

# ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ И КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

**Сварка** – это технологический процесс получения неразъёмных соединений из различных материалов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами (атомами) соединяемых заготовок.

Сварка является наиболее важным способом получения неразъёмных соединений.

Свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, как между собой, так и разнородные материалы. В настоящее время различают более 150 видов и способов сварочных процессов.





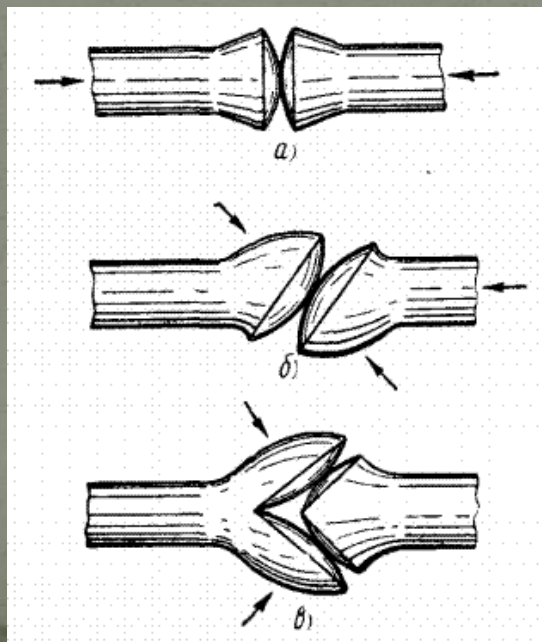
Приемы  
кузнечной  
сварки:

а – встык,

б –

внахлестку,

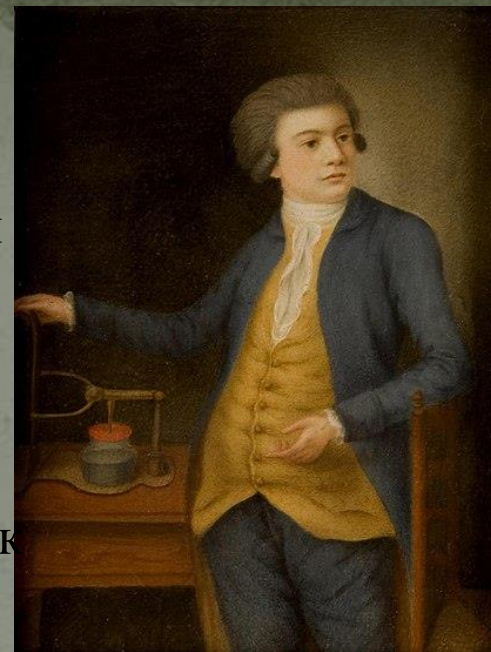
в – в обхват



Первым технологическим процессом в истории техники, с помощью которого люди могли получить неразъёмные соединения материалов, была кузнечная сварка.

Металлографические исследования изделий трипольских племён, живших на территории Юго-Западной Украины и Бессарабии в IV-III тыс. до н.э. показали, что при изготовлении шила, долота, амулетов и нашивных брошей применялась кузнечная сварка меди

В 1802 г. русский ученый **В.В. Петров** открыл явление электрической дуги, описал её свойства и предсказал возможность её применения для освещения и плавления металлов. (8 июля 1761 - 22 июля 1834)



В 1882 г. русский изобретатель **Н.Н. Бернадос** предложил способ **электрической сварки плавлением**, использовал для расплавления кромок соединяемых деталей электрической дугой, горящей между двумя угольными электродами или между угольным электродом и изделием.

1887 г. - получил патент на точечную контактную сварку

26 июня 1842 - 8 сентября 1905.



В 1888 г. русский инженер **Н.Г. Славянов** открыл способ **дуговой сварки плавящимся электродом**. Он же впервые разработал технологические и металлургические основы электродуговой сварки. (23 апреля 1854 - 5 октября 1897)



# Первый сварной мост.

Мост имени Е. О. Патона — один из мостов через Днепр в Киеве.

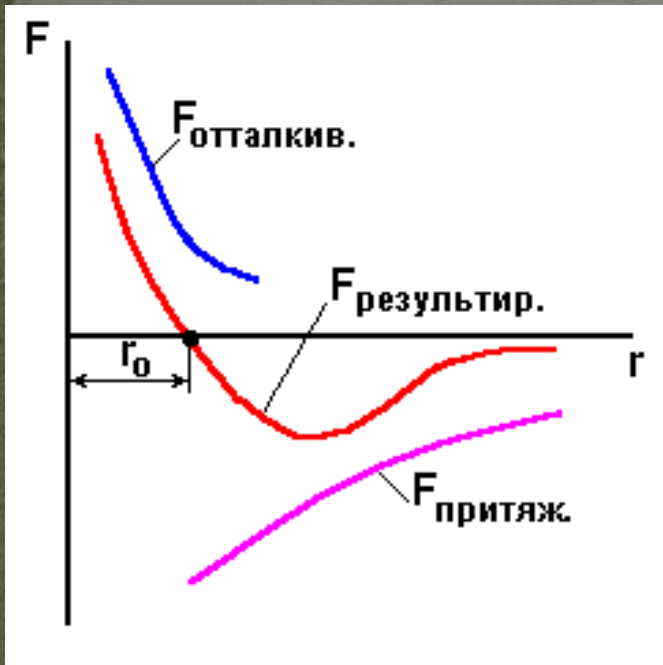


Строительство начато в 1940 году. Построен в 1953 году, движение по мосту открыто 5 ноября 1953 года.

# Физические основы процесса сварки

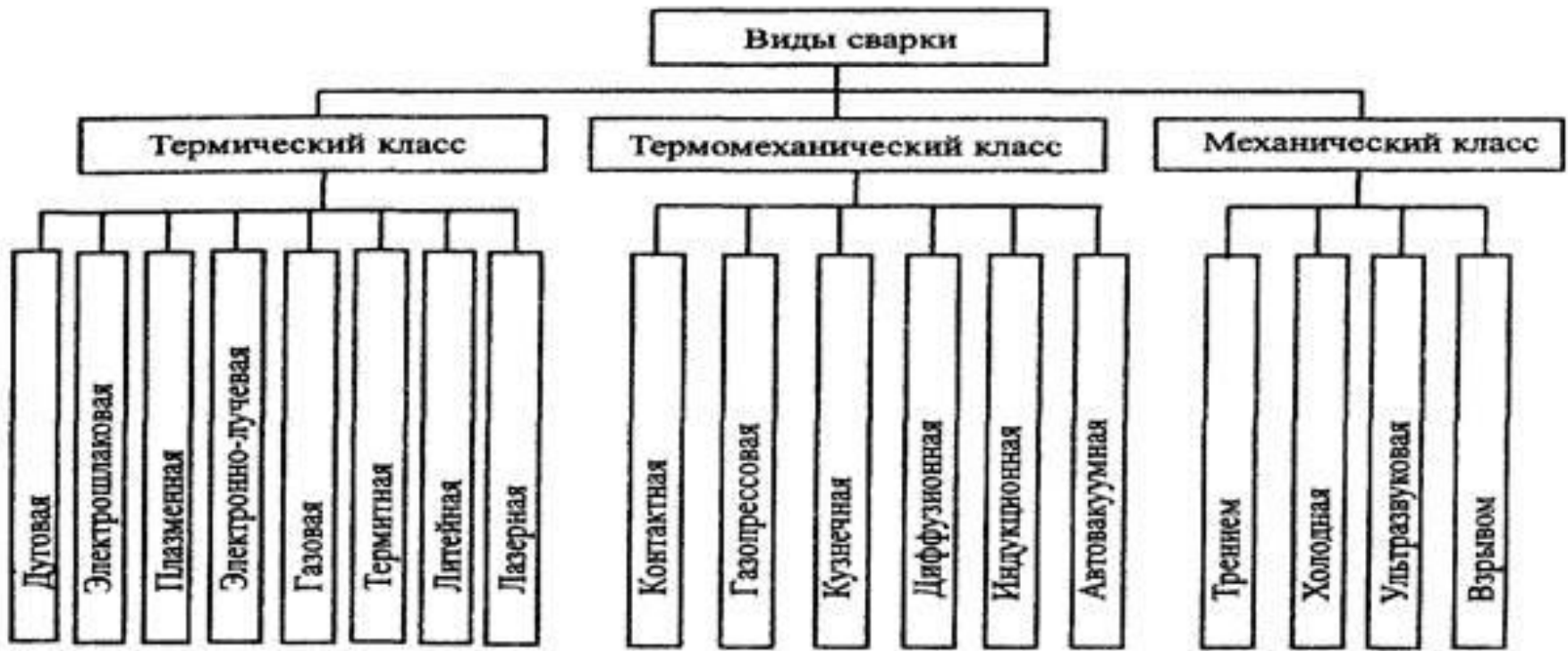
Металлы и сплавы в твердом состоянии являются кристаллическими телами.

Идеализированная схема отдельного кристалла представляет собой кристаллическую решетку кубического или более сложного типа. В узлах решетки расположены положительно заряженные ионизированные атомы металла, а их валентные электроны обобществлены в объеме всего кристалла.



Расстояние между атомами в кристалле определяется силами межатомного взаимодействия. Силы притяжения обусловлены взаимодействием между ионами, составляющими решетку, и подвижными коллективизированными электронами. Силы отталкивания возникают между положительными зарядами ядер атомов и между отрицательными зарядами их электронных оболочек.

# Классификация видов сварки по физическим признакам.



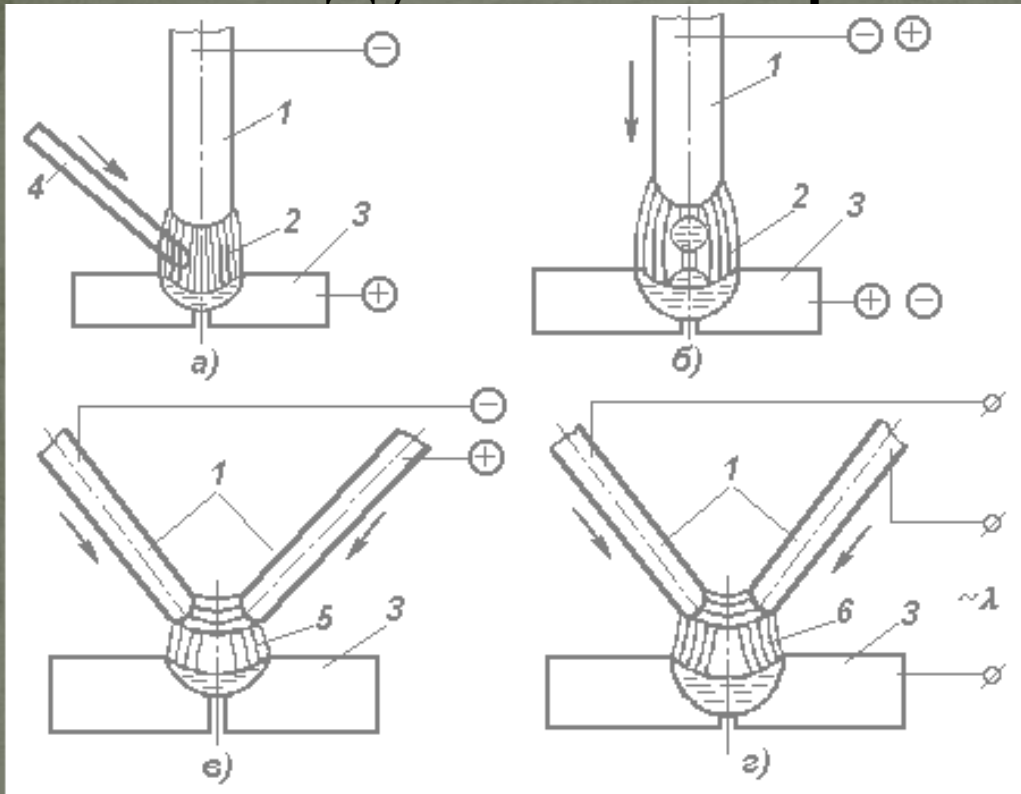
# Электрическая дуга и источники ее питания

В производстве сварных металлоконструкций чаще других способов используется ручная дуговая сварка. Сварка выполняется за счёт тепловой энергии электродугового разряда высокой мощности, с температурой до  $7000^{\circ}\text{C}$ . Дуга горит в воздушном промежутке (3–5 мм) между заготовкой и электродом



*Сварочная дуга – это мощный, стабильный, высокотемпературный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металла.*

# Схемы дуговой сварки.



**1. Сварка неплавящимся электродом** (угольным или вольфрамовым) 1 дугой прямого действия 2 (рис. а). Соединение выполняется путем расплавления только основного металла 3 либо с применением присадочной проволоки 4.

**2. Сварка плавящимся электродом** (металлическим) 1 дугой прямого действия 2

(рис. б). Одновременно расплавляется основной металл 3 и электрод 1, который пополняет сварочную ванну жидким металлом,

**3) Сварка косвенной дугой 5** (рис. в), горящей между двумя неплавящимися электродами 1 (в настоящее время способ почти не применяется).

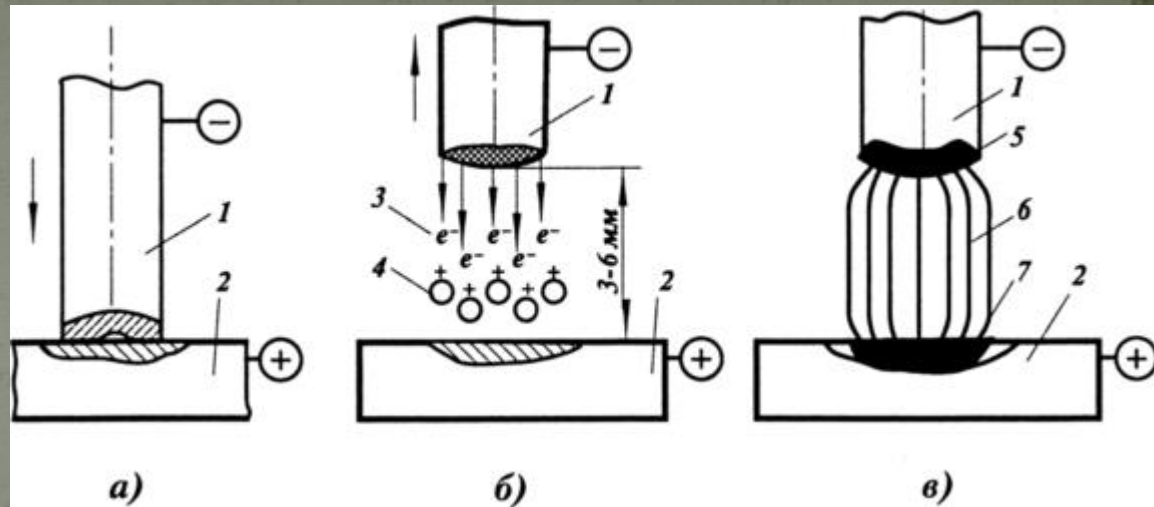
**4) Сварка трехфазной дугой б** (рис. г), при которой дуга горит между электродами 1, а также между каждым электродом и основным металлом 3.



## Процесс зажигания дуги в

большинстве случаев включает в себя три этапа:

1. короткое замыкание электрода на заготовку,
2. отвод электрода на расстояние 3—6 мм и
3. возникновение устойчивого дугового разряда.

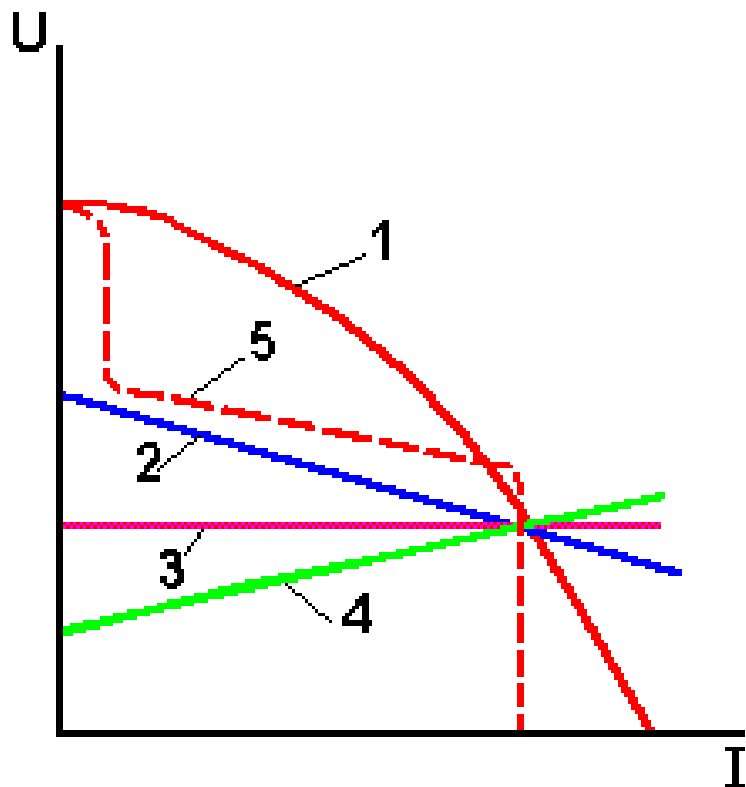


Короткое замыкание (рис. а) выполняют для разогрева торца электрода 1 и заготовки 2 в зоне контакта с электродом. После отвода электрода (рис. б) с его разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается эмиссия электронов 3. Столкновение быстро движущихся по направлению к аноду электронов с молекулами газов и паров металла приводит к их ионизации 4 устойчивого дугового разряда (рис. в).

