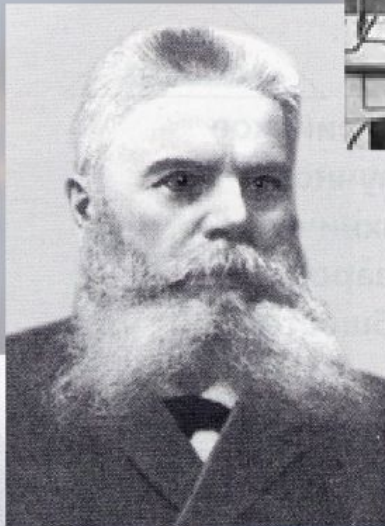


Лекция № 12
«Сварка»

РОЛЬ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

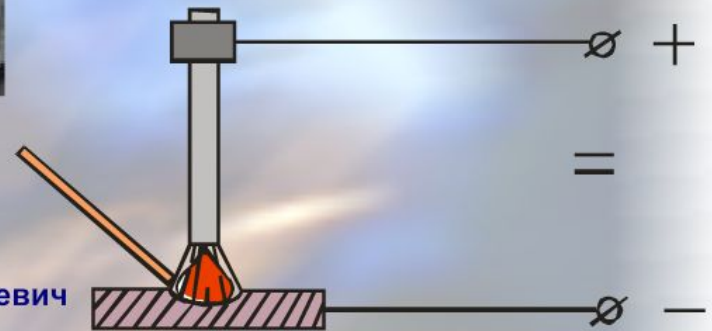


Петров В. В., русский ученый,
в 1802 году открыл явление
электрического расплавления металлов.



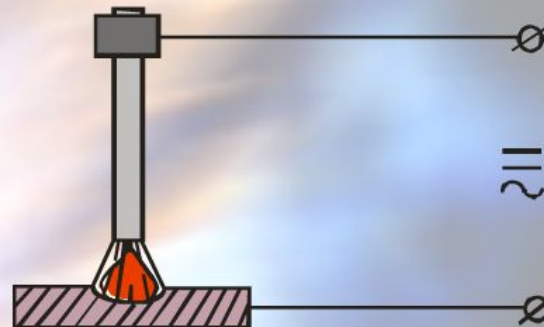
БЕНАРДОС
Николай Николаевич
(1842-1905)

Выдающийся русский инженер, основоположник
электродуговой сварки неплавящимся угольным электродом.



СЛАВЯНОВ
Николай Гаврилович
(1854-1897)

Русский инженер – металлург. Создатель способа дуговой сварки
плавящимся металлическим электродом.



СВАРКА

- получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании

Сварное соединение – неразъемное соединение, выполненное сваркой.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ:

1. Зачистка соединяемых поверхностей (освободить связи поверхностных атомов от атомов кислорода, водорода и азота, находящихся в атмосфере).
2. Активация поверхностных атомов, т.е. сообщить им дополнительную энергию (энергию активации).
3. Сближение соединяемых поверхностей на расстояния, при которых между ними возможно атомно-молекулярное взаимодействие (для металлов – сопоставимы с размером крист. решетки $\sim 4 \cdot 10^{-10}$ м).

Сближению поверхностей препятствуют их неровности, а так же загрязнения и оксидные пленки. Для преодоления их влияния необходимо затратить энергию, которая передается свариваемым поверхностям *нагревом* и (или) *давлением*.

СВАРКА КЛАССИФИЦИРУЕТСЯ ПО ФИЗИЧЕСКИМ, ТЕХНИЧЕСКИМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ.

I. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРКИ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

1. В зависимости от агрегатного состояния вещества в зоне сварки:

-Сварка плавлением

-Сварка давлением

2. В зависимости от энергоносителя определяется вид сварки.

-электрическая дуга – дуговая сварка: РДС, дуговая сварка под флюсом, дуговая сварка в защитном газе, плазменная сварка.

-газ – газовая сварка : ацетиленокислородная сварка.

- *излучение*: лазерная сварка, электронно-лучевая сварка.

-электрический ток - электрошлаковая сварка,

-контактная сварка - сварка давлением (*стыковая и шовная контактная сварка, конденсаторная сварка, высокочастотная контактная сварка, индукционная сварка*).

-движение массы: сварка трением, холодная сварка, ударная сварка (сварка взрывом), ультразвуковая сварка.

- *прочие источники энергии*: диффузионная сварка, сварка прокаткой

II. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

1. По способу защиты зоны сварки от влияния атмосферы:

- 1.1. *Без защиты* (лазерная сварка в воздухе)
- 1.2. *С газошлаковой защитой* (РДС, дуговая сварка под флюсом)
- 1.3. *Со шлаковой защитой* (электрошлаковая сварка)
- 1.4. *С газовой защитой* (сварка в защитных газах)
- 1.5. *С вакуумной защитой* (электронно-лучевая сварка)

2. По непрерывности процесса сварки:

- 2.1. *Сварка в непрерывном режиме*
- 2.2. *Сварка в импульсном режиме*
- 2.3. *Сварка в импульсно-периодическом режиме*

3. По степени механизации:

- 3.1. *Ручная сварка* - сварка, при которой электрододержатель, ручной сварочный пистолет или горелка управляются вручную.
- 3.2. *Частично механизированная сварка* - ручная сварка, при которой подача проволоки механизирована
- 3.3. *Полностью механизированная сварка* - все главные операции механизированы (исключая погрузку-разгрузку деталей)
- 3.4. *Автоматическая сварка* - все операции механизированы

III. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРКИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

- признаки устанавливаются для каждого вида сварки отдельно.

Например, для дуговой сварки: **род тока; полярность св. тока; вид св. дуги; вид электрода**)

Технические и технологические признаки определяют способ сварки.

Технические и технологические признаки	Признаки способа сварки
Род тока	<i>Постоянный</i> <i>Переменный</i>
Полярность постоянного св. тока	<i>Прямая</i> <i>Обратная</i>
Вид сварочной дуги	<i>Дуга прямого действия</i> <i>Дуга косвенного действия</i> <i>Трехфазная дуга</i>
Вид электрода	<i>Плавящийся электрод</i> <i>Неплавящийся электрод</i> с присадочным материалом и без него <i>Покрытый электрод</i> - плавящийся электрод с покрытием <i>Электродная проволока</i> – св. проволока в качестве плавящегося электрода.

Сварка на переменном токе и постоянном токе прямой и обратной полярности.

В зависимости от рода тока различают сварку на переменном токе и сварку на постоянном токе

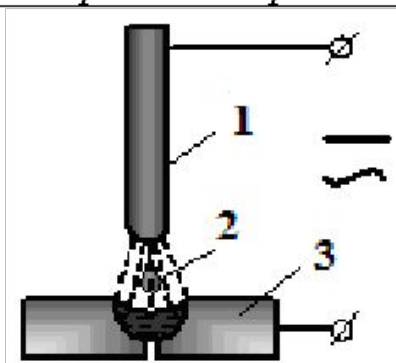


Рис. 1С Схема сварки на переменном и постоянном токе

Сварка на переменном токе (\sim);
Сварка на постоянном токе ($—$).
При сварке на постоянном токе дуга горит устойчивее, чем на переменном.

При сварке на постоянном токе различают сварку на прямой и обратной полярности

Прямая полярность



Рис. 2С Схема сварки на постоянном токе прямой полярности

Прямая полярность - полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект сварки - к положительному.

Обратная полярность

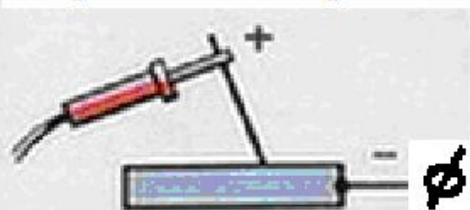


Рис. 3С Схема сварки на постоянном токе обратной полярности

Обратная полярность - полярность, при которой электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания дуги, а объект сварки - к отрицательному.

СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ

- осуществляется оплавлением сопрягаемых поверхностей без приложения внешней силы, при которой обычно, но не обязательно, добавляется расплавленный присадочный металл. Выполняется при T равных, или выше $T_{пл}$ свариваемого металла.

Дуговая сварка

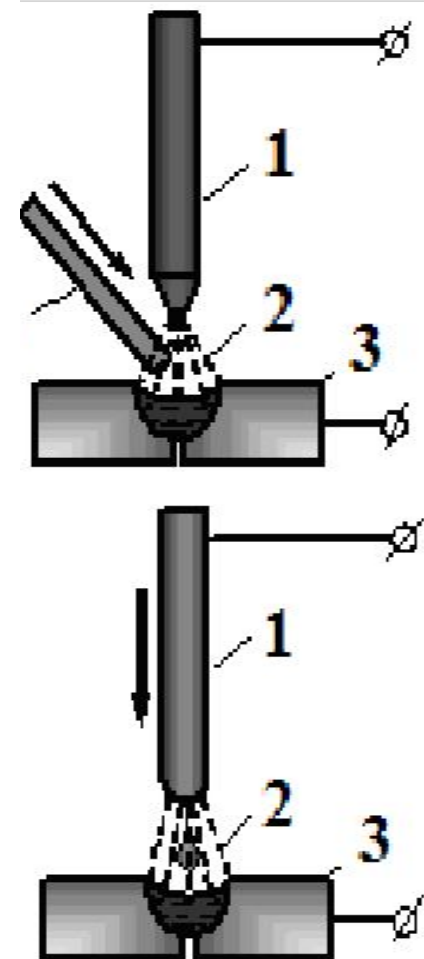
Источником теплоты является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой.

Сварочная дуга – мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

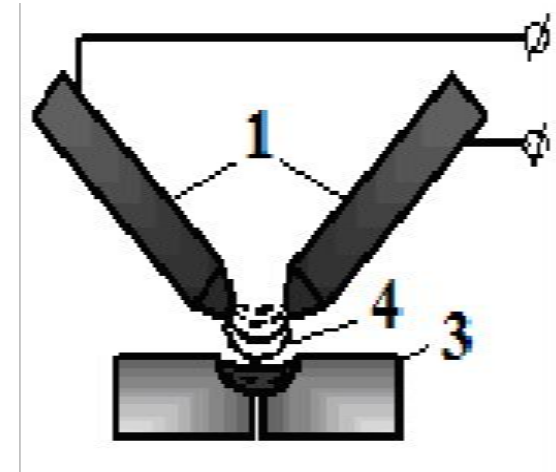
Виды сварки:

4

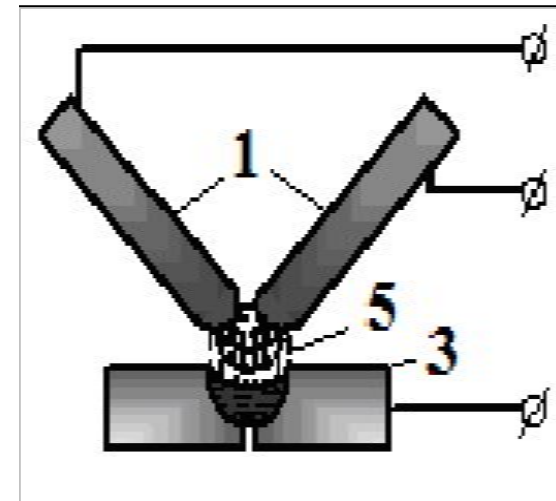
- **сварка неплавящимся электродом** (графитовым или вольфрамовым) 1 дугой прямого действия 2 с расплавлением основного 3, либо присадочного металла 4;
- **сварка плавящимся электродом** (металлическим) 1 дугой прямого действия 2 с расплавлением осн. металла 3 и электрода;



- *сварка косвенной дугой 4*, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами (в);



- *сварка трехфазной дугой*, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (г).



Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

Ручная дуговая сварка (РДС).

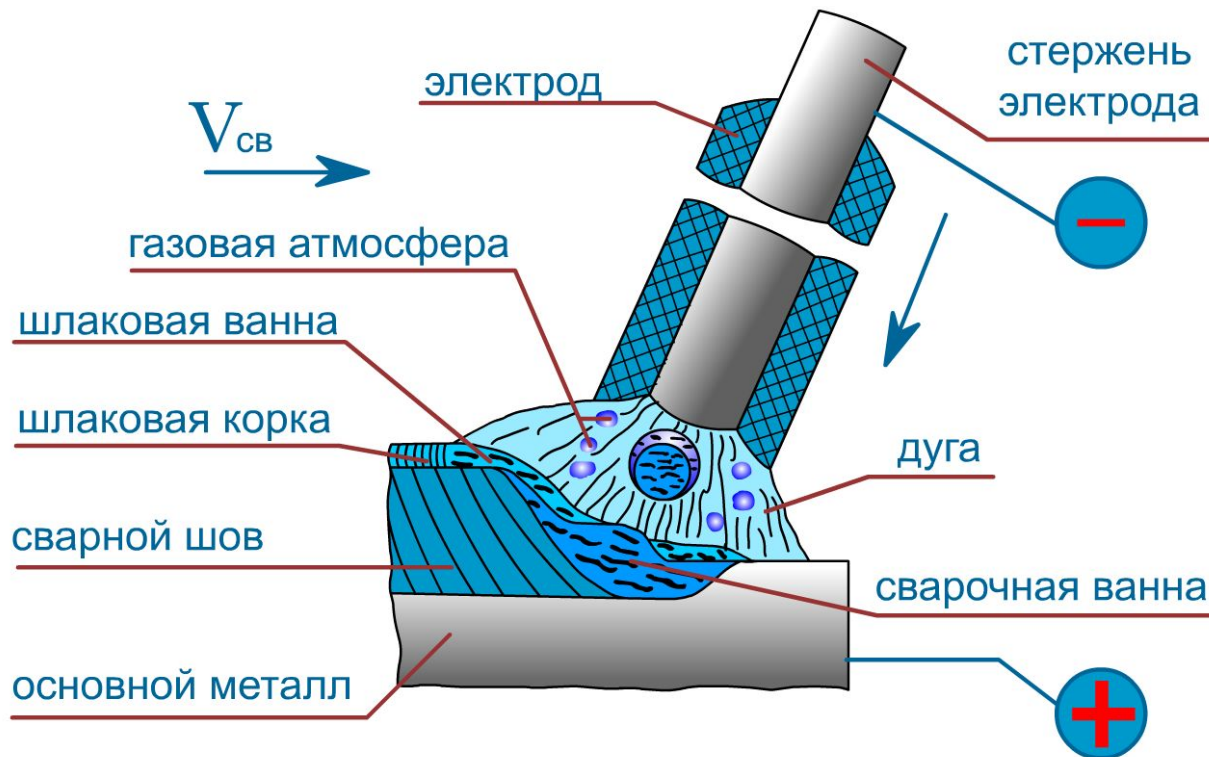
РДС выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки.

(позволяет выполнять швы в любых положениях (нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном), в труднодоступных местах при сборке конструкций сложной формы)

Оборудование:

источник питания, электрододержатель, гибкие провода, защитная маска или щиток.

Покрытие – порошкообразная смесь различных компонентов.



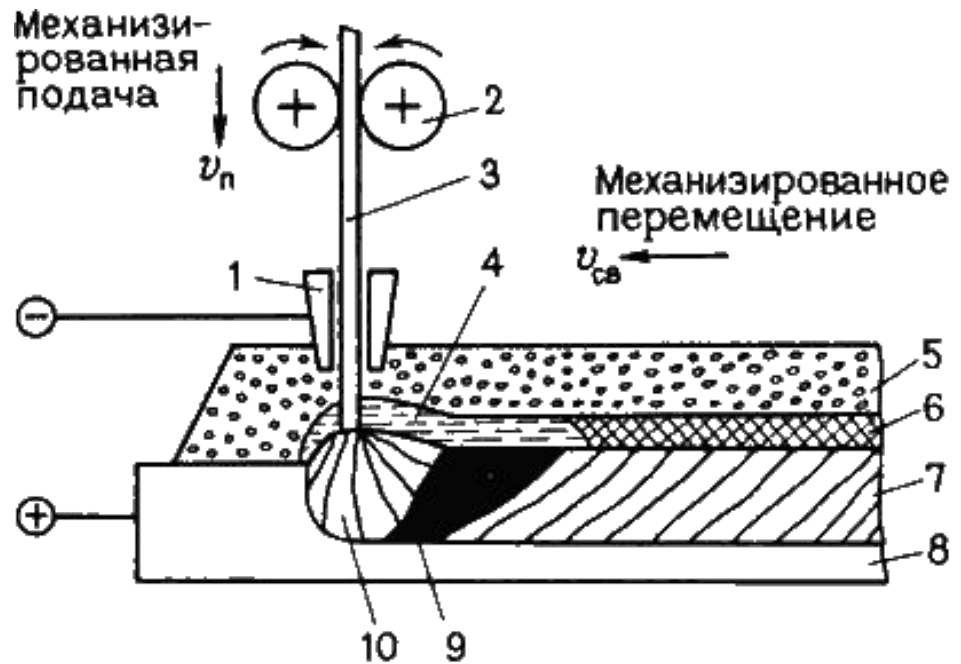
Назначение покрытия - повысить устойчивость горения дуги, провести металлургическую обработку сварочной ванны, обеспечить защиту расплавленного металла от атмосферных газов и улучшить качество сварки.

Электроды с защитно-легирующим покрытием называются качественными электродами.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом

Используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и св. ванны от воздуха.

- 1 – токопровод;
- 2 – механизм подачи проволоки;
- 3 – проволока;
- 4 - жидкий шлак;
- 5 – слой флюса (30...50 мм);
- 6 – шлаковая корка;
- 7 – сварной шов;
- 8 – основной металл;
- 9 – жидкая ванна металла;
- 10 – дуга.



Подача и перемещение электродной проволоки механизированы.

Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва.

Характерно глубокое проплавление осн. металла.

Преимущества по сравнению с РДС:

- повышение производительности процесса в 5...20 раз;
- повышение качества сварных соединений;
- уменьшение себестоимости 1 м сварного шва.



Флюсы

Плавленные - флюсы для сварки НУ и НЛ сталей (раскисляют шов и легируют *Mn* и *Si*).

Получают сплавлением марганцевой руды, кремнезема и плавикового шпата в электропечах.

Керамические - флюсы для сварки Л и ВЛ сталей – обеспечивают минимальное окисление легирующих элементов в шве.

Основа – мрамор, плавиковый шпат и хлориды щелочно-земельных металлов.

Применяют керамические низкремнистые, безкремнистые и фторидные флюсы

Их изготавливают из порошкообразных компонентов замесом их на жидком стекле, гранулированием и последующим прокаливанием.

Дуговая сварка в защитных газах

При сварке электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа:

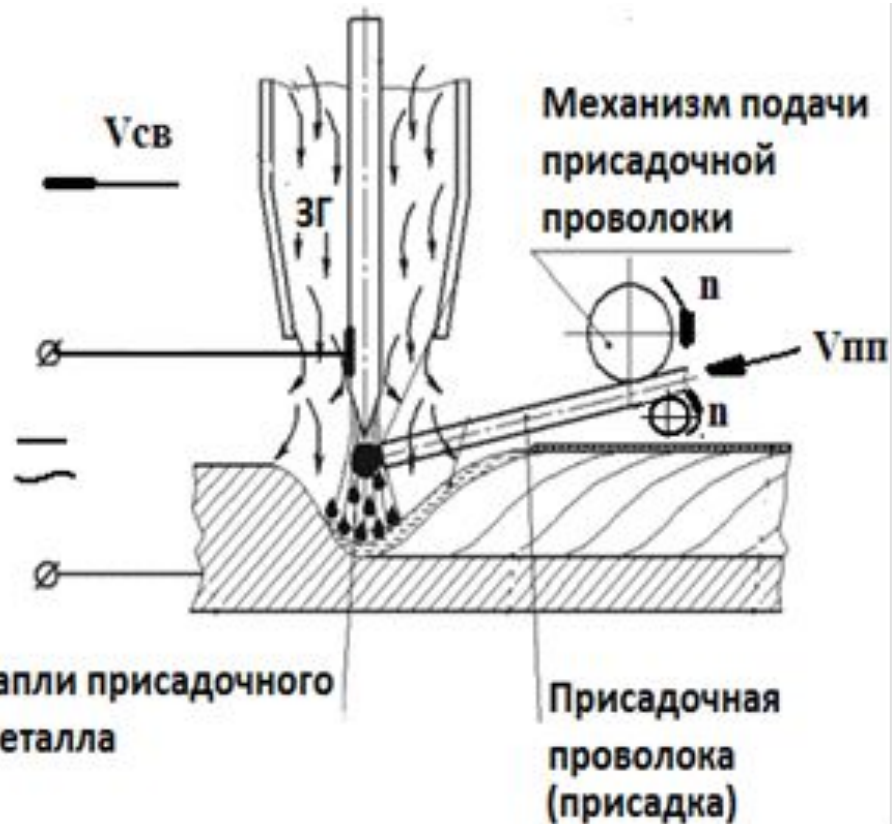
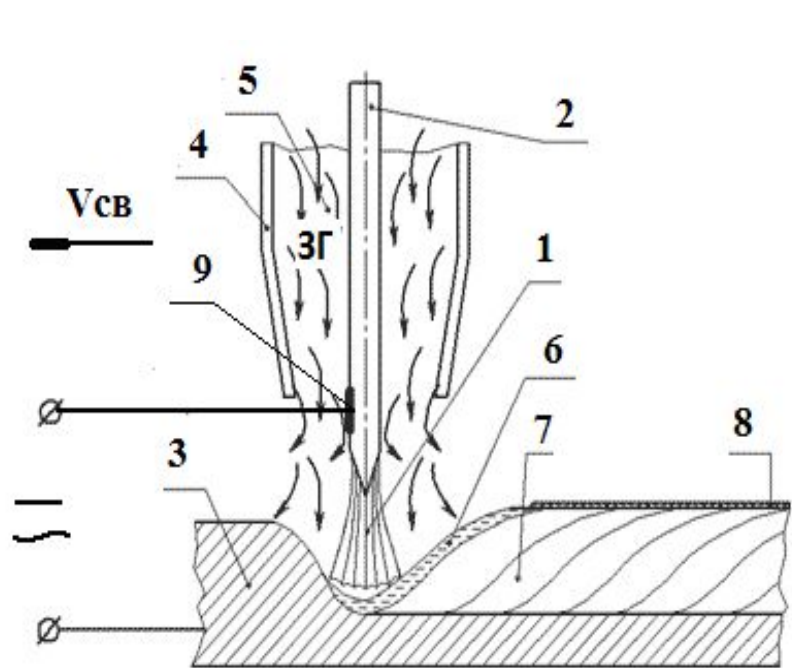
- инертного – аргон, гелий;
- активного – углекислый газ, азот, водород.

Сварка в инертных газах:

- неплавящимся электродом (пруток вольфрама);
- плавящимся электродом (проволока из осн. металла или близкого ему по составу).

Аргонодуговую сварку применяют для Л и ВЛ сталей, цветных (Al, Mg, Cu) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов (узлы летательных аппаратов, атомных установок, трубопроводы хим. аппаратов).

Дуговая сварка в защитном газе неплавящимся вольфрамовым (W) электродом



а – без присадки (только осн. металл);

б – с присадочной проволокой

$V_{св}$ – скорость сварки; $V_{пп}$ – скорость подачи присадочной проволоки.

1 – св. дуга; 2 – неплавящийся электрод; 3 – изделие; 4 – сопло; 5 – защитный газ (ЗГ);
6 – св. ванна; 7 – св. шов; 8 – слой шлака; 9 – токопровод;

ЗГ при сварке вольфрамовым электродом - только инертные газы - Ar , He или их смесь.
(CO_2 применять нельзя, т.к. образующийся O_2 окисляет вольфрамовый электрод).

Сварка в углекислом газе

выполняется только плавящимся электродом

Защита сварочной ванны осуществляется CO_2 , который активен к жидкому металлу ($2\text{CO}_2 \rightarrow \text{нагрев} \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$), окисляет Fe и легирующие элементы.

Окисляющее действие O_2 нейтрализуется введением раскислителей (Si и Mn).

Хорошее качество сварного шва получается при использовании специальной порошковой проволоки.

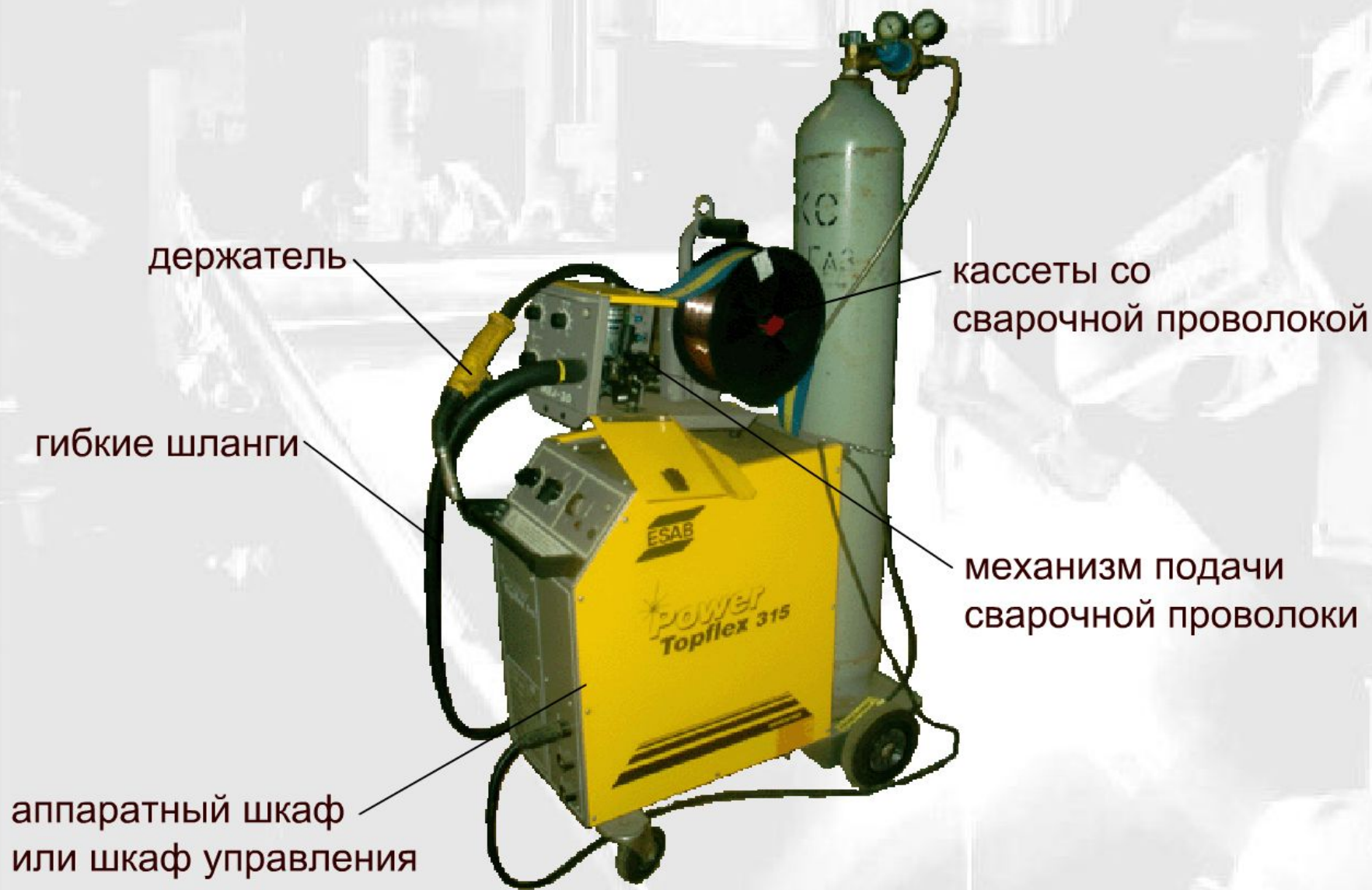
Обычно свариваются конструкции из углеродистых и низколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.п.).

При сварке меди, алюминия, титана и редких металлов невозможно связать свободный кислород введением раскислителей.

Преимущества – низкая стоимость CO_2 и высокая производительность

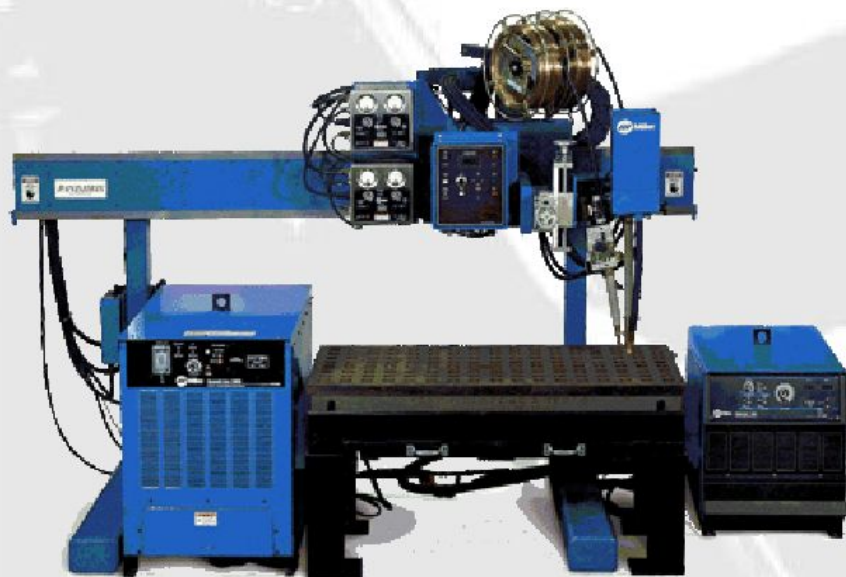
Недостаток – разбрызгивание металла (на зачистку – 30...40% времени сварки)

Основные элементы полуавтоматов для сварки в среде защитного газа



Основными параметрами режима сварки в защитном газе являются:

- род тока и полярность
- диаметр электродной проволоки
- сварочный ток
- напряжение дуги
- скорость подачи электродной проволоки
- расход углекислого газа
- вылет и наклон электрода



Плазменная сварка

-дуговая сварка, при которой нагрев осуществляется сжатой дугой

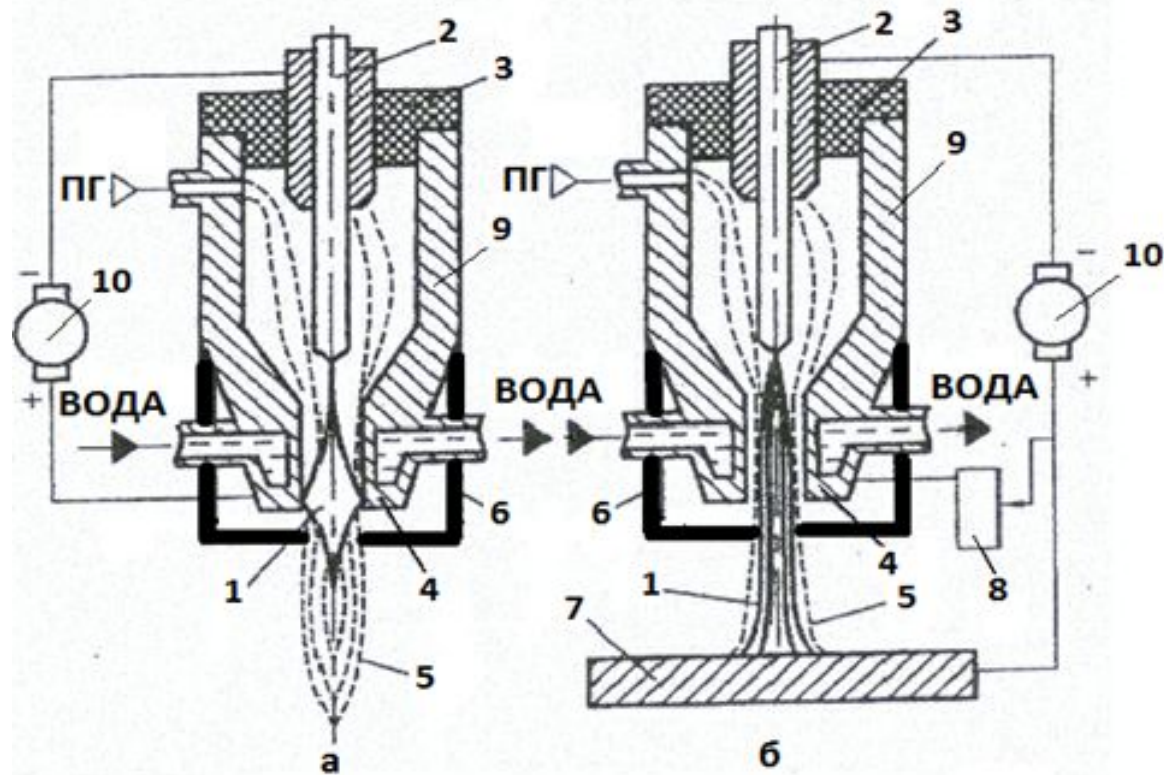
Сжатая дуга - дуга, столб которой сжат с помощью сопла плазменной горелки, потока газа или внешнего электромагнитного поля.

Плазменная сварка дугой косвенного действия - источник питания подключен к электроду и соплу (рис. а).

Плазменная сварка дугой прямого действия - источник питания подключен к электроду и заготовке (рис. б)

Плазменная сварка может быть автоматической, механизированной и ручной

1 – дуга, 2 – вольфрамовый неплавящийся электрод, 3 – керамический изолятор, 4 – основное сопло плазмотрона, 5 – плазма, 6 – сменная насадка плазмотрона, 7 – свариваемое изделие, 8 – устройство для зажигания маломощной вспомогательной дуги, ПГ – плазмообразующий газ;



Источник теплоты – плазма.

Плазменная струя – направленный поток ионизированного газа с $T = 20000\text{--}30000^\circ\text{C}$.

Плазму получают в плазменных горелках (плазмотронах), пропуская плазмообразующий газ (ПГ) через столб горячей дуги 1, сжатой в узком канале сопла горелки 4.

Сжатие столба дуги приводит к повышению плотности энергии и T .

ПГ, проходящий через столб дуги, ионизируется и выходит из сопла в виде высокотемпературной плазменной струи.

В качестве ПГ применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух или их смеси.

При сварке плазменной струёй (дугой косвенного действия) (а) дуга 1 горит между вольфрамовым электродом 2 (-) и охлаждаемым соплом 4 (+).

Внутри горелки подаётся ПГ, который ионизируется, нагревается и выходит из сопла в виде ярко светящейся плазменной струи 5. Через сменную насадку 6, охватывающую основное сопло 4, в зону сварки дополнительно подаётся защитный газ (ЗГ).

При сварке плазменной дугой (дугой прямого действия) (б) устройство горелки не отличается от рассмотренного. Дуга горит между электродом (-) и заготовкой (+).

Сварка – на постоянном токе прямой полярности.

Электрошлаковая сварка

Тепловую энергию дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока.

1 – заготовки; 2 и 3 – специальные планки;
4 – водоохлаждаемые медные ползуны;
5 – электропроводный шлак; 6 – механизм подачи проволоки;
7 – электродная проволока; 8 – сварочная ванна.

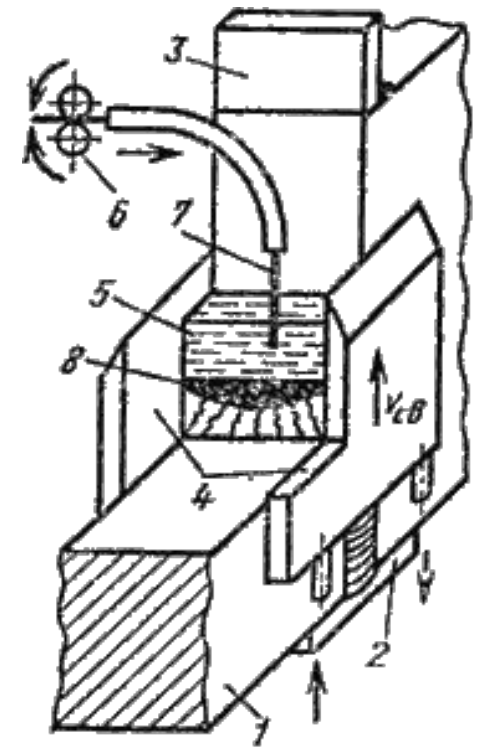
В начале возбуждают дугу, флюс плавится - образуется шлак, шунтирует дугу, она гаснет, эл. цепь замыкается через шлак, что приводит к расплавлению осн. металла и электрода.

В начальном участке шва образуется непровар кромок, а конечном – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают и заканчивают на специальных планках 2 и 3, которые затем удаляют газовой резкой.

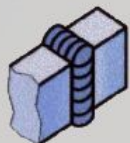
Преимущества – сварка металла толщиной от 16 мм до 2 м.

Недостаток – образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. Необходимо проведение нормализации или отжига.

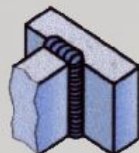
Применяют в тяжелом машиностроении для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций; станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин.



Электрошлаковой сваркой (ЭШС) можно выполнять различные соединения в вертикальном положении.



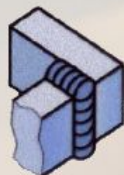
Стыковое разнотолщинное соединение



Тавровое соединение



Соединение переменной толщины



Угловое соединение



Тавровое соединение с угловыми швами

ЛУЧЕВЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ

Электронно-лучевая сварка

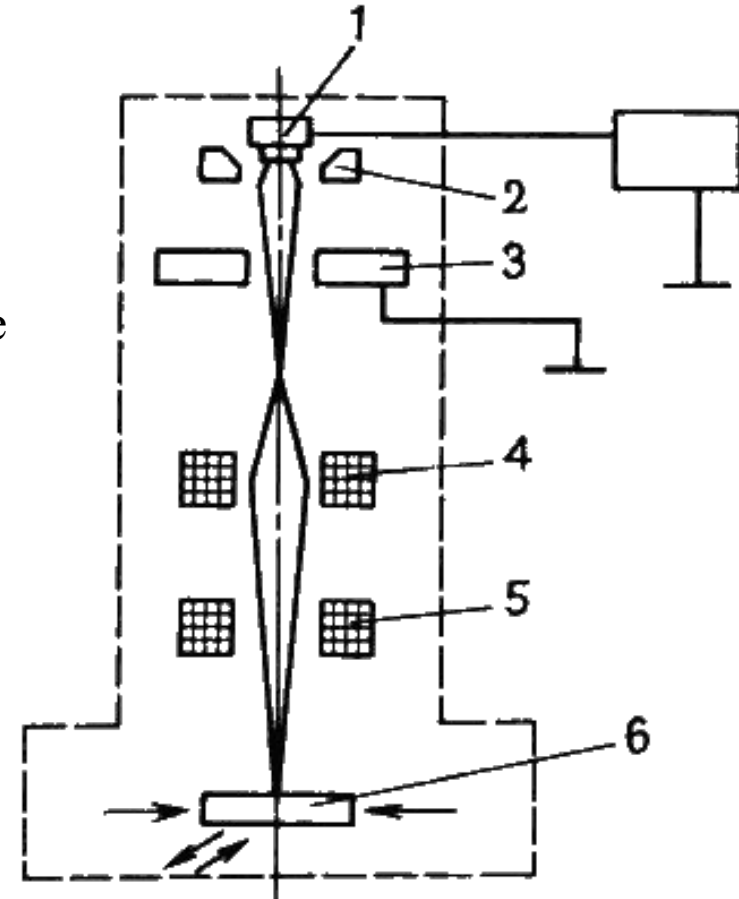
1 – катод; 2 – электрод; 3 – анод (разность потенциалов между 1 и 3 – 20...150 кВ);
4 и 5 - отклоняющая магнитная система; 6 – обрабатываемое изделие.

На электрод 2 подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Ток электронного луча невелик – от нескольких миллиампер до единиц ампер.
 $T = 5000...6000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сварка протекает в вакууме, обеспечивается получение зеркально чистой поверхности и дегазация металла;
Шов получается мелкозернистый с высокими механическими свойствами, с минимальной шириной.

Изготавливают детали из тугоплавких, химически активных материалов (вольфрам, тантал, молибден), алюминиевых и титановых сплавов, высоколегированных сталей.

Толщина заготовок – 0,02...100 мм.



Лазерная сварка.

– способ сварки плавлением, при которых металл нагревают излучением лазера.

Преимущества:

- быстрый точечный нагрев и большая *Voхл* металла после прекращения действия луча;
- минимальные ширина околошовной зоны, сварочные напряжения и деформации.

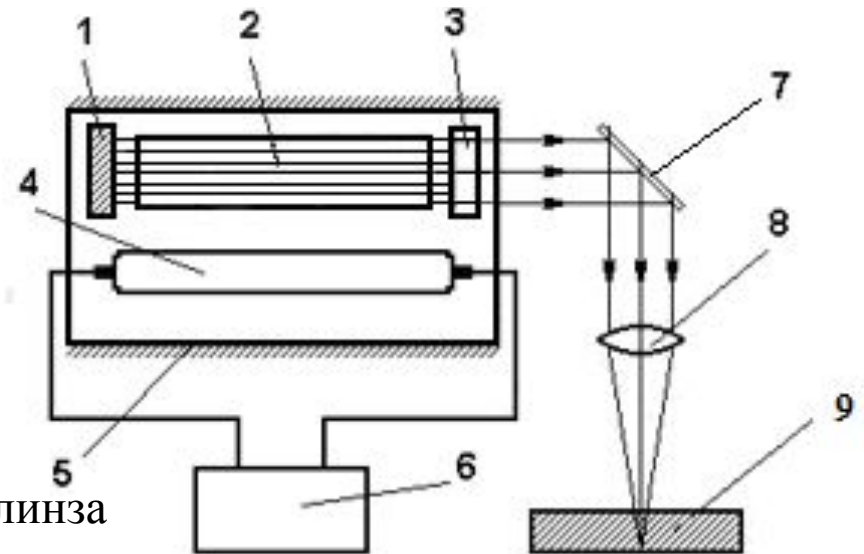
Механизм процессов при лазерной сварке схож с электронно-лучевой сваркой, но не обязательно вакуумировать изделие.

Плотность энергии в фокусе линзы составляет до 10^8 Вт/см², толщина свариваемых заготовок – до 1 мм.

При облучении рабочего вещества 2 световым потоком от лампы накачки 4, атомы активного элемента переходят на более высокий энергетический уровень. Спонтанно возвращаясь на исходный уровень атом излучает порцию энергии в виде кванта света (фотона).

Рисунок - Сварка твердотельным лазером

1. Непрозрачное (глухое) зеркало
2. Рабочее вещество (активный элемент)
3. Полупрозрачное зеркало;
4. Лампа накачки; 5. Отражатель корпуса;
6. Высоковольтный источник питания
7. Отражающее зеркало; 8. Фокусирующая линза
9. Обрабатываемый материал

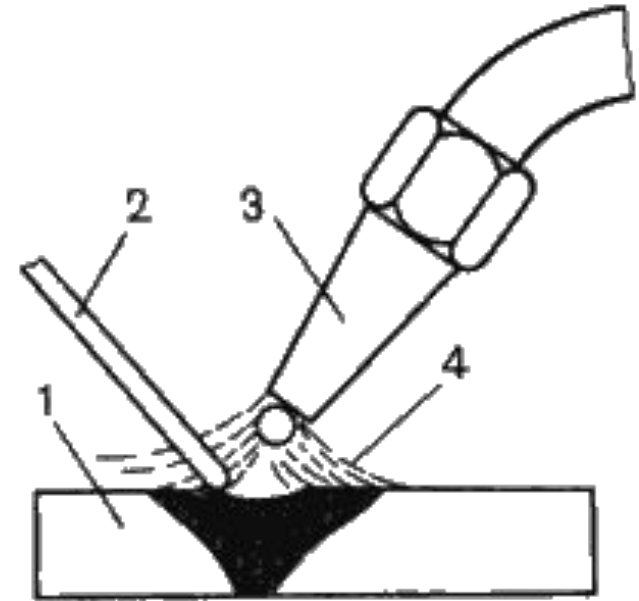


ГАЗОВАЯ СВАРКА

Газовое пламя получается при сгорании ацетилена C_2H_2 в струе O_2 .

Газовая сварка может выполняться как без присадки, так и с присадкой.

- 1 – заготовка;
- 2 – присадочный материал;
- 3 – газовая горелка;
- 4 - высокотемпературное пламя



Мощность пламени регулируют сменой наконечников горелки, нагрев более плавный.

Применяют для сварки:

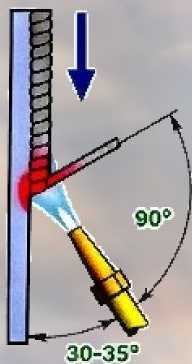
- металла малой толщины (0,2...3 мм);
- легкоплавких цветных металлов и сплавов;
- материалов, требующих постепенного нагрева и охлаждения (инструментальные стали, латуни);
- для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках.

Увеличение толщины заготовки снижает производительность и увеличивает деформацию

ГАЗОВАЯ СВАРКА В РАЗЛИЧНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ

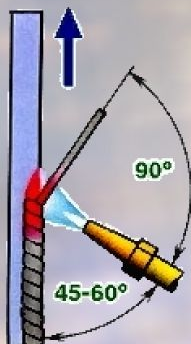
ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ШВЫ

Сверху
вниз

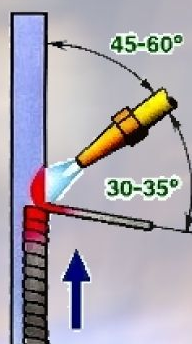


правый

Снизу
вверх

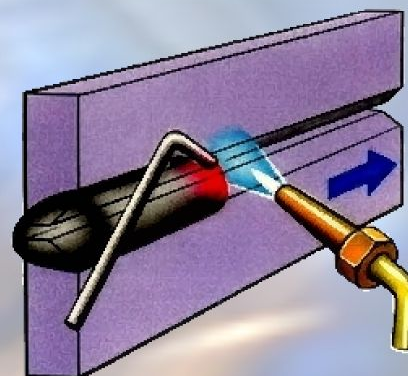


левый



правый

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ШВЫ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ



ПОТОЛОЧНЫЕ ШВЫ

