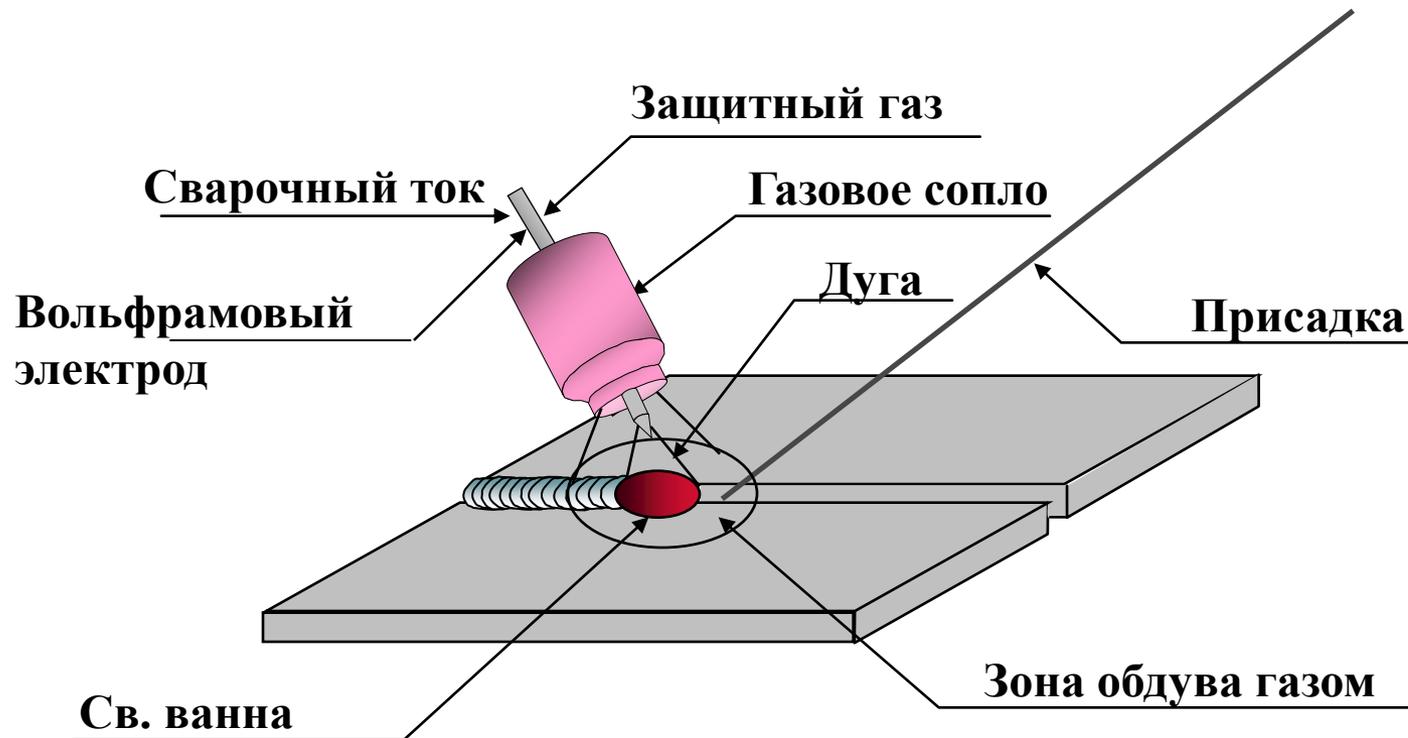


DC TIG сварка стали учебный материал

Version 1.0

DC TIG сварка

Схема процесса:



DC TIG сварка

T = Tungsten **I** = Inert **G** = Gas (General name)

W = Wolfram **I** = Inert **G** = Gas (Germany)

G = Gas **T** = Tungsten **A** = Arc **W** = Welding (USA)

DC = Direct current – постоянный ток.

CC = Constant current – крутопадающая ВАХ.

Преимущества и применение TIG сварки

- Хороший внешний вид шва, без шлака.
- “Easy” to learn.
- Высокое качество, чистый шов, нет брызг.
- Сварка тонкого металла, минимальный ток 3 А.
- Возможность сварки без присадочного материала.
- Энергия и количество присадочного материала не зависят друг от друга.
- Хороший профиль шва во всех пространственных положениях.
- Контролируемая узкая форма дуги.
- Процесс универсальный, может быть механизирован.
- Спецфункции и оборудование:
 - Минилог
 - Импульсная TIG сварка
 - Педадь-регулятор
 - Специальные TIG горелки

Ограничения TIG сварки

- Производительность ниже чем при MIG / MAG сварке.
- Чувствительность к загрязнению (ржавчина, влага, масло, краска).
- Выше требования к квалификации сварщика, чем при MMA или MIG / MAG сварке.
- Высокие требования к защитным газам.
- Компоненты горелки разные для разной работы:
 - Диаметр вольфрамового электрода
 - Газовое сопло или линза
 - Зажимная цанга
- Вольфрамовый электрод требует замены:
 - Правильная форма заточки электрода
 - Правильный тип (материал) и диаметр
- Ручная подача присадочной проволоки

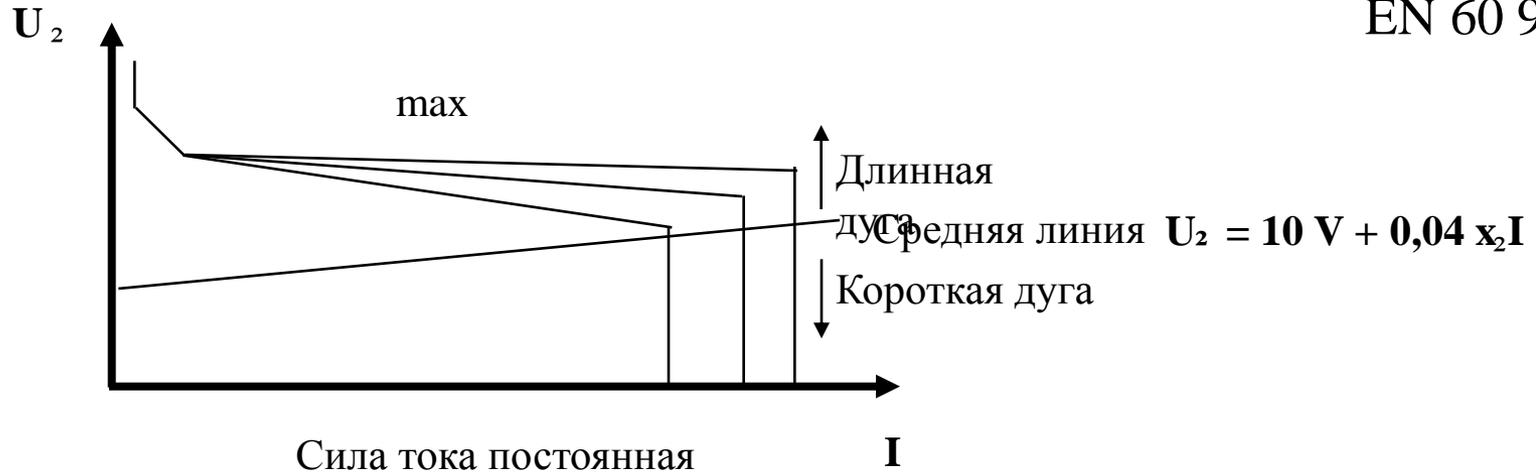
Применение TIG сварки

TIG сварка применяется в тех случаях, когда требуется высокое качество и хороший внешний вид шва.