В результате дуговой промежуток становится электропроводным. Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда (рис. в)

# Источники сварочного тока

Обычные осветительные и силовые источники тока не годятся для сварки. Для питания сварочной дуги требуются источники со специальной внешней характеристикой.



Внешней характеристикой источника называется зависимость напряжения на его выходных клеммах от тока в электрической цепи. Внешние характеристики могут быть следующих видов: *падающая* 1, *пологопадающая* 2, *жесткая* 3 и *возрастающая* 4. Оптимальным, с точки зрения требований сварки, будет источник тока с *идеализированной* внешней характеристикой 5

*Источники питания сварочной дуги* классифицируются по следующим основным признакам:

1. По роду сварочного тока – бывают переменного и постоянного тока.

К источникам переменного тока относятся сварочные *трансформаторы* и *генераторы* повышенной частоты.

Источниками постоянного тока являются сварочные *преобразователи* и *сварочные выпрямители*.

2. По виду внешних вольтамперных характеристик (ВАХ) источники питания сварочной дуги бывают с *пологопадающей* ВАХ (для автоматной сварки).

С *жесткой и возрастающей* ВАХ применяются при сварки в защитных газах и электрошлаковой сварке, с *крутопадающей* ВАХ – для ручной дуговой сварки.

3. По количеству используемых сварочных дуг бывают *однопостовые* или *многопостовые*.

4. По способу установки источники бывают *стационарными*, или *передвижными* – *переносными*.

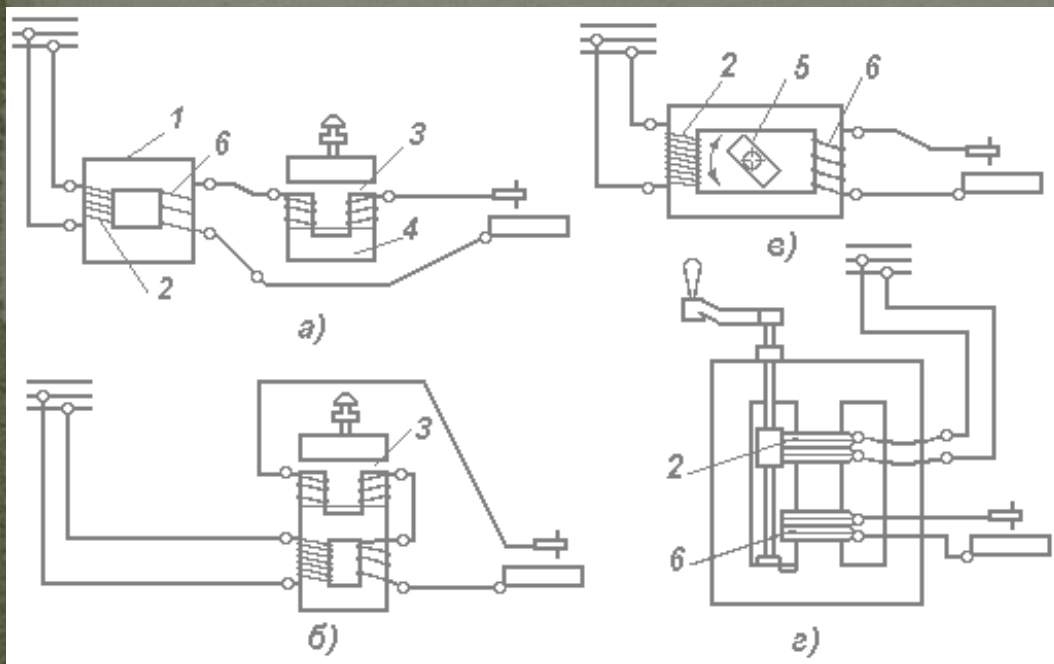
Таким образом, основные требования, предъявляемые к сварочному источнику тока, можно сформулировать так:

1. Быть безопасным для сварщика.
2. Обеспечивать стабильное горение дуги.
3. Источник питания должен быть рассчитан на работу в режиме короткого замыкания и иметь устройство для регулирования тока дуги.

В целях безопасности для сварщика сварочные источники изготавливаются с напряжением холостого хода не выше 70-80 В.

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и источники постоянного тока (сварочные генераторы и сварочные выпрямители).

# Сварочные трансформаторы



1 - магнитопровод,  
2 - первичная обмотка,  
3 - зазор, 4 - дроссель,  
5 - подвижный шунт,  
6 - вторичная обмотка

**1.) с нормальным магнитным рассеянием.**  
трансформаторы с

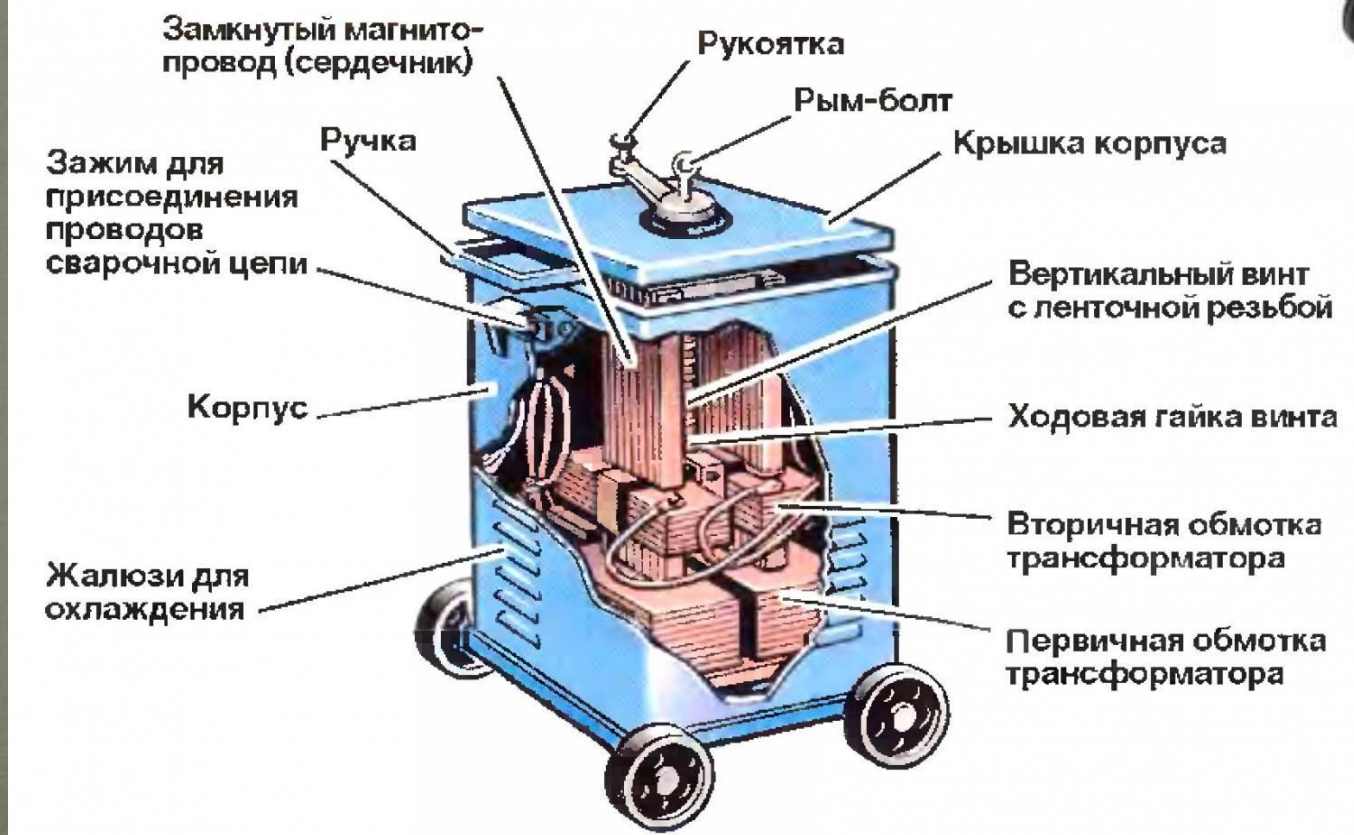
*отдельным дросселем 4 (а) и с совмещенным дросселем (б).*

**2.) с повышенным магнитным рассеянием..**

*трансформаторы с подвижным магнитным шунтом ( в) и с подвижной обмоткой (г).*

Сварочные трансформаторы проще в эксплуатации, значительно долговечнее и дешевле.

# Сварочный трансформатор с подвижной обмоткой



**Достоинства** трансформаторов:

- 1) простота эксплуатации;
- 2) длительный срок службы;
- 3) более высокий КПД, чем у выпрямителей и генераторов.

**Недостатками** трансформаторов является то, что сварочная дуга горит менее устойчиво, чем на постоянном токе. Это происходит потому, что напряжение и ток периодически проходят через нулевые значения и через каждые 0,1 с происходит кратковременная деионизация дугового разряда.

## *Сварочные генераторы*

представляют собой генератор постоянного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Используются главным образом для сварки в полевых условиях, при отсутствии электрических сетей.



Наиболее совершенны *сварочные инверторы*, в которых сетевое напряжение частотой 50 Гц поступает на сетевой выпрямитель, а выпрямленный ток преобразуется с помощью транзисторного инвертора в переменный ток высокой частоты (до 100 кГц).

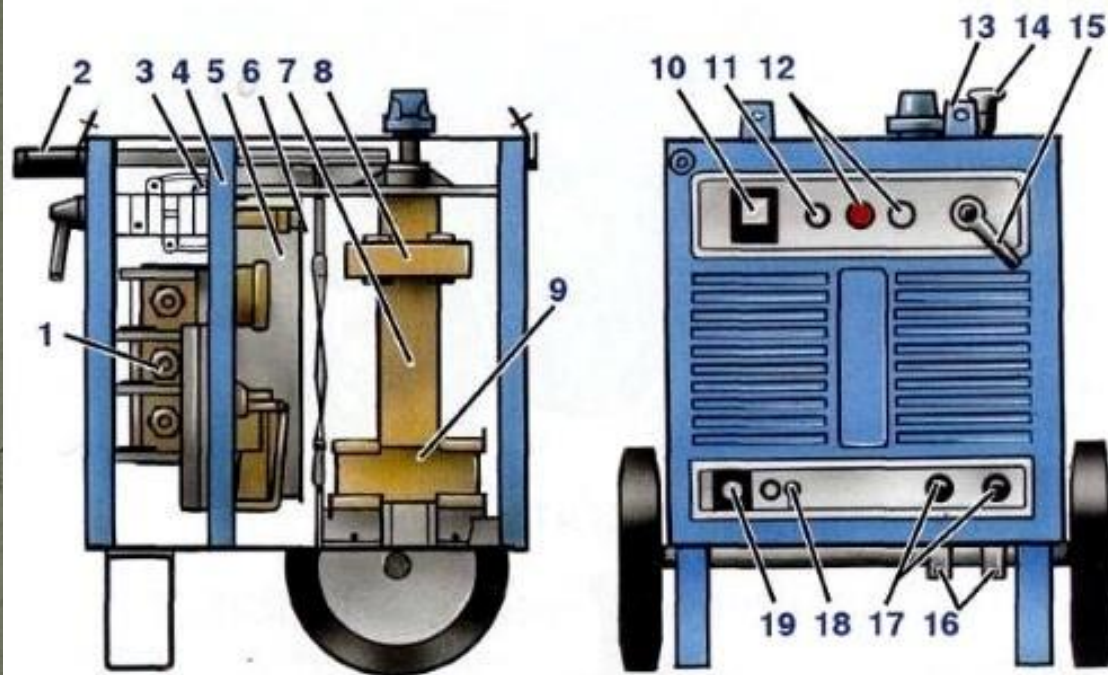


# Сварочные выпрямители

Это устройства для преобразования переменного тока в постоянный. Перед генераторами выпрямители имеют ряд *преимуществ*:

1. Бесшумность и надежность в работе.
2. Просты в изготовлении и в обслуживании.
3. Более высокий КПД.
4. Имеют значительно меньшую массу.

*Недостатки* большая чувствительность к колебаниям напряжения в сети. Для устранения этого недостатка применяют стабилизаторы.



### Сварочный выпрямитель:

- 1 — выпрямительный блок;
- 2 — выдвижные ручки;
- 3 — предохранители;
- 4 — блок аппаратуры;
- 5 — вентилятор;
- 6 — ветровое реле;
- 7 — силовой трансформатор;
- 8 — вторичная обмотка;
- 9 — первичная обмотка;
- 10 — амперметр;
- 11 — лампа;
- 12 — кнопки выключателя;
- 13 — скобы;
- 14 — рукоятка регулирования тока;

15 — переключатель диапазонов тока; 16 — шины заземления обратного провода; 17 — токовые разъемы; 18 — болт заземления; 19 — штепсельный разъем для подключения к сети

Более сложный по конструкции, чем трансформатор, сварочный выпрямитель состоит из понижающего трансформатора с регулирующим силу тока устройством и блока выпрямителей с набором полупроводников (селеновых или кремниевых).

# Ручная дуговая сварка

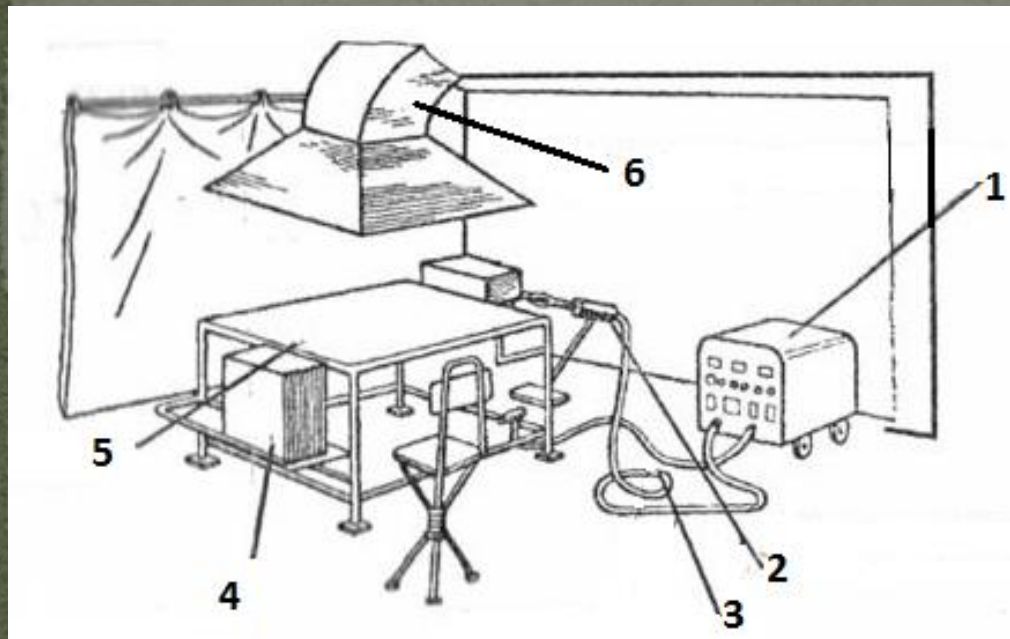


Ручной дуговой сваркой изготавливается более 60 % сварных конструкций. Для получения качественного сварного соединения производят подготовку свариваемых заготовок под сварку. Очищают свариваемые кромки от ржавчины, окалины, масла, влаги,

наличие которых приводит к образованию пор, включений и других дефектов.

