

Сварка труб с толщиной стенки около 3,5 мм без присадочной проволоки не рассматривается, что связано с отсутствием уверенности в том, что, независимо от химического состава свариваемых материалов, точности изготовления заготовок и т.п., можно гарантировано получить бездефектное, удовлетворяющее требованиям, соединение.

Также необходимо констатировать, что в рамках проведенной работы для сварки соединения "труба-отвод" размером  $\varnothing 114 \times 3,6$  мм потребовалась адаптация существующих в библиотеке КТПСв, которая заключалась во вводе специальных функций осей.

Перед разработкой КТПСв для нестандартных задач необходимо выяснить все связанные с качеством присадочной проволоки и особенностями ее применения вопросы, так как они оказывают существенное влияние на ход процесса орбитальной сварки.



Проведя сравнительные сварки, можно выяснить, насколько сильно увеличится текучесть сварочной ванны вследствие изменения химического состава из-за добавления присадочной проволоки, сохраняется ли контроль над процессом сварки во всех пространственных положениях.

В таких условиях создание надежной КТПСв становится нетривиальной задачей.

В большинстве случаев предлагаемый выше подход к разработке КТПСв позволяет не только идентифицировать каждый параметр и подобрать его значение, но и определяет коридор действий, что снижает вероятность появления дефектов сварки.

Выполнение рекомендаций по разделке кромок под сварку и по созданию сварочной программы с импульсным током для корневого шва создает предпосылки для получения бездефектных, соответствующих предъявляемым требованиям сварных соединений "труба-отвод". Содержащиеся в руководстве советы по подбору функций, осей и значений сварочных параметров помогают избежать типичных ошибок, которые приводят к появлению дефектов в шве, например, пор.

При выборе сварочных параметров и поиске их значений необходимо учитывать свойства сварочной ванны и характеристики сварочного оборудования. Такой подход позволит получать ожидаемый результат на базе рациональной, с точки зрения сложности, сварочной программы.

Предполагается, что данное руководство будет регулярно обновляться за счет добавления новых КТПСв и полезных рекомендаций, касающихся изготовления соединений "труба-отвод".



## СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рис. 1- Типичное поперечное сечение отвода эллиптической формы с явно выраженной разнотолщиной.....	14
Рис. 2- Величина притупления U-разделки определяет допуск на выравнивание заготовок.....	16
Рис. 3- Зависимость коэффициента P/L от основного металла (при одинаковом тепловложении).....	17
Рис. 4- Толщина притупления увеличивается, ширина уменьшается -> свариваемость улучшается .....	17
Рис. 5- Толщина притупления уменьшается, ширина увеличивается -> свариваемость ухудшается .....	17
Рис. 6- Подготовка кромок с одинаковым коэффициентом P/L. Данные примеры подготовки предназначены для решения разных задач....	18
Рис. 7- Схематическое изображение двух профилей смешанной разделки и операции механической обработки.....	24
Рис. 8- Мобильная установка для механической подготовки кромок отрезанных в размер труб.....	26
Рис. 9- Подготовка кромки под сварку установкой типа US40 .....	27
Рис. 10- Подготовка кромки под сварку установкой типа US25CH.....	27
Рис. 11- Стационарная установка для механической обработки отводов.....	28
Рис. 12- Обработка отвода диаметром 60,3 мм (2"). V-образная разделка с углом 45°, притуплением и калибровкой 15° .....	28
Рис. 13- Установка для мех. обработки кромок US25CH с держателем резца 30° и 90° .....	29
Рис. 14- Точная установка держателей резцов обеспечивает постоянное притупление .....	29
Рис. 15- Держатели резцов для обработки фаски и торцовки .....	29
Рис. 16- Жесткое крепление резцов обеспечивает применение соответствующих сухарей.....	29
Рис. 17- Красным кругом отмечен регулятор настройки скорости установки US40 с электрическим приводом.....	30
Рис. 18- Красным кругом отмечен регулировочный вентиль установки US40 с пневматическим приводом.....	30
Рис. 19- Профиль сварного шва в потолочном положении, труба Ø 168 мм (сварка без формирующего газа) .....	34



Рис. 20 - Слева – сварной шов в потолочном положении, справа – в нижнем .....	36
Рис. 21 - Слева – сварной шов в положении на подъем, справа – на спуск ..	36
Рис. 22 - Сварной шов, нижнее положение – верхнее фото, потолочное положение – нижнее фото .....	38
Рис. 23 - Сварной шов, на подъем – слева, на спуск – справа.....	38
Рис. 24 - Сварной шов в нижнем положении – вверху и в потолочном положении – внизу .....	39
Рис. 25 - Сварной шов в положении на подъем – слева и на спуск – справа	39
Рис. 26 - Шлиф соединения "труба-отвод" Ø 60,3 мм x 5,5 мм. Коррозионная сталь 304L. КТПСв 60X5,5СМ2 после оптимизации..	40
Рис. 27 - Шлиф соединения "труба-отвод" Ø 168,3 мм x 13 мм из углеродистой стали. КТПСв 168X13-JV после оптимизации. Пример облицовочных швов при малой толщине стенки .....	41
Рис. 28 - Вид облицовочного шва при ВИГ-сварке с подогретой проволокой толстостенных соединений "труба – отвод" .....	55
Рис. 29 - Вид облицовочного шва при ВИГ-сварке с подогретой проволокой толстостенных соединений "труба-отвод" .....	56
Рис. 30 - Вид облицовочного прохода при сварке широкой разделки .....	56
Рис. 31 - Качественный шов при V-образной разделке. Исключение из правил .....	58
Рис. 32 - Участок шва "на подъем" (слева) и "на спуск" (справа) .....	58
Рис. 33 - Участок шва в потолочном положении (сверху) и в нижнем положении (снизу) .....	58
Рис. 34 - Дефекты сварного соединения выполненного из коррозионностойкой стали с ограниченной свариваемостью. Усугублено V-образной разделкой .....	59