- TIG сваркой варится любая сталь и стальной сплав.
- Особенно нужна там, где требуется хороший внешний вид шва.
Фурнитура, машиностроение, мотоциклы и др.
- В химической промышленности требуется гладкий профиль шва.
Трубы, сосуды и др.
- В авиационной промышленности TIG сварка используется из-за высокой надежности.
- Сварка тонколистовой стали
Автопром, изготовление автобусов и др.
- Ремонтная сварка всех видов деталей.
Машиностроение, монтаж и др.
- Корневые проходы стыков, контролируемых УЗК или рентгеном.

Крутопадающая характеристика(СС):

Средняя линия: IEC 974-1
EN 60 974-1



Крутопадающая характеристика означает, что сила сварочного тока постоянная и длина дуги определяет напряжение. При колебании длины дуги сила тока не изменяется.

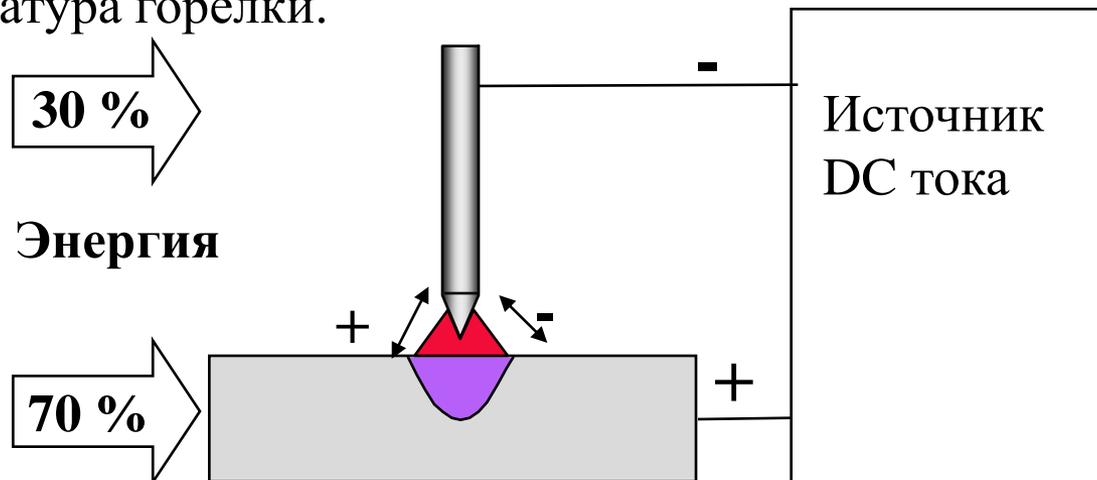
$$100 \text{ A} \Leftrightarrow U = 10 \text{ V} + 0,04 \times 100 \text{ A} = 14,0 \text{ V (Аргон)}$$

DC TIG полярность

При TIG сварке стали применяется постоянный ток, электрод подсоединяется к минусовому полюсу (Прямая полярность, DCEN). Это дает оптимальное распределение тепла между электродом и основным металлом.

Преимущества:

- Можно работать электродом малого диаметра.
- Узкое и глубокое проплавление.
- Дуга стабильная и концентрированная.
- Ниже температура горелки.



Высокочастотное зажигание (HF)

- При DC TIG сварке стали дугу рекомендуется зажигать высокочастотным искровым зажиганием высокого напряжения (10 кВ).
- Высоковольтная искра ионизует защитный газ, он становится проводником, и дуга загорается без механического контакта электрода с основным металлом.

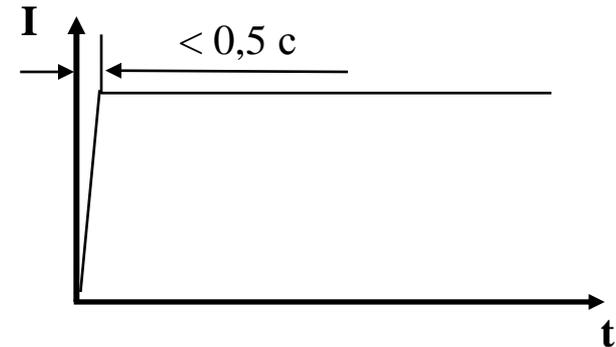
Преимущества:

- Легкое качественное зажигание без риска появления вольфрамового включения в шве и повреждения кончика электрода.
- Все регулируемые TIG сварочные параметры приспособлены к высокочастотному зажиганию.
- Качественный старт необходим при сварке швов под рентген или УЗК.

Контактное зажигание

Дуга также зажигается прикосновением вольфрамового электрода к основному металлу и подъемом на длину дуги.

- Зажигание происходит на малом токе, и кончик электрода не повреждается.
- После зажигания ток растет до заданного рабочего значения.

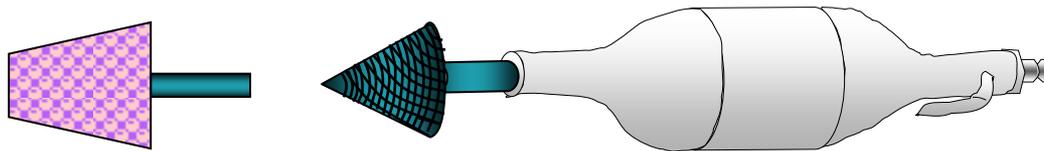


Преимущества:

- Рядом с чувствительной электроникой, где искровое зажигание может вызвать помехи в работе (АЭС, компьютеры, роботы и др.).
- Габариты сварочного аппарата меньше и компактнее
- Оборудование простое и дешевое

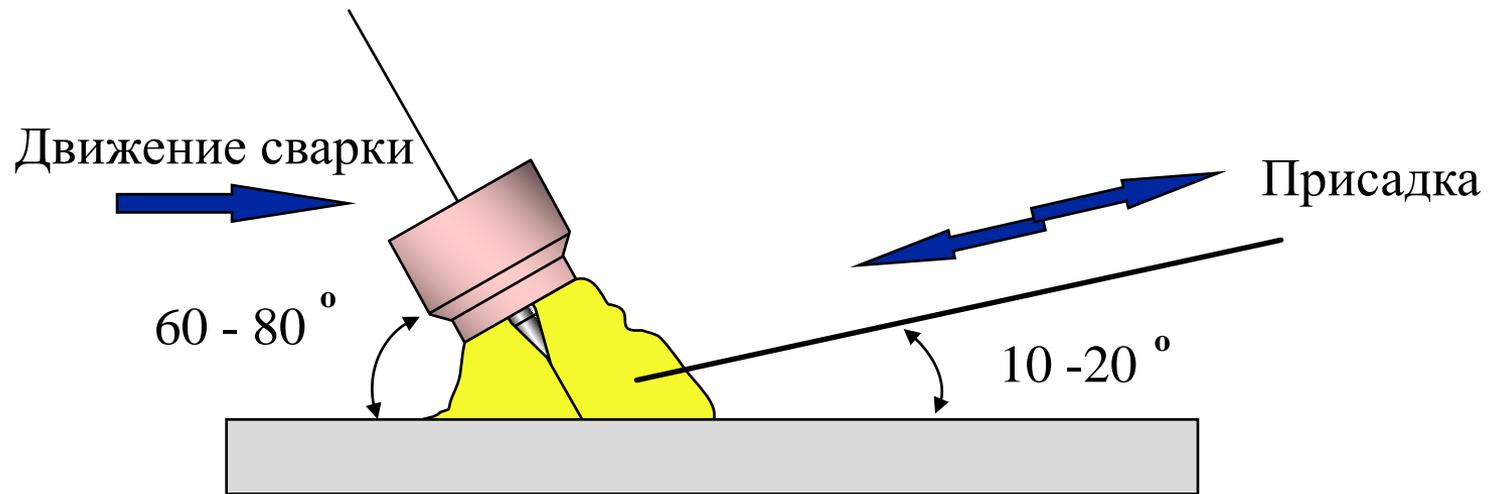
Подготовка стыка

- Сталь обычно покрыта слоем шлака после горячей прокатки, а также ржавчиной или неочищенной краской.
- Листы или трубы можно резать плазмой или автогеном.
- Перед началом TIG сварки вся грязь должна быть удалена.
- Разделка и 20 мм зоны от поверхности шва с обеих сторон должны быть зачищены наждаком или болгаркой для обеспечения качества шва.