При сборке заготовок под сварку необходимо обеспечить требуемую точность пригонки и закрепление с помощью прихваток или механических прижимов

# Сварочный пост



*Сварочный пост:* 1-источник питания сварочной дуги; 2-электродержатель; 3-сварочные провода; 4-ящик для инструментов; 5-рабочий стол; 6-вытяжная вентиляция



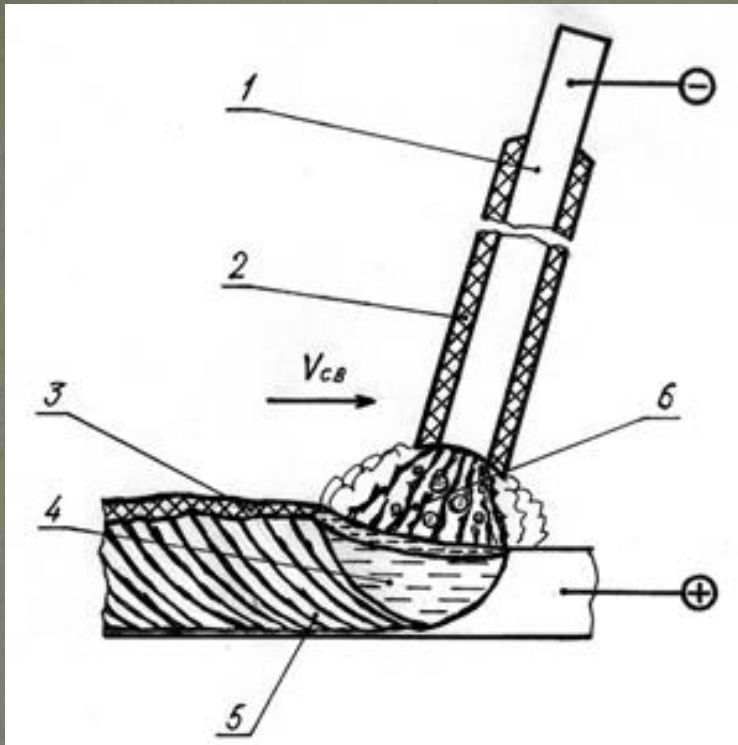
## *Рабочие место электросварщика:*

1-электродержатель;  
2-заготовки; 3-сварочный  
провод; 4-инструмент;  
5-сварочный стол;  
6-перегородка

## *Инструмент*

*электросварщика:* 1-маска  
электросварщика; 2-сварочные  
провода; 3-электродержатель;  
4 - Зажим (наконечник)  
обратного кабеля; 5-стальная  
щетка на рукоятке; 6-молоток  
электросварочный



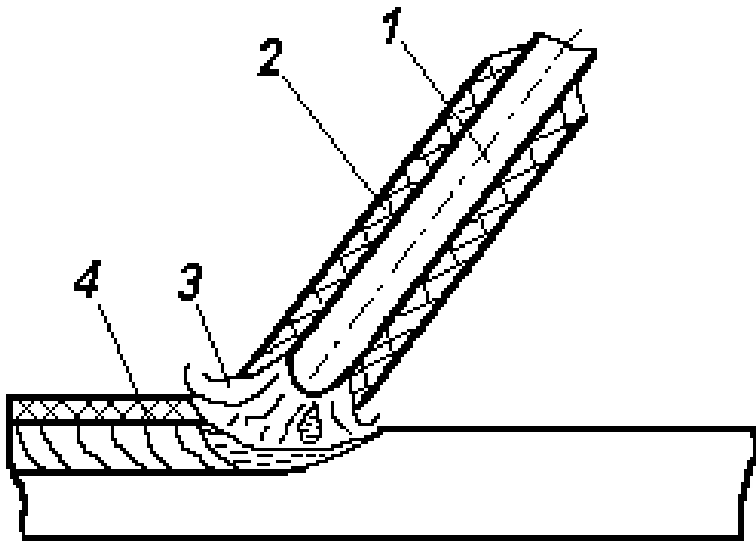


В процессе сварки дуга 6 горит между стержнем электрода 1, закреплённого в электрододержателе, и свариваемым металлом. Электродная проволока плавится и вместе с металлом расплавленных кромок заготовок образует металлическую ванну 4 перегретую до температуры 2600–3000 °С (температура плавления стали – порядка 1500 °С).

Плавится также и покрытие электрода 2, образуя *защитную газовую атмосферу и защитный шлаковый слой* над поверхностью металлической ванны 4. Это предохраняет расплавленный металл от взаимодействия с атмосферным кислородом. Совокупность металлической и шлаковой ванн называют *сварочной ванной*. По мере движения дуги металлическая ванна кристаллизуется и формирует сварной шов 5. Жидкий шлак после затвердевания образует слой защитной шлаковой корки 3.

## *Сварочные электроды.*

Ручную дуговую сварку выполняют штучными электродами с покрытием. Электрод для ручной дуговой сварки представляет собой металлический стержень 1, длиной 300-450мм. на поверхность которого нанесено покрытие 2. Стержни электродов изготовлены из сварочной проволоки. При сварке покрытие образует большое количество защитного газа 3 и шлака 4



Стандартом предусмотрено 77 марок стальной проволоки диаметром 0,2–12 мм, которые делятся на три группы:

## Сварочная проволока

низкоуглеродистую (Св-08А и др.), легированную (Св-10Х5М и др.) и высоколегированную (Св-06Х19Н10МЗТ и др.). «Св» означает «сварочная», первые две цифры – содержание углерода в сотых долях процента, последующие буквы и цифры – содержание легирующих элементов в соответствии с маркировкой легированных сталей; последняя буква «А» – пониженное содержание серы и фосфора.

Покрытия электродов предназначены для: – обеспечения стабильного горения дуги; защиты расплавленного металла от воздействия атмосферы; – формирования металла шва с заданным составом и свойствами.

В покрытия вводят стабилизирующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие и шлакообразующие. Кроме того, в покрытия добавляют пластификаторы и связующие, придающие покрытию прочность и хорошее сцепление со стержнем.



Классификация *электродов по видам покрытий* облегчает выбор марки электродов.

Существуют тысячи марок электродов и все они могут быть отнесены только к четырем разновидностям в зависимости от вида покрытия. Состав, свойства и применение электродов любой марки определяется видом покрытия.

Различают следующие виды покрытий:

*1) рудно-кислое* (основные компоненты –  $\text{MnO}$  и  $\text{SiO}_2$ ), обладают хорошими технологическими свойствами, но при сварке выделяют токсичные соединения марганца, поэтому их применение сокращается;

*2) рутиловые* (основной компонент –  $\text{TiO}_2$ ), обладают высокими сварочно-технологическими свойствами;

*3) основные* (содержат  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ), технологические свойства ограничены;

*4) целлюлозные* (основные компоненты – целлюлоза и другие органические вещества), создают хорошую газовую защиту и образуют малое количество шлака,

В состав покрытий входят следующие материалы (компоненты):

1. **Газообразующие**. Это либо органические вещества (крахмал, декстрин, пищевая мука, целлюлоза), либо неорганические - обычно карбонаты (мрамор  $\text{CaCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$ , мел  $\text{CaCO}_3$  и др.).

Органические вещества при нагреве выделяют  $\text{CO}_2$ ;  $\text{H}_2$ ;  $\text{CO}$ .

Неорганические - газ и шлак:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ .

2. **Легировующие элементы** - Cr, Mo, Ni, Mn, Si и др. - используются в виде сплавов этих элементов с Fe, так называемых ферросплавов.

3. **Ионизирующие** или **стабилизирующие** компоненты, содержащие элементы с низким потенциалом ионизации, - это соединения, в состав которых входят K, Na, Ca.

4. **Раскислители** нужны для удаления кислорода из шва. Для этой цели вводят элементы, обладающие большим сродством к кислороду: Mn, Si, Ti, Al.

Раскисление кремнием:  $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$ .

5. **Шлакообразующие** - составляют основу покрытия. Обычно это руды (марганцевая MnO, титановая  $\text{TiO}_2$ ) и минералы (ильменит и рутил с содержанием  $\text{TiO}_2$  до 30-45 %).

Состав шлаков - это окислы: CaO, MgO, MnO, FeO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ .

При изготовлении электродов для сварки алюминия и его сплавов ввиду его большого сродства к кислороду применять покрытия из окислов нельзя. В этих случаях покрытия состоят из бескислородных соединений: хлоридов и фторидов (KCl, NaCl, KF и т. п.), которые наносят на стержни многократным окунанием в водные растворы указанных компонентов.

6. *Связующие* - водные растворы силикатов натрия и калия, называемые натриевым и калиевым жидким стеклом, а также натриево-калиевым жидким стеклом.

Na и K играют одновременно роль ионизирующих элементов.

7. *Формовочные добавки* - вещества, придающие обмазочной массе лучшие пластические свойства (бентонит, каолин, декстрин, слюда).

8. Для повышения производительности сварки в покрытие может вводиться дополнительно до 60 % *железного порошка*.

9. *Рафинирующие* компоненты необходимы для удаления вредных примесей S и P.

По механическим свойствам электроды разделяются на *три группы по назначению*:

1. Электроды *для сварки углеродистых конструкционных сталей* Э34, Э42, Э42А, Э46, Э46А и т. д., где “Э” - электрод, а число - прочность наплавленного металла в кгс/мм<sup>2</sup>.
2. Электроды *для сварки теплоустойчивых сталей*: ЭМ, ЭХМ и др.
3. Электроды *для сварки высоколегированных сталей* ЭА-3М6 (аустенитного типа), ЭФ-13 (ферритного типа), ЭН-50Х11-55, ЭНГ-62 (электроды для наплавки, где “Н” - наплавочный, число в конце марки - твердость HRC).

## *Режим ручной дуговой сварки.*

К основным параметрам режима сварки относятся диаметр электрода и сила тока. Эти параметры должны быть заданы сварщику. Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемых листов по формуле:

$$d = S/2 + 1 \text{ (мм)}$$

или по таблицам из справочника:

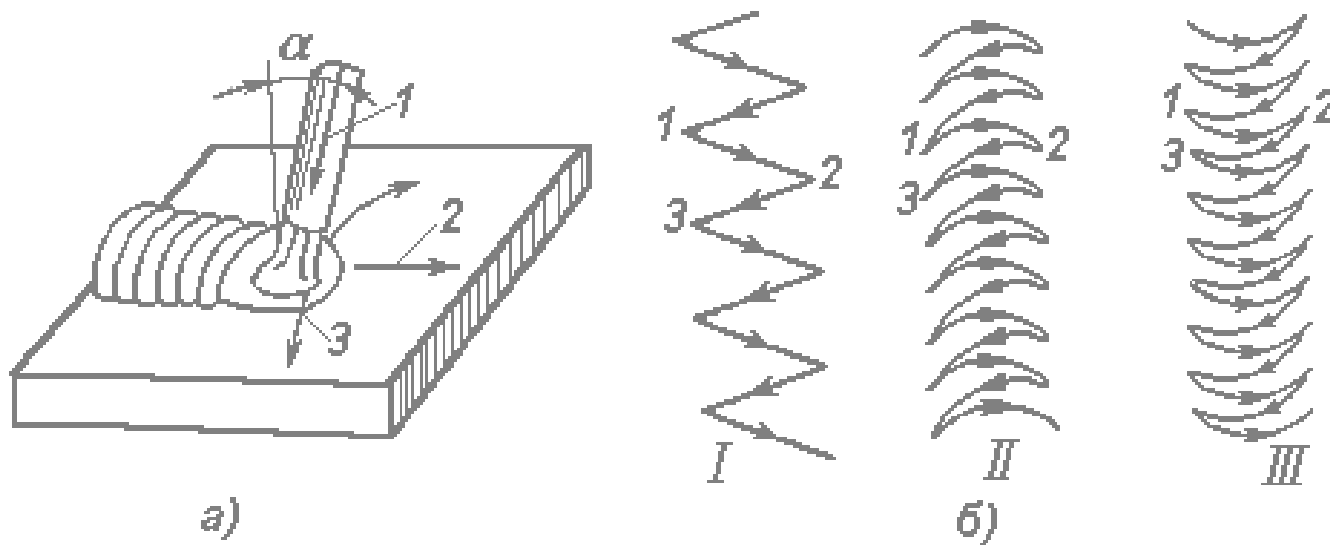
Толщина свариваемых листов, мм	1-2	3	4-5	> 6
Диаметр электрода, мм	1,5-2,5	3	3-4	4-6

Сила сварочного тока  $I$  определяется по формуле:

$$I = (20 + 6d) \cdot d, \text{ А.}$$

# Техника сварки

*Техника сварки* включает движения электрода (1 - в зону сварки, 2 - вдоль шва, 3 - колебания поперек шва) и наклон электрода  $\alpha$  (рис. а)



Изменяя наклон электрода, сварщик может регулировать глубину проплавления металла.

Узкий валик накладывается без поперечных колебаний электрода при проваре корня шва и сварке тонколистовых сталей. Во всех других случаях применяют валики, уширенные с помощью поперечных колебаний электрода (точки 1-2-3, рис. б).

В точках 1, 2, 3 скорость перемещения электрода уменьшается, что способствует прогреванию кромок.

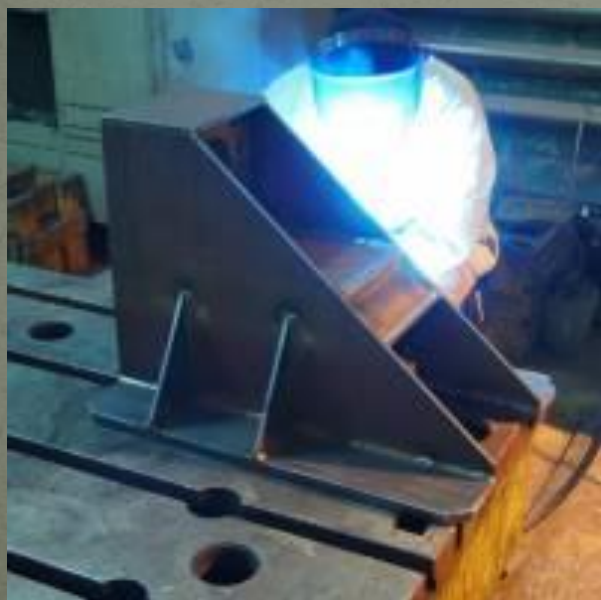
## *Достоинства ручной дуговой сварки:*

- 1) универсальность – свариваются различные металлы в любых пространственных положениях и труднодоступных местах;
- 2) оперативность – используется при проведении ремонтных работ, ликвидации аварий и т. д.;
- 3) простота процесса и надёжность оборудования, возможность непосредственного визуального контроля процесса;
- 4) широкий выбор различных типов сварочных электродов и, следовательно, большой диапазон технологических возможностей.

## *Недостатки:*

- 1) тяжёлые условия труда при выполнении сварки (мощное излучение, загазованность, холод и другие природные аномалии);
- 2) прямая зависимость качества шва от квалификации сварщиков;
- 3) низкая производительность процесса вследствие использования небольших величин сварочного тока (чтобы не перегревался электрод) и физических возможностей рабочих (не более 4-х метров в час);
- 4) невозможно сформировать непрерывный сварной шов из-за частой замены электродов.