## Заметки



# Дочерние компании

## ARGENTINA

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

## AUSTRALIA

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

## AUSTRIA

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

## BAHRAIN

SALWO TRADING Ltd  
☎ +971 (0) 48 81 05 91

## BELGIUM

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

## BRAZIL

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

## BULGARIA

KARWELD EOOD  
☎ +359 (0) 29 73 32 15

## CANADA

MAG TOOL - West  
☎ +1 800 661 9983  
MAG TOOL - East  
☎ +1 905 699 5016

## CHINA

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

## CROATIA

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

## CZECH REPUBLIC

POLYSOUDE CZ  
☎ +420 602 602 855

## DENMARK

HALL & CO. INDUSTRI  
☎ +45 (0) 39 56 06 76

## EGYPT

STEEL TECH  
☎ +2 02 22 02 99 79

## ESTONIA

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

## FINLAND

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

## FRANCE

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

## GERMANY

POLYSOUDE DEUTSCHLAND  
GmbH  
☎ +49 (0) 7072 60 07 60

## GREAT BRITAIN

POLYSOUDE UK  
☎ +44 (0) 1942 820 935

## GREECE

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

## HUNGARY

POLYWELD Kft.  
☎ +36 (0) 20 29 88 708

## INDIA

POLYSOUDE INDIA  
☎ +91 (0) 20 271 27 678

## INDONESIA

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

## MALAYSIA

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

## MEXICO

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

## NETHERLANDS

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

## NEW ZEALAND

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



## IRAN

STD CO  
☎ +98 21 88525206-7

## ISRAEL

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

## ITALY

POLYSOUDE ITALIA SRL  
☎ +39 02 93 79 90 94

## JAPAN

GMT CO Ltd. - KAWASAKI  
☎ +81 (0) 44 222 67 51  
GMT CO Ltd. - OSAKA  
☎ +81 (0) 798 35 67 51

## JORDAN

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

## KUWAIT

SALWO TRADING Ltd  
☎ +971 (0) 48 81 05 91

## LATVIA

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

## LITHUANIA

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

## NORWAY

TEMA NORGE S.A.S.  
☎ +47 (0) 51 69 25 00

## OMAN

SALWO TRADING Ltd  
☎ +971 (0) 48 81 05 91

## PAKISTAN

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

## PHILIPPINES

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

## POLAND

UNIDAWELD - BEDZIN  
☎ +48 32 267 05 54  
SUPRA ELCO  
☎ +48 500 004 804

## PORTUGAL

POLYSOUDE IBERIA OFFICE  
☎ +34 609 154 683

## QATAR

SALWO TRADING Ltd  
☎ +971 (0) 48 81 05 91

## ROMANIA

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

## RUSSIA + C.I.S.

POLYSOUDE RUSSIA  
☎ +7 (0) 495 564 86 81

## SAUDI ARABIA

SALWO TRADING Ltd  
☎ +971 (0) 48 81 05 91

## SINGAPORE

POLYSOUDE SINGAPORE  
OFFICE  
☎ +65 0734 8452

## SLOVAKIA

POLYSOUDE CZ  
☎ +42 (0) 602 602 855

## SOUTH AFRICA

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

## SOUTH KOREA

CHEMIKO CO. Ltd  
☎ +82 (0) 2 567 5336

## SPAIN

POLYSOUDE IBERIA OFFICE  
☎ +34 609 154 683

## SWEDEN

HALL & CO. INDUSTRI  
☎ +45 (0) 39 59 06 76

## SWITZERLAND

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

## TAIWAN R.O.C.

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

## THAILAND

POLYSOUDE S.A.S.  
☎ +86 (0) 65 6862 60 08

## TURKEY

EGE MAKINE  
☎ +90 (0) 212 237 36 00

## UNITED ARAB EMIRATES

SALWO TRADING Ltd  
☎ +971 (0) 48 81 05 91

## UKRAINE

POLYSOUDE RUSSIA  
☎ +7 (0) 495 564 86 81

## UNITED STATES

ASTRO ARC  
POLYSOUDE INC.  
☎ +1818 (859) 7600

## VENEZUELA

ENRIVA C.A.  
☎ +58 (0) 412 34 82 602

## VIETNAM

ANH DUONG IT Ltd  
☎ +84 22.159.532



A Member of



# POLYSOUDE

ИСКУССТВО СВАРКИ

Филиал АОУТ "ПОЛИСУД" (Франция)  
ул. Б. Тульская, д. 10, стр. 10, офис 1021  
115191, г. Москва, Россия  
Тел.: (495) 564 86 81 • Факс: (495) 564 83 51  
www.polysoude.ru • info@polysoude.ru