Стальные листы и трубы должны быть сухими и чистыми перед сваркой.

Угол наклона горелки



- При сварке без присадки угол наклона TIG горелки $75^\circ - 80^\circ$
- Подача присадки может быть непрерывной или “капля за каплей”
- Подача присадочной проволоки также может быть механизирована

Присадочные проволоки

- При TIG сварке потери на угар присадочного металла минимальны, так как проволока не проходит через дугу, как при MIG / MAG сварке.
- В присадочной проволоке содержание легирующих элементов немного выше, чем в основном металле, также она покрыта тонким слоем меди для защиты от коррозии.

ОСН. МЕТАЛЛ

мм

1,0 - 1,5

2,0 - 4,0

4,0 - 8,0

8,0 →

ПРИСАДКА

∅ мм

1,0 - 1,6

2,4 - 3,2

2,4 - 4,0

3,2 →

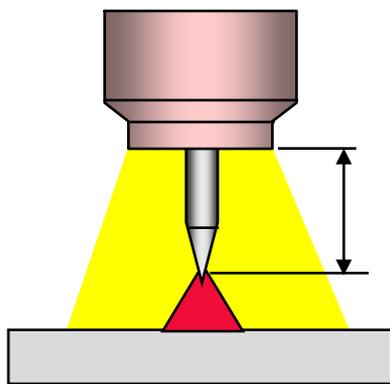
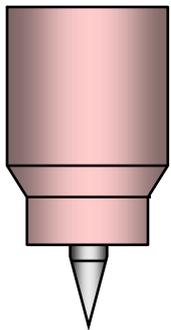
- Не используйте для присадки обычную металлическую проволоку.
- При TIG сварке стали используйте присадочную проволоку для TIG сварки.
- Не используйте присадку для кислородно-ацетиленовой сварки (порообразование).

Газовые линзы / сопла

Газовое сопло:

Обычно при сварке стали рекомендуется использовать газовое сопло.

При увеличении сварочного тока нужно увеличить поток защитного газа.

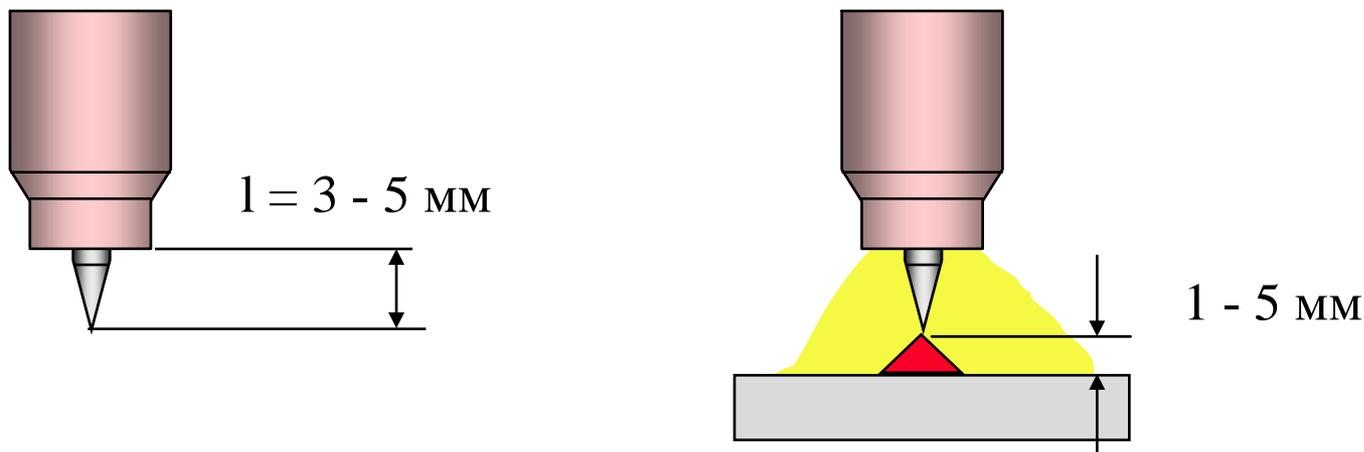


Газовая линза:

- Лучшая газовая защита, нет турбуленции
- Лучше видно сварочную ванну
- Максимальный вылет электрода 20 мм
- Легче доступ к узким местам при сварке
- Дольше срок службы TIG горелки

На рынке есть газовые линзы разной длины / размера, формы и материала для разных типов соединений.

Вылет электрода и длина дуги при DC TIG сварке



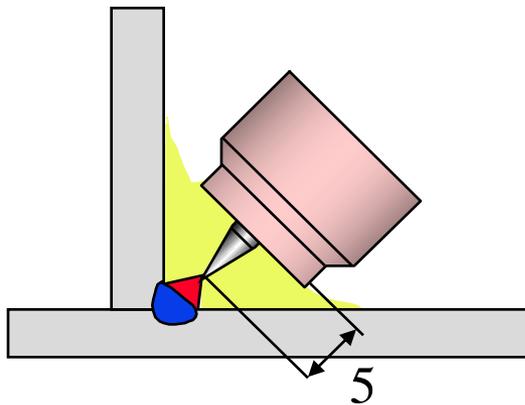
- Чаще всего при DC TIG сварке рекомендуется длина вылета электрода:

$l = 2 - 3 \times \text{Диаметра электрода}$

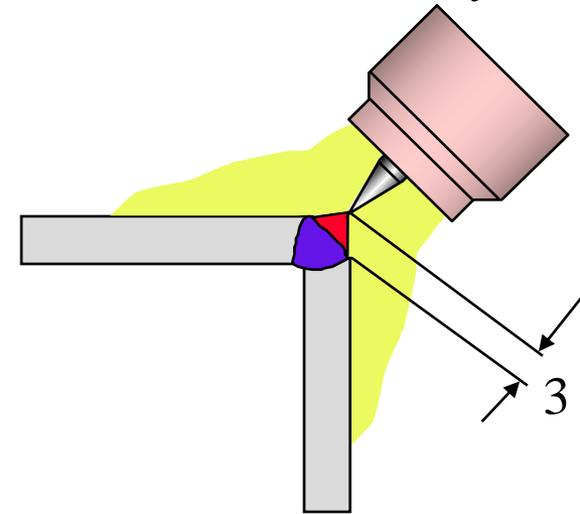
- Более длинная дуга увеличивает ширину шва и тепловложение.

Вылет электрода и длина дуги

Максимальная длина вылета



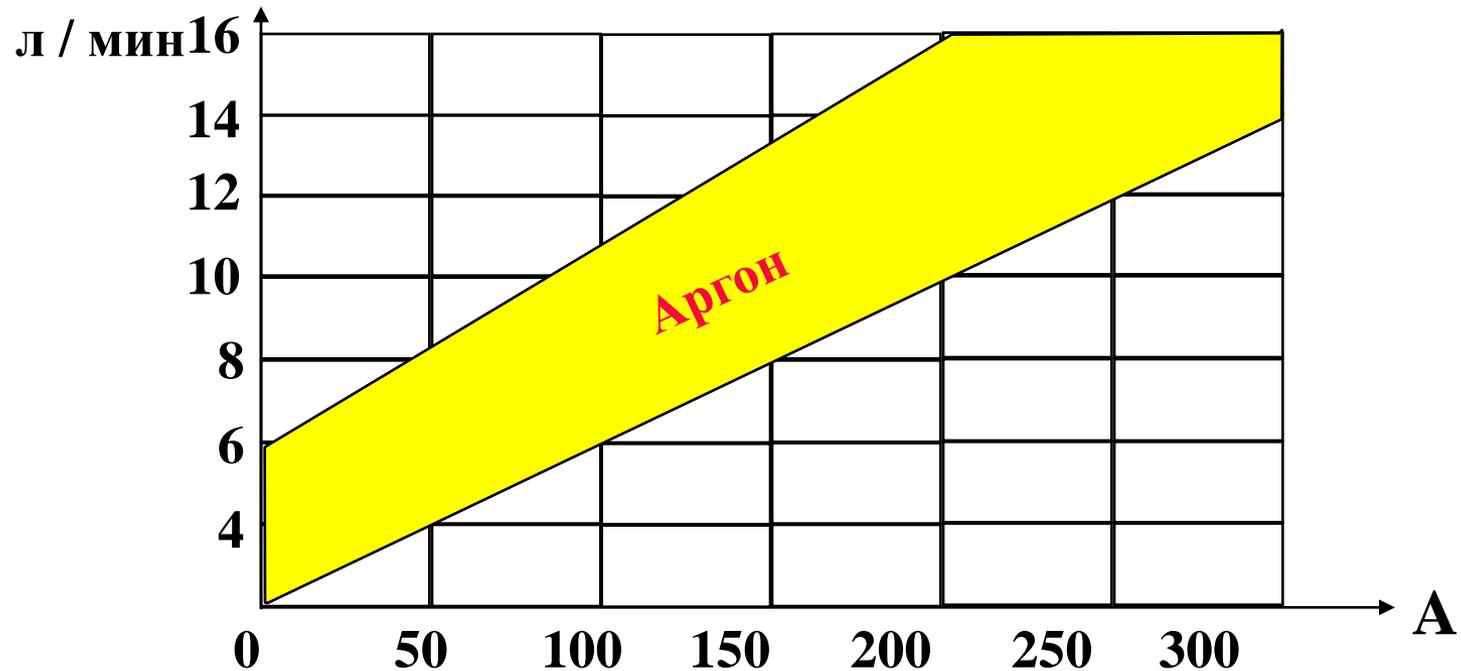
Максимальная длина дуги



Длина дуги зависит от сварочного тока и типа соединения следующим образом:

- Тавровое соединение задерживает газ, длина вылета до 5,0 мм.
- Угловое соединение теряет газ, длина вылета до 3,0 мм.

Расход газа при DC TIG сварке



Расход защитного газа зависит от условий сварки:

- Сварка в помещении или на воздухе (ветер)
- TIG горелка с соплом или линзой (диаметр)
- Чистота основного металла и др.

Выбор диаметра электрода

Диаметр электрода	Газовое сопло, номер:	Расход газа	Сварочный ток
1,6 мм	4 - 5	5 - 8 л / мин	20 - 140 А
2,4 мм	5 - 6	6 - 10 л / мин	100 - 250 А
3,2 мм	6 - 8	8 - 12 л / мин	150 - 320 А
4,0 мм	6 - 10	8 - 14 л / мин	200 - 500 А

ВНИМАНИЕ !

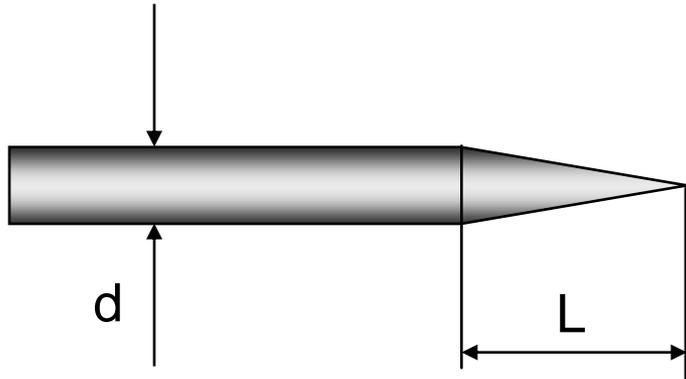
Разные составы TIG электродов имеют различный оптимальный сварочный ток.

Вольфрамовые электроды

Марка	Состав	Цвет	Применение
WP	100% W	Зеленый	(AC)
WC 20	98% W + 2% Ce	Серый	AC / DC
WT 10	99% W + 1% Th	Желтый	DC (AC)
WT 20	98% W + 2% Th	Красный	DC
WT 30	97% W + 3% Th	Лиловый	DC
WT 40	96% W + 4% Th	Оранжевый	DC
WZ 8	99% W + 1% Zr	Белый	(AC)
WL 15	98,5% W + 1,5% La	Золотистый	AC / DC

Обычно для TIG сварки стали рекомендуются электроды марок WC 20, WT 20 и WL 15.

Заточка электродов

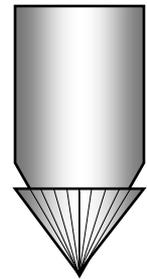


$$L = 1..5 \times d$$

$$d = 2,4 \text{ мм}$$

$$L = 5 \times 2,4 \text{ мм} = 12,0 \text{ мм}$$

- Правильный диаметр электрода зависит от силы тока
- Острота заточки зависит от силы тока
- Электрод затачивается в продольном направлении



Диаметр электрода / сварочный ток

Диаметр TIG электрода / max сварочный ток (DC):

0,8 мм

45 А

1,2 мм

70 А

1,6 мм

145 А

2,4 мм

240 А

3,2 мм

380 А



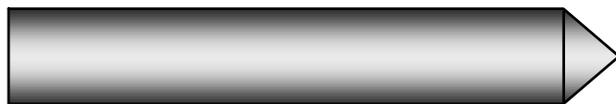
Малый ток, 1 : 5 - 1 : 3

Около 70 А



Средний ток, 1 : 4 - 1 : 2

70 А - 200 А



Большой ток и автоматическая
сварка, 1 : 1 - 1 : 2

Свыше 200 А

Защитные газы для TIG

сварки стали

ГАЗ

Аргон + 0,03% NO

Аргон 99,99%

Аргон 99,998%

ПРИМЕНЕНИЕ

Основное

Основное

Высококачественная сварка

Защитные газы для TIG сварки корня:

ГАЗ

Аргон + 0,03% NO

Аргон 99,99%

Азот + 12% Водорода

Аргон + 5% Водорода

ПРИМЕНЕНИЕ

Электростанции и др.

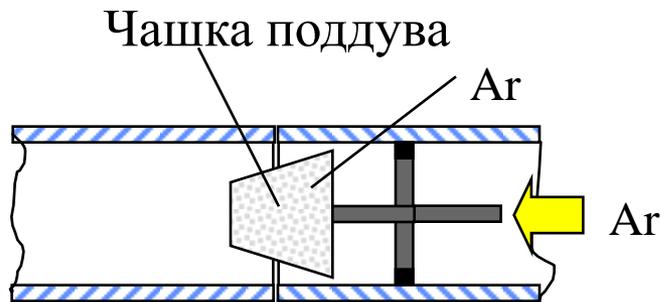
Электростанции и др.

Основное

Сварка низкого качества

Защита корня шва (поддув)

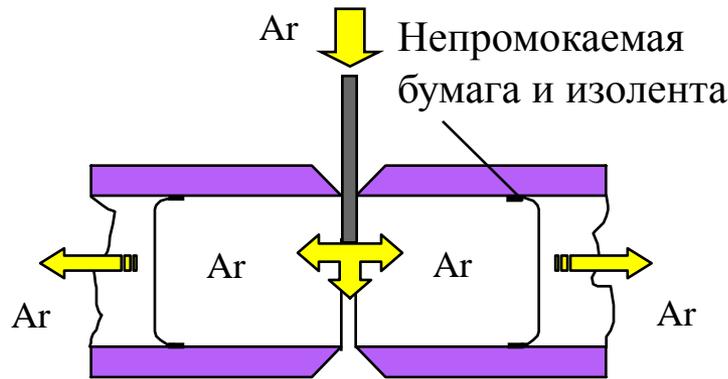
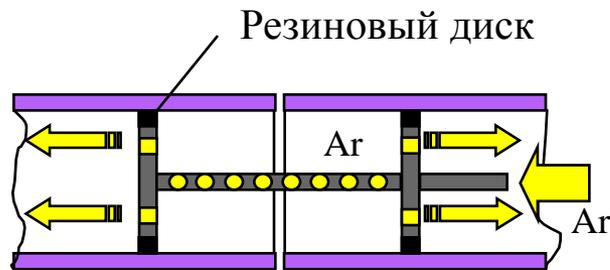
- В большинстве случаев стальные трубы варятся TIG способом без поддува с обратной стороны.
- Поддув можно применять для защиты металла корня шва.
- На паропроводах, сосудах высокого давления и др., где к корню трубного стыка предъявляются высокие требования качества, можно применять поддув для снижения риска появления дефектов.



- Пенопластовая чашка поддува часто используется при сварке малых труб.
- Это дает хорошую защиту, даже если труба открыта с другого конца.
- Расход газа поддува 4,0 - 8,0 л / мин.
- Может использоваться любой защитный газ.

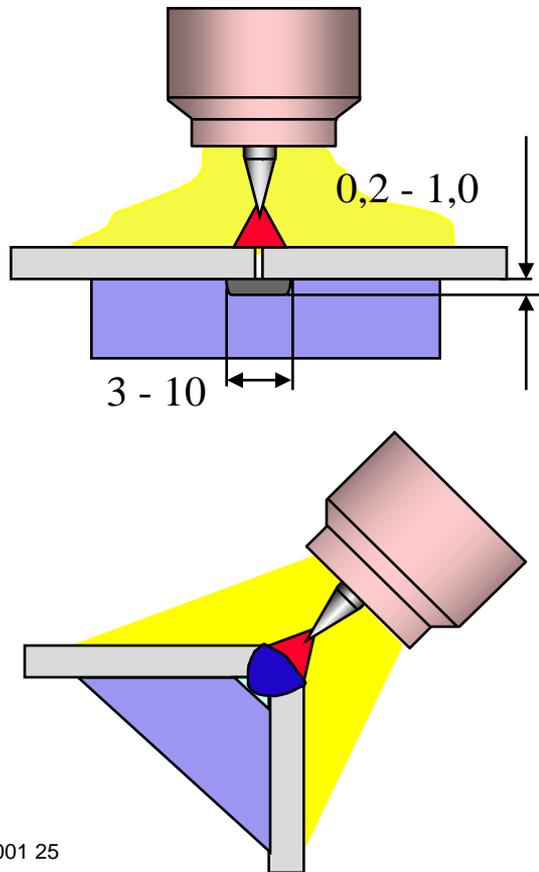
Защита корня шва (поддув)

- Лучшая защита корня шва.
- Заполнение внутреннего пространства аргоном перед сваркой.



- Для менее требовательных швов может применяться защитная паста.
- Расход газа поддува 4 - 8 л / мин.
- Аргон подается маленькой трубкой через раскрытие шва внутрь трубы.

Подкладная пластина



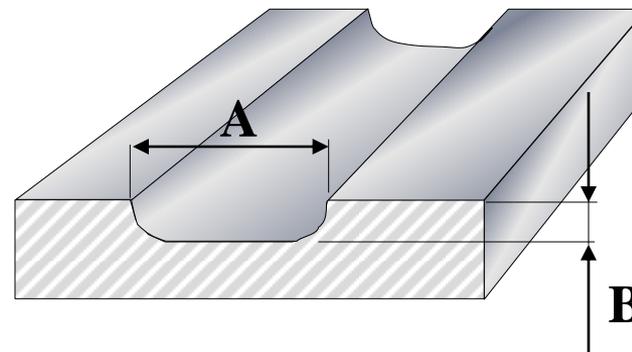
При сварке стали часто применяется медная подкладная пластина.

- Избегайте ситуации когда TIG дуга зажигается прямо напротив подкладной пластины.
- При сварке толстого металла подкладная пластина может иметь водяное охлаждение.
- Форма и размер канавки подкладной пластины зависят от формы стыка и толщины металла.

Медные подкладные пластины

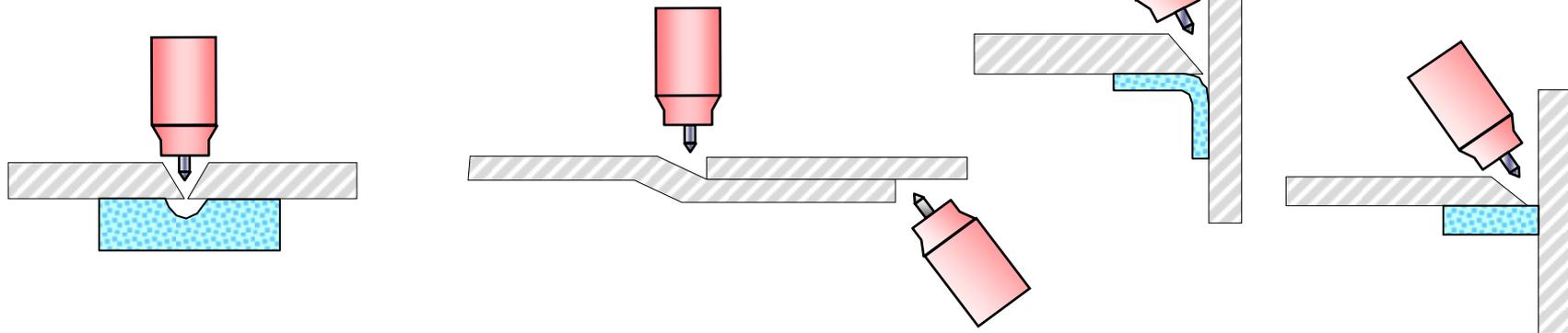
- Глубина канавки должна соответствовать толщине пластины.
- Слишком мелкая канавка быстро охлаждает шов и вызывает дефекты в корне.
- Слишком глубокая канавка дает большое усиление и сварочную ванну.
- Это обуславливает: высокое тепловложение, низкую скорость сварки, неправильную форму шва.

Толщина (мм)	A	B
≤ 1.5	10	0.2 - 0.5
≤ 6.0	10 - 15	1.0 - 2.5
> 6.0	10 - 15	2.5 - 3.5



Назначение и преимущества ПОДКЛАДНЫХ ПЛАСТИН

- Защищает корень шва от окисления
- Формирует корень шва и защищает от прожога
- Охлаждает металл шва
- Позволяет сварку с большим зазором
- Можно варить на большем токе
- Повышает скорость сварки → Производительность
- Может не удаляться после сварки



Подача газа перед и после сварки

При предварительной подаче защитный газ поступает в горелку в течение заданного времени перед зажиганием.

Преимущества:

- Стабильный поток газа в момент зажигания
- Продувка горелки перед зажиганием
- В разделке нет воздуха

Защитный газ после сварки охлаждает кончик электрода и сварочную ванну, при этом защита от окисления.

Преимущества:

- Хорошее повторное зажигание
- Нет окисления вольфрамового электрода
- Выше стойкость заточки кончика электрода
- Меньше риск появления дефектов сварки

Плавное возрастание / падение тока

При старте ток плавно возрастает от уровня зажигания до заданного рабочего значения.

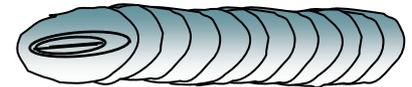
Преимущества:

- Стабильное зажигание при большом сварочном токе
- Защита кончика электрода
- Снижен риск перегрева и прожога основного металла

В конце сварки ток плавно снижается от рабочего значения до уровня завершения сварки.

Преимущества:

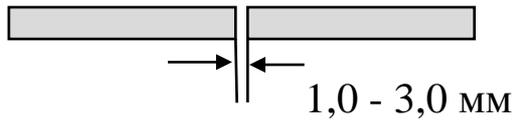
- Контролируемое завершение без появления кратера
- Снижен перегрев металла (на краях пластины)
- Возможность регулирования тепловложения в раскрытии



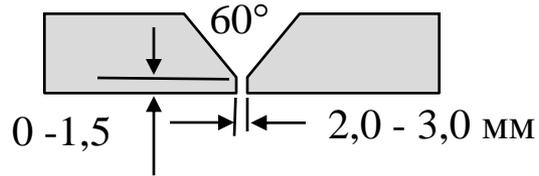
Формы сварных стыков

Ручная TIG
сварка с присадкой

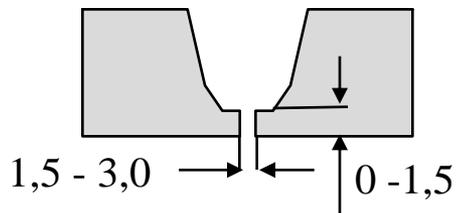
$S = < 3 \text{ мм}$



$S = 4 - 8 \text{ мм}$

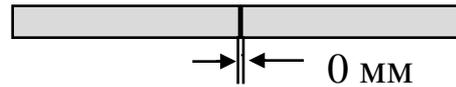


$S = > 4 \text{ мм}$

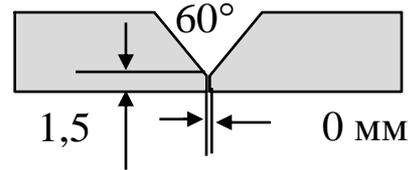


Ручная TIG
без присадки

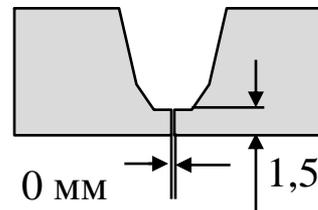
$S = < 3 \text{ мм}$



$S = 3 - 15 \text{ мм}$

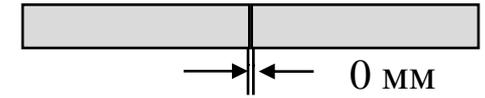


$S = > 4 \text{ мм}$

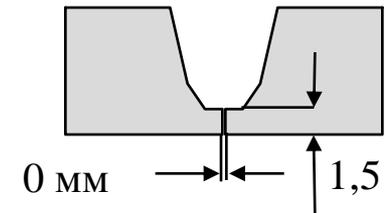


Автоматическая
TIG сварка

$S = < 4 \text{ мм}$



$S = > 4 \text{ мм}$



Тепловложение

Тепло, поступающее от дуги в основной металл, называется **Тепловложением (Q)**

На тепловложение влияют:

- Сварочный ток (I)**
- Напряжение (U)**
- Скорость сварки (v)**
- Энергия дуги (E)**

Тепловложение измеряется в джоулях (J) или килоджоулях (kJ) на см или мм.

$$E = \frac{I (A) \times U (V) \times 60}{v (\text{мм} / \text{мин}) \times 1000} \quad < = >$$

$$E = \frac{70 A \times 12,5V \times 60}{30 \times 1000} = \underline{1,75 \text{ кДж} / \text{мм}}$$

Коэффициент тепловложения

Подсчет полного тепловложения (Q) с использованием коэффициента тепловложения (n) сварочного процесса.

Коэффициент тепловложения учитывает потери тепла при сварке

MIG / MAG / FCW	0,8
Pulsed MIG	0,8
MMA	0,8
TIG	0,6
Plasma welding	0,6
SAW	1,0

Тепловложение $Q = E \times n < = > 1,75 \times 0,6 = 1,05$ кДж / мм

Средний ток

Если в аппарате нет функции автоматического расчета среднего тока при импульсной TIG сварке, он может быть вычислен по формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{низ}} + (I_{\text{верх}} - I_{\text{низ}}) \times t_{\text{верх}}}{t_{\text{цикла}}} \quad \langle = \rangle$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{40 \text{ A} + (125 \text{ A} - 40 \text{ A}) \times 0,35 \text{ s}}{1,0 \text{ s}} \quad \langle = \rangle \quad \underline{70 \text{ A}}$$

Для точного расчета нужны все параметры импульса.

TIG обработка

TIG обработка применяется для MIG / MAG шва, когда надо:

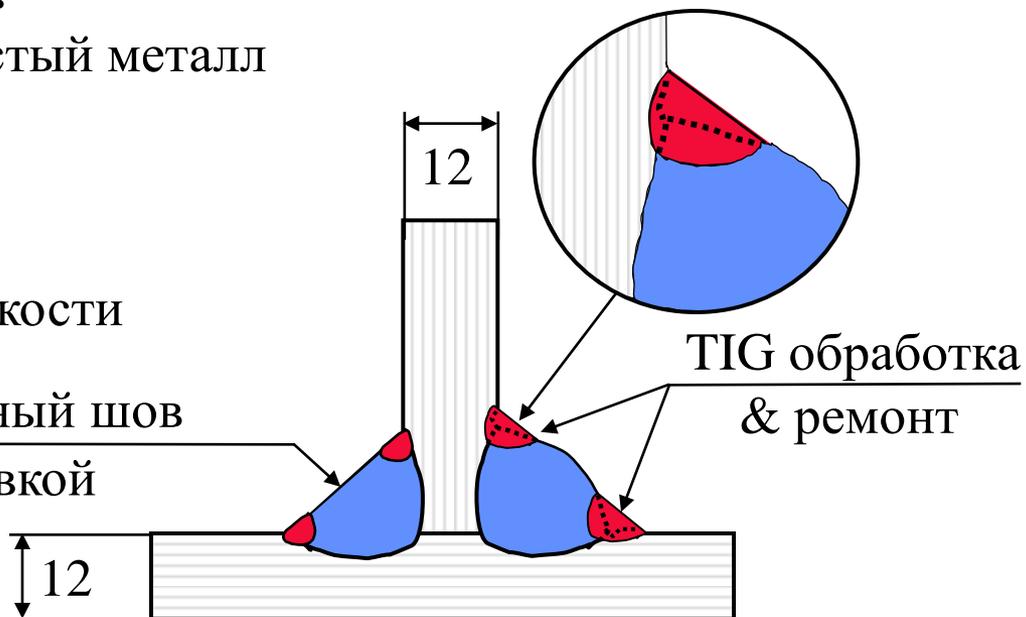
- увеличить прочность сварного шва
- исправить внешний вид шва (выпуклый профиль)
- исправить дефекты шва (подрезы)
- избежать зачистки

TIG обработка применяется:

- тяжелое оборудование и толстый металл
- шахтное оборудование
- экскаваторы
- лифты и люльки
- для улучшения ударной стойкости

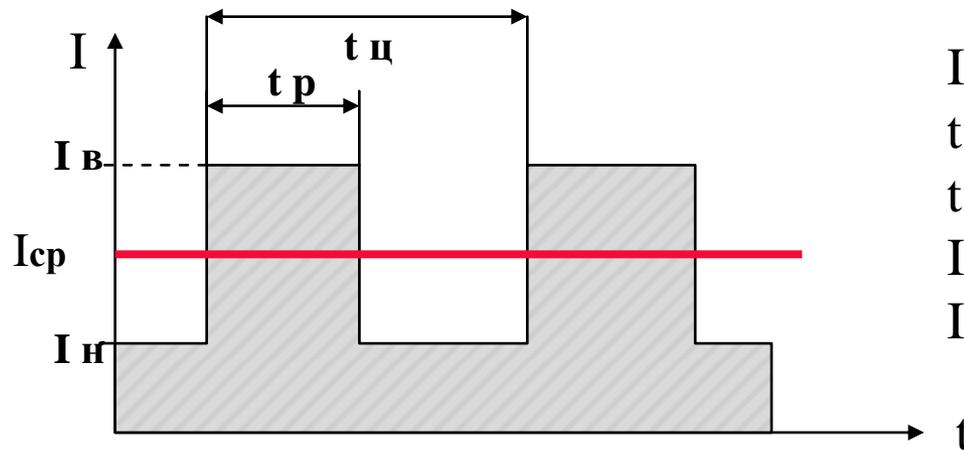
а-размер 6 мм, идеальный шов

TIG обработка с наплавкой



Импульсная TIG сварка стали

При импульсной TIG сварке ток колеблется с заданной частотой от верхнего до нижнего импульсного уровня.



$I_{ср}$ = Средний ток

$t_{ц}$ = Время цикла / f = частота

t_p = Время импульса

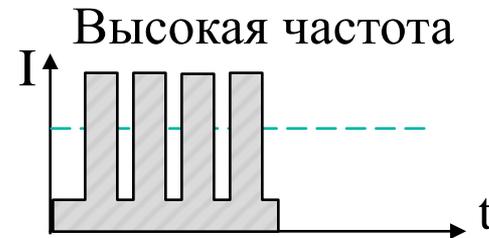
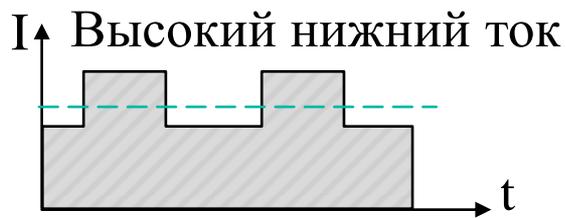
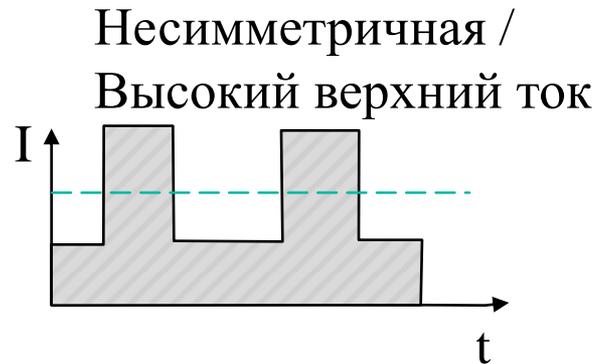
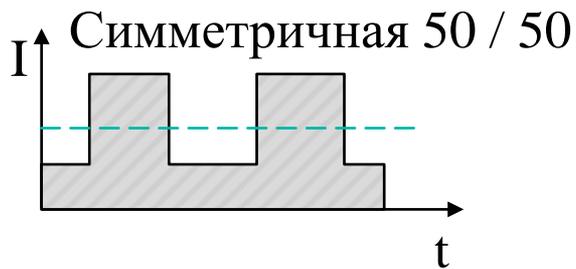
$I_{в}$ = Верхний ток

$I_{н}$ = Нижний ток

Современные TIG аппараты автоматически считают средний ток по параметрам импульса.

Варианты настройки параметров импульса

импульса



Разные настройки импульса дадут одинаковый средний ток, различную скорость сварки и тепловложение.

Высокочастотный импульс (RP)

Импульсная TIG сварка делится на высоко- и низкочастотную:

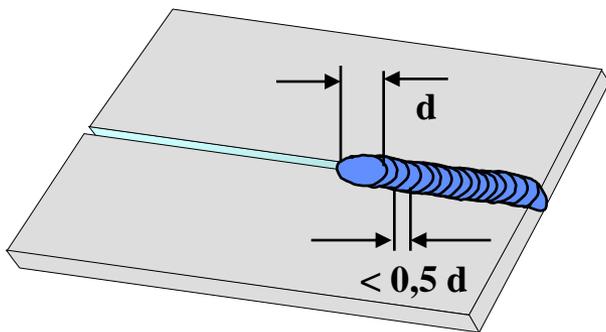
- Частота от 50 до 500 Гц (0,02 - 0,002 с)
- Высокая частота обеспечивает глубокое проплавление
- Малый нижний ток уменьшает размер св. ванны → легче контроль
- Низкое тепловложение
- Дуга выглядит как при обычной TIG сварке
- Высокий уровень шума (особенно при высокой частоте)
- Для тонкого металла (max 3,0 мм)
- Хорошо для металлов с низкой теплопроводностью (Fe, Ss)
- Скорость сварки выше чем при обычной TIG сварке

Длинный импульс (LP)

- От 5 до 0,1 Гц (0,2 - 10 с)
- Видно два периода, импульс и падение
- Контроль сварочной ванны легче, чем при обычной TIG сварке
- Сварка в разных пространственных положениях
- Шов шире, проволока подается в момент подачи верхнего тока, техника подачи проволоки «капля за каплей».
- Тепловложение ниже, чем при обычной TIG сварке
- Хороший внешний вид шва
- Скорость сварки выше, чем при обычной TIG
- Деформации меньше, чем при обычной TIG

Техника импульсной TIG сварки

- Скорость сварки должна обеспечивать перекрытие чешуек величиной 50% от диаметра сварочной ванны.
- При сварке труб перекрытие чешуек может быть 90%.
- Это гарантирует хороший результат даже при некотором колебании руки сварщика.



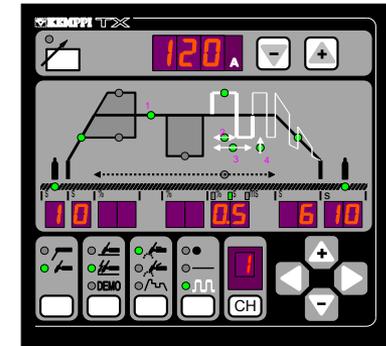
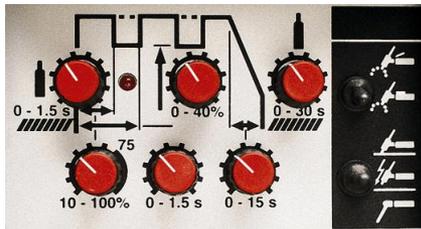
- При импульсной TIG сварке проволока может неподвижно удерживаться над ванной без подающих движений.
- Если присадка подается в ванну по технике “капля за каплей”, время импульса (t_p) и частота (f) должны быть отрегулированы соответственно, больше время импульса и ниже частота.

Настройка параметров при импульсной TIG сварке

- При сварке стали используйте импульс несимметричного профиля, время импульса $t_p = 30 - 40\%$.
- Это дает больше времени на остывание, чтобы избежать перегрева основного металла.
- Используйте редкую пульсацию LP, $f = 0,5 - 1,0$ Гц, присадочную проволоку подавайте непрерывно или по технике “капля за каплей”.
- Частая пульсация RP ($f = > 50$ Гц) может применяться при непрерывной подаче присадочной проволоки.
- Регулируйте верхний ток по толщине основного металла для правильного проплавления.
- Ставьте малое значение нижнего тока, это улучшит охлаждающий эффект.
- Сварка угловых швов возможна как с присадкой, так и без него.

Оборудование Кемпфи для импульсной TIG сварки

Современные TIG аппараты позволяют точную регулировку и запись в память всех параметров сварки.



Mastertig

1500 / 2200

2800 / 2850 / 3500

2850 W / 3500 W

Mastertig AC / DC
Pulse panel

Protig 400
TX-panel

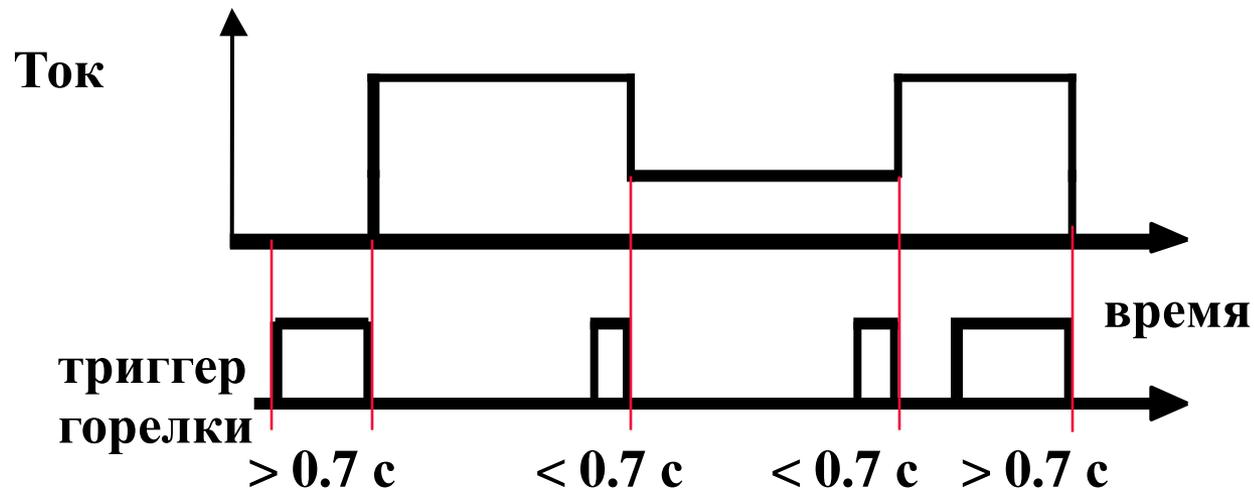
Применение импульсной DC TIG сварки

Импульсная DC TIG сварка подходит для сварки металла любой толщины во всех положениях

- Сварка в трудных пространственных положениях
- Сварка труб
- Высокие требования к внешнему виду шва
- Сварка без присадочной проволоки
- Сварка металла разной толщины (толстый + тонкий)
- Сварка разнородного металла (сталь + нержавейка)
- Чтобы избежать перегрева (окисление)
- Снижает деформации и тепловложение
- Отлично подходит для сварки угловых швов и труб

Функция TIG Minilog

Функция Minilog позволяет сварщику переключать силу тока с уровня на уровень нажатием триггера TIG горелки.



Преимущества TIG Minilog

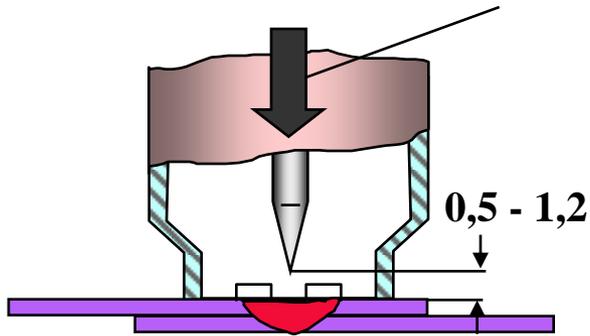
- Чтобы избежать дефектов сварки на старте.
- Лучше контроль св. ванны при смене положения.
- Лучше контроль ванны при переменном зазоре.
- Сварщик может перестроиться и взять кусок присадки, не прерывая горение дуги.
- Для мягкого или горячего старта.
- Записывается 2 значения силы тока.
- Снижает необходимость применения дистанционного регулятора.

Применение TIG Minilog

- Подогрев основного металла перед сваркой
- Старт с тонкого металла или при большом зазоре
- Сварка в разных пространственных положениях
- Сварка труб
- При переменной величине зазора
- Сварка металлов разной толщины
- Сварка длинных швов
- Легче контроль проплавления и тепловложения
- Когда нужно переключить уровни тока
- Смена положения сварочной проволоки

Точечная TIG сварка стали

Поставьте TIG горелку на свариваемые листы



- Точечная TIG сварка делается с одной стороны при использовании специального сопла.
- Листы должны быть прижаты друг другу.
- Макс толщина листов 1,5 + 1,5 мм.

- Проплавление точки регулируется временем сварки и сварочным током.
- Свариваемые листы должны быть без масла, ржавчины, краски и др.
- При наличии зазора между листами качество TIG сварки падает и сварные точки получаются слишком глубокими.

ОК результат



Прожог



Параметры сварки: Сталь

Plate Thickness	Joint type	Flat pos. (A)	Vertical pos. (A)	Over head pos. (A)	Filler wire	Electrode diameter	Travel speed
1,0 mm	Butt joint	30 - 50	30 - 45	30 - 40	1,6	1,0	250 - 300
	Over lapped	65	65	55	1,6	1,0	250 - 300
	Corner joint	50	40	40	1,6	1,0	250 - 300
	Fillet joint	50	50	50	1,6	1,0	250 - 300
2,0 mm	Butt joint	80 - 110	75 - 100	70 - 100	1,6 - 2,4	1,6 - 2,4	175 - 225
	Over lapped	110	100	100	1,6	1,6 - 2,4	175 - 225
	Corner joint	80	75	70	1,6	1,6 - 2,4	175 - 225
	Fillet joint	105	95	95	1,6	1,6 - 2,4	175 - 225
3,0 mm	Butt joint	100 - 180	100 - 185	110 - 180	2,4 - 3,2	2,4	125 - 175
	Over lapped	130	120	115	2,4 - 3,2	2,4	125 - 175
	Corner joint	110	100	100	2,4 - 3,2	2,4	125 - 175
	Fillet joint	125	115	110	2,4 - 3,2	2,4	125 - 175
4,0 mm	Butt joint	120 - 200	110 - 185	110 - 180	3,2	2,4 - 3,2	100 - 150
	Over lapped	185	170	165	3,2	2,4 - 3,2	100 - 150
	Fillet joint	180	165	160	3,2	2,4 - 3,2	100 - 150
5,0 mm	Corner joint	160	140	140	2,4 - 3,2	3,2	100 - 150

10-2001 48