

**POLYSOUDE**

ИСКУССТВО СВАРКИ

## Автоматизированная ВИГ-наплавка

Включая технологию TIG<sup>er</sup>  
инновацию от Полисуд

PN-1011133

Оригинальное издание 2011 , дополненное издание: 2014, Полисуд С.А.С. (Франция)  
Фотографии, схемы и чертежи предназначены для обеспечения лучшего понимания  
и, следовательно, не являются частью договора.

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

Напечатано в Москве.

Опубликовано компанией Polysoude, г. Нант, Франция

[www.polysoude.com](http://www.polysoude.com)

[info@polysoude.com](mailto:info@polysoude.com)



## СОДЕРЖАНИЕ

1. Предисловие	5
2. Области применения ВИГ-наплавки	6
3. Основные принципы ВИГ-процесса	9
3.1. ВИГ-сварка с холодной и подогретой присадкой и технология TIG <sup>er</sup> со сдвоенной ВИГ-дугой	9
3.2. Сварочный ток	10
3.3. Защитный газ	14
4. Особенности ВИГ-наплавки	17
4.1. Общие положения	17
4.2. Смешивание основного и присадочного материалов	19
5. Оборудование для наплавки	25
5.1. Источники тока и оборудование	25
5.2. Установка для наплавки неподвижной детали в нижнем положении	31
5.3. Установка для наплавки вращающейся детали в нижнем положении	31
5.4. Установка для наплавки горизонтальных швов на вертикальной поверхности	34
5.5. Установка для наплавки с коллекторной головкой	36
5.6. Установка для наплавки труб изнутри в горизонтальном положении	38
6. Заключение	41
7. Приложения	42



## 1. Предисловие

ВИГ-сварка (неплавящимся электродом в среде инертного газа) является общепризнанным методом и широко применяется в промышленности для сварки различных конструкций. Выполняемый раньше исключительно вручную, этот процесс являлся практически единственным способом сварки благородных металлов и специальных сплавов. Фактором, оказывающим решающее влияние на качество соединений, были квалификация и опыт сварщика.

Благодаря высокому качеству сварных швов, полученных ВИГ-сваркой, вскоре этот процесс был автоматизирован, при этом были обнаружены два особенно полезных свойства:

- исключительная стабильность процесса, которая позволяет изменять параметры режима в широком диапазоне.
- независимость скорости подачи присадочной проволоки от силы сварочного тока.

Накопленный опыт и знания о ВИГ-сварке, а также постоянно возрастающая производительность электронных систем в наши дни позволяют полностью контролировать этот процесс и выполнять сварку во всех пространственных положениях. Сложные процедуры сварки могут программироваться на компьютере, тем самым обеспечивая повторяемость механических свойств соединений. При необходимости вращать заготовку ее можно расположить на специальных приспособлениях (вращателях, поворотных столах, роликовых опорах) или использовать технически более сложные системы, в которых горелка установлена на сварочную головку, перемещающуюся вокруг неподвижной детали (орбитальная сварка).

Опыт, полученный в процессе развития орбитальной сварки и автоматизации процесса, создал базу для применения различных вариантов ВИГ-процесса в наплавке и нанесении переходных слоев. Недавно представленная технология сварки сдвоенной дугой TIGer позволяет значительно увеличить скорость плавления.

Требования, предъявляемые к процессу ВИГ-наплавки, такие же высокие, как и к сварке. Это надежное управление процессом, стабильная повторяемость результатов, возможность производить сварку во всех пространственных положениях, независимость скорости подачи проволоки от силы сварочного тока и простота автоматизации. Все они являются необходимыми для получения сварных швов и наплавляемых слоев высокого качества.



## 2. Области применения ВИГ-наплавки

ВИГ-наплавка успешно применяется для решения следующих задач:

- ремонт изношенных частей деталей, а также устранение заводского брака;
- нанесение слоев на детали, которые работают в условиях механических нагрузок (износа, коррозии и т.д.);
- нанесение переходных слоев, как часть более сложного процесса создания соединений из разнородных материалов.



Рис. 1: Наплавка коррозионностойкого материала на клапан

При восстановлении изношенных деталей поврежденный слой (вследствие растрескивания, эрозии и т.д.) удаляется механическим способом, затем эта часть детали наплавляется металлом сходным по химическому составу и свойствам основному. В большинстве случаев этим операциям подвергают изделия из дорогостоящих коррозионностойких сталей. Процесс наплавки не изменяет металлургические характеристики основного металла, но увеличивает уровень остаточных напряжений наплавленной части. Подобные операции, например, выполняются при восстановлении труб, применяемых в ядерных установках.

Детали, поврежденные в результате сбоев при обработке, также могут быть восстановлены

посредством сварки. В этом случае труднее применить автоматическую сварку, кроме случаев, когда геометрия детали совместима со стандартным инструментом.



Рис. 2: Ремонт отвода ГЦТ атомной установки путем наплавки металла 316L. Сварочная головка установлена внутри трубы. Сварщик удаленно контролирует процесс с помощью эндоскопа. Используемая коллекторная головка позволяет производить наплавку без остановки после каждого поворота.

С точки зрения металлургии ремонтная наплавка часто является проблематичной, в частности, если детали изготовлены из материала, обладающего плохой свариваемостью, как, например:

- низколегированные стали;
- хромистые или молибденовые стали с высоким эквивалентом углерода;
- жаропрочные, мартенситные стали, подверженные охрупчиванию, если невозможно осуществить послесварочную термообработку.

Подобная ситуация встречается, например, при ремонте корпусных деталей, приводных валов, литых деталей и др.

При производстве новых деталей наплавка применяется для нанесения антифрикционных покрытий на опорные поверхности подшипников, клапанов и т.д. Эти операции не представляют большой сложности, т.к. они выполняются на специально сконструированных для таких задач установках в цеху, где есть возможность прибегнуть к механизации процесса.

Нанесение переходного слоя следует рассматривать как особый случай наплавки, т.к. наплавленный слой служит не для защиты основного материала от воздействия внешних факторов. В данном случае он выступает в качестве переходного металлургического слоя соединений из разнородных материалов.

В отличие от наплавочного, переходный слой влияет на механическую прочность всего сварного соединения, поэтому к нему предъявляются такие же требования по механическим характеристикам, как и к самому сварному соединению. В этих условиях при выборе способа производства часто склоняются к ВИГ-наплавке с подачей подогретой присадочной проволоки.

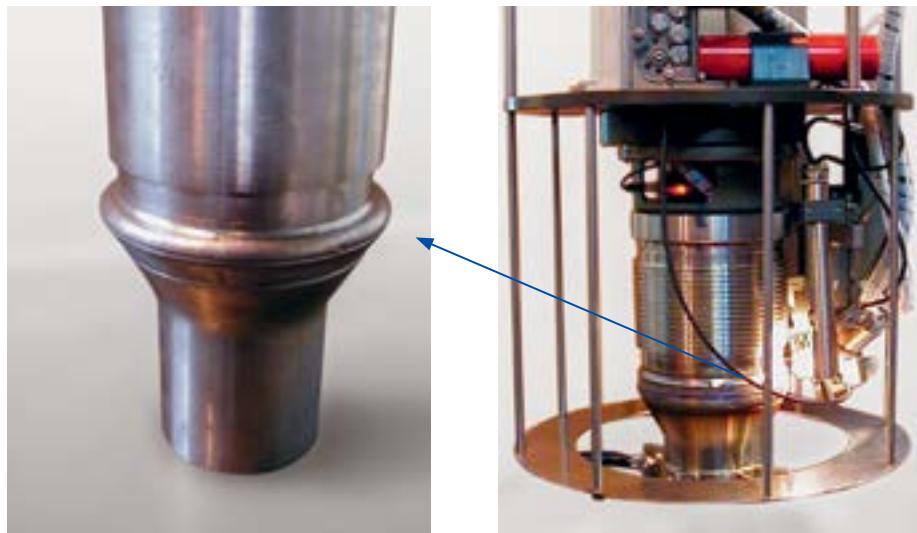


Рис. 3 : Восстановление внешней поверхности переходника крышки ядерного реактора



Рис. 4 : Стационарная сварочная установка в производственном цехе. Наплавка никелевого сплава на внутренние поверхности деталей: стенок, дна, переходов.





Рис. 5: Наплавка переходного слоя на торец трубы для последующей приварки детали из разнородного материала

### 3. Основные принципы ВИГ-процесса

#### 3.1. ВИГ-сварка с холодной и подогретой присадкой и технология TIGer со сдвоенной ВИГ-дугой

При ВИГ-сварке дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом и деталью. Материал электрода, вольфрам, тугоплавок, поэтому он выдерживает высокую температуру дуги. Энергия дуги, в свою очередь, расплавляет основной металл, образуя сварочную ванну, которая защищена от атмосферы воздуха потоком инертного газа.

При ВИГ-наплавке холодной присадкой энергия, необходимая для расплавления присадочного материала, поступает от электрической дуги, поэтому нужно выбирать режимы сварки таким образом, чтобы энергии было достаточно для расплавления как основного, так и присадочного материала.

ВИГ-процесс с подогретой присадкой характеризуется наличием полностью независимого источника питания для подогрева проволоки. Подогрев осуществляется вследствие выделения джоулевой теплоты (сопротивлением). Энергия от этого источника не расплавляет присадочную проволоку, а только нагревает ее, что позволяет существенно снизить энергетические параметры дуги. Это гарантирует независимость между производительностью наплавки и силой тока сварочной дуги.

При сварке сдвоенной дугой расположенные рядом два вольфрамовых электрода с одинаковой полярностью, одинаковым напряжением дуги как на традиционной ВИГ-дуге работают на постоянном токе. Сила притяжения электрических полей и близкое расположение электродов приводят к слиянию двух дуг в одну. При этом получаемая высокая интенсивность дуги при остающемся низким давлении дуги, а также геометрическая ориентация положений электродов и подачи проволоки создают идеальные предпосылки для успешного применения TIG<sup>er</sup>-процесса в области наплавки. Технология сварки с подогретой присадкой при традиционном ВИГ-процессе базируется на том же принципе, только присадка в TIG<sup>er</sup>-процессе подается на переменном токе во избежание вредного влияния при погружении в расплавленную ванну.

### 3.2. Сварочный ток

#### 3.2.1. Характеристики источников сварочного тока и виды тока

В состав установки для ВИГ-сварки входит источник питания (со встроенной системой охлаждения горелки), к которому подключена сварочная горелка, кабель «земли», а также баллон с инертным газом.

Источники питания для ВИГ-сварки имеют падающие или пологопадающие внешние вольт-амперные характеристики (ВАХ) для сварки с напряжением дуги от 9 до 18 В (в защитной среде гелия). Этот вид ВАХ гарантирует постоянство сварочного тока, несмотря на изменение высоты междугового промежутка.

ВИГ-сварка может выполняться на постоянном или переменном токе (например, сварка алюминия).

Сварка на постоянном токе происходит обычно на прямой полярности («-» на электроде), поэтому электрод выступает в роли катода. Возможна сварка на прямой полярности, однако она используется редко.

При сварочном процессе TIG<sup>er</sup> со сдвоенной дугой применяются такие же источники тока, как для традиционной ВИГ-сварки, полярность электрода также не меняется.

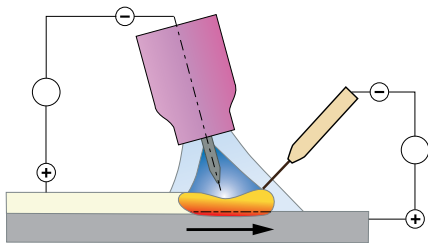


Рис. 6: Схема процесса ВИГ-сварки одним электродом с подачей подогретой присадки. Электрод и присадочная проволока подсоединены к отдельным источникам питания, но оба имеют прямую полярность.

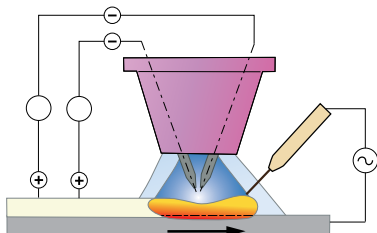


Рис. 7: Схема сварочного процесса TIG<sup>er</sup> со сдвоенной ВИГ-дугой. Оба вольфрамовых электрода и подогреваемая присадка подсоединены к одному источнику тока, причем для подогрева присадки применяется переменный ток, чтобы избежать воздействия дуги.

#### 3.2.2. Импульсный сварочный ток

Как и при ВИГ-сварке, при ВИГ-наплавке в зависимости от задачи возможно применение постоянного импульсного или неимпульсного тока.

Неимпульсная форма сварочного тока, как правило, применяется, когда требуется высокая производительность и допускается образование большого объема сварочной ванны, т.е. сварка в нижнем положении или сварка горизонтальных швов на вертикальной поверхности. Для этой цели иногда применяется многодуговой процесс.

С другой стороны, импульсный ток применяется, когда объем сварочной ванны должен четко контролироваться, т.е. сварка в вертикальном и потолочном положении. Сварочный ток в этом случае синхронизируется со скоростью подачи проволоки, а также с автоматическим регулированием напряжения на дуге (АРНД).

Особенности ВИГ-сварки в импульсном режиме:

- Частота импульсов менее 6 Гц;
- В промежутке времени, когда действует ток импульса, происходит интенсивное плавление основного металла и присадочной проволоки;
- Ток между импульсами называется базовым током, он необходим для охлаждения ванны, чтобы контролировать ее объем в вертикальном и потолочном положениях.
- Импульсным током можно воздействовать на геометрию наплавляемого валика: ширину, чешуйчатость и т.д.

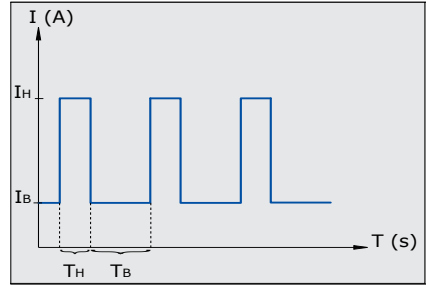


Рис. 8: Диаграмма импульсного сварочного тока для ВИГ-сварки

Примечания:

▶ Равномерное перемещение сварочной ванны при переходе от тока импульса к базовому току может быть достигнуто только при частоте импульса меньше 8 Гц, т.е. ниже собственной частоты микроструктуры металла (например, для коррозионностойких сталей 6-7 Гц).

▶ Эффективность применения импульсного сварочного тока усиливается за счет синхронизации подачи присадочной проволоки, тока нагрева и колебательных перемещений (осцилляции). Правда, в этом случае рекомендуемый диапазон частот импульса снижается до 0,5 - 3 Гц.

▶ При сварке средних и больших толщин рекомендуется, чтобы время действия базового тока ( $T_B$ ) было не меньше времени тока импульса ( $T_I$ ), чтобы обеспечить достаточное охлаждение ванны, стандартная рекомендация:  $T_I = 200$  мс и время базового тока  $T_B = 300$  мс или время  $T_I = 300$  мс и время  $T_B = 500$  мс.

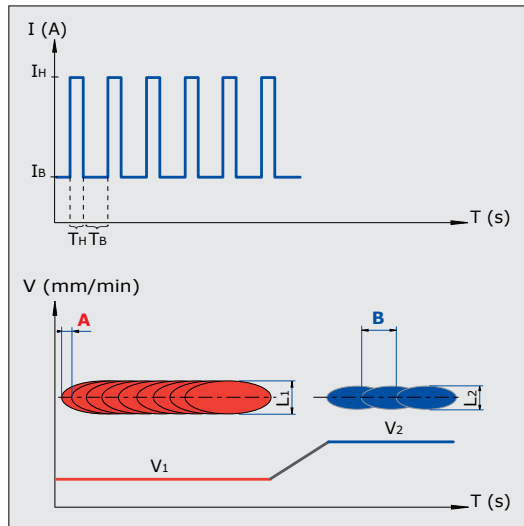


Рис. 9: Производительность сварки в импульсном режиме



► Самая распространенная форма диаграммы импульса тока – квадратная, но применяются также импульсы других форм. В зависимости от частоты импульсы могут либо увеличивать давление дуги (высокочастотный процесс – от 500 Гц до 10 кГц), либо разогревать ванну (импульсный процесс с моноимпульсом). Моноимпульс увеличивает действие обычного теплового импульса.

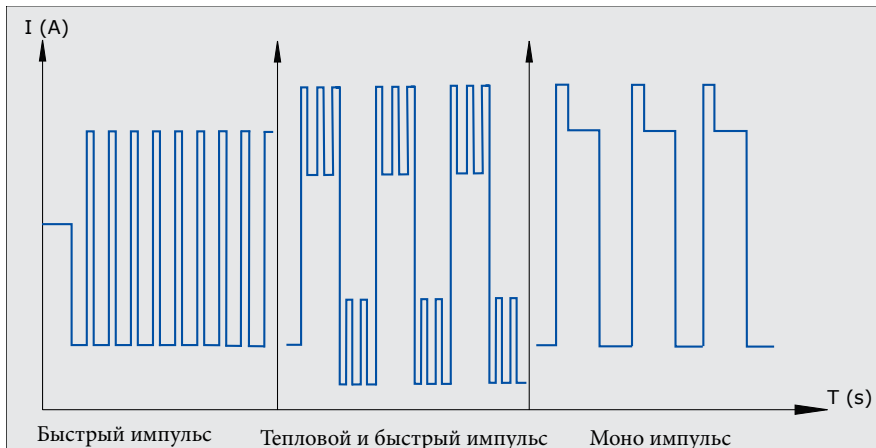


Рис. 10: Различные формы импульсов сварочного тока для ВИГ-сварки

### 3.2.3. Поджиг сварочной дуги

При автоматической ВИГ-сварке применяются два способа поджига дуги.

Первый – высокочастотный поджиг дуги. Для его реализации необходим высокочастотный генератор, который обычно встроен в источник питания. Это устройство подает высокочастотные высоковольтные импульсы (от 8 до 15 кВ), они ионизируют дуговой промежуток и обеспечивают после включения сварочного тока загорание дуги. В целом дуга электрически нейтральна и состоит из атомов защитного газа, отрицательно заряженных электронов, положительных ионов и испарений металла.

Источник питания автоматически определяет момент стабилизации дуги и прекращает работу высокочастотного генератора.

Однако, этот способ зажигания дуги ограничен сложностью в передаче высокочастотного тока по длинным кабелям. Поэтому, он имеет смысл при длине кабелей до 50 м, хотя иногда есть возможность расположить генератор высокой частоты в непосредственной близости к месту сварки.

Если такой возможности нет, а сварочная головка оснащена функцией АРНД, то дуга может быть возбуждена касанием об изделие.

Этот вид поджига дуги предусматривает непродолжительный период короткого замыкания электрода и детали, после которого электрод отводится суппортом АРНД до момента стабилизации дуги.

После стабилизации дуги суппорт АРНД используется для механического регулирования

длины дуги.

Даже несмотря на контакт между вольфрамовым электродом и изделием (момент поджига коротким замыканием), этот способ гарантирует отсутствие включений вольфрама в шов. Более того, отсутствие высокочастотного тока положительно влияет на надежность сложного электронного оборудования, а также исключает пробой между частями горелки и деталью во время зажигания дуги.

### 3.2.4. Спад сварочного тока

Завершение сварочного цикла начинается со снижения сварочного тока.

Спад сварочного тока характеризуется продолжительностью и величиной наклона диаграммы. Наклон диаграммы тока обеспечивает управляемое снижение подвода энергии при завершении сварки.

Амплитуда колебательных движений горелки также постепенно уменьшается до нуля. Подача присадочной проволоки обычно прекращается непосредственно до начала снижения тока. Это выполняется во всех случаях, кроме сварки на высоких токах или при сварке материалов, склонных к образованию трещин. Тогда подача проволоки прерывается максимально поздно, чтобы избежать появления дефектов.

Управление завершением сварочного цикла обеспечивает отсутствие трещин и кратеров, которые характерны для плохо свариваемых материалов. В зависимости от длины дуги, диаметра электрода и толщины заготовки ток спада находится в интервале от 1 до 15 А.

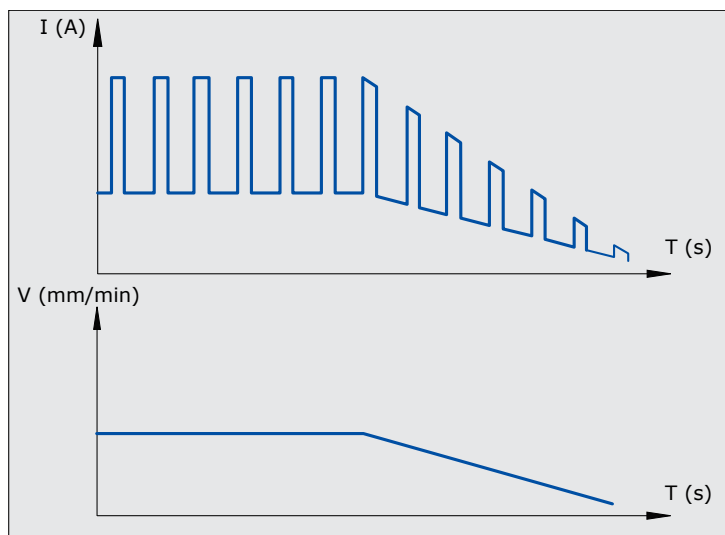


Рис. 11: Диаграмма спада сварочного тока



### 3.3. Защитный газ

#### 3.3.1. Общие положения

При ВИГ-сварке в качестве защитного газа применяют аргон или гелий. В некоторых случаях применяются смеси инертных и небольшого количества активных газов, например, водород, для повышения энергии дуги или удаления оксидов.

С помощью разных конструкций горелок и форм сопел можно адаптировать поток защитного газа к геометрии детали.

В зависимости от типа сварочной установки могут быть необходимы:

- два защитных газа, поступающие к горелке по отдельным каналам
- газ для защиты уже кристаллизовавшегося шва,
- газ для защиты корня шва с обратной стороны.

Также существует функция 'dual gas' (двойной газ), которая предусматривает наличие в газовом канале двух входов и единственного выхода. Т.к. поджиг дуги в гелии затруднителен, эта функция позволяет зажечь дугу в аргоне, а потом, непосредственно перед сваркой, переключить газ и выполнять сварку в гелии.

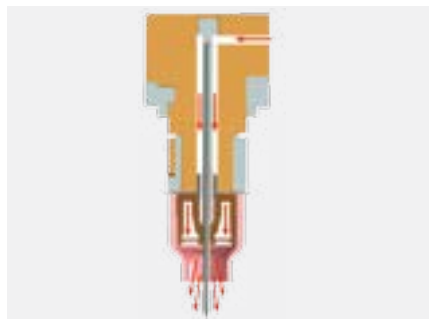


Рис. 12: Линза в сварочной горелке обеспечивает ламинарный поток защитного газа

Расход защитного газа регулируется в зависимости от параметров режимов сварки, вида горелки, а также вида защитного газа.

Поток защитного газа должен быть ламинарным, т.к. при возникновении турбулентности в зону сварки может попадать кислород воздуха. Слишком слабый или слишком сильный расход защитного газа может негативно влиять на качество шва. Увеличение количества защитного газа не обязательно приводит к улучшению качества шва!

Вольфрамовый электрод должен быть заточен под определенным углом. Во время сварки важно следить, чтобы на конце электрода не появились следы эрозии, что говорит о правильном выборе сварочного тока, длины дуги и, что в сварочную ванну не попадают посторонние включения.

Предварительная продувка защитным газом необходима для вытеснения воздуха из газового канала и обеспечения нейтральной среды перед зажиганием дуги.

Во время сварки инертный газ защищает вольфрамовый электрод, сварочную ванну, закристаллизовавшийся шов, а также прилегающие к шву зоны детали от вредного влияния кислорода воздуха.

Послесварочный продув газа обеспечивает защиту, пока горелка, электрод и шов не охладятся.

Время послесварочного продува газа может составлять от нескольких секунд до минуты. Это зависит от величины тока и конструкции горелки.

Качество газовой защиты непосредственно связано с распределением потока газа. Поэтому при выборе горелок, газовых линз и керамических сопел необходимо учитывать особенности сварки: доступ к зоне сварки, объем сварочной ванны, а также пространственное положение.

При использовании газовых линз можно добиться ламинарного потока в прилегающей к электроду зоне.



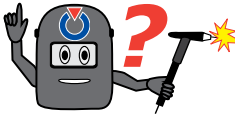
*Для правильной настройки длительности послесварочной продувки газа убедитесь, что электрод остыл. После выключения газа электрод не должен иметь участков цвета побежалости. Это время необходимо увеличить, чтобы участок шва, где происходил спад тока, также достаточно остыл. Этот участок сварного шва должен выглядеть максимально светлым (кроме случаев с предварительно нагретыми деталями, сварные швы на которых быстро приобретают цвет побежалости).*

## Вылет электрода

Основная характеристика газовой защиты при ВИГ-сварке – это диаметр сопла. Расход защитного газа определяется этим диаметром и конфигурацией детали.

Если при сварке сопло располагается над разделкой, т.е. установлен большой вылет электрода, то требуется больший расход газа, следовательно, увеличенный диаметр сопла.

С другой стороны, у горелок, которые работают в разделке, вылет электрода не такой



*Выбор диаметра вольфрамового электрода сопряжен с максимальной силой сварочного тока. Можно посчитать диаметр электрода, приняв на каждые 100 А тока 1 мм диаметра электрода. Например, электроды диаметром 3,2 мм могут использоваться при силе тока в 320А. Рекомендуется вести сварку на токах ниже этого максимального значения, особенно при высокой ПВ.*

большой, поэтому расход газа должен быть снижен по сравнению с предыдущим случаем. Следовательно, диаметр сопла меньше.

Определение достаточного расхода защитного газа для горелок с различными диаметрами сопла может быть упрощено. Достаточно соблюдать, чтобы соотношение площади поперечного сечения сопла и расхода защитного газа оставалось постоянным.

При сварке без погружения сопла в разделку расстояние между соплом и поверхностью детали не должно превышать 10 мм.



Это означает, что перед нанесением следующего слоя (перед каждым вторым или четвертым слоем) придется перенастраивать вылет электрода и другие параметры (подачу проволоки).

Если необходимо избежать прерываний процесса, то могут использоваться горелки специальных конструкций, изменяющие вылет электрода во время сварки автоматически. Керамические сопла этих горелок перемещаются моторизованно, вылет удерживаемого электрода может быть задан непосредственно во время создания сварочной программы для данного сварочного цикла. Такие системы хорошо применять, когда сварка автоматизирована и/или свариваются конструкции сложной формы.

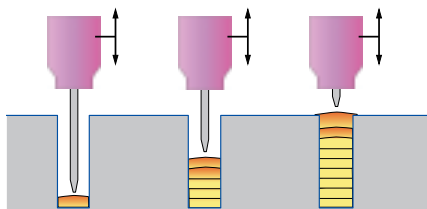


Рис. 13: Автоматическая коррекция вылета электрода



Рис. 1: Горелка для ВИГ-сварки с приводом для авторегулирования

### 3.3.2. Управление подачей защитного газа

При автоматическом сварочном процессе момент открытия и закрытия электромагнитных клапанов подачи защитного газа определяется сварочной программой.

Более того, наличие газа в канале проверяется автоматически, т.е. при слишком низком давлении запуск цикла блокируется, а при падении давления во время сварки цикл прерывается, постепенно снижая ток.

Обычно расход защитного газа регулируется расходомерами на передней панели источника. В более сложных установках также могут использоваться расходомеры с электронным управлением, в них расход защитного газа можно устанавливать в программе.

Изначально электромагнитные клапана устанавливались в системы для плазменной сварки, чтобы управлять сквозным проплавлением (т. н. "keyhole effect").

В наши дни они все чаще используются в установках с несколькими горелками, что позволяет обеспечить каждую горелку необходимым расходом защитного газа и исключить возможность появления дефектов.

### 3.3.3. Продувка газового тракта

При вводе в эксплуатацию оборудования, а также после длительного перерыва в работе необходимо продуть газовый тракт в течение продолжительного времени. Как правило, это время значительно превышает период продувки тракта перед очередным запуском сварочного цикла.

При высоких требованиях к качеству наплавленного слоя остаточное содержание





Рис. 15: Анализатор содержания кислорода в защитном и формообразующем газе

кислорода в защитном газе может быть измерено при помощи специального анализатора кислорода. И операция наплавки не начнется, пока его содержание не опустится ниже заданного уровня.

Для этого анализатор кислорода подсоединяется к источнику. Он также способен обнаруживать разгерметизацию газового тракта.

## 4. Особенности ВИГ-наплавки

### 4.1. Общие положения

Если рассматривать наплавку в нижнем положении, то ряд процессов имеет значительно большую производительность по сравнению с ВИГ-процессом. Это наплавка плавящимся электродом в защитном газе, под слоем флюса, плазменная наплавка присадочным прутком или порошком.

Однако некоторые аспекты применения говорят в пользу ВИГ-наплавки.

Во-первых, её целесообразно применять к изделиям со сложной геометрией, особенно имеющим участки с углами, скруглениями, а также к внутренним и внешним поверхностям труб. Производительность наплавки данного процесса достигает от 1 до 2 кг/ч. При наплавке на сложные поверхности, когда необходимо накладывать валики различной толщины, неоспоримым преимуществом ВИГ-наплавки является независимость производительности от силы тока. Поэтому целесообразно подобрать оптимальное значение погонной энергии к конкретному типу изделия. Как результат можно минимизировать степень смешивания основного металла с присадочным.

Также нельзя забывать, что независимая регулировка силы сварочного тока и скорости подачи проволоки помогает избежать трещин и кратеров при старте и завершении цикла наплавки. Важно также заметить, что благодаря высокой точности процесса отпадает необходимость в последующей механической обработке наплавленной поверхности.

Второе преимущество ВИГ-наплавки заключается в возможности работы во всех



Рис. 16: Поверхность, восстановленная ВИГ-наплавкой с подачей подогретой присадочной проволоки



пространственных положениях. Управление сварочными параметрами в этом случае дает возможность наплавки в потолочном положении (импульсный процесс) или в случае наплавки на изделия малого размера (нанесение покрытия на отверстия диаметром менее 50 мм). Благодаря функциональности процесса возможно работать в широком диапазоне погонной энергии, на сварочных токах: от 80 до 450 А. Соответствующая производительность наплавки колеблется от нескольких сотен грамм до трех килограмм наплавленного металла в час при использовании двух синхронно управляемых сварочных горелок.

Если необходимо добиться высокой производительности, то возможно применение технологии TIG<sup>er</sup> со сдвоенной ВИГ-дугой. При наплавке в положении "в лодочку" с одной сварочной горелкой количество расплавленного материала увеличивается до 6 кг/ч, а при использовании блока сдвоенной горелки до 10 - 12 кг/ч.

Другое важное преимущество - простота автоматизации ВИГ-наплавки. Установка может быть оснащена несколькими синхронизированными горелками для повышения производительности без потери качества наплавки и функциональности. Даже при многодуговом процессе все функции, используемые в ВИГ-сварке, остаются полностью работоспособными (АРНД, осцилляция, синхронизация колебаний с током и т.д.)

В заключение следует указать, что слой, выполненный ВИГ-наплавкой с подачей горячей проволоки, является относительно нейтральным, а именно, имеет низкое содержание кислорода. Это обеспечивает хорошие показатели свариваемости наплавленного изделия (в отличие от слоев, наносимых штучными электродами или при наплавке под слоем флюса, т.к. в них зачастую имеется высокое содержание кислорода, что влечет за собой наличие специфичных сварочно-технологических свойств и существенно ограничивает свариваемость, практически исключая сварку в потолочном положении любым способом, кроме РДС).



Рис. 17: Наплавка деталей с малым внутренним диаметром



Рис. 18: Пример горелки для ВИГ-сварки с механизированным газовым соплом и подачей двух горячих проволок

## 4.2. Смешивание основного и присадочного материалов

Наибольшая сложность при наплавке связана с контролем степени смешивания основного и присадочного материалов. Это важно для создания слоя с заданным химическим составом и свойствами.

Считается, что при наплавке нельзя превышать определенную установленную степень смешивания присадочного материала.

Сплавы, используемые в наплавке, должны удовлетворять двум требованиям: иметь необходимый химический состав и достаточную стойкость к воздействиям внешней среды.

В большинстве случаев удовлетворительный результат работы наплавленного изделия может быть обеспечен только в том случае, если не происходит смешивания, т.е. химический состав наплавленного слоя точно соответствует требованиям.

Однако в ходе наплавки присадочный материал полностью расплавляется и накладывается на основной металл, который частично оплавляется под воздействием сварочной дуги.

Смесь основного и наплавленного металла называется степенью смешивания наплавки.

Во время процесса необходим компромисс между расплавлением основного материала, которое должно быть по возможности минимальным, и, вместе с тем, гарантией качества наплавленного валика. Этот баланс между компактностью валика и химическим составом наплавленного металла и обуславливает главную сложность в выборе параметров режима наплавки.

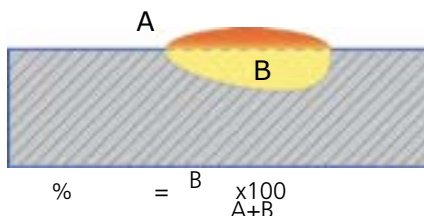
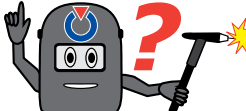


Рис. 19: Расчет степени смешивания

Степень смешивания характеризует, насколько был изменен состав наплавленного материала при его смешивании с основным металлом.

Влияние изменения параметров режимов наплавки на смешивание может быть качественно оценено визуальным контролем поперечного сечения наплавки.

Количественно степень смешивания определяется отношением площади расплавленного участка основного металла В к сумме площадей расплавленных участков А и В и выражается в процентах.



*Погонная энергия при сварке определяется по следующей формуле:*

$$E (J/cm) = \frac{60 U (V) \times I (A) \times \eta}{V_s (cm)}$$

$\eta = \text{КПД процесса} = 0,6 \text{ для ВИГ-сварки}$

Более точная оценка степени смешивания выполняется химическим анализом наплавки. В качестве критерия часто выбирается концентрация элемента, отрицательное влияние которого на свойства наплавки известно.



Например, в исходной спецификации для сплава на основе никеля ERNiMo-3 (NiCr22Mo9Nb по DIN W. No.2.4856) содержание железа ограничено 5%. Это означает, что некоторые стандарты ограничивают допустимую степень смешивания близкую к нулю.

Материал	Содержание (%)
Никель	58.0 мин.
Хром	20.0-23.0
Железо	5.0 макс.
Молибден	8.0-10.0
Ниобий (плюс тантал)	3.15-4.15
Карбон	0.10 макс.
Марганец	0.50 макс.
Кремний	0.50 макс.
Фосфор	0.015 макс.
Сера	0.015 макс.
Алюминий	0.40 макс.
Титан	0.40 макс.
Кобальт	1.0 макс.

Рис. 20: Химический состав наплавленного металла никелевого сплава ERNiMo-3 (DIN W. No.2.4856 классификация NiCr22Mo9Nb)

Как правило, в наплавке исходят из соображения, что после наложения двух слоев смешивания не происходит. Но для того, чтобы это гарантировать, наносят третий слой, особенно на детали, подвергающиеся износу.

Ключевые параметры при ВИГ-наплавке горячей присадочной проволокой это те, которые непосредственно влияют либо на погонную энергию, либо на производительность.

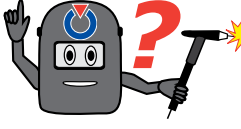
Основные параметры представлены ниже:

### ► Скорость сварки:

Скорость сварки влияет на погонную энергию и форму наплавленного валика. Увеличение скорости сварки (при неизменных остальных параметрах) уменьшает ширину валика, а также увеличивает высоту (при постоянной производительности наплавки).

### ► Сварочный ток:

Сила сварочного тока влияет на погонную энергию аналогично скорости сварки. Применение неимпульсного тока обоснованно для увеличения скоростей наплавки и повышения производительности. Использование же импульсного сварочного тока целесообразно для невысоких скоростей наплавки. В последнем случае целью является управление сварочной ванной во всех пространственных положениях и



Средняя сила тока при ВИГ-сварке в импульсном режиме

определяется по формуле:

$$I_{\text{mittel}} (A) = \frac{I_N (A) \times T_N (s) + I_B (s) \times T_B (s)}{T_N (s) + T_B (s)}$$

$I_N$  = сила тока импульса  
 $I_B$  = сила базового тока  
 $T_N$  = время импульса  
 $T_B$  = время паузы

контроль получения нужной геометрии наплавленных валиков.

Импульсный ток может использоваться для увеличения ширины валиков при постоянной погонной энергии (такая техника используется, когда необходимо получить широкий валик в вертикальном и потолочном положениях).

▶ Напряжение на дуге:

Снижение напряжения на дуге влечет увеличение давления дуги, что ведет к повышению степени смешивания. Лучше рассматривать этот параметр прежде всего с точки зрения управления сварочной ванной, а не влияния на смешивание.

▶ Скорость подачи присадочной проволоки и интенсивность нагрева:

Эти параметры независимы от управления дугой в ВИГ-процессе.

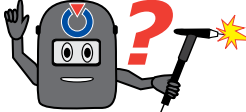
При согласовании силы тока нагрева и скорости подачи присадочной проволоки можно достичь значительного повышения производительности наплавки. Производительность такой наплавки в несколько раз выше, чем при наплавке с холодной проволокой.

▶ Предварительный подогрев

Наличие подогрева перед сваркой имеет тенденцию к увеличению скорости смешивания. Однако подогрев предусматривается в металлургических целях, чтобы снизить скорость остывания изделия и предотвратить образование хрупких закалочных структур.

Однако температура предварительного подогрева, хотя и оказывает влияние на процесс, не должна рассматриваться как инструмент управления смешиванием, а скорее как возможность уменьшить энергию дуги.

Предварительный подогрев может оказывать положительное воздействие на механические свойства валика. Объем нагретой детали увеличивается. После охлаждения изделия наплавленный слой находится в напряженном состоянии. В зависимости от геометрии изделия, напряжения сжатия могут снижать чувствительность к растрескиванию, вызванному стресс-коррозией.



При заданных параметрах сварки (сила сварочного тока, скорость сварки и напряжение на дуге) существует линейная зависимость между скоростью подачи присадочной проволоки и интенсивностью нагрева.

Нагрев проволоки происходит джоулевым теплом и зависит от соответствующего сопротивления присадочной проволоки. Значения сопротивления изменяются в зависимости от материала: углеродистые стали, коррозионностойкие стали, титан и др.

Т.к. медные и алюминиевые сплавы имеют высокие значения теплопроводности, их не применяют для ВИГ-сварки горячей проволокой.



## ► Техника наплавки:

Благодаря правильному выбору техники наплавки и последовательности наложения валиков, можно достичь значительного снижения смешивания присадочного и основного металла.

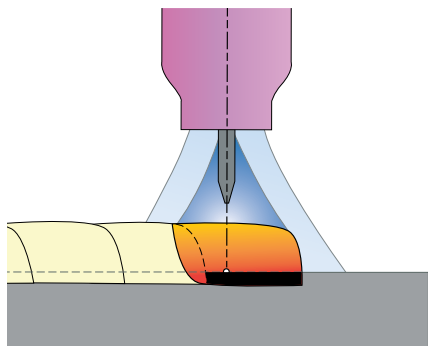


Рис. 21: Наплавка горизонтальной поверхности в нижнем положении. Большая часть основания подвержена непосредственному воздействию дуги, из-за этого степень смешивания увеличивается.

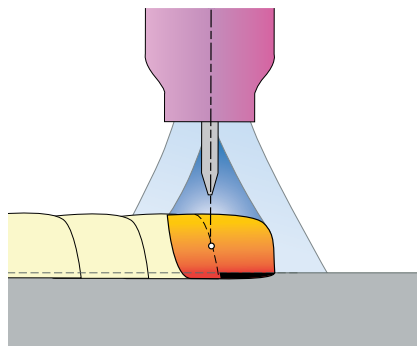


Рис. 22: Наплавка горизонтальной поверхности в нижнем положении. Для снижения степени смешивания большая часть следующего валика укладывается на уже наплавленный валик. Только небольшая часть сплавляется с основным металлом.

При использовании горелок с подачей присадочной проволоки спереди или сбоку металл основания менее подвержен прямому влиянию дуги. Присадочный металл при расплавлении принимает большую часть энергии дуги и, в некоторой степени, образует защиту, которая предотвращает чрезмерное расплавление основного металла и способствует снижению степени смешивания.

При наплавке присадочная проволока может подаваться сбоку, т.к. в этом процессе у заготовки не предусмотрена разделка кромок, а в процессе ВИГ-сварки проволока может подаваться только спереди. Боковая подача упрощает конструкцию горелки.

Угол ввода проволоки в сварочную ванну влияет на смешивание, т.к. давление проволоки на ванну имеет тенденцию к увеличению проплавления, а, следовательно, увеличению смешивания. Поэтому рекомендуется устанавливать угол подачи проволоки примерно  $60^\circ \dots 70^\circ$ , т.к. в таком случае сварочный ток и ток нагрева проволоки не создают помех друг другу. Фактически, взаимодействие этих токов прекращается, как только угол подачи проволоки превышает  $45^\circ$  относительно оси электрода.

Поэтому для нагрева присадочной проволоки используются источники постоянного тока (применяются в сварке и наплавке с конструкциями горелок, у которых проволока подается как спереди, так и сбоку).

При применении сварочного процесса TIG<sup>er</sup> со сдвоенной ВИГ-дугой и техники сварки с подогретой присадкой подогрев проволоки может осуществляться на переменном токе,

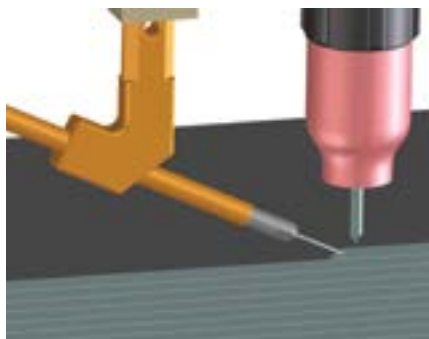


Рис. 24: Наплавка в нижнем положении. Подача подогретой присадки осуществляется сбоку и спереди.

Рис. 23: Наплавка в нижнем положении. Холодная или подогретая присадка, подается перед дугой, защищает основной металл от прямого воздействия сварочной дуги и снижает степень смешивания.



чтобы избежать нежелательного воздействия на сварочную дугу при подаче проволоки в сварочную ванну. При очень высокой скорости подачи присадки для точного попадания в сварочную ванну необходимо строго удерживать угол ввода присадки.

Помимо угла и направления подачи присадочной проволоки другие важные факторы для ограничения смешивания сопряжены с пространственным положением наплавки и положением электрода. При наплавке на вертикальную поверхность всегда нужно стараться укладывать следующий валик с опорой на предыдущий, чтобы зона контакта с основным металлом была минимальной. Поэтому смешивание металла сварочной ванны происходит уже с металлом валиков, а не металлом основы. Этот принцип применим также для TIG<sup>er</sup> процесса со сдвоенной ВИГ-дугой, когда достигается крайне малая глубина проплавления при расположении электродов в направлении сварки.

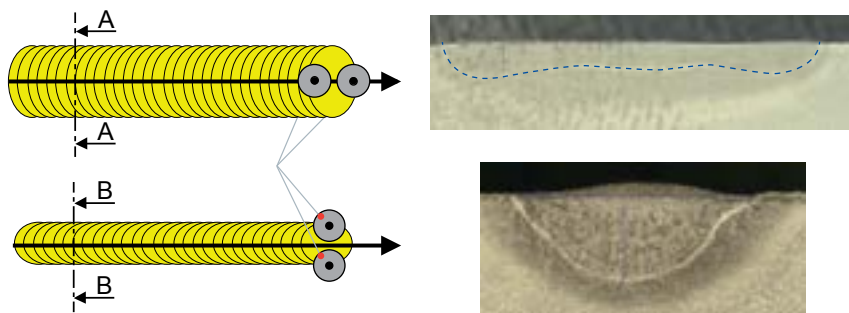


Рис. 25: Асимметричная форма дуги и сварочной ванны.

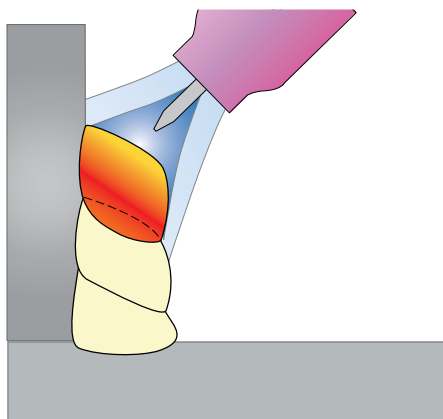


Рис. 27: Наплавка на вертикальную поверхность неподвижной детали с применением технологии TIG<sup>er</sup>

Рис. 26: Наплавка на вертикальную поверхность горизонтальными валиками. Большая часть следующего валика укладывается на уже наплавленный валик, только малая часть входит в контакт с основным металлом, таким образом снижая степень смешивания



► Количество слоев:

После наплавки первого слоя смешивание между присадочным и основным металлом, как правило, не позволяет гарантировать желаемые свойства покрытия.

На практике на выбор количества слоев наплавки влияют два фактора.

1 - С точки зрения металлургии на основной металл необходимо укладывать переходный слой, чтобы контролировать образования феррита и ограничить охрупчивание (структура определяется при помощи диаграммы Шеффлера или других аналогичных диаграмм).

Для второго и для третьего слоев используется присадочный материал, отвечающий заданным свойствам наплавки (например, на образец из стали 16MND5 наносится переходный слой из стали типа 309L, а затем 2 слоя из 308L).

2 - 1. Если наплавленный металл может быть наплавлен без переходного слоя, то достаточно нанести два слоя. (например, на низколегированную сталь наплавляется сплав на никелевой основе 2.4856).

При наплавке сплавов на основе никеля в качестве приемочного критерия обычно задается содержание феррита менее 3% на расстоянии 3 мм над линией нерасплавленного основного материала. Благодаря возможности корректировки толщины слоя, минимальной погонной энергии и степени плавления при применении технологии TIG<sup>er</sup> содержание феррита начиная со второго слоя может уменьшиться на 2 - 3 %.



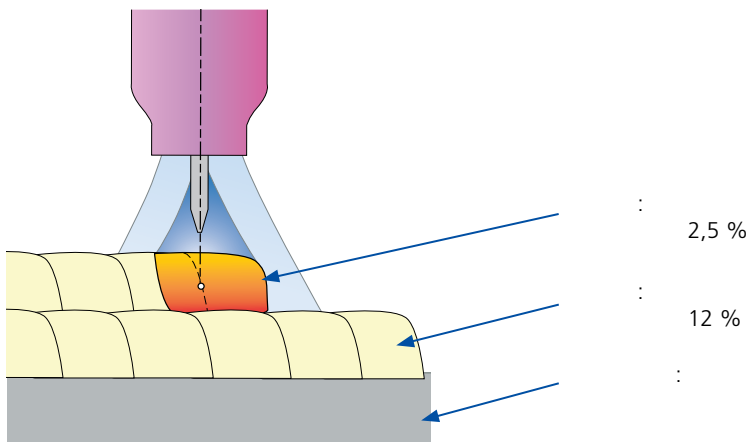


Рис.28: снижение степени смешивания при нанесении нескольких слоев



Рис. 29: Пример многослойной наплавки никелевого сплава ( 2.4856)

## 5. Оборудование для наплавки

### 5.1. Источники тока и оборудование

#### 5.1.1. Многофункциональные программируемые источники питания с управлением сварочным током и перемещением горелки. Обладают высокой стабильностью и надежностью

Источник питания является главной частью установки для наплавки.

Программирование установки осуществляется с помощью интерфейса источника, электроника отвечает за управление силой тока, а также периферийными функциями.

Особенности источника питания:

- Сила тока, в зависимости от требований конкретного случая применения, составляет от 300 до 550 А при ПН 100%
- функции программирования (возможность создавать программы специально для



наплавки)

- функции управления периферийными устройствами и интеграции в автоматизированную производственную линию.

Принцип открытой архитектуры источников питания ПОЛИСУД позволяет задействовать дополнительные устройства для расширения технологических возможностей.

Система управления, реализованная на базе микропроцессоров, построена по модульной схеме. Можно легко задавать все параметры сварки и перемещения, необходимые для осуществления ВИГ-процесса. Источники питания могут синхронизировать все необходимые функции для последовательного или одновременного выполнения таких операций, как подача охлаждающей жидкости, включение защитного газа, поджиг дуги, включение сварочного тока, АРНД, линейная осцилляция, подача проволоки и перемещение головки и др., а также автоматическое или ручное завершение цикла сварки.

Дополнительно устанавливаются платы, предназначенные для управления поворотными столами, позиционерами, сварочными колоннами, роликовыми опорами, коллекторными сварочными головками, системой регистрации параметров сварки и др. Остальные платы могут быть запрограммированы, вставлены и использованы в последовательности выполнения операций. Они отслеживают статус устройств защиты и, соответственно,



Рис. 30: Мультифункциональный источник тока с модульной конструкцией системы управления. Благодаря возможности расширения парка оборудования, можно производить наплавку любой сложности.

разрешают или блокируют запуск сварки.

Во время сварки все параметры режимов могут быть изменены при помощи подключенного ПК или с ПДУ, причем применение новых параметров начинается без прерывания процесса. Кроме того, сварка может быть прервана оператором в любое время при помощи программируемой функции «Downslope», т.е. завершение процесса плавным снижением тока.

Для лучшего управления сварочным процессом оператору приходит на помощь система видеонаблюдения.



Рис. 31 : Камера видеонаблюдения на горелке WP27

Опциональное оборудование включает в себя камеру, которая монтируется рядом с горелкой (или встроена в нее в более сложных установках), кабели, монитор.

В то время как для сварки требуется установка двух камер (перед горелкой и за ней), для наплавки, в большинстве случаев, достаточно одной камеры, расположенной сбоку от горелки.

В зависимости от конфигурации оборудования, используются наружные камеры с собственным контуром охлаждения или встроенные в горелки микрокамеры, сконструированные для специальных задач. При сварке и наплавке часто возникают проблемы из-за близкого расположения камеры к нагретому до высокой температуры металлу (например, наплавка внутренней поверхности трубы диаметром 75 мм нагретой



до 150 °С).

Программное обеспечение POW позволяет составлять программы сварочных циклов. Оно предоставляет специальные возможности программирования, в зависимости от требований процесса сварки.

Другая функция программирования – это то, что последовательность выполнения программ может повторяться любое количество раз, это особенно эффективно при наплавке деталей вращения (например, нанесение покрытий на цилиндрические тела). В



Рис. 32: Сварочная насадка со встроенной водоохлаждаемой микрокамерой

конце каждого вращения детали горелка перемещается на один шаг в сторону (техника «Step over»), таким образом, положение следующего наплавленного валика смещается на заданную величину, и программа выполняется заново.

Программа позволяет автоматически компенсировать изменение диаметра заготовки при наплавке цилиндра и создавать равномерное покрытие за счет поддержания скорости наплавки постоянной.

Сварочные программы физически хранятся в памяти ПК и перед началом работы переносятся в память источника питания.

Во время протекания сварочного цикла параметры могут быть изменены с ПК или ПДУ.

### 5.1.2. Блоки перемещения

Установки для наплавки отличаются конфигурацией оборудования, необходимого для выполнения определенных пространственных перемещений горелки.

Блок контроля источника тока управляет двигателем и приводами всех осей, чтобы перемещения исполнительных частей установки происходили независимо или, при необходимости, синхронно с другими процессами.

Наплавка может производиться на различные по геометрии типы поверхностей (плоские



Рис. 33: ВИГ-Наплавка с подачей горячей проволоки техникой «Step over». Скорость сварки автоматически корректируется при изменении диаметра.



Рис. 34: Наплавленные валики на внутренней поверхности цилиндрической детали. Наплавка автоматически прерывалась (перед отверстием) и возобновлялась (после отверстия).

поверхности, диски, цилиндры, днища резервуаров, стенки и поверхности отверстий и др).

Чтобы выполнять наплавку по заданной траектории, может перемещаться как горелка, так и сама деталь. При этом в процессах с использованием нескольких горелок есть возможность синхронизации горелок или источников питания.

### 5.1.3. Суппорты АРНД и поперечных колебаний горелки

Оси суппортов АРНД и поперечных колебаний горелки имеют особое значение, т.к. они непосредственно влияют на процесс сварки.

Устройство АРНД состоит из проводного суппорта, высокоточного измерительного устройства для измерения напряжения на дуге и замкнутого контура регулирования.

Для корректной работы напряжение должно измеряться максимально близко к электроду, чтобы нивелировать потери.

Принцип действия системы АРНД основывается на зависимости (при постоянной силе сварочного тока) между длиной дуги и напряжением на дуге.

Вольфрамовый электрод используется для измерения напряжения на дуге, поэтому его износ приводит к изменению соотношения длины дуги и напряжения.

В стандартных условиях применения (сила тока выше 30 А, сварка в среде аргона) АРНД не чувствительна к малым возмущениям и позволяет выполнять равномерные валики. При



необходимости, путем точной настройки параметров можно изменить чувствительность АРНД.

Более того, рабочие фазы суппорта АРНД устанавливаются при программировании сварочного цикла и могут синхронизироваться с импульсным сварочным током.

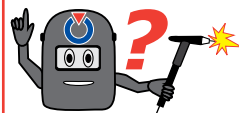
В режиме «без сварки» АРНД служит для позиционирования горелки и подготовки зажигания дуги. Одной из первых выполняемых задач при запуске автоматического цикла является определение положения детали. Для этого электрод при помощи суппорта АРНД перемещается до тех пор, пока не произойдет контакт с деталью, т.е. не замкнется электрическая цепь.

Иногда при начале автоматического процесса сварки используется устройство колебательного движения (осцилляции) для центрирования электрода относительно разделки, причем одна или обе кромки разделки могут служить в качестве базовой точки (центрирование горелки по шву).

Во время сварочного процесса колебательные движения могут синхронизироваться с импульсом сварочного тока или выполняться пошагово при наплавке цилиндрических деталей (техника «Step over»).



Рис. 35: Горелка для ВИГ-сварки с суппортом АРНД и устройства осцилляции



При регулировании высоты дуги (AVC) напряжение

на дуге сохраняется равным заданной величине благодаря замкнутому контуру регулирования.

При неизменных параметрах определенная длина дуги соответствует своему напряжению. Т.к. при измерении напряжения на дуге вольфрамовый электрод сам служит в качестве измерительного инструмента, необходимо точно следить, чтобы он постоянно находился в надлежащем состоянии. Нежелательные изменения длины дуги могут иметь следующие причины:

- разные углы заточки острия электрода
- загрязнение электрода (образование бортиков)
- перегрев (из-за проблем с охлаждением или неправильного выбора диаметра электрода).

Следовательно, чтобы обнаружить нестабильность в работе АРНД необходимо тщательно следить за процессом.

## 5.2. Установка для наплавки неподвижной детали в нижнем положении

Установки для наплавки неподвижных деталей в нижнем положении обычно состоят из приспособления для крепления детали (стола или опоры) и сварочной колонны с консольной балкой, на которой установлен интерфейс (горелка, суппорты АРНД и осцилляции, механизм подачи проволоки, кабели и т.д.).

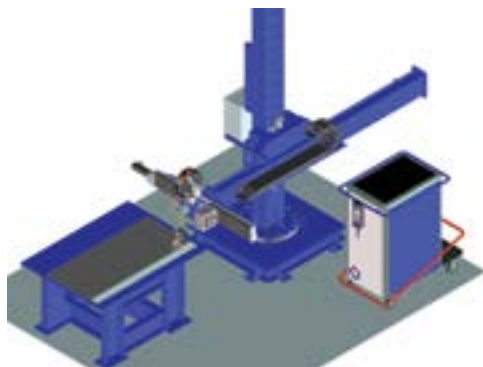
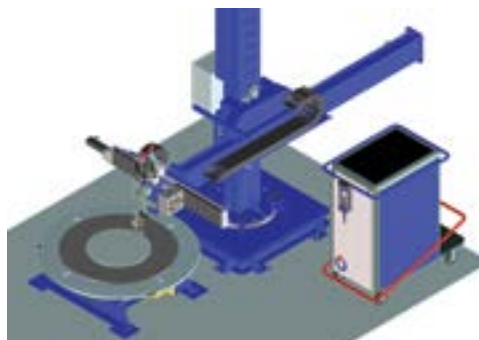


Рис.36: Схема установки для наплавки неподвижной детали в нижнем положении

## 5.3. Установка для наплавки вращающейся детали в нижнем положении

Установки для наплавки вращающейся детали в нижнем положении идентичны установкам, рассмотренным в п 5.2, за исключением наличия поворотного механизма (поворотного стола, позиционера), который осуществляет движение заготовки.

Рис. 37: Схема установки для наплавки детали на поворотном столе



Операция наплавки, а также перемещение периферийных устройств управляются источником тока серии РС.

Максимальные размеры и допустимый вес наплавляемых деталей определяются техническими спецификациями поворотного стола и сварочной колонны.

Подобные установки рассчитаны на токи 465 А при ПН 100%.



Рис. 38: Установка для наплавки торцов цилиндрических деталей

На нижеследующем изображении представлен результат наплавки слоя из никелевого сплава ERNiCrMo-3 на деталь из стали 25Cr Mo 4, материал №1.7218 по AISI 4130.

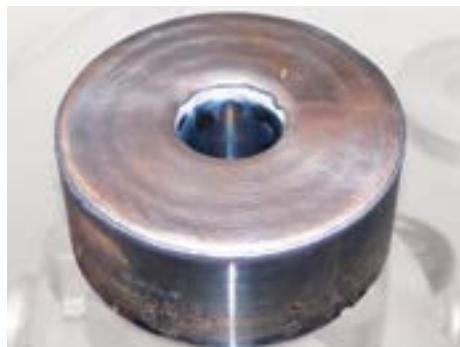


Рис. 39: Образец детали из 25CrMo4 (AISI 4130) с наплавленным слоем из ERNiCrMo-3. Равномерное покрытие было достигнуто благодаря автоматической коррекции скорости вращения поворотного механизма в соответствии с диаметром наплавляемого валика.

Указания к схематическому изображению последовательности сварки

► При наплавке валика (1) образуется большая площадь контакта наплавленного и основного металла, ситуация практически аналогична сварке в разделку.

Особое внимание здесь следует уделить минимизации степени смешивания и достаточному сплавлению с кромками, что обеспечивается определенными параметрами режима (повышенная погонная энергии, сниженная производительность наплавки).

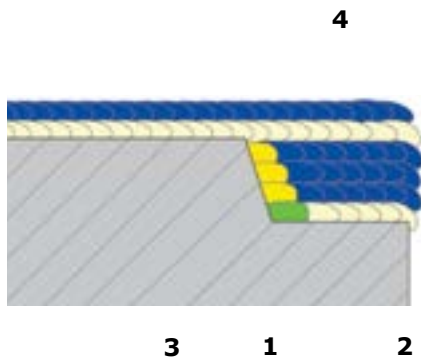


Рис. 40: Схематическое изображение последовательности сварки



► Параметры режима при наплавке валиков 2, которые находятся в контакте с основным металлом, были выбраны из соображения снижения степени смешивания (погонная энергия  $\approx 0,38$  кДж/мм). Основной металл оплавляется, зона термического влияния имеет глубину менее 2 мм, наплавленный слой около 2,8 мм.

► Параметры режимов для наплавки валиков 3 идентичны параметрам 2.

При наплавке горизонтальных валиков на вертикальной поверхности удается обеспечить низкую степень смешивания, а также хорошее сплавление с основным металлом.

► Слои 4 не находятся в контакте с основанием. Для повышения производительности были изменены параметры режимов (погонная энергия 0,42 кДж/мм, производительность 1,64 кг/ч, полученная толщина слоя 3,3 мм).

Как показывает химический анализ, химический состав в поверхностных зонах второго слоя уже соответствует требованиям.

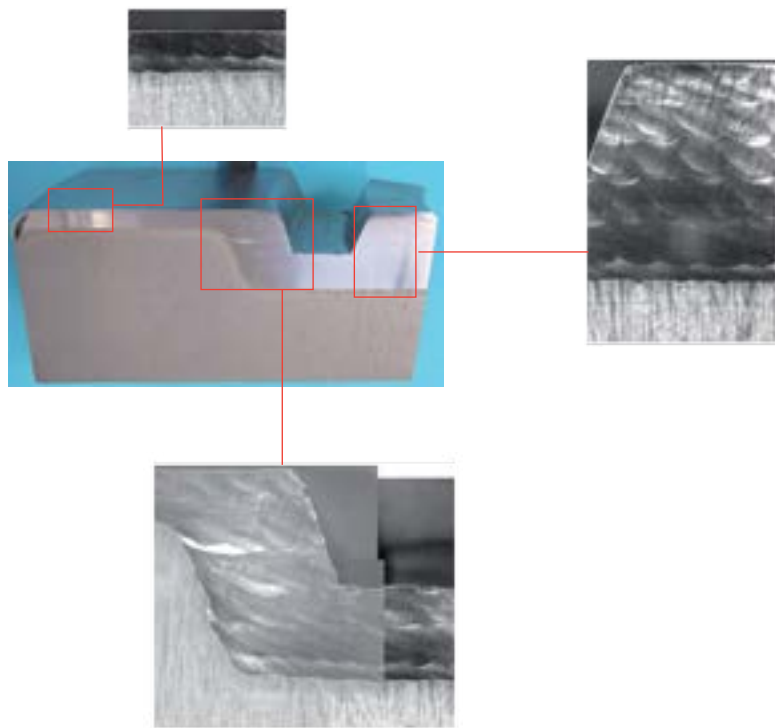


Рис. 41: Макрошлиф детали из стали 25 CrMo4 (AISI 4130) с наплавленным слоем из 2.4856



#### 5.4. Установка для наплавки горизонтальных швов на вертикальной поверхности

В зависимости от горелки, покрытие может наноситься на наружную или внутреннюю поверхность цилиндра или отверстия.

Эта установка является универсальной, она обеспечивают наилучшее соотношение между производительностью (массой наплавленного металла в единицу времени) и степенью смешивания.

Детали закрепляются на поворотных столах или позиционерах.

Поверхности, на которые будет наноситься покрытие, должны быть концентрическими относительно оси вращения стола.

Горелка установлена на скрещенном суппорте (АРНД и устройство осцилляции). Длина каждого суппорта должна быть достаточной для наплавки детали.

Для нанесения покрытий на поверхность глубоких отверстий установка должна обладать достаточной жесткостью, т.к. могут использоваться горелки длиной до 2500 мм. Длина перемещения соответствующего вертикального суппорта должна быть не меньше глубины наплаваемого отверстия.

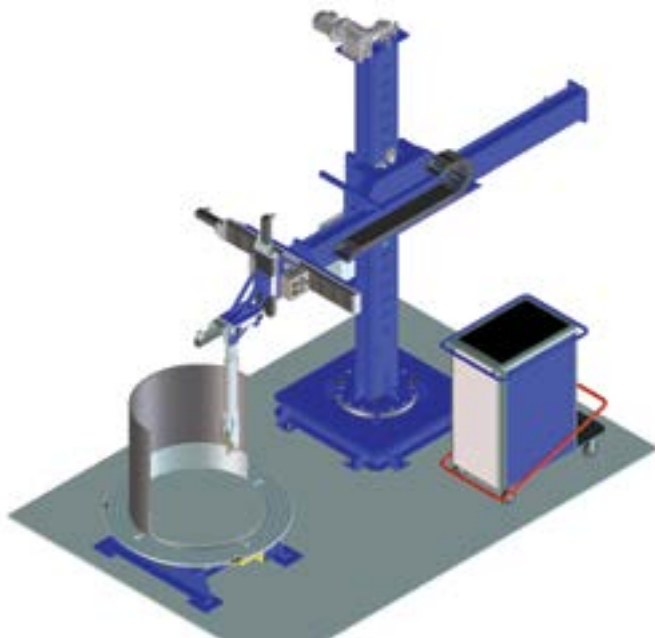


Рис. 42: Схема установки для наплавки горизонтальных швов на вертикальной поверхности вращающейся детали

Благодаря своей конфигурации такие установки являются универсальными и также могут осуществлять наплавку вращающейся детали в нижнем положении, т.е. покрытие может наноситься также и на дно отверстия без переустановки детали.

Следовательно, для наплавки стенки отверстия, его дна и переходов используются горелки с соответствующим углом установки (прямые горелки для нанесения покрытия на дно, горелки с углом установки  $90^\circ$  для стенок и горелки с углом установки  $45^\circ$  и  $60^\circ$  для переходов).

Кроме того, имеются горелки с устройствами подачи одной или двух присадочных проволок, а также с изменяемым углом ввода проволоки.

Для отверстий диаметром до 50 мм применяются горелки с подачей холодной проволоки со встроенной видеокамерой.



Рис. 43: Сварочные копы для нанесения покрытий на внутренние поверхности отверстий. Существуют исполнения с подачей одной и двух присадочных проволок. Углы горелок подобраны в соответствии с задачей (наплавка стенки, дна, переходов между стенкой и дном). Копья имеют водяное охлаждение.



Рис. 44: Копье с приводом для изменения угла для нанесения слоя из стали 309L-308L на внутреннюю поверхность переходника парогенератора.



Рис. 45: Наплавка внутреннюю поверхность цилиндрической детали. Вертикальное перемещение производится при помощи специального суппорта большой грузоподъемности.

## 5.5. Установка для наплавки с коллекторной головкой

Встречаются более сложные случаи, когда невозможно вращать заготовку по причине ее большой массы или размеров (т.е. наличие отверстий в теле заготовки или несимметричная геометрия детали).

Для таких задач были созданы так называемые коллекторные головки, позволяющие приводить сварочные горелки во вращательное движение без необходимости в намотке или размотке кабелей питания, шлангов охлаждения и т.д. С помощью таких коллекторных головок наплавка неподвижных деталей может производиться с высокой степенью автоматизации.

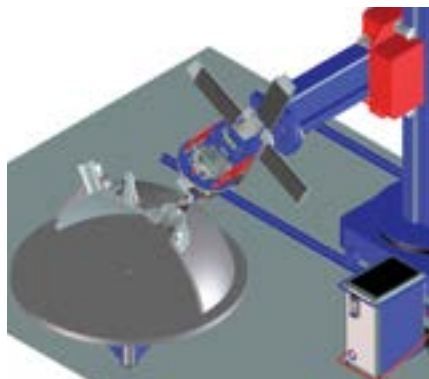


Рис. 46: Схема универсальной установки с коллекторной сварочной головкой для наплавки отверстий на закрепленных деталях. Суппорт, на который установлена головка, обеспечивает перемещение. Установка позволяет наплавлять отверстия без необходимости вращать деталь.



Рис. 47: Копье с углом установки  $45^\circ$ , расположенное на коллекторной головке. Диаметр наплавки задается горизонтальным суппортом

Аналогично традиционным орбитальным головкам суппорты для АРНД, устройства осцилляции, механизмы подачи проволоки и оборудование для видеонаблюдения устанавливаются на инструментальной плите. Коллекторная головка должна иметь высокую надежность и в то же время возможность вращаться на  $360$  градусов.

С помощью коллекторных головок могут наплавляться те же виды поверхностей, что и при наплавке вращающихся деталей, кроме более сложных случаев, когда необходимо наплавлять глубокие отверстия малых диаметров или внутренние поверхности во всех пространственных положениях.

Для наплавки деталей сложной формы (например, эллипсных отверстий, отверстий глубиной от 1000 мм до 2000 мм) применяются комплексные установки, в которых коллекторная головка крепится на конец консоли посредством нескольких суппортов.

Установка с такой конфигурацией универсальна и предназначена для заказчиков, которым требуется технологическая гибкость в решении задач по наплавке.

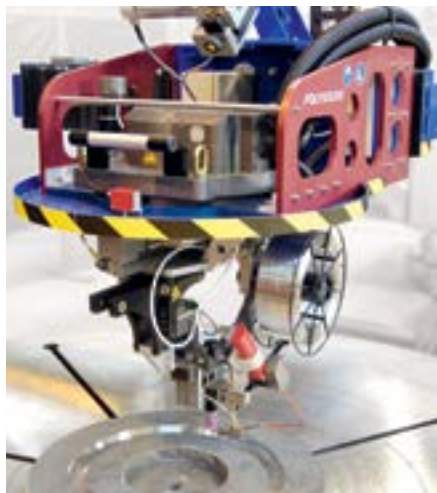


Рис. 48: Установка для наплавки корпуса клапана вытянутой формы, которые применяются в нефтеперерабатывающей промышленности. Сварочная головка позиционируется двумя суппортами, установленными на кронштейне консольной балки. Траектория движения горелки состоит из вращательных движений на 180° вокруг сварочной головки и из перемещения вдоль суппорта. Применение коллекторной головки позволяет выполнять непрерывную наплавку, т.к. нет необходимости наматывать кабели и шланги.



Рис. 49: Автоматическая наплавка по сложной траектории



## 5.6. Установка для наплавки труб изнутри в горизонтальном положении

### 5.6.1. Ширина наплавляемого слоя от края трубы – до 2 м

Наплавка внутренней поверхности трубы на длину до 2 м (или 4 м, если деталь поворачивается) производится на установках, которые обеспечивают вращение трубы, расположенной на неприводных роликовых опорах. Роликовые опоры могут быть отрегулированы под различные диаметры труб, при этом, естественно, изменяется положение оси трубы. Труба вращается с помощью позиционера, который можно регулировать по высоте в зависимости от диаметра. При этом сама труба зажимается в двух патронах. Поверхности труб диаметром до 140 мм наплавляются при помощи одной ВИГ-горелки с подачей горячей проволоки. Для нанесения покрытий на трубы внутренним диаметром свыше 150 мм предпочтение отдается горелкам с двойной подачей горячей проволоки.

Для снижения степени смешивания наплавляемого и основного металла горелка устанавливается так, чтобы каждый следующий валик частично укладывался на предыдущий. Чтобы это осуществить копье слегка отводится назад параллельно оси трубы.

Благодаря синхронизации вращения детали и продольного перемещения сварочного копыя осуществляется наплавка способом («Step over»), т.е. перекрытия после каждого поворота трубы.

При наплавке меньшей ширины суппорт АРНД располагается у основания сварочного копыя вне трубы, а при большей ширине (от 1 до 2 м) он устанавливается на сварочное копые.

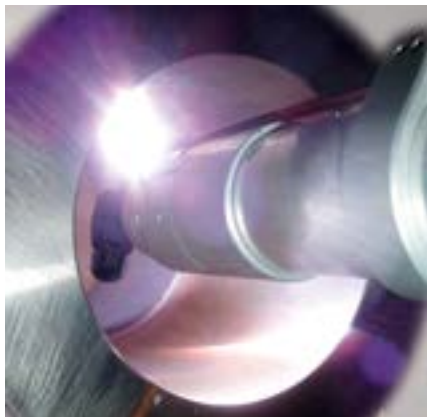


Рис. 50: Наплавка внутренней поверхности трубы. Ширина наплавки менее 2 м, насадка оборудована одним подводом присадочной проволоки



Рис. 51: Наплавка внутренней поверхности трубы с подачей двух горячих проволок (внутренний суппорт АРНД не виден). Как правило, этот процесс выполняется непрерывно и требует охлаждения трубы, чтобы выдерживать межпроходную температуру

### 5.6.2. Ширина наплавляемого слоя от края трубы –до 12 м

Для наплавки внутренних поверхностей стандартных труб (длиной от 6 до 12 м) были разработаны специальные установки для наплавки.

Их принцип работы тот же, что и у установок, описанных в п 5.6.1. Отличие состоит в том, что было необходимо найти решение для удержания сварочного копы по всей его длине.

Трудности, связанные с наплавкой на длинную трубу, возникают из-за малого диаметра и высокой температуры внутри трубы во время наплавки.

Решением этих проблем стала конструкция рамы длиной 12 м, у которой имеется натянутый трос (сила натяжения от 2 до 3 тонн). Он перекинут через блок и закреплен в специальном зажимном устройстве с другой стороны.

Стальные тросы проводятся через установленную для наплавки трубу и натягиваются, чтобы минимизировать провисание под нагрузкой от сварочного копы.

Сварочное копы, оборудованное двумя горелками, каждая с двойной подачей горячей проволоки, устанавливается на стальные тросы и подается через всю трубу к ее заднему концу.

Во время наплавки копы постепенно выезжает из трубы. Оба источника питания синхронизированы между собой и перемещениями горелок.



Рис. 52: Установка для наплавки внутренней поверхности трубы длиной до 12 м. Катушки с проволокой монтируются на каретку, которая осуществляет подачу сварочного копы, установленного на натянутые стальные тросы.



Рис. 53: Передняя часть сварочного копы скользит по двум горизонтально натянутым стальным тросам. Покрытие состоит из двух слоев, наносимых за один проход двумя расположенными друг за другом сварочными горелками с двойной подачей проволоки. Покрытие конца труба должно производиться за одну отдельную рабочую операцию (обусловлено смещением между горелками).



Рис. 54: также и при наплавке по технологии TIG<sup>®</sup> со сдвоенной ВИГ-дугой два слоя могут быть нанесены за один проход. Обе горелки оборудованы одним подводом проволоки и смонтированы на одной сварочной насадке.

Процесс наплавки с использованием этой установки аналогичен процессу наплавки труб длиной до 2 м.

Техника «Step over» в данном случае также реализуется при использовании двух горелок.



Рис. 55: Длинная труба, подготовленная для наплавки внутренней поверхности. Труба, опирающаяся на роликовую опору, зажимается в патроне со сквозным отверстием и приводится во вращение. Сварочное копы поддерживается двумя стальными тросами, натяжение которых создается за счет устройства на переднем плане.

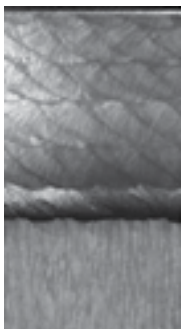


## 6. Заключение

Процесс автоматической ВИГ-наплавки с подачей горячей проволоки удовлетворяет наивысшим стандартам качества. Его целесообразно применять в случаях, когда выполняется наплавка сложных поверхностей, работа осуществляется в тяжелых условиях или необходимо повысить степень автоматизации. Перед принятием решения об использовании данного способа следует тщательно взвесить его технические и экономические стороны.

Для решения задач ВИГ-наплавки ПОЛИСУД предлагает широкий выбор как стандартного, так и специального оборудования.

Фирма ПОЛИСУД располагает большим опытом и может оказать помощь заказчику в эксплуатации стандартных установок для наплавки, а также разработать оборудование и технологию для решения специальных задач.





## 7. Приложения

Технические параметры установок для наплавки различной конфигурации.

### Установка для наплавки вращающихся деталей в нижнем положении

Примеры наплавляемых деталей:

Крышки и головки клапанов, направляющие рельсы и т.д.

#### Оборудование:

- Сварочная колонна 4 м х 3 м
- Вертикальный (с ходом 2000 мм) и горизонтальный (с ходом 1000 мм) суппорты
- Поворотный стол на 500 кг
- Источник тока 600 РС для ВИГ-сварки с подогретой присадкой
- Суппорт АРНД с ходом 110 мм и электромагнитным тормозом
- Поперечный суппорт с ходом 300 мм и электромагнитным тормозом
- Горелка WP27 на 500 А с жидкостным охлаждением для ВИГ-сварки



#### Параметры детали

Основной металл: AISI 4130  
наружный/внутренний диаметр: 165/84 мм

Предварительный подогрев: 150 – 170 °С

Межпроходная температура: 270 °С макс.

#### Сварочные параметры

Присадочная проволока  
Материал: ERNiCrMo-3  
Диаметр: 1,2 мм  
Ток для нагрева присадочной проволоки: 60 А  
Скорость подачи проволоки: 1800/3100 мм/мин  
Защитный сварочный газ:  
Аргон  
Расход: 25 л/мин.

#### Наплавляемый слой

Толщина: 4,6 мм  
Ширина валика: 6 мм  
Скорость плавления (верхний слой): 1,57 кг/ч  
Количество слоев: 2  
Линейная скорость перемещения: 350 – 400 мм/мин  
Степень смешивания (верхний слой): < 3 %  
Ширина ЗТВ: 2 мм

## Установка для наплавки вращающихся вертикальных поверхностей в горизонтальном и нижнем положениях

Примеры наплавляемых деталей:

короткие трубы, отверстия, цилиндрические детали и т.д.

### Оборудование:

- Сварочная колонна 4 м x 4 м, поворачиваемая вручную на 180°
- Поворотный стол на 1,5 т
- Источник тока 600 РС для ВИГ-сварки с подогретой присадкой
- Крестовый суппорт с ходом 1000/2000 мм, установленный на кронштейне, положения 0°/90°
- Суппорт для горелки с ходом 200 мм и электромагнитным тормозом
- Два механизма подачи подогретой присадки
- Горелка WP27 на 500 А с жидкостным охлаждением для ВИГ-сварки



### Параметры детали

Основной металл:  
нелегированная сталь

Диаметр: 200 – 2000 мм

Предварительный подогрев: ≤ 150°C

Межпроходная температура: ≤ 300°C

### Сварочные параметры

Присадка: 2 катушки по 15 кг

Материал: ERNiCrMo-3

Диаметр: 1,2 мм

Защитный газ: аргон

### Наплавка дна

#### Оборудование

Сварочная насадка  
длина: 2 000 мм.  
Угол установки: 180°

#### Наплавляемый слой

Толщина: 6 мм  
Ширина валика: 6 мм  
Количество слоёв: 2  
Линейная скорость перемещения: до 250 мм/мин.

### Наплавка стенок

#### Оборудование

Сварочная насадка  
длина: 2 000 мм.  
Угол установки: 45°

#### Наплавляемый слой

Толщина: 4 мм  
Ширина валика: 6 мм  
Количество слоёв: 1  
Линейная скорость перемещения: до 250 мм/мин.



### Установка для наплавки неподвижных деталей

Примеры наплавляемых деталей:

Корпуса клапанов, отверстия, вытянутые или несимметричные камеры и т.д.

#### Оборудование:

- Сварочная колонна 4 м х 4 м, поворачиваемая вручную на 180°
- Коллекторная головка SPX
- Источник тока 600 РС для ВИГ-сварки с подогретой присадкой
- Суппорт горелки для коллекторной головки SPX с ходом 200 и электромагнитным тормозом
- Механизм подачи подогретой присадки
- Сварочная насадка



#### Параметры детали

Основной металл:  
нелегированная сталь

Диаметр: 50 – 300 мм в зависимости от используемой сварочной насадки

Предварительный подогрев: ≤ 150°C

Межпроходная температура: ≤ 300°C

#### Сварочные параметры

Присадочная проволока: Одна катушка 5 кг

Материал: ERNiCrMo-3

Диаметр: 1,2 мм

Защитный газ: аргон

#### Наплавка поверхностей отверстий диаметром от 50 до 100 мм и от 100 до 300 мм

#### Оборудование

Сварочная насадка для диаметров от 50 до 100 мм

Сварочная насадка для диаметров от 100 до 300 мм

Угол установки горелки: 45°

#### Наплавляемый слой

Толщина: 6 мм

Ширина валика: 6 мм

Количество слоев: 2

Линейная скорость перемещения: до 250 мм/мин

**Указание:** в зависимости от типа горелки и угла поворота коллекторной головки, установка может использоваться для наплавки в нижнем положении, вертикальных поверхностей в горизонтальном положении, а также всех поверхностей отверстия.

## Установка для наплавки изнутри труб в горизонтальном положении

Вращающаяся труба

Примеры наплавляемых деталей:

Внутренняя поверхность трубы

### Оборудование

- Поворотное устройство с полым валом и зажимным патроном с частотой вращения от 0,1 до 1 об/мин
- 2 регулируемые по высоте\* роликовые опоры для поддержки трубы
- 1 сварочная насадка длиной 13 м с двумя ВИГ-горелками, АРНД, двойным подводом присадки для каждой горелки
- 2 синхронизированных источника тока 600 РС для ВИГ-сварки с подогревой присадкой



### Параметры детали

Тип: длинномерные трубы

Основной материал:  
нелегированная сталь

Толщина стенки: 12 - 76 мм

Длина: 3, 6 или 12 м

Внутренний диаметр: 150 - 600 мм

Предварительный подогрев: ≤ 150 °С

Межпроходная температура: ≤ 300 °С.

### Сварочные параметры

Присадочная проволока:

4 катушки по 15 кг

Материал: ERNiCrMo-3

Диаметр: 1,2 мм

Защитный газ: аргон

### Наплавка внутренней поверхности труб диаметром от 150 до 600 мм

#### Оборудование

Насадка для диаметров от 50 до 100 мм

Насадка для диаметров от 100 до 600 мм

Длина: 13 м

Угол установки горелки: 45°

#### Наплавляемый слой

Толщина: 6 мм

Ширина валика: 8 мм

Количество слоёв: 2

Количество проходов: обо слоя выполняются двумя горелками за один проход насадки

Линейная скорость перемещения: до 600 мм/мин.



## Установка для наплавки длинномерных труб в горизонтальном положении

Вращающаяся деталь

Примеры наплавляемых деталей:

Наплавка изнутри концов труб из двух металлов.

### Оборудование

- 1 вращатель для приема труб
- 2 регулируемые по высоте опоры для трубы
- 1 ведущий источник тока РС 600
- 1 ведомый источник тока РС 600
- 1 АС источник тока для подогрева присадочного материала



### Параметры детали

Тип: труба

Материал внешней части трубы: высокопрочная сталь X42 - X70

Материал внутренней части трубы: 304L или 316 L

Длина: 11.7 - 12,5 м

Диапазон внутр. диаметров: 168 - 508 мм

Предварительный подогрев: ≤ 150 °С

Межпроходная температура: ≤ 350 °С

### Сварочные параметры

Присадочная проволока:

катушки 15 кг

Материал: ERNiCrMo-3

Диаметр: 1,2 мм

Защитный газ: аргон

### Наплавка изнутри труб из двух металлов диаметром от 168 до 508 мм

#### Оборудование

Бикатодная насадка TIG<sup>er</sup>

Длина: 800 мм

#### Наплавляемый слой

Толщина: 1,5 - 3,5 мм

Ширина валика: 3 - 3,5 мм

Количество слоёв: 2

Скорость линейного перемещения: до 750 мм/мин.





# Ваш партнер по всему миру

## АРГЕНТИНА

STMAC SRL  
☎ +33(0) 11 4247 2184

## АВСТРАЛИЯ

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

## АВСТРИЯ

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

## БЕЛГИЯ

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

POLYSOUDE BENELUX  
(SERVICE)

☎ +31 (0) 653 38 85 58

## БРАЗИЛИЯ

POLYSOUDE BRASIL  
☎ +55 (0) 11 2523 8884

## БОЛГАРИЯ

KARWELD FOOD  
☎ +359 (0) 2973 32 15

## КАНАДА

MAG TOOL INC.  
☎ +1 (0) 780 4 47 19 04

## КИТАЙ

POLYSOUDE SHANGHAI  
CO. LTD.

☎ +86 (0) 21 64 09 78 26

## ХОРВАТИЯ

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

## ЧЕХИЯ

POLYSOUDE AUSTRIA GmbH  
☎ +420 602 602 855

## ДАНИЯ

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

## ЕГИПЕТ

POLYSOUDE UK  
☎ +44 (0) 1942 820 935

## ЭСТОНИЯ

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

## ФИНЛЯНДИЯ

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

## ФРАНЦИЯ

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

## ГЕРМАНИЯ

POLYSOUDE DEUTSCHLAND  
GMBH – ДЮССЛИНГЕН

☎ +49 (0) 7154 1796 90

ФИЛИАЛ ЛЕВЕРКУЗЕН

☎ +49 (0) 2171 58 1336

## ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

POLYSOUDE UK  
☎ +44 (0) 1942 820 935

## ГРЕЦИЯ

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

## ВЕНГРИЯ

POLYWELD Kft.  
☎ +36(0) 20 29 88 708

## ИНДИЯ

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

## ИНДОНЕЗИЯ

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

## ИЗРАИЛЬ

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

## ИТАЛИЯ

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

## ЯПОНИЯ

GMT CO Ltd.  
GMT CO Ltd. – KAWASAKI

☎ +81 (0) 44 222 67 51

GMT CO Ltd. – OSAKA  
☎ +81 (0) 66 472 67 55

## ИОРДАНИЯ

POLYSOUDE UK  
☎ +44 (0) 1942 820 935

## ЛАТВИЯ

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

## ЛИТВА

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

## МАЛАЙЗИЯ

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

## МЕКСИКА

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

## НИДЕРЛАНДЫ

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

POLYSOUDE BENELUX  
(SERVICE)

☎ +31(0) 653 38 85 58

## НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ

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

## НОРВЕГИЯ

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

## ПАКИСТАН

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

## ПОРТУГАЛИЯ

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

## ПОЛЬША

ZALCO Sp. z.o.o.  
☎ +48 (0) 22 894 55 00

UNIDAWELD - BEDZIN  
☎ +48(0) 32 267 05 54

## РОССИЯ + СНГ

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

## САУДОВСКАЯ АРАВИЯ

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

## СИНГАПУР

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

## ТАИЛАНД

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

## ТАИВАНЬ

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

## ТУРЦИЯ

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

## УКРАИНА

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

## УСША

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

## ВЕНЕСУЭЛА

ENVIRA S.A.  
☎ +58 (0) 243 242 4541



## ФИЛИППИНЫ

POLYSOUDE S.A.S.

☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

## РОССИЯ + СНГ

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

## САУДОВСКАЯ АРАВИЯ

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

## СИНГАПУР

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

## ТАИЛАНД

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

## ТАИВАНЬ

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

## ТУРЦИЯ

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

## УКРАИНА

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

## УСША

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

## СЛОВАКИЯ

POLYSOUDE CZ  
☎ +42(0) 602 60 28 55

## ЮЖНАЯ АФРИКА

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

## ЮЖНАЯ КОРЕЯ

CHEMICO CO. LTD.  
☎ +82(0) 2 567 5336

## ИСПАНИЯ

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

## ШВЕЦИЯ

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

## ШВЕЙЦАРИЯ

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

## ТАИВАНЬ

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

## ТАИЛАНД

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

## ТУРЦИЯ

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

## ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ

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

## УКРАИНА

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

## УСША

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

## ВЕНЕСУЭЛА

ENVIRA S.A.  
☎ +58 (0) 243 242 4541