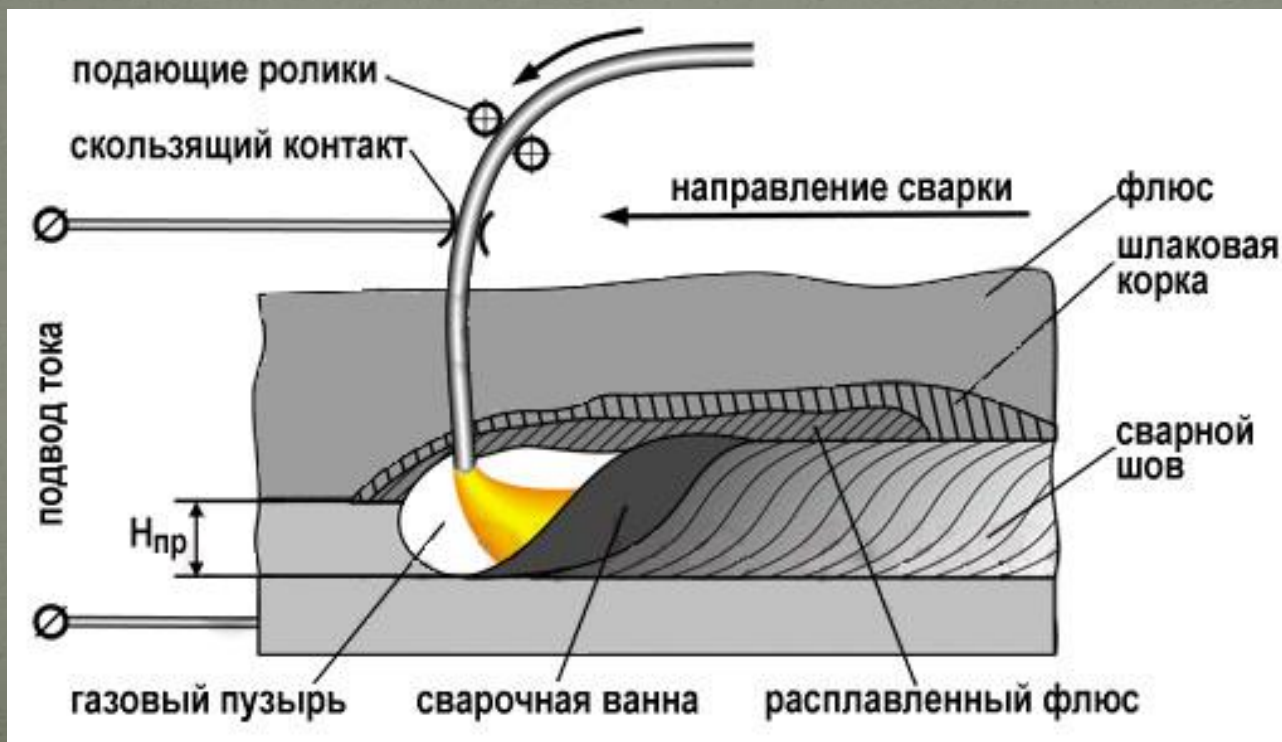




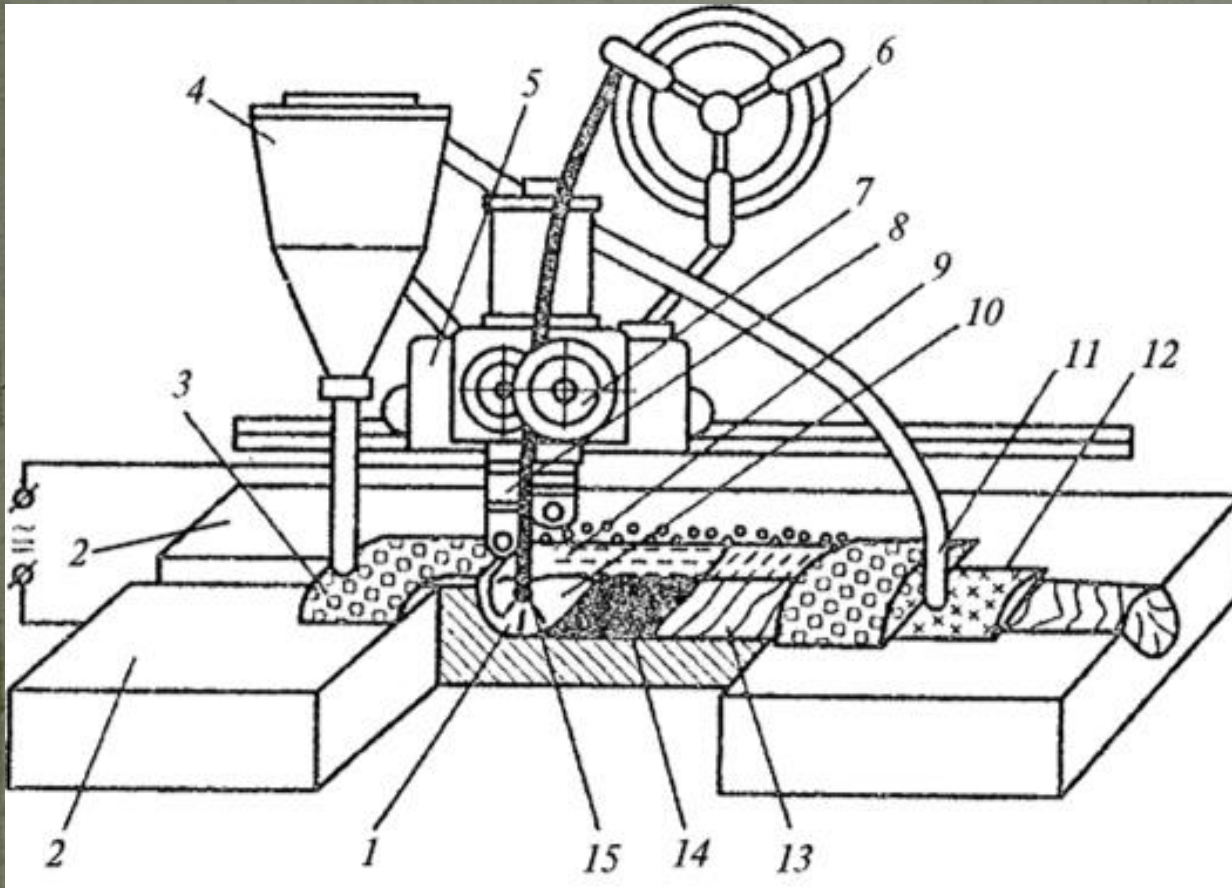
Ручной дуговой сваркой выполняется более 60 % (по весу) всех сварных конструкций. Способ применяется во всех отраслях промышленности; в разных отраслях машиностроения, при прокладке газо- и нефтепроводов, в гражданском и промышленном строительстве и т. д.

# Автоматическая дуговая сварка под флюсом

При автоматической дуговой сварке под флюсом все сварочные операции вместо сварщика выполняет автомат: зажигание дуги и поддержку стабильного ее горения, защиту сварочной ванны от вредного влияния воздуха, подачу сварочной проволоки и флюса в зону сварки, передвижение дуги вдоль шва, заварку кратера по окончании сварки.



# Схема автоматической сварки под флюсом



1 — дуга;  
2 — свариваемые детали;  
3 — слой флюса;  
4 — бункер;  
5 — тележка;  
6 — бобина;  
7 — подающий механизм;  
8 — мундштук;  
9 — слой жидкого шлака;

10 — плавильное пространство; 11 — флюсоотсос;  
12 — шлаковая корка; 13 — шов; 14 — сварочная ванна;  
15 — плавящийся электрод

Проволока подается в зону сварки с помощью подающих роликов. Подвод тока к проволоке осуществляется скользящим контактом. Плотный слой флюса, высыпаемый из бункера во время движения сварочного автомата, обеспечивает эффективную защиту расплавленного металла сварочной ванны от взаимодействия с воздухом. Дуга горит в газовом пузыре, который образуется парами и газами флюса и расплавленного металла. В результате металлургического взаимодействия шлака и расплавленного металла и кристаллизации металла сварочной ванны формируется шов с необходимым химическим составом и механическими свойствами. На поверхности шва располагается легко отделяемая шлаковая корка из затвердевшего флюса. Не израсходованный флюс собирается во флюсоаппарат для дальнейшего применения при сварке.

## *Достоинства способа:*

Повышенная производительность;

Минимальные потери электродного металла (не более 2%);

Отсутствие брызг;

Максимально надёжная защита зоны сварки;

Минимальная чувствительность к образованию оксидов;

Мелкочешуйчатая поверхность металла шва в связи с высокой стабильностью процесса горения дуги;

Не требуется защитных приспособлений от светового излучения, поскольку дуга горит под слоем флюса;

Низкая скорость охлаждения металла обеспечивает высокие показатели механических свойств металла шва;

Малые затраты на подготовку кадров;

Отсутствует влияния субъективного фактор

### ***Недостатки способа:***

Трудозатраты с производством, хранением и подготовкой сварочных флюсов;

Трудности корректировки положения дуги относительно кромок свариваемого изделия;

Неблагоприятное воздействие на оператора;

Нет возможности выполнять сварку во всех пространственных положениях без специального оборудования.

### ***Области применения:***

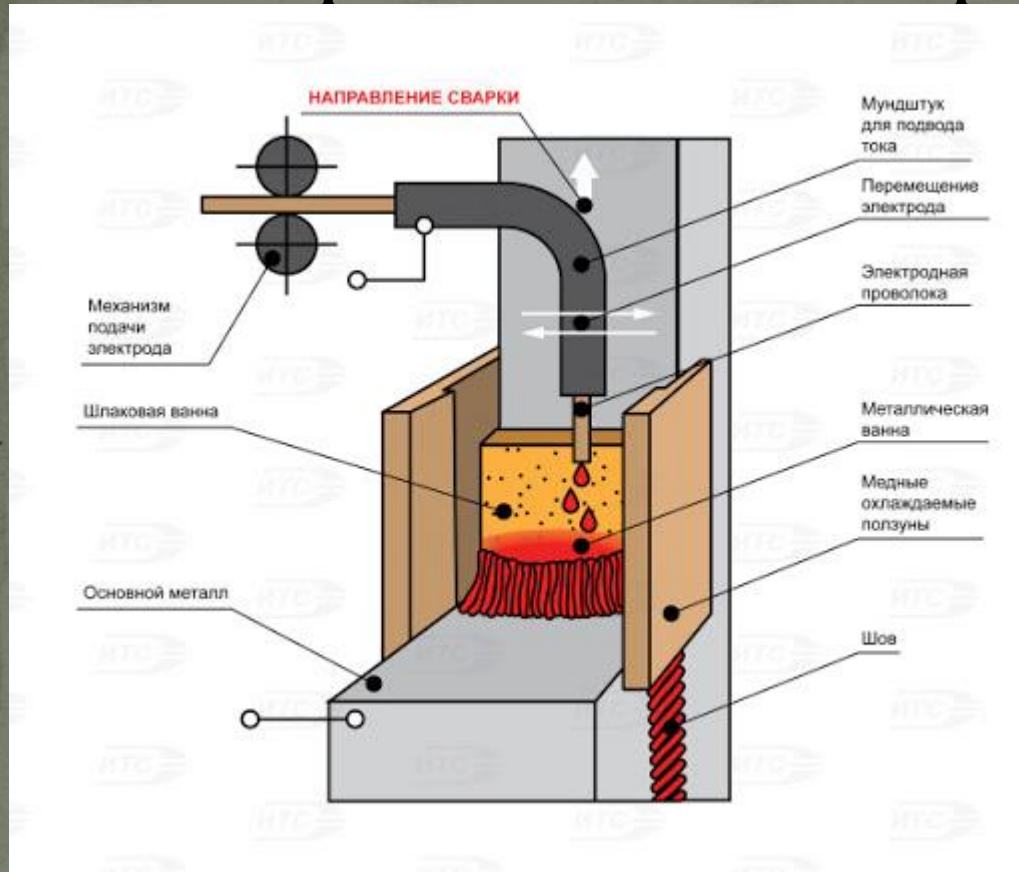
Сварка в цеховых и монтажных условиях

Сварка металлов от 1,5 до 150 мм и более;

Сварка всех металлов и сплавов, разнородных металлов.



# Электрошлаковая сварка



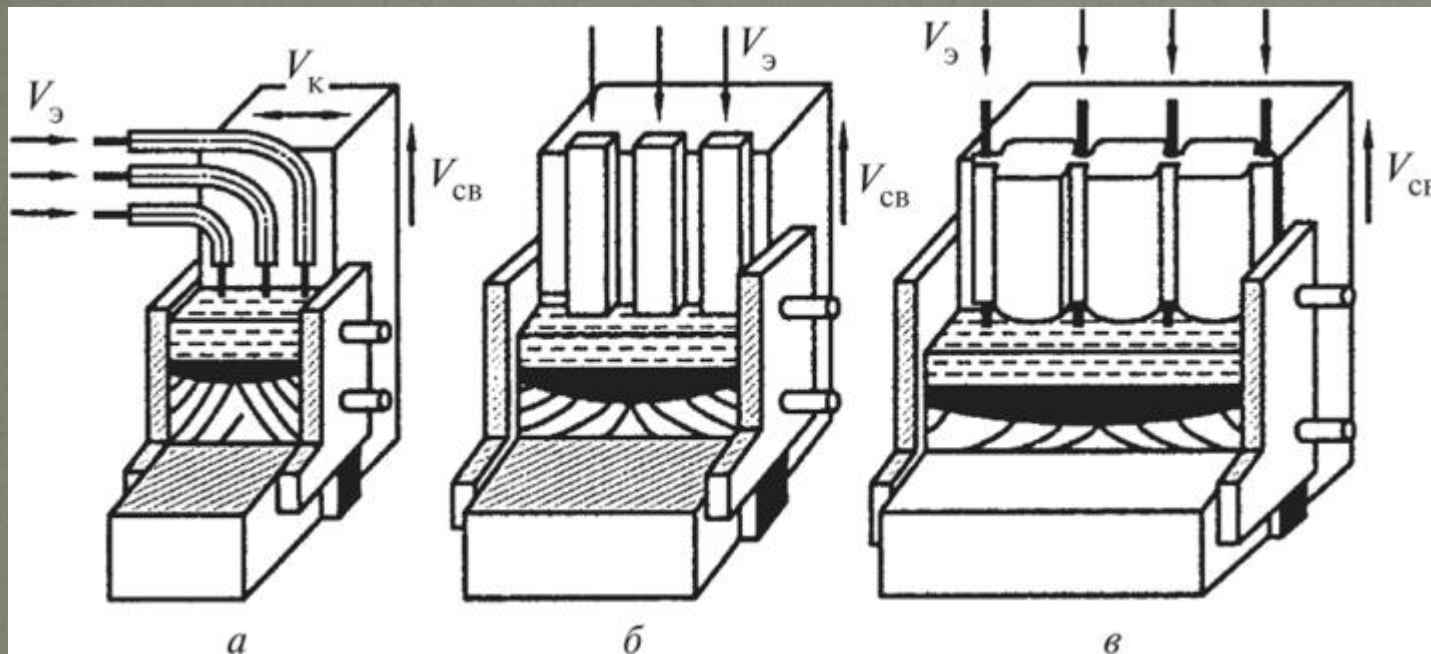
Процесс электрошлаковой сварки начинается возбуждением электрической дуги между электродной проволокой и деталью. Температура дуги способствует расплавлению флюса, образуется шлаковая ванна.

Жидкий шлак обладает достаточной теплопроводностью, чтобы шунтировать дугу, тем самым прекращая ее горение. При этом, благодаря теплу, выделяющемуся при прохождении тока сквозь шлаковую ванну, сохраняется температура и процесс расплавления флюса



По типу применяемого электрода различают :

*а — проволочными электродами; б — пластинчатыми электродами; в — плавящимся мундштуком*



Сварка *проволочными электродами*. Является основным методом ЭШС прямолинейных и круговых швов на металле толщиной до 600 мм. Заготовки толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, а с выше сваривают тремя, а иногда и большим числом проволок. Для сварки применяют проволоку диаметром 2-3 мм. Сварочный ток от 750-1000 А. .

### Сварка *пластинчатым электродом*

Этим методом сваривают прямолинейные швы длиной не более 1,5 м. Толщина пластинчатого электрода составляет  $\frac{1}{3}$  ширины зазора. Преимуществом этого метода является простота применяемой аппаратуры и повышенная устойчивость процесса сварки. К недостаткам следует отнести необходимость мощных источников питания (сила тока 1500-2000 А).

### Сварка *плавящимся мундштуком*

Этим методом сваривают детали сложной формы большой толщины (более 500 мм). Плавящийся мундштук представляет собой пластинчатый электрод с формой и размерами свариваемого соединения.

Мундштук имеет канал для подачи электродной проволоки в зону сварки. Непрерывно подающаяся проволока служит присадочным металлом для образования шва. Особенно целесообразен плавящийся мундштук для сварки криволинейных швов переменного сечения, т. к. он обеспечивает равномерное распределение присадочного металла по сечению.

## ***Преимущества:***

1. ЭШС имеет производительность в 5-15 раз выше по сравнению с автоматической сваркой под флюсом, т. к. позволяет сваривать за один проход металлы любой толщины с применением в 1,5-2 раза большей величины тока. При этом чем больше толщина свариваемых заготовок, тем выше экономический эффект ЭШС.
2. ЭШС уменьшает расход сварочной проволоки, т. к. сварка ведется без разделки свариваемых кромок.
3. Обеспечивается получение металла шва более высокого качества за счет хорошего удаления вредных примесей и газов из металла. Это объясняется значительным временем нахождения металла шва в расплавленном состоянии, а также направлением сварки снизу вверх (при этом все примеси оттесняются на поверхность шлаковой ванны) и отсутствием дуги.

### ***Недостатки:***

1. Наблюдается перегрев металла шва и околошовной зоны, что приводит к росту зерна; требуется термическая обработка.
2. Плохая сменяемость флюса в процессе сварки; требует периодического отсасывания шлаковой ванны и добавки флюса.

### ***Применение:***

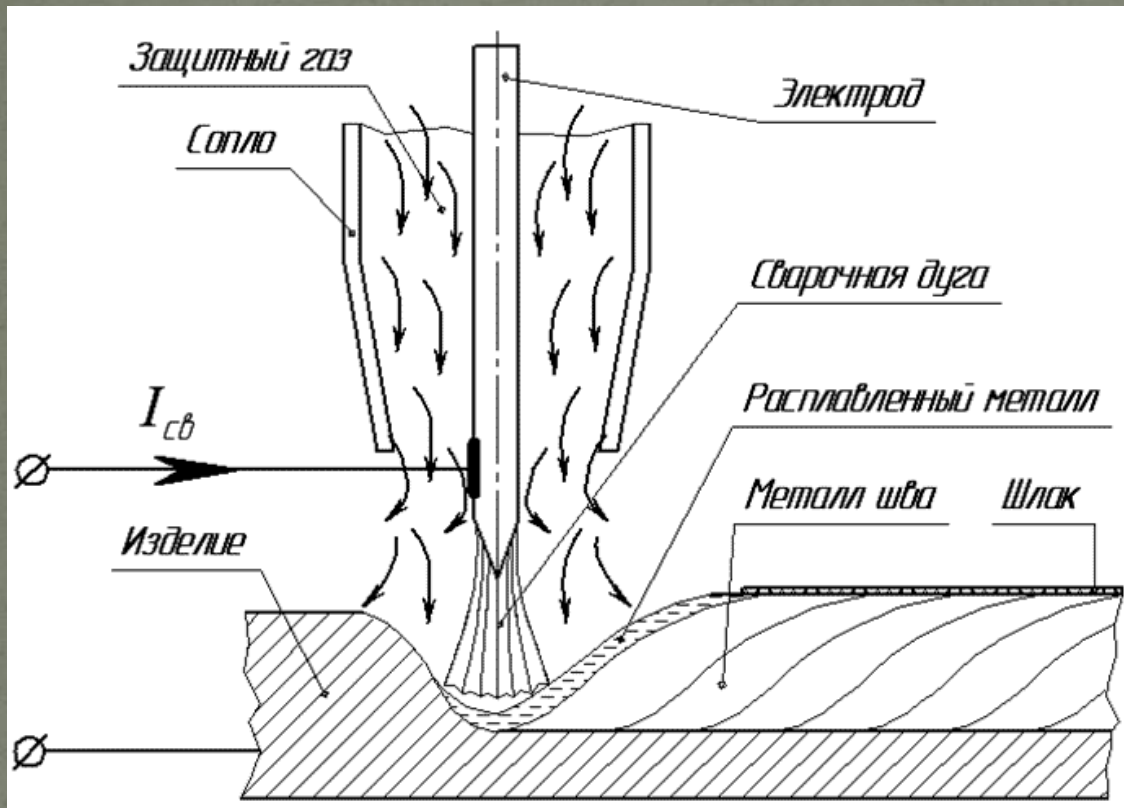
1. Этим способом можно сваривать за один проход без разделки кромок вертикально или под углом  $45^\circ$  установленные заготовки толщиной 50-2000 мм из любой стали, меди, алюминия, титана и их сплавов.
2. ЭШС особенно выгодно применять в тяжелом и транспортном машиностроении для изготовления комбинированных сварно-литых и сварно-кованых конструкций: станины и детали сложных прессов, крупных станков, прокатных станов, коленчатых валов судовых двигателей, роторы и валы гидротурбин, элементы котлов высокого давления и т. п.



Автоматическая  
электрошлаковая сварка



# Дуговая сварка в защитных газах



Сущность процесса заключается в том, что в зону действия сварочной дуги подается непрерывно с помощью специальной сварочной горелки защитный газ.

Эта локальная защита от вредного воздействия воздуха создается потоком газа, который истекает из сопла, расположенного концентрически относительно сварочного электрода. Дуга горит между электродом и изделием, образуя сварочную ванну. При этом используют керамическое или медное охлаждаемое водой сопло.

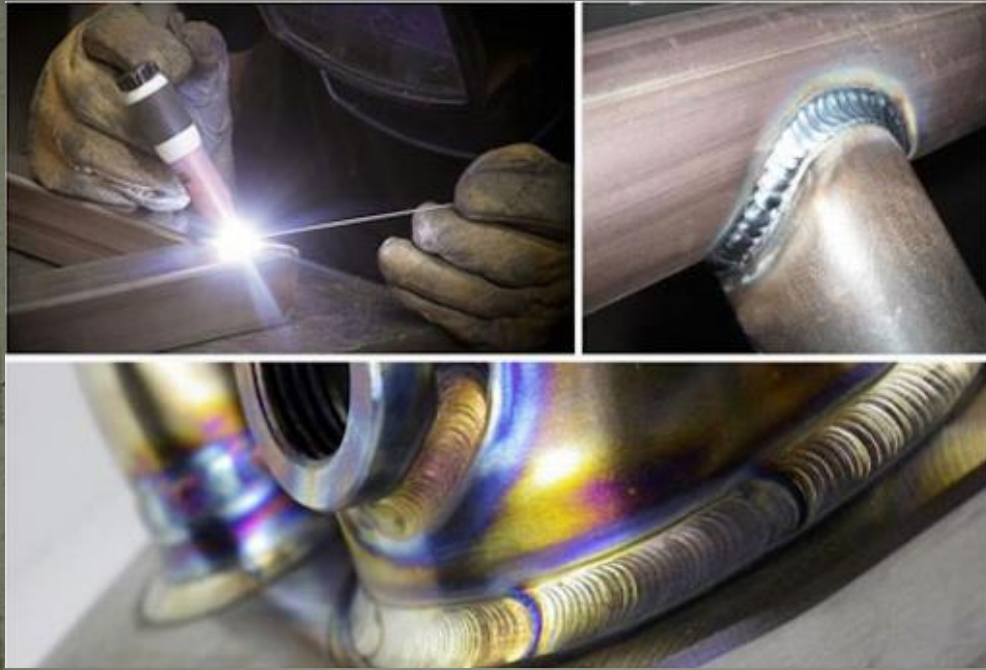
Защитной средой служат газы:

- 1) *Инертные одноатомные* - аргон, гелий.
- 2) *Нейтральные двухатомные* - азот, водород.
- 3) *Активные* - углекислый газ.

В связи с тем, что *гелий* в десять раз легче *аргона*, расход его при сварке на 30-40 % больше, чем расход *аргона*, и это свойство ограничивает применение *гелия*. Сравнительно ограниченное применение находит и *атомно-водородная* сварка из-за высокого напряжения холостого хода, которое для облегчения зажигания дуги должно составлять 250-300 В. При этом рабочее напряжение 30-120 В, сварочный ток небольшой (10-70 А). Таким образом, существует опасность поражения сварщика током холостого хода высокого напряжения.

Наибольшее применение нашли *аргонодуговая* сварка и сварка в среде *углекислого газа*.

# Аргонодуговая сварка



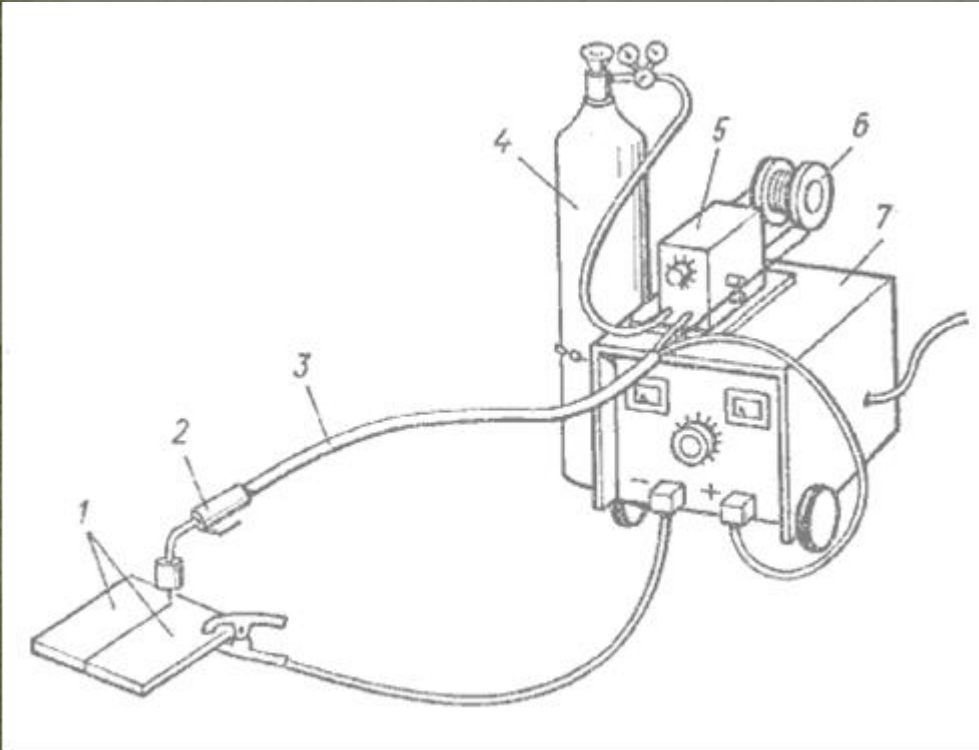
Аргонодуговую сварку можно выполнять *плавящимися* и *неплавящимися* электродами. По степени автоматизации сварка неплавящимся электродом может быть *ручной* и *автоматической* с подачей или без подачи дополнительного присадочного материала, а

сварка плавящимся электродом - *полуавтоматической* или *автоматической*.

В качестве неплавящегося электрода используют вольфрамовые прутки диаметром 1-8 мм. (Вольфрам имеет температуру плавления 3600 °С.) Защитный газ *аргон* является инертным газом, без цвета, без запаха, тяжелее воздуха (это требует вытяжной нижней вентиляции или специального газоотсоса).



# Полуавтоматическая аргонодуговая сварка



Этот способ совмещает в себе элементы автоматической и ручной сварки. Подача сварочной проволоки из кассеты 6 в горелку 2 по шлангу 3 осуществляется автоматически механизмом подачи 5, а перемещение горелки 2 вдоль кромок

заготовок 1 - вручную. В горелку подается также аргон из баллона 4. В отличие от ручной сварки, полуавтоматический способ позволяет применять более высокие плотности тока и большую скорость подачи сварочной проволоки, что обеспечивает повышенную производительность

### ***Преимущества:***

1. Возможность сварки легкоокисляющихся металлов (Al, Mg и др.).
2. Возможность сварки в любых пространственных положениях.
3. Возможность визуального наблюдения за процессом формирования шва.
4. Высокое качество сварных соединений, отсутствие шлаковых включений.
5. Концентрированный нагрев обеспечивает получение малой зоны термического влияния и меньшую деформацию изделия.

### ***Недостатки:***

1. Дорогой и дефицитный аргон.
2. Дорогое оборудование и вольфрамовые электроды.

## Применение:

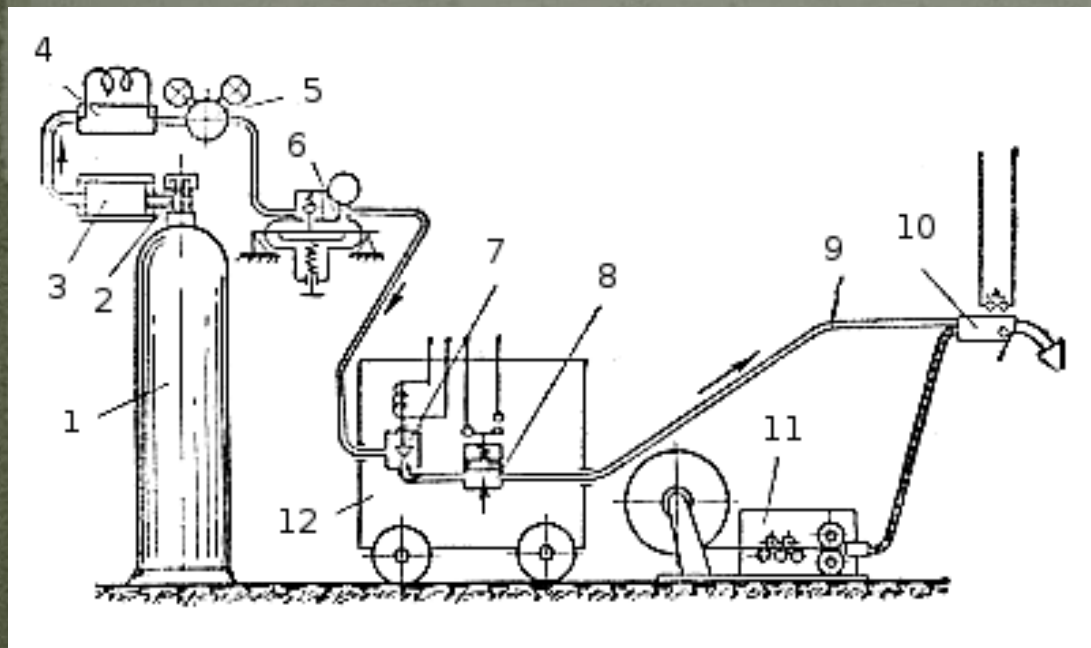
1. Аргонодуговая сварка является универсальным способом и позволяет сваривать все металлы и сплавы.
2. Способ почти незаменим при сварке алюминия и его сплавов типа АМц, АМг, АЛ5, АЛ10 и др.; магниевых сплавов типа МА8, МА21 и др.; меди М1, М2 и ее сплавов - латуней Л96, Л62, бронз БрБ2 и др.; никеля и его сплавов типа СН1, нихрома и др.; тугоплавких и химически активных металлов - ниобия, тантала, титана, молибдена, циркония и др.
3. Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом является одним из лучших способов сварки тонколистовых (от 0,1 до 1,5-2 мм) заготовок алюминиевых, магниевых сплавов, нержавеющей и жаропрочных сталей.
4. Аргонодуговую сварку применяют при изготовлении ответственных изделий из специальных легированных сталей.

5. Трудно поддаются сварке дуралюмины. В зоне термического влияния резко снижается прочность, пластичность и коррозионная стойкость, а в металле шва часто образуются трещины.
6. Аргонодуговая сварка из-за дороговизны процесса не применяется при изготовлении изделий из обычных углеродистых сталей.
7. В камере с контролируемой атмосферой сваривают в основном изделия из ниобия, тантала, титана, молибдена и особо ответственных изделий из легких сплавов.



# Дуговая сварка в среде углекислого газа

Эту сварку выполняют только плавящимся электродом на повышенных плотностях постоянного тока обратной полярности



Схемы поста для сварки в углекислом газе:

1 — баллон с жидкой углекислотой;

2 — вентиль;

3 — предредукторный осушитель газа;

4 — подогреватель газа;

5 — редуктор; 6 — регулятор давления (расхода) углекислого газа; 7 — электромагнитный клапан; 8 — реле давления;

9 — резиновый рукав для, подачи газа; 10 — газоподогревательная горелка; 11 — подающий механизм; 12 — шкаф распределительного устройства.

### ***Преимущества.***

Дешевый защитный газ, высокая производительность, способ малочувствителен к наличию на свариваемых поверхностях окалины и ржавчины.

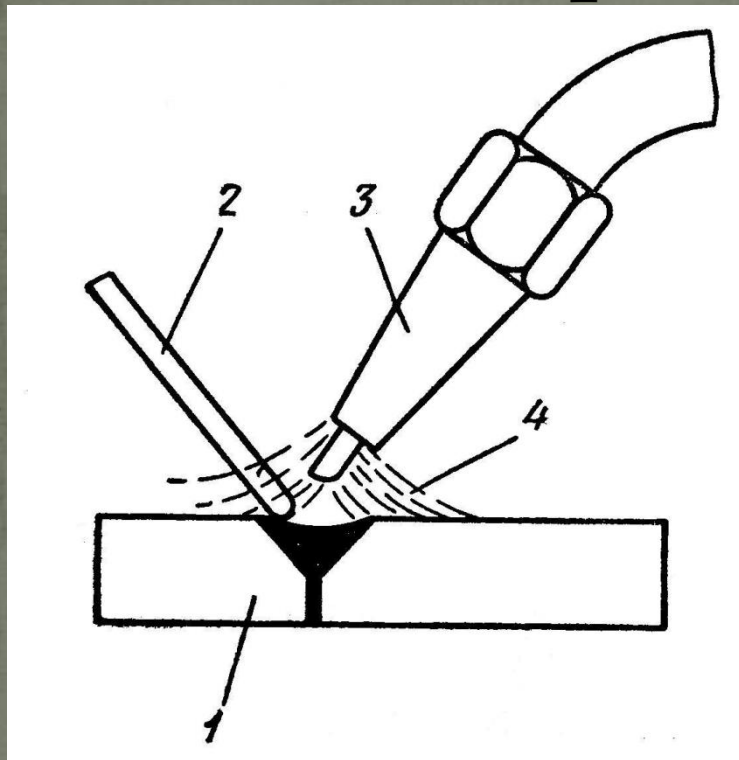
### ***Недостатки.***

Повышенное разбрызгивание требует применения противопожарных покрытий околошовной зоны, способ сварки в  $\text{CO}_2$  требует специальной легированной сварочной проволоки и специального источника питания постоянного тока. Нельзя сваривать легкоокисляющиеся цветные металлы и высоколегированные стали.

### ***Применение.***

Сварка в  $\text{CO}_2$  предназначена для соединения обычных углеродистых сталей (Ст1, Ст2, Ст3, 10, 20, 30) и, ограниченно, низколегированных (19Г, 14Г2 и др.). Сварка в  $\text{CO}_2$  наиболее эффективна при соединении тонколистовых сталей.

# Газовая сварка



При *газовой сварке* в качестве источника тепла, за счет которого происходит нагрев и расплавление кромок заготовок, используется пламя, образующееся при сгорании горючего газа в атмосфере кислорода.

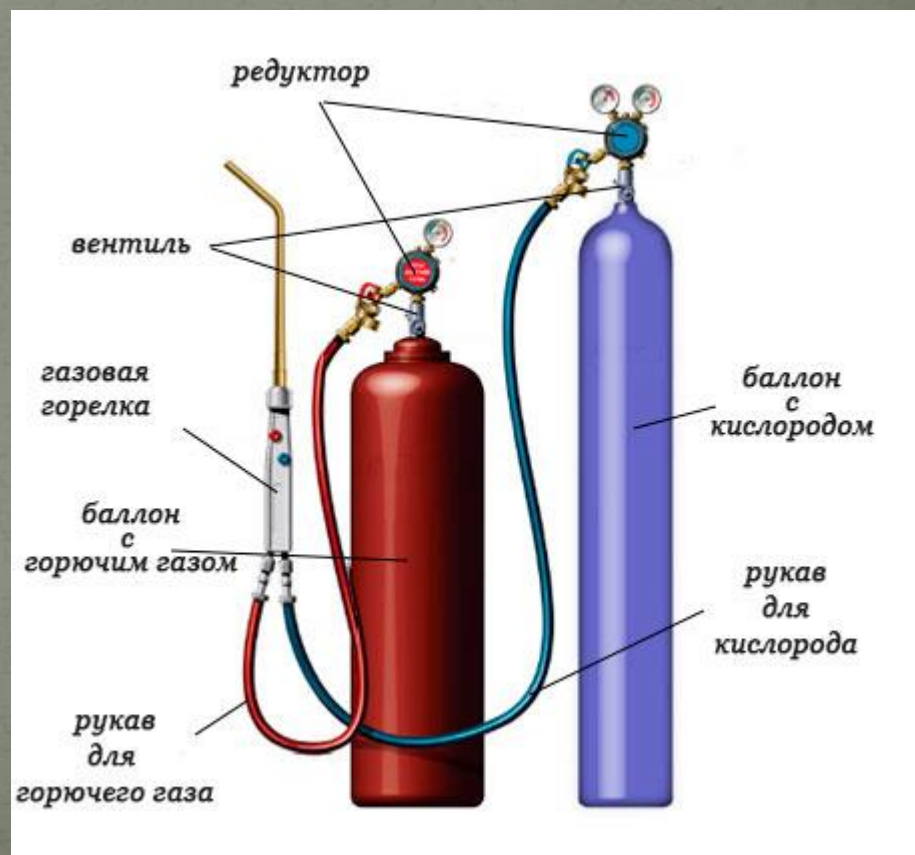
Сущность процесса газовой сварки заключается в следующем.

Заготовки 1 располагаются на столе, армированном шамотной плиткой.

К сварочной горелке 3 подводится с помощью резиновых шлангов ацетилен и кислород от баллонов и зажигается сварочное пламя 4. Одновременно в зону сварки подается присадочный металл 2 (сварочная проволока). По мере перемещения пламени сварочная ванна затвердевает, образуя сварной шов.

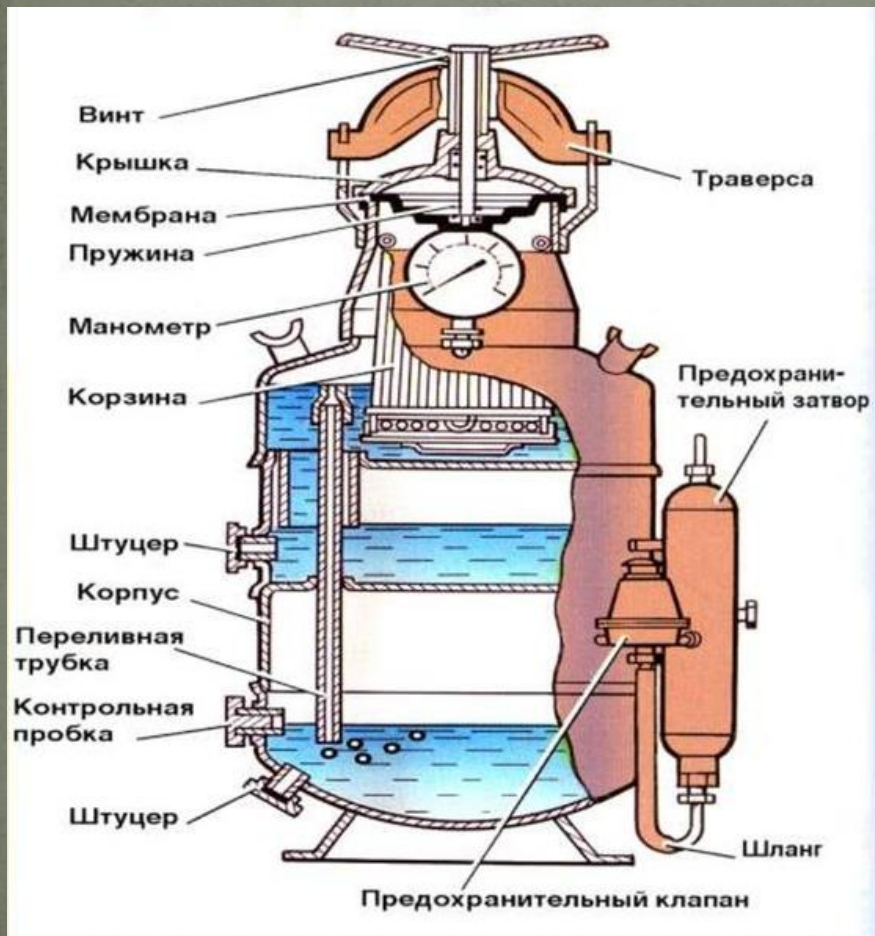
**Кислород** - газ без цвета и запаха - получают из воздуха путем глубокого охлаждения. При этом кислород переходит в жидкое состояние, а азот испаряется, т. к. имеет температуру кипения ниже, чем кислород. Транспортируется кислород в стандартных стальных баллонах емкостью 40 дм<sup>3</sup>, под давлением 150 кгс/см<sup>2</sup> (15 МПа), окрашенных в голубой цвет.

**Горючие газы.** Основным горючим газом при сварке и резке является *ацетилен* (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>). Все остальные газы (пропан, природный газ, водород, нефтяные газы, пары бензина или керосина) являются газами-заменителями, т. к. ацетилен дает самую высокую температуру пламени (3150-3200 °С).





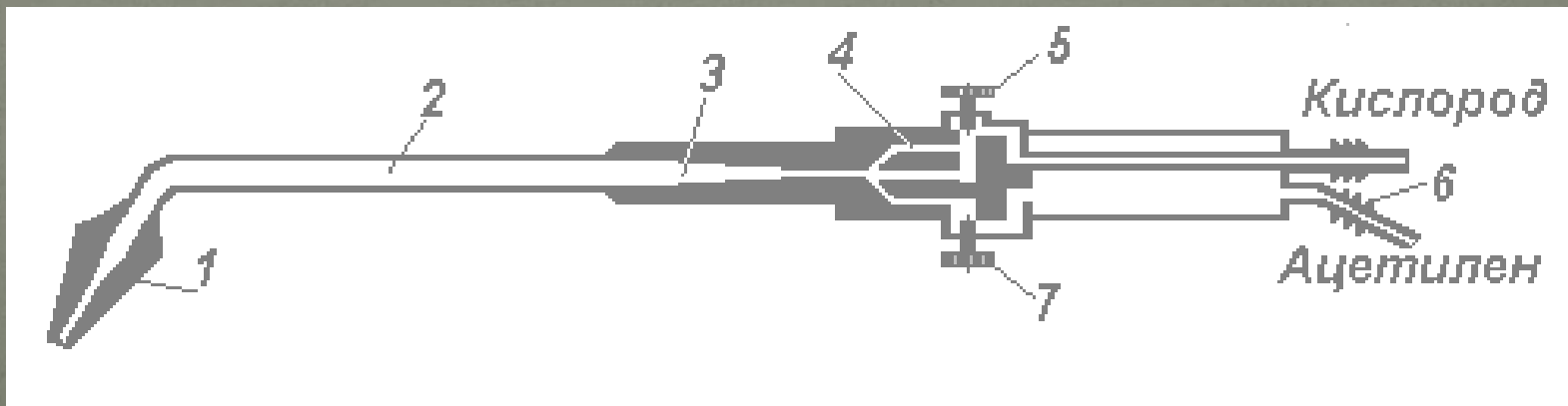
*Ацетилен* не имеет цвета, но обладает резким неприятным характерным запахом. Чистый ацетилен является взрывоопасным. Смеси ацетилена с воздухом способны взрываться, если содержание ацетилена в смеси с воздухом в пределах 2,2-100 % (по объему).



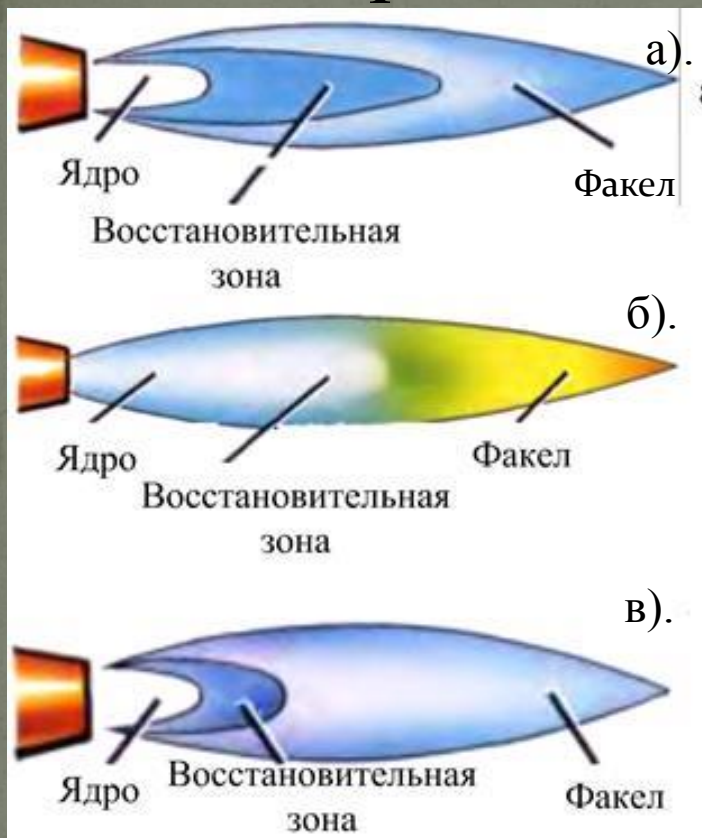
Технический (сварочный) ацетилен получают из карбида кальция путем разложения последнего водой в ацетиленовом генераторе. При разложении 1 кг карбида водой получается практически от 230 до 280 дм<sup>3</sup> ацетилена и известь по схеме:

$$\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca(OH)}_2.$$

Сварочные горелки бывают *инжекторными* и *безинжекторными*. Наибольшее применение находят *инжекторные* горелки, которые предназначены для сварки черных и цветных металлов толщиной от 0,5-30 мм. Кислород из баллона подается к вентилю 5 и через него в инжектор 4. Вытекая из инжектора с большой скоростью в смесительную камеру 3, струя кислорода создает разрежение, вызывающее подсос ацетилена. Ацетилен поступает по шлангу через ниппель 6 и вентиль 7 в смесительную камеру. Смесь по трубке 2 выходит из сменного наконечника 1 и поджигается.



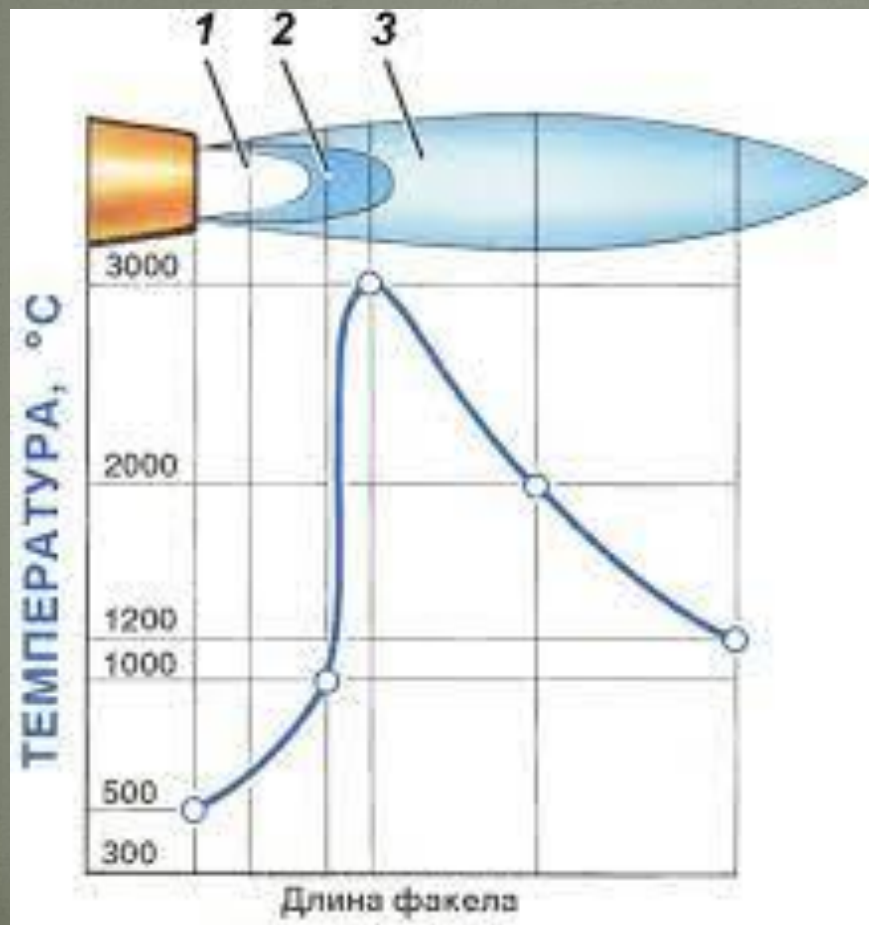
# Виды сварочного пламени



Строение, температура и свойства сварочного пламени зависят от соотношения кислорода и ацетилена в горючей смеси. Различают три вида кислородно-ацетиленового пламени :  
**1) нейтральное пламя** (его называют также нормальным или восстановительным) (а). Оно получается при соотношении  $O_2 : C_2H_2 = 1 : 1,2$ . Таким пламенем сваривают большинство металлов и сплавов;

**2) науглероживающее пламя** получается при соотношении  $O_2 : C_2H_2 < 1$ , т. е. при избытке ацетилена (б). Такое пламя применяют для сварки чугуна, наплавки быстрорежущей стали и твердых сплавов;  
**3) окислительное пламя** образуется при соотношении  $O_2 : C_2H_2 > 1,2$ , т. е. при избытке кислорода (в). Применяется при сварке латуней.

Газосварочное пламя состоит из трех зон: ядра, рабочей (сварочной) зоны и факела пламени. **Ядро** - самая яркая часть пламени, состоит из кислорода и раскаленных продуктов разложения ацетилена. **Рабочая** (сварочная) зона имеет синеватое свечение и самую высокую температуру, состоит



из продуктов горения ацетилена:  $H_2$  и  $CO$ . Этой частью пламени нагревают и плавят металл при сварке. **Факел** пламени состоит из  $CO_2$ , паров воды и кислорода воздуха. Эта часть пламени является окислительной, т. к. углекислый газ и пары воды при высоких температурах окисляют железо

### ***Преимущества:***

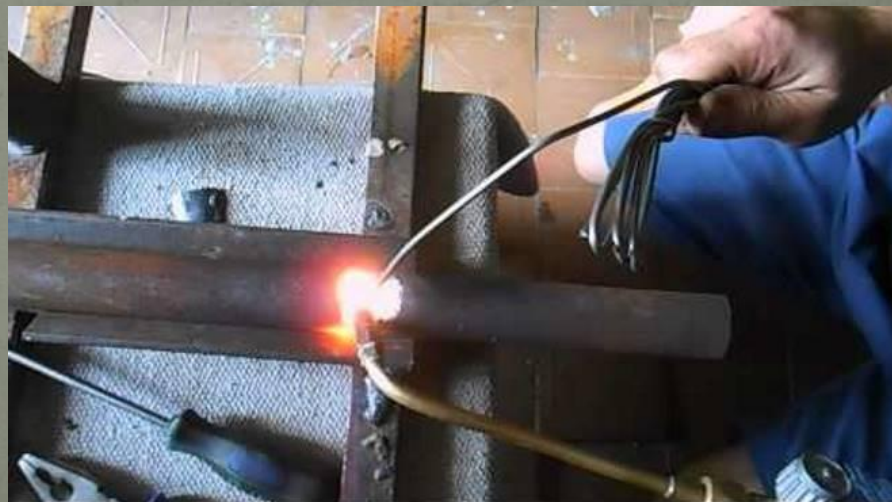
1. Способ обладает большой универсальностью, т. е. позволяет сваривать черные, цветные металлы и их сплавы.
2. Способ позволяет регулировать температуру в широких пределах.
3. Сварка возможна во всех пространственных положениях.
4. Возможность производить подогрев свариваемых заготовок перед сваркой, в процессе сварки и после сварки.

### ***Недостатки:***

1. Большая околошовная зона нагрева и, следовательно, большие деформации и коробления.
2. При увеличении толщины свариваемых листов резко снижается производительность сварки и качество швов.
3. Взрывоопасность применяемых газов.
4. Требуется высокая квалификация сварщика.

## *Применение:*

1. Сварка тонких листов (0,2-2 мм).
2. Ремонт различных машин и механизмов, заварка дефектов в отливках, в том числе из чугуна и бронзы, монтаж и ремонт сантехнических и теплотехнических коммуникаций.
3. Наплавка специальных легированных сталей (жаропрочных, износостойких и др.) на конструкционную сталь.
4. Пайка и резка металлов.

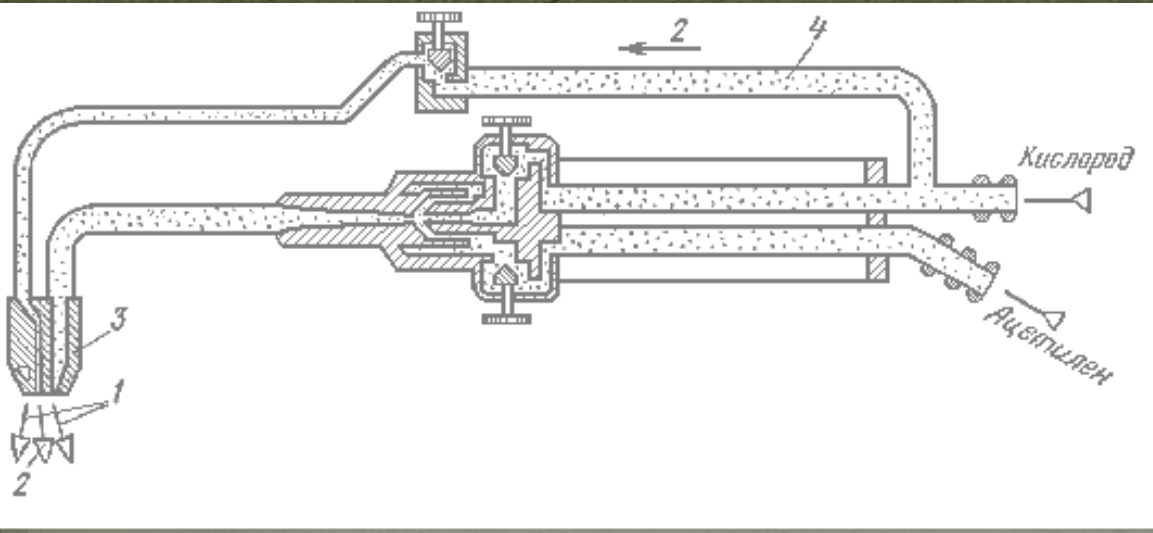


# Газовая ацетилено-кислородная резка металлов

Кислородная резка основана на способности некоторых металлов гореть в струе кислорода при температуре значительно ниже температуры плавления, с выделением тепла.

1. Температура плавления металла должна быть выше температуры сгорания металла в кислороде. Например, железо имеет температуру плавления  $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура воспламенения чистого порошка железа в кислороде  $315\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Этому условию не удовлетворяет чугун. У него температура плавления ниже температуры сгорания. По этой причине чугун невозможно разрезать кислородной резкой.

2. Температура плавления окислов металла должна быть ниже температуры плавления металла. Например, этому условию не удовлетворяет алюминий и его сплавы: температура плавления алюминия  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а образующаяся на поверхности алюминия тугоплавкая пленка  $\text{Al}_2\text{O}_3$  имеет температуру плавления  $2050\text{ }^{\circ}\text{C}$  и препятствует резке и сварке.



**Схема ацетилено-кислородного резака.**

Конструкция резака такая же, как и газовой горелки, только резак имеет дополнительно трубку 4 для подачи режущего кислорода

. Мундштук 3 состоит из двух мундштуков: для подачи режущего кислорода 2 и горючей смеси 1 для создания подогревательного пламени.

Газы-заменители ацетилена, применяемые при газовой сварке и резке, менее эффективны, чем ацетилен.

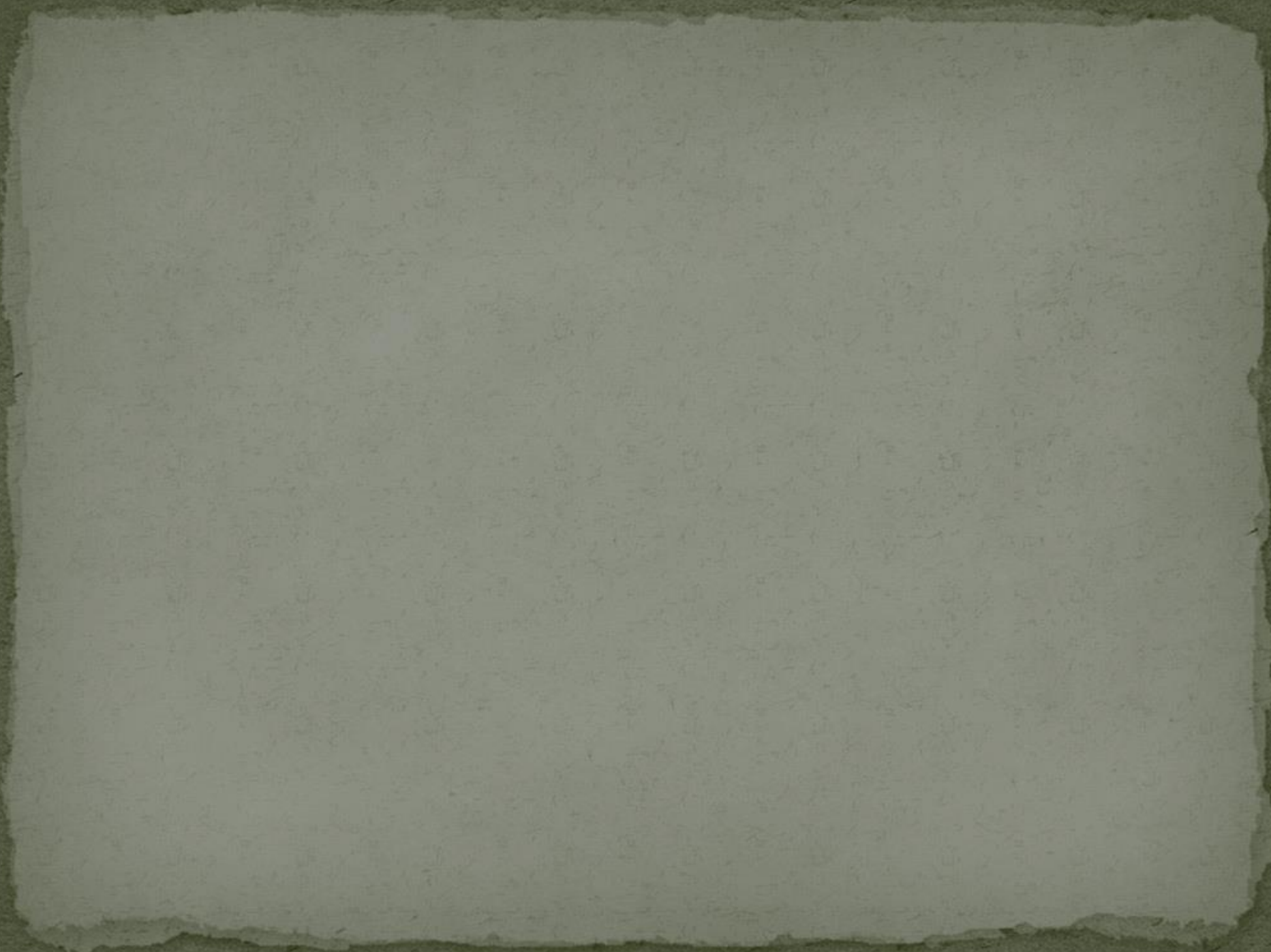
**Нефтяной газ** - смесь горючих газов, являющихся побочным продуктом нефтеперерабатывающих заводов.

**Природный газ** получают из газовых месторождений. Он состоит в основном из метана (93-99 %).

**Пропан-бутановую** смесь получают при добыче и переработке нефтяных газов и нефти.

**Бензин и керосин** используют в виде паров.





# Электроконтактная сварка

*Контактная сварка* – это процесс образования неразъёмного соединения деталей за счёт низковольтного напряжения с высокой плотностью тока (большая сила тока), которое подаётся на пятно контакта.

Сварной шов формируется за счёт пластической деформации разогретого металла сжимающим усилием сварочной машины.



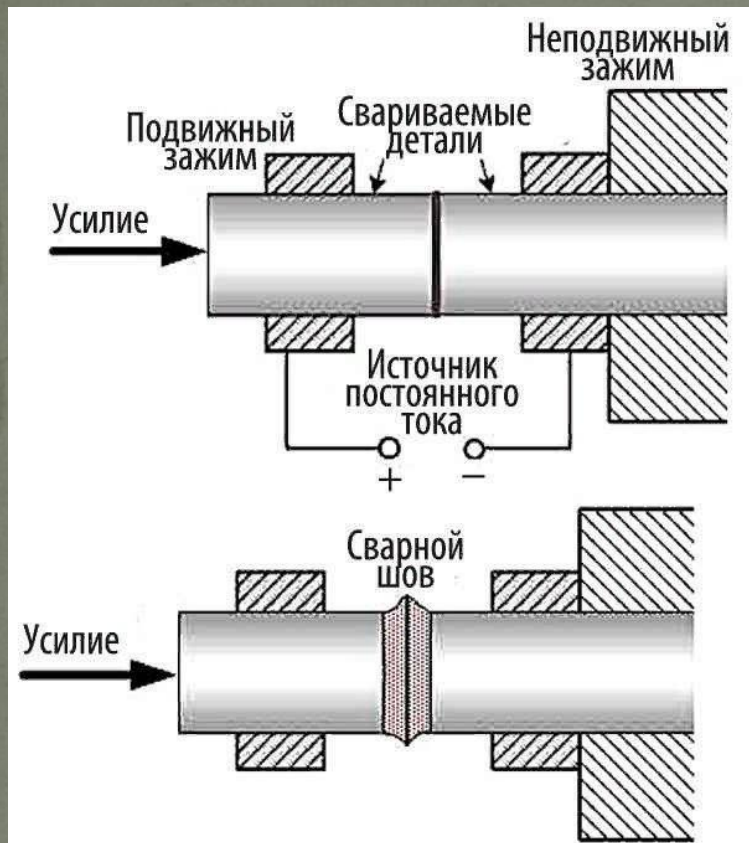
Максимальное количество тепла должно выделяется только в месте сварного шва, поэтому этот участок должен иметь повышенное электрическое сопротивление относительно всей электрической цепи. Это условие обеспечивается малым усилием прижатия деталей на первом этапе сварки и более низкими коэффициентами тепло- и электропроводности свариваемых заготовок по сравнению с токоподводящими элементами сварочной машины. Нагрев продолжается до необходимого уровня пластичности или оплавления поверхностей.

Количество тепла, выделяемое в зоне сварки, определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q = K \cdot I^2 \cdot R \cdot t, \text{ Дж},$$

где  $I$  – сила сварочного тока, А (выбирается максимальной),  
 $R$  – сопротивление цепи в месте сварки, Ом (зависит от деталей),  
 $t$  – время протекания тока, с (выбирается минимальным),  
 $K$  – коэффициент пропорциональности (для переменного тока  $K \approx 0,24$ ).

# Стыковая сварка



Имеет две разновидности: сварка *сопротивлением* и сварка *оплавлением*.

При сварке сопротивлением детали прочно закрепляются в захватах машины и с небольшим усилием  $P$  прижимаются друг к другу торцевыми поверхностями. Затем подаётся ток, место контакта деталей и околошовная зона быстро разогреваются до высокой температуры ( $0,8-0,9 \cdot T_{пл}$ ).

Тогда осуществляется их дополнительное сдавливание осадочным устройством машины, с одновременным выключением тока.

Образование стыкового сварного соединения происходит за счёт пластической деформации разогретого металла.

**Достоинство** стыковой сварки сопротивлением :

- 1) простоту устройства машины;
- 2) незначительный расход энергии на нагрев деталей;
- 3) высокую производительность сварки;
- 4) уменьшенный расход металла (только на осадку).

**Недостатки:**

- 1) значительное давление осадки (сжимающее усилие), которое машина должна обеспечить;
- 2) сложности в обеспечении качества сварных соединений при сварке больших сечений, из-за неравномерного прогрева стыка и возможного присутствия в нем не удалённых окисных плёнок.

Поэтому необходима специальная подготовка торцов соединяемых заготовок: торцы должны быть строго перпендикулярны осям заготовок, поверхность торцов очищена от окисных плёнок и загрязнений.

*Сварка оплавлением* может быть прерывистой и непрерывной.

При прерывистом оплавлении напряжение подаётся на заготовки, когда они ещё не соприкасаются.

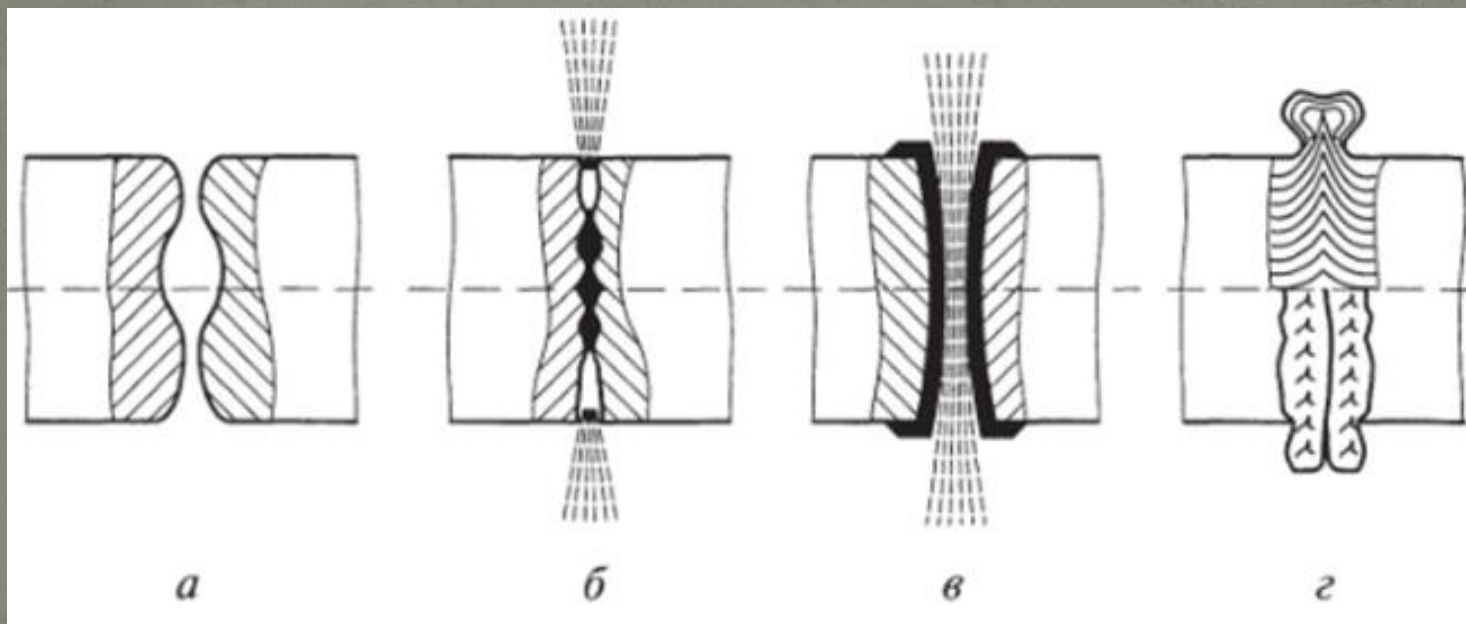
Далее производится кратковременное сближение деталей до их соприкосновения в местах выступов и неровностей, а затем их отвод.



Такие циклы с искристым разбрызгиванием частично расплавленного металла осуществляются, пока не произойдет оплавление торцов деталей по всему свариваемому сечению. После этого производится быстрая осадка деталей дополнительным давлением, с одновременным выключением тока. При таком процессе происходит выдавливание расплавленного и окисленного металла и прочих продуктов загрязнения из зоны сварки, с образованием так называемого *грата*, который удаляется, и после остаётся небольшое усиление в зоне сварки.

**Грат** – расплавленный металл, вытекающий из зоны сварки и застывающий в виде потёков.

При *непрерывном* оплавлении происходит однократное равномерное сближение деталей, находящихся под напряжением, пока не осуществится их соприкосновение в отдельных точках – местах выступов.



а — начальный контакт заготовок; б — появление и испарение жидких перемычек; в — выброс жидкого металла; г — образование грата после осадки

# Мобильные и стационарные установки для стыковой сварки оплавлением железнодорожных рельсов





## *Преимущество сварки оплавлением:*

- 1) возможность получения соединений с большим сечением из различных сталей, цветных металлов и их сплавов (из углеродистых сталей – более 100 000 мм<sup>2</sup>, из алюминиевых сплавов – до 30 000 мм<sup>2</sup>);
- 2) высокая производительность машин (выше, чем при электродуговой или электрошлаковой сварке встык таких же сечений);
- 3) поверхности соединяемых деталей не требуют специальной подготовки и очистки;
- 4) высокое качество сварных соединений.

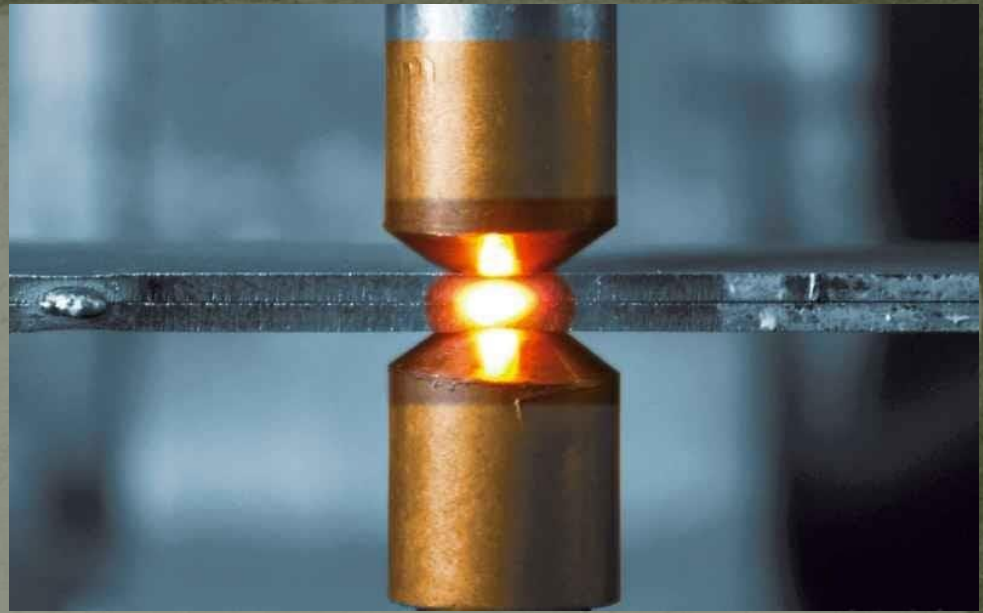
## ***Недостатки:***

- 1) значительный расход металла на оплавление и осадку;
- 2) необходимость удаления грата, а иногда и самого усиления после сварки;
- 3) более сложные схемы приводов сварочных машин и узлы автоматического управления.

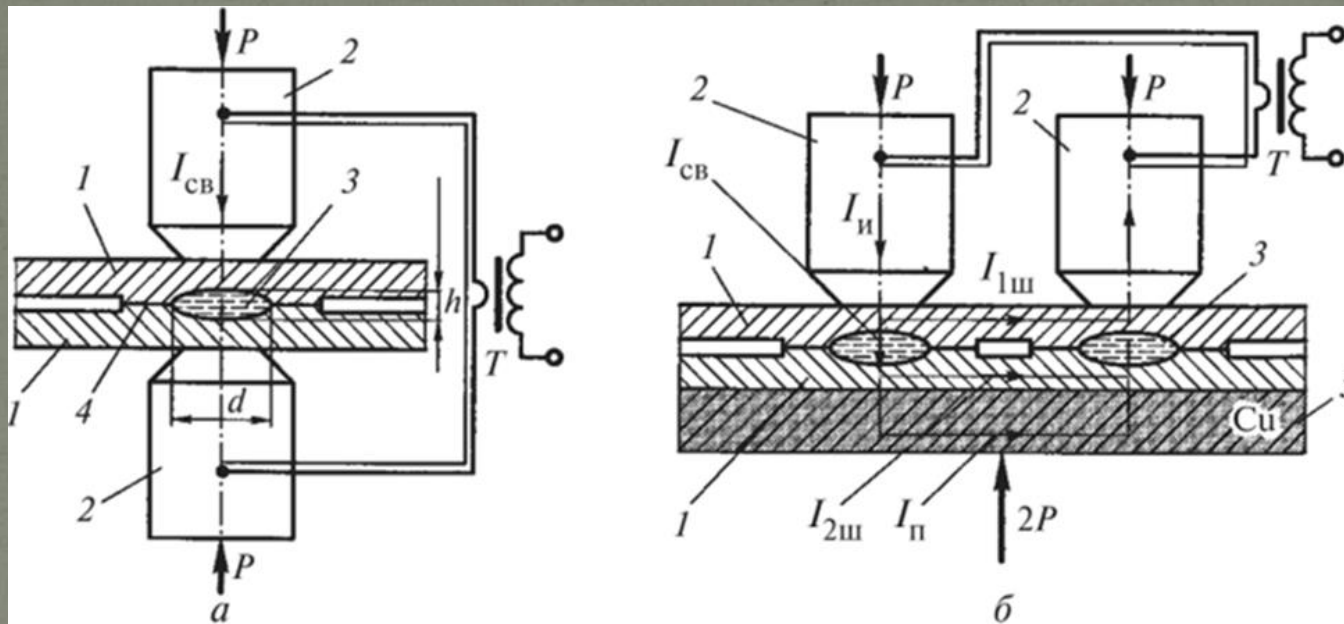
Стыковая сварка оплавлением применяется для соединения трубных стыков, фасонных профилей (например, стыков рельсов), стержней массивного сечения, различных деталей машин, концевое режущего инструмента, арматуры и т. д.

# Точечная сварка

Это способ контактной сварки, при котором листовые заготовки укладываются друг на друга внахлест и соединяются на ограниченных участках соприкосновения — в отдельных точках.



# Схемы точечной контактной сварки: а — двусторонней; б — односторонней;



1 — заготовки; 2 — электроды; 3 — жидкая точка; 4 — уплотняющий пояс; 5 — подкладка;  $I_n$  — сила тока источника питания;  $I_{св}$  — сила сварочного тока;  $I_{ш1}$ ,  $I_{ш2}$  — сила тока шунтирования в верхней заготовке, между сварными точками и в подложке;  $d$  — диаметр жидкой точки;  $h$  — глубина проплавления;  $P$  — усилие сжатия;  $T$  — трансформатор

При точечной сварке листы сваривают между собой не по всей поверхности касания, а лишь в отдельных точках.

Сущность процесса: тщательно зачищенные листы 1 накладывают друг на друга внахлестку и помещают между двумя медными, охлаждаемыми водой, электродами 2, подключенными ко вторичному витку понижающего трансформатора. Верхний хобот сварочной машины может перемещаться в вертикальном направлении, а нижний – неподвижный. Затем листы сжимают между электродами с усилием  $P$ , после чего кратковременно включают сварочный ток большой силы, который доводит металл в месте контакта до плавления ядра 3. Затем ток автоматически выключается, жидкая ванна металла (ядро сварной точки) затвердевает под действием усилия  $P$ , что предупреждает образование усадочной раковины.

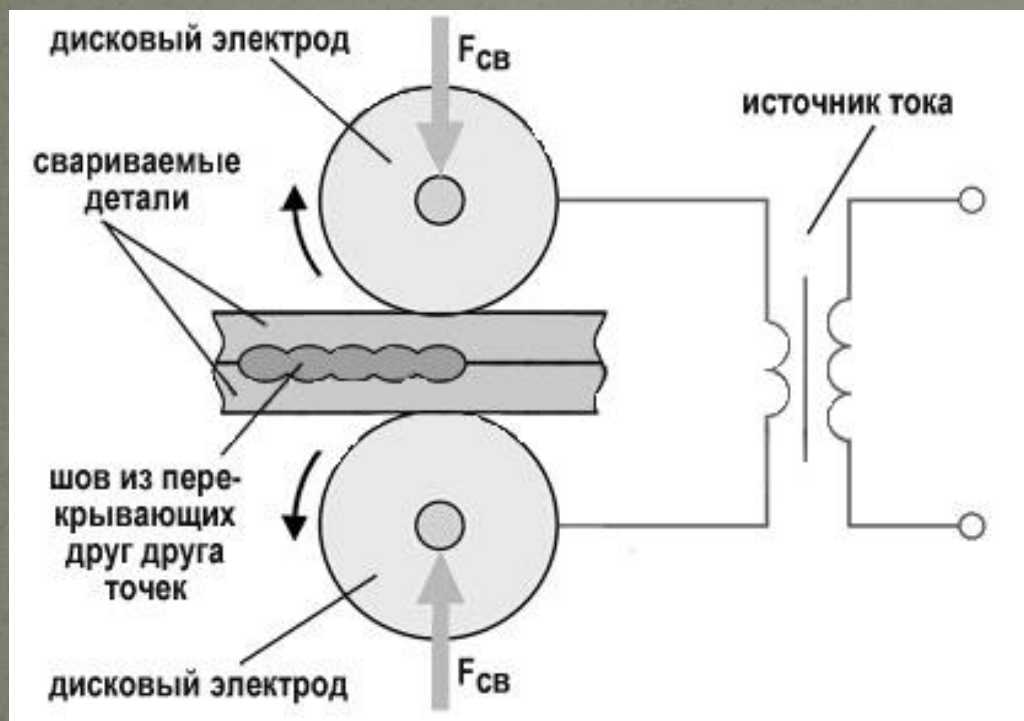
## *Достоинства точечной сварки:*

- 1) высокая производительность и технологичность процесса;
- 2) высокая экономичность, так как отсутствуют дополнительные сварочные материалы и расход электроэнергии небольшой;
- 3) минимальное коробление и деформация сваренных деталей;
- 4) возможность полной автоматизации процесса сварки и комплексной автоматизации производства в целом.

## *Недостатки точечной сварки:*

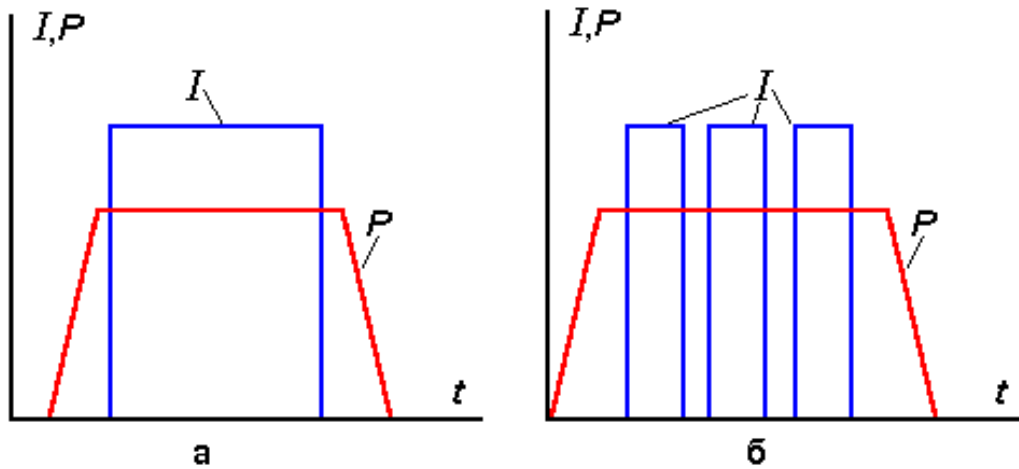
- 1) качество сварной точки зависит от чистоты поверхности деталей и точности сопряжения их друг с другом;
- 2) у сварных швов отсутствует герметичность;
- 3) соединения выполняются только внахлест.

**Шовной сваркой** называется разновидность контактной сварки, при которой подвод тока от источника питания к свариваемым заготовкам осуществляется при помощи двух вращающихся дисковых электродов.



Листовые заготовки укладывают внахлест, зажимают между электродами-роликами и подают ток в импульсном режиме и одновременно включают вращение электродов-роликов. Заготовки протягиваются вращающимися роликами.

При этом образуется линия из сварных точек, перекрывающих друг друга и формирующая сплошной герметичный шов.



Различают две основных разновидности шовной сварки:

*а. С непрерывным включением сварочного тока и непрерывным движением заготовок*

*б. С прерывистым включением тока и непрерывным перемещением заготовок.*

Первый цикл предназначен для сварки коротких швов. Вторым циклом - для сварки длинных швов и сварки металлов, для которых опасен перегрев.

Короткие швы сваривают от одного конца заготовки к другому, а длинные - от середины к концам.



### ***Преимущества.***

Шовные машины могут производить как прерывистую сварку, так и сплошным швом. Обеспечивают высокую герметичность и хороший внешний вид шва. Не требуется высокая квалификация сварщика.

### ***Недостатки.***

Сложное оборудование. Особенно сложна конструкция узла токоподвода к вращающимся роликам-электродам. При сварке герметичных швов требуется подготовка в виде отбортовки.

### ***Применение.***

Шовная сварка применяется в массовом производстве при изготовлении топливных баков и других сосудов из сталей и цветных металлов, а также из стальных листов с покрытием (оцинкованные, луженые, освинцованные и др.).

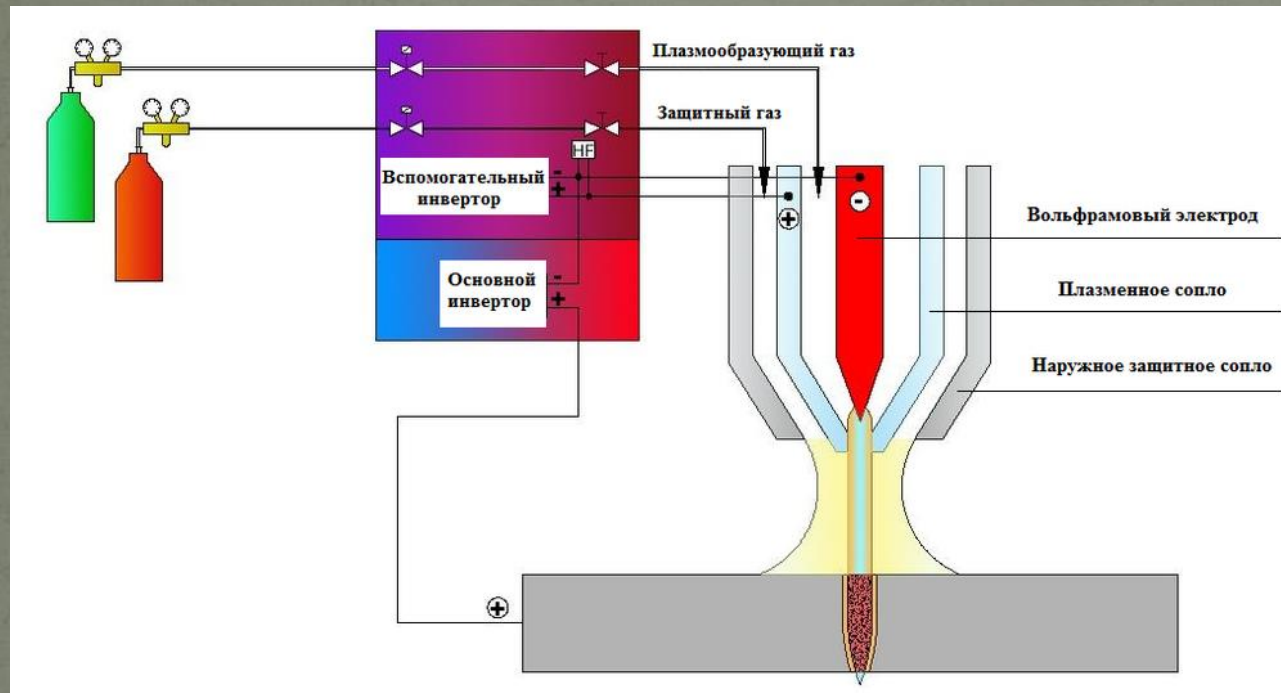


Шовная контактная сварка – высокопроизводительный процесс, её скорость может достигать 10 м/мин; она широко применяется для соединения сталей, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов с толщиной листов 0,3–4,0 мм

# Специальные виды сварки

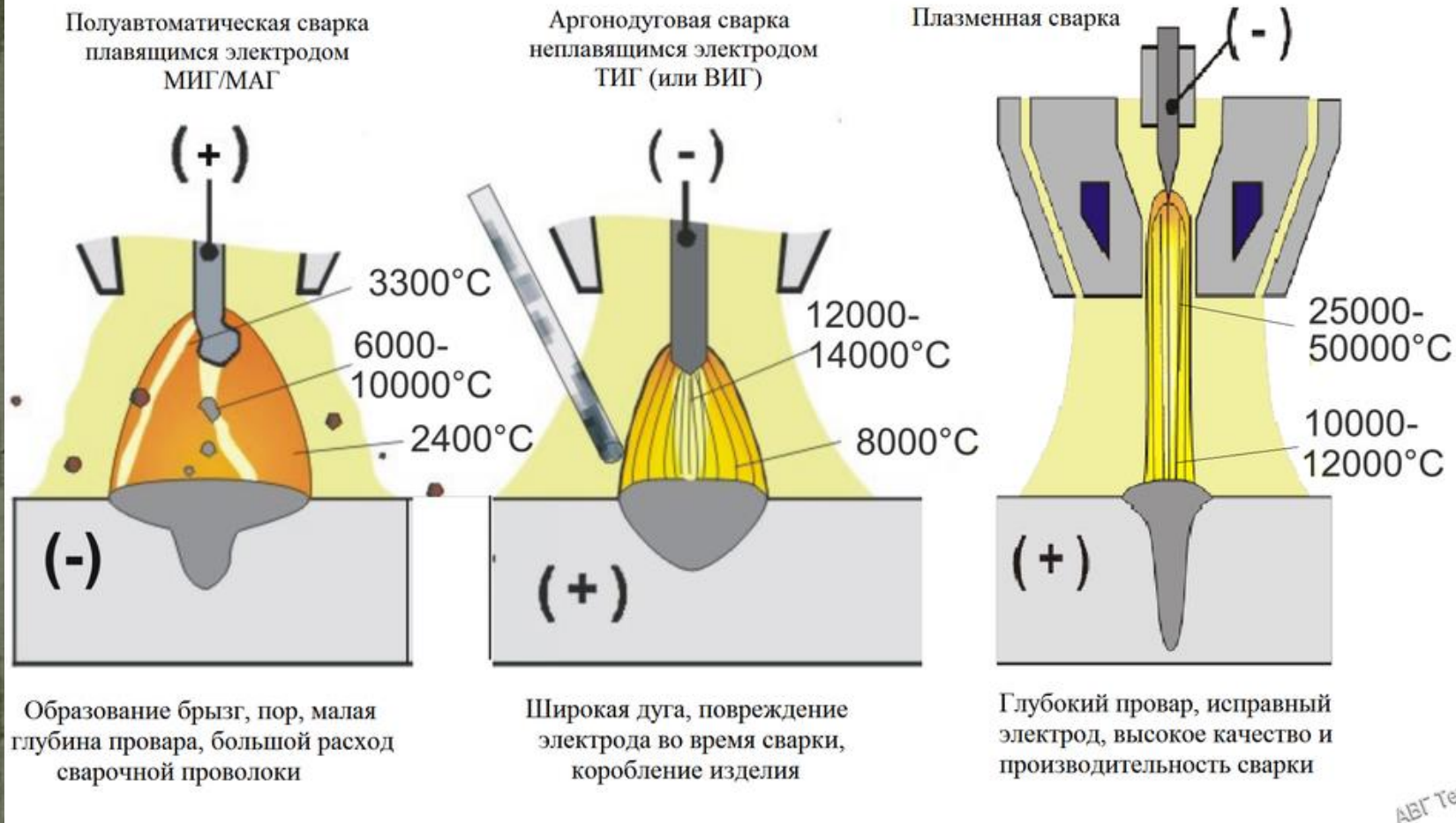
## Плазменная сварка

Существует четыре агрегатных состояния вещества - *твердое, жидкое, газообразное и плазменное.*



Плазменная сварка (PAW сварка - Plasma Arc Welding) – это сварка плавлением металла, нагрев которого проводится направленным потоком сжатого ионизированного газа (плазмы).

Данная технология известна еще с советских времен - 80-х годов прошлого столетия, существенное развитие получила на Западе и за время своего существования претерпела множество изменений в лучшую сторону



Главные отличия плазменной сварки от аргонодуговой и полуавтоматической наглядно показаны на рисунке. Применение плазменной сварки помогает решить такие вопросы как образование брызг и пор, непровар и большой расход сварочной проