

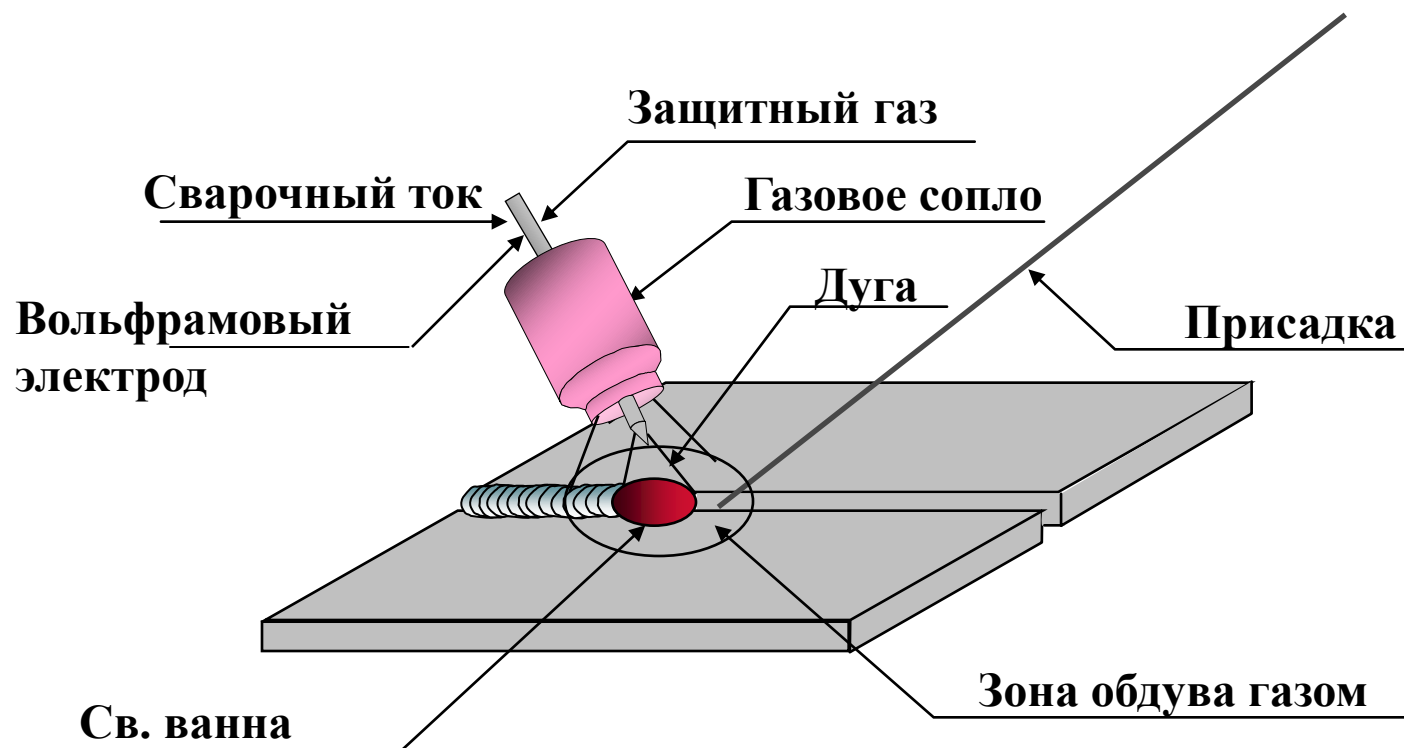
# DC TIG сварка стали

## 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
  - Педаль-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 ММА 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

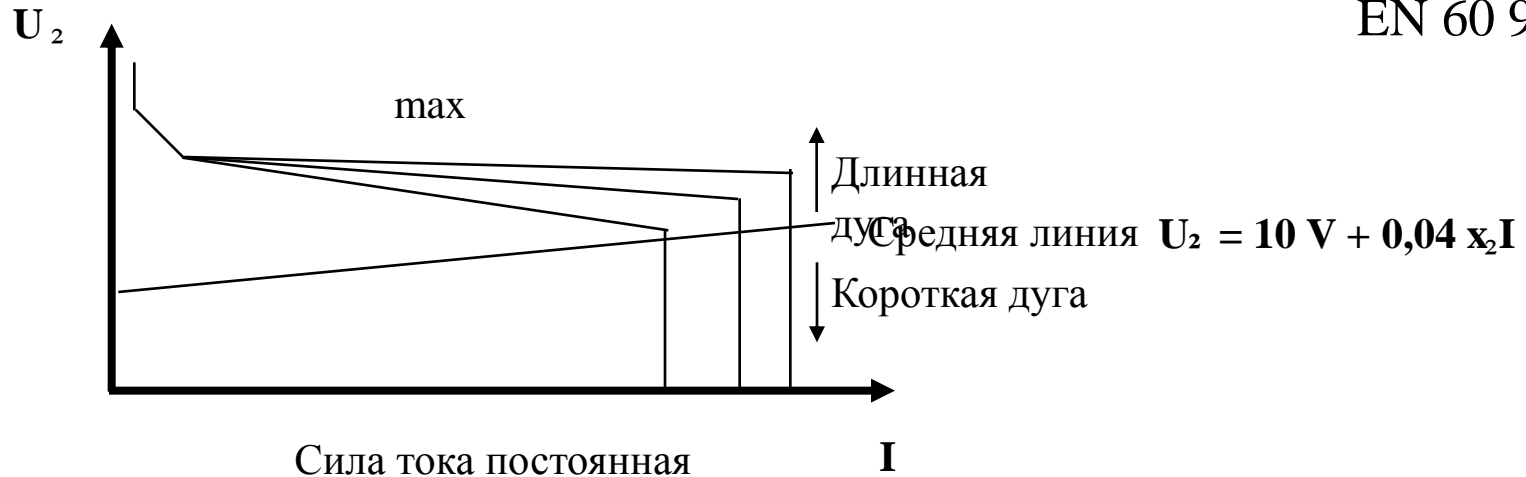
# Применение TIG сварки

**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.

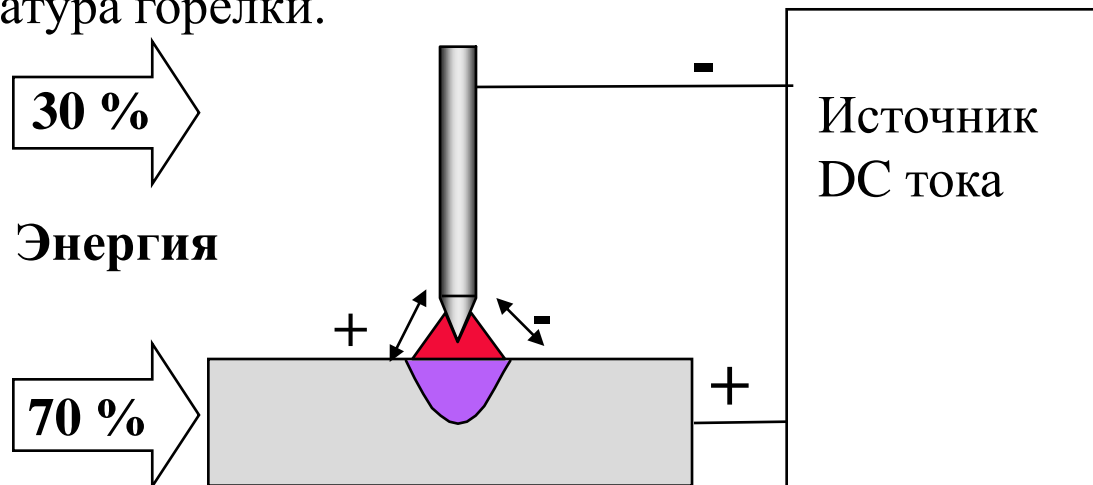
$$100 \text{ A} \leq U = 10 \text{ V} + 0,04 \times 100 \text{ A} = 14,0 \text{ V ( Аргон )}$$

# 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.

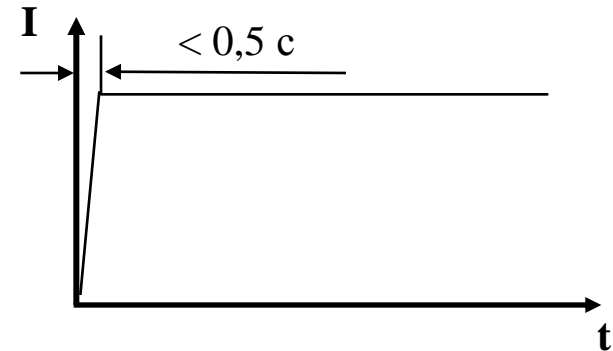
## Преимущества:

- 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.

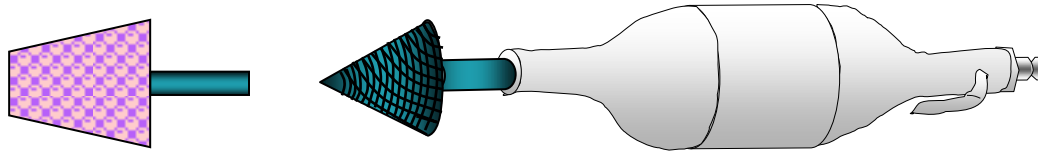


## Преимущества:

- 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

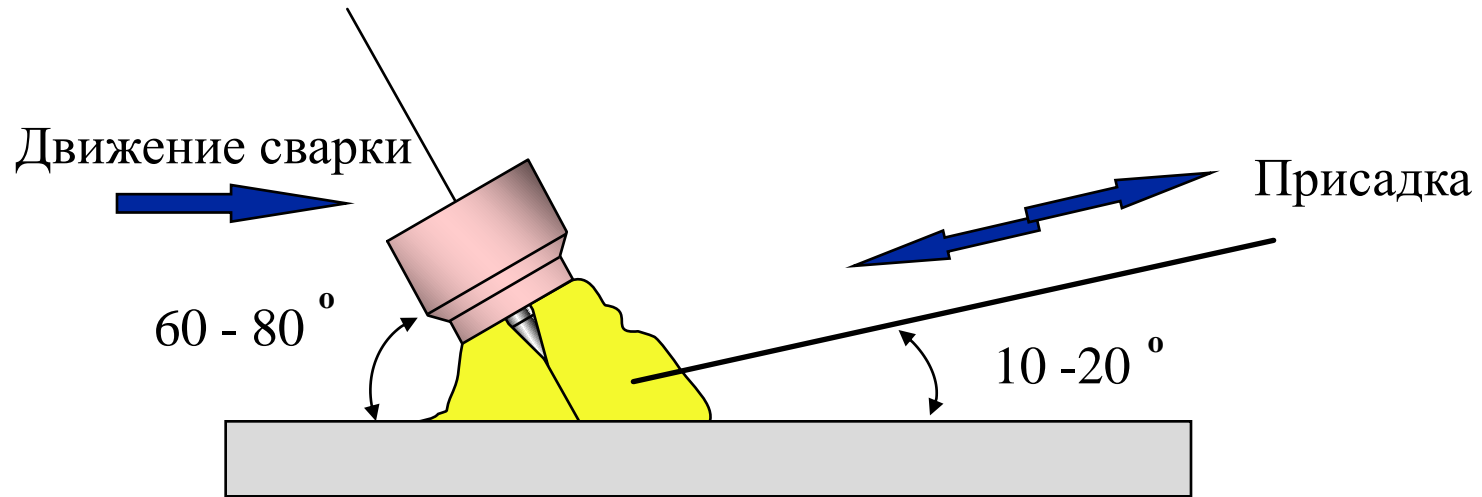
# Подготовка стыка

- 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

Ø мм

1,0 - 1,6

2,4 - 3,2

2,4 - 4,0

3,2 →

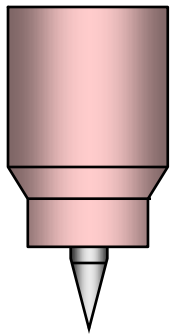
- Не используйте для присадки обычную металлическую проволоку.
- При TIG сварке стали используйте присадочную проволоку для TIG сварки.
- Не используйте присадку для кислородно-ацетиленовой сварки (порообразование).

# Газовые линзы / сопла

## Газовое сопло:

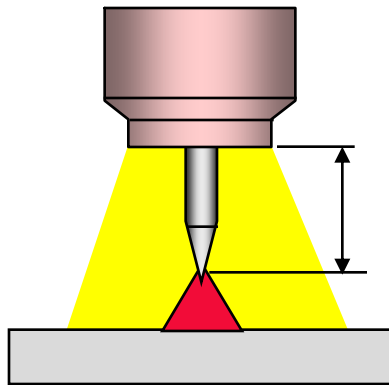
Обычно при сварке стали рекомендуется использовать газовое сопло.

При увеличении сварочного тока нужно увеличить поток защитного газа.



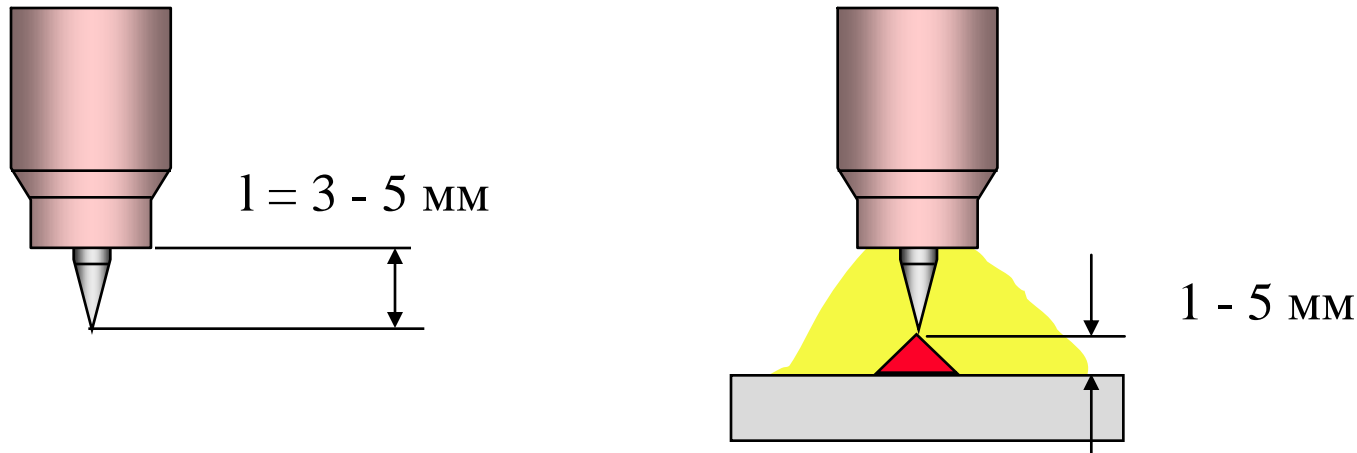
## Газовая линза:

- Лучшая газовая защита, нет турбулентции
- 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



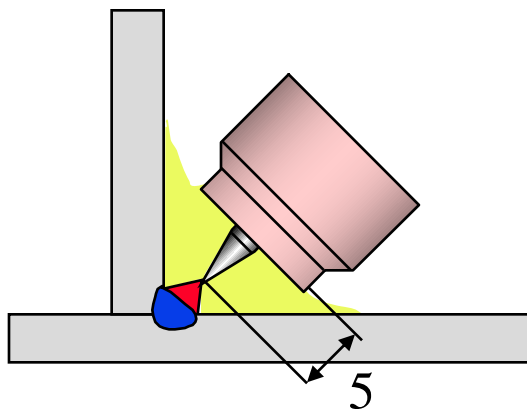
- Чаще всего при DC TIG сварке рекомендуется длина вылета электрода:

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

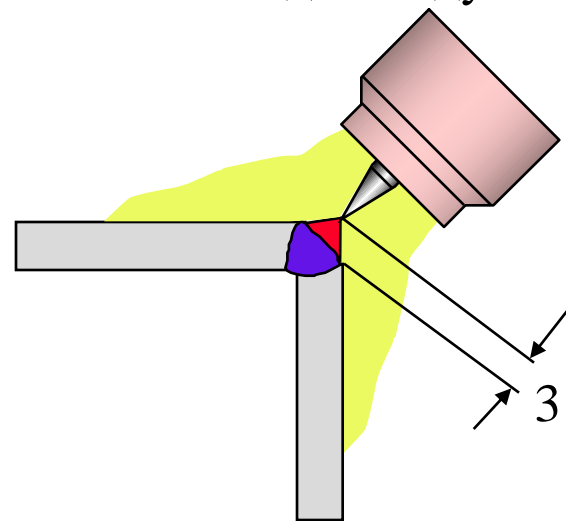
- Более длинная дуга увеличивает ширину шва и тепловложение.

# Вылет электрода и длина дуги

Максимальная длина вылета



Максимальная длина дуги

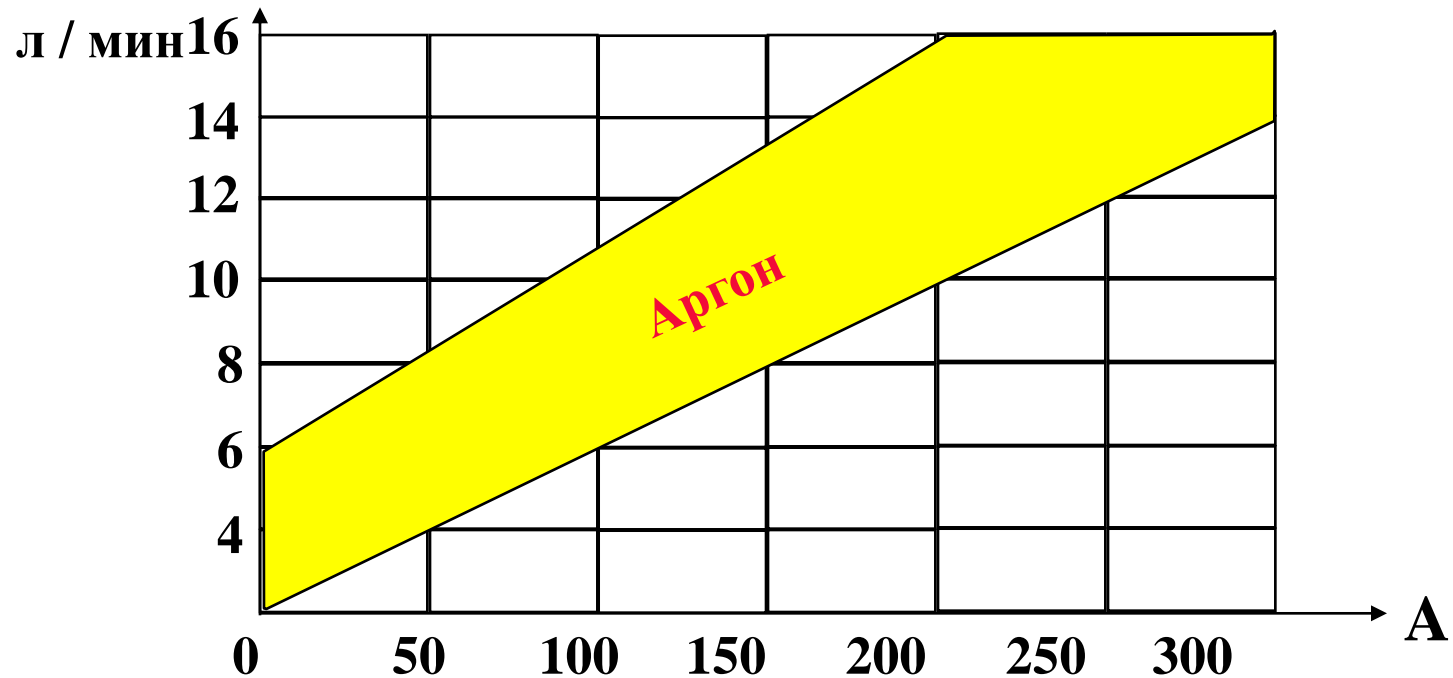


**Длина дуги зависит от сварочного тока и типа соединения следующим образом:**

- 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 !

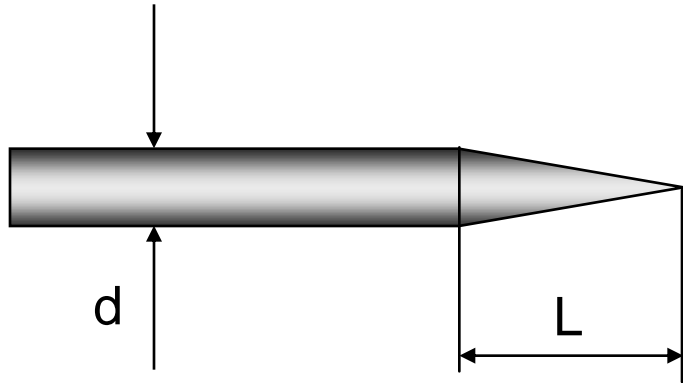
Разные составы TIG электродов имеют различный оптимальный сварочный ток.

# 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

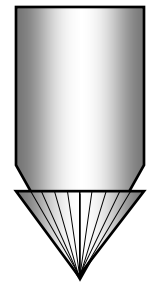


$$L = 1...5 \times d$$

$$d = 2,4 \text{ мм}$$

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

- 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



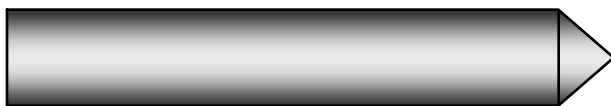
Малый ток, 1 : 5 - 1 : 3

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.

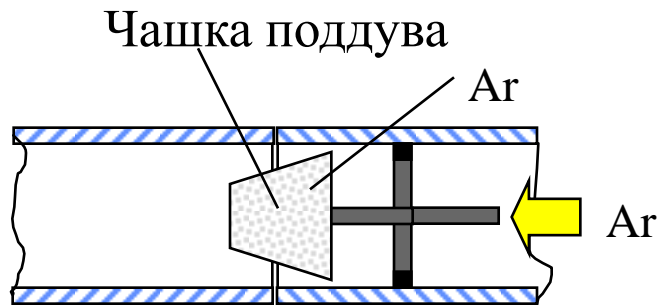
Электростанции и др.

Основное

Сварка низкого качества

# Защита корня шва (поддув)

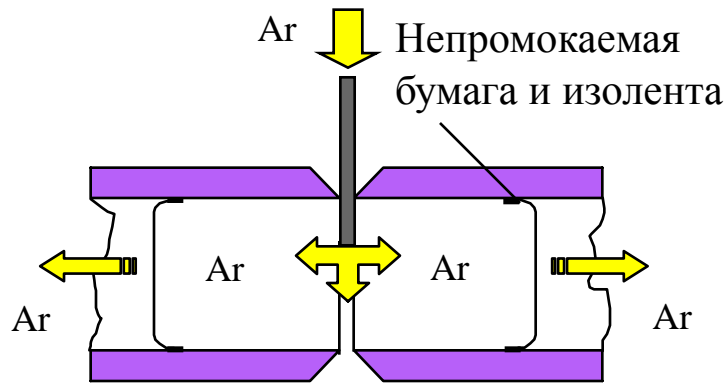
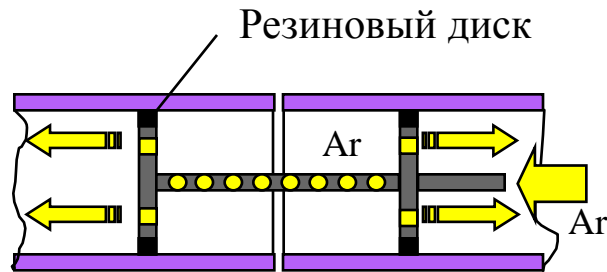
- В большинстве случаев стальные трубы варятся TIG способом без поддува с обратной стороны.
- Поддув можно применять для защиты металла корня шва.
- На паропроводах, сосудах высокого давления и др., где к корню трубного стыка предъявляются высокие требования качества, можно применять поддув для снижения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

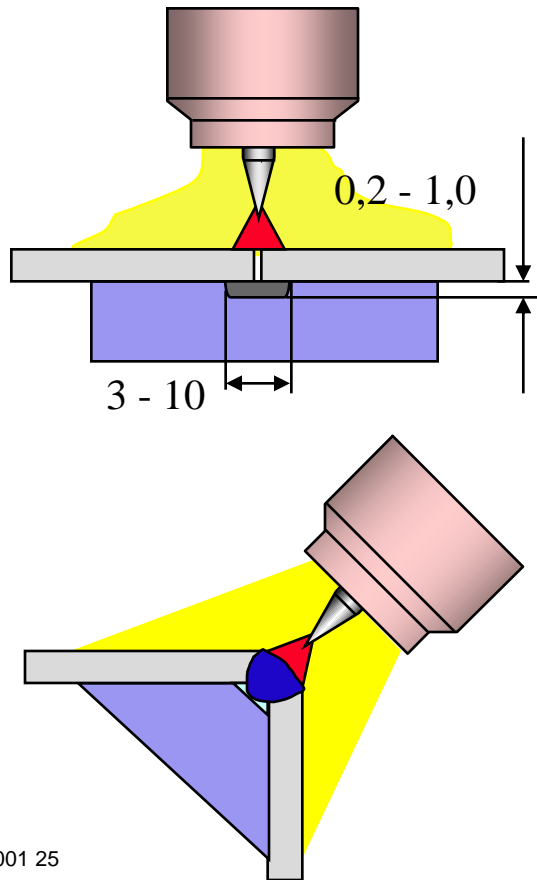
- Лучшая защита корня шва.
- Заполнение внутреннего пространства аргоном перед сваркой.



- 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



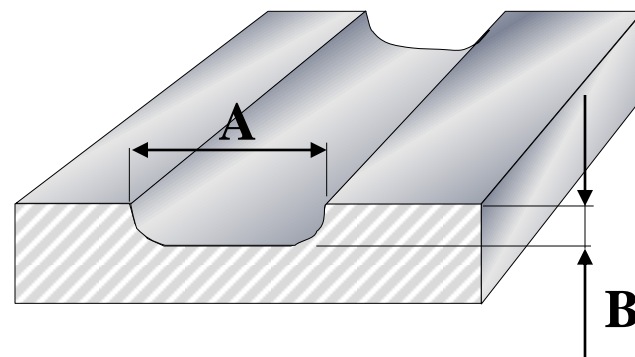
**При сварке стали часто применяется медная подкладная пластина.**

- 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

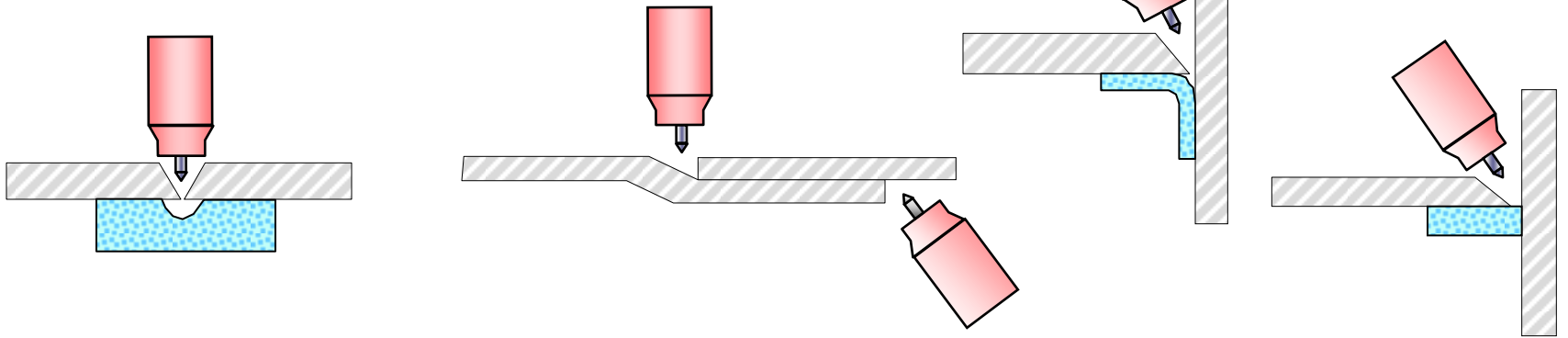
- Глубина канавки должна соответствовать толщине пластины.
- Слишком мелкая канавка быстро охлаждает шов и вызывает дефекты в корне.
- Слишком глубокая канавка дает большое усиление и сварочную ванну.
- Это обуславливает: высокое тепловложение, низкую скорость сварки, неправильную форму шва.

Толщина (мм)	A	B
$\leq 1.5$	10	0.2 - 0.5
$\leq 6.0$	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.**

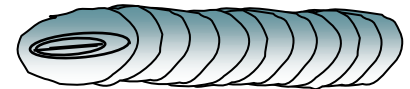
## **Преимущества:**

- 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:**

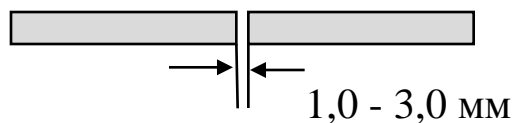
- Контролируемое завершение без появления кратера
- Снижен перегрев металла ( на краях пластины )
- Возможность регулирования тепловложения в раскрытии



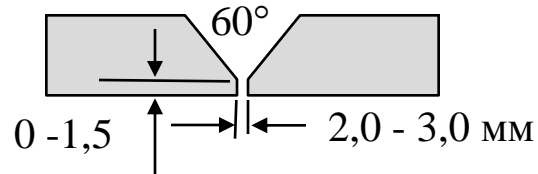
# Формы сварных стыков

Ручная TIG  
сварка с присадкой

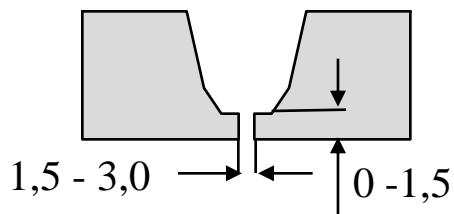
$S < 3 \text{ мм}$



$S = 4 - 8 \text{ мм}$

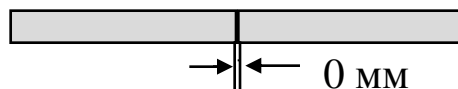


$S > 4 \text{ мм}$

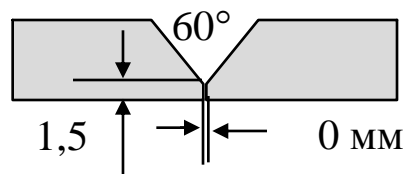


Ручная TIG  
без присадки

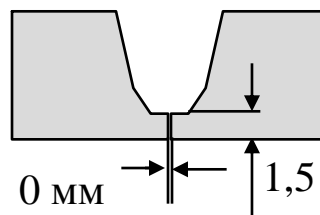
$S < 3 \text{ мм}$



$S = 3 - 15 \text{ мм}$

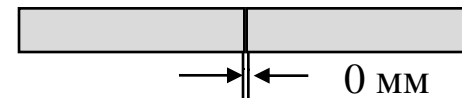


$S > 4 \text{ мм}$

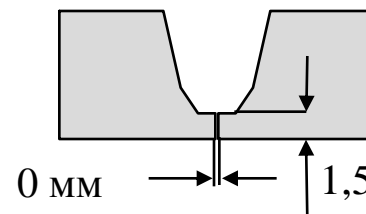


Автоматическая  
TIG сварка

$S < 4 \text{ мм}$



$S > 4 \text{ мм}$



# 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.

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

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

# Коэффициент тепловложения

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

Коэффициент тепловложения учитывает потери тепла при сварке

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

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



# Средний ток

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

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

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

Для точного расчета нужны все параметры импульса.

# TIG обработка

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

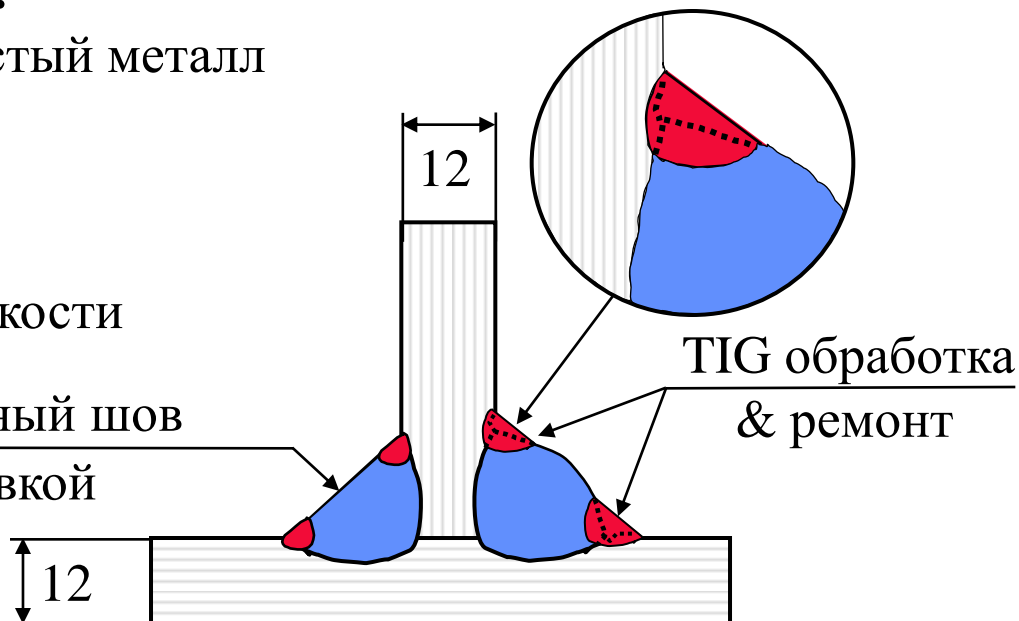
- увеличить прочность сварного шва
- исправить внешний вид шва ( выпуклый профиль )
- исправить дефекты шва ( подрезы )
- избежать зачистки

**TIG обработка применяется:**

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

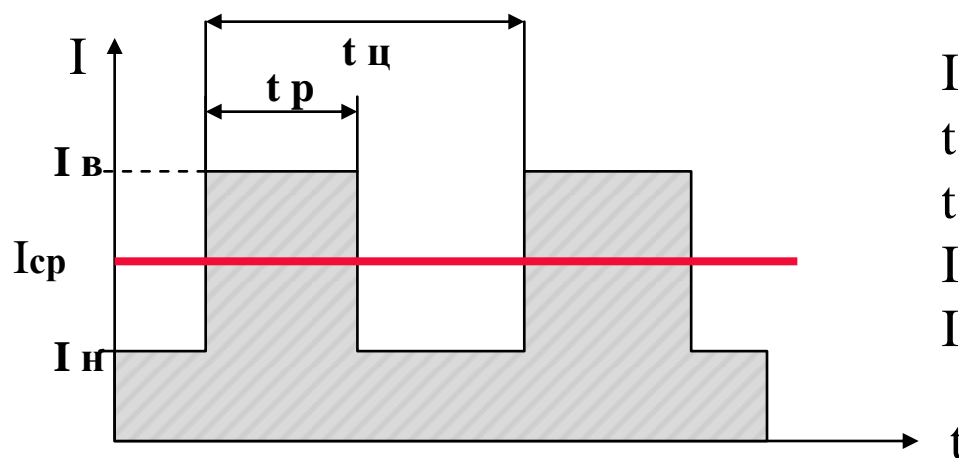
а-размер 6 мм, идеальный шов

TIG обработка с наплавкой



# Импульсная TIG сварка стали

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



$I_{\text{ср}}$  = Средний ток

$t_{\text{ц}}$  = Время цикла /  $f$  = частота

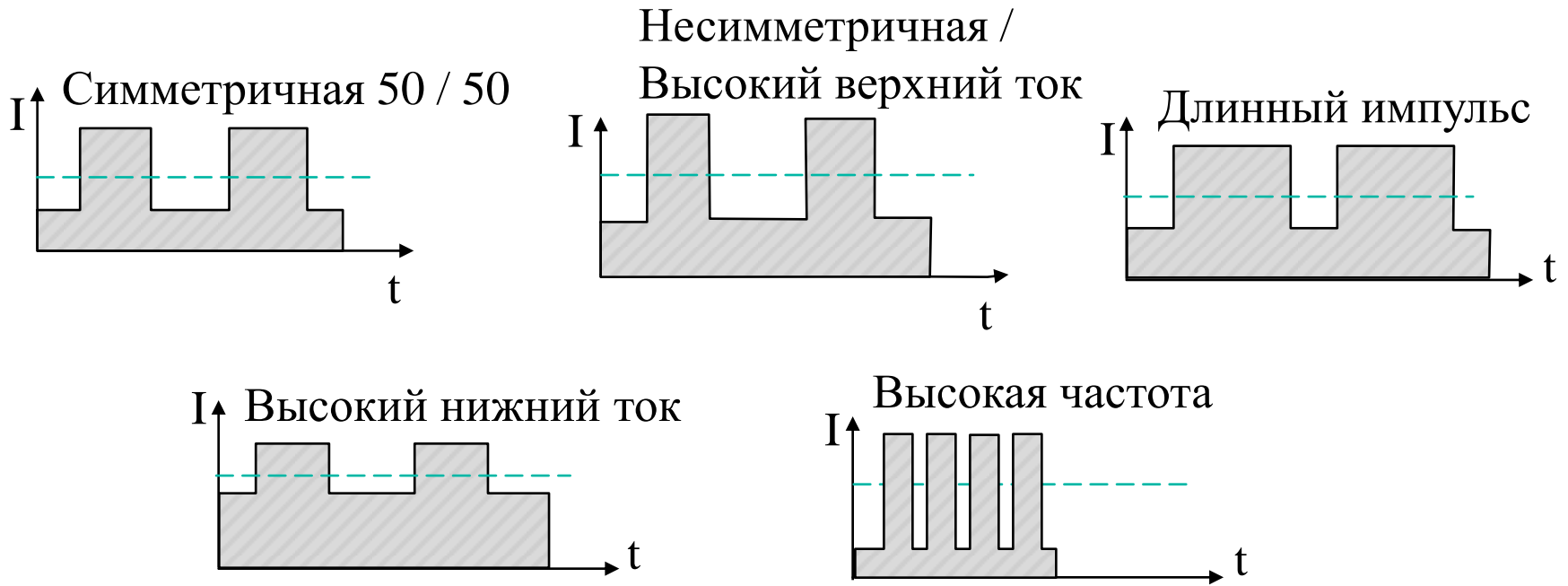
$t_{\text{п}}$  = Время импульса

$I_{\text{в}}$  = Верхний ток

$I_{\text{н}}$  = Нижний ток

Современные TIG аппараты автоматически считают средний ток по параметрам импульса.

# Варианты настройки параметров импульса



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

# Высокочастотный импульс ( RP )

**Импульсная TIG сварка делится на высоко- и низкочастотную:**

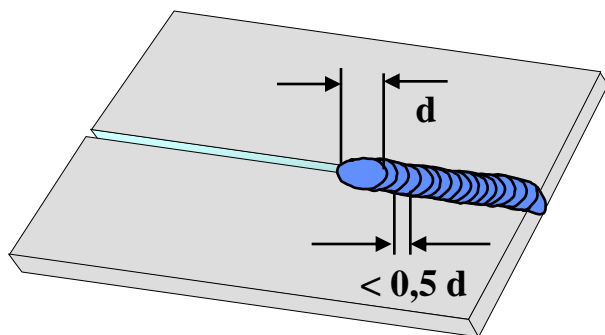
- Частота от 50 до 500 Гц ( 0,02 - 0,002 с )
- Высокая частота обеспечивает глубокое проплавление
- Малый нижний ток уменьшает размер св. ванны → легче контроль
- Низкое тепловложение
- Дуга выглядит как при обычной TIG сварке
- Высокий уровень шума ( особенно при высокой частоте )
- Для тонкого металла ( 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.

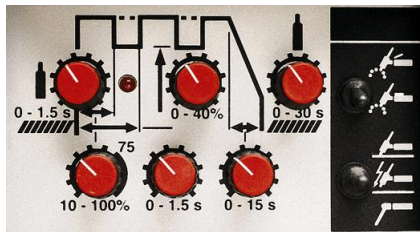
# Настройка параметров при импульсной TIG сварке

- 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 Кемппи для импульсной TIG сварки

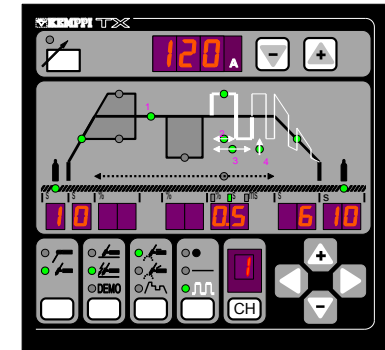
Современные TIG аппараты позволяют точную регулировку и запись в память всех параметров сварки.



Mastertig  
1500 / 2200  
2800 / 2850 / 3500  
2850 W / 3500 W



Mastertig AC / DC  
Pulse panel



Protig 400  
TX-panel

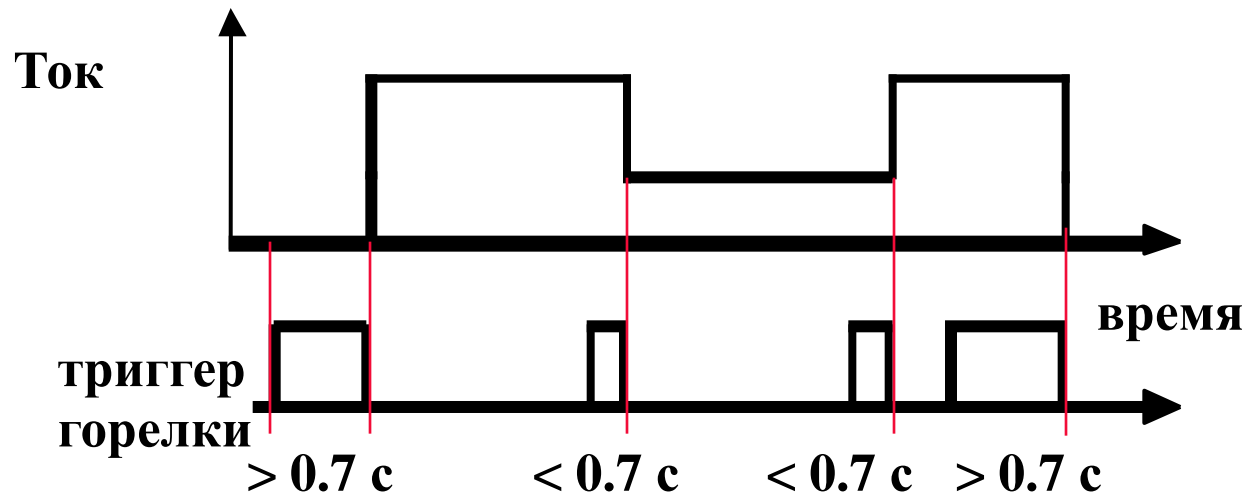
# Применение импульсной DC TIG сварки

**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

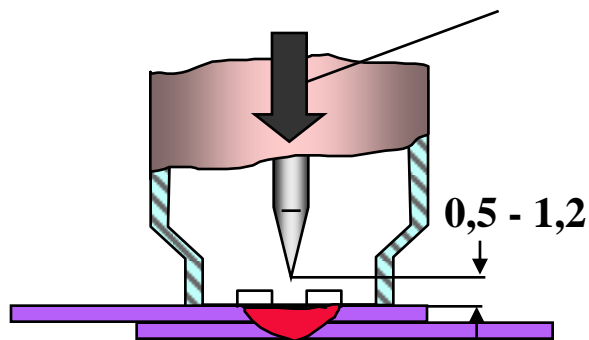
- Чтобы избежать дефектов сварки на старте.
- Лучше контроль св. ванны при смене положения.
- Лучше контроль ванны при переменном зазоре.
- Сварщик может перестроиться и взять кусок присадки, не прерывая горение дуги.
- Для мягкого или горячего старта.
- Записывается 2 значения силы тока.
- Снижает необходимость 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
<b>1,0 mm</b>	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
<b>2,0 mm</b>	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
<b>3,0 mm</b>	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
<b>4,0 mm</b>	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
<b>5,0 mm</b>	Corner joint	160	140	140	2,4 - 3,2	3,2	100 - 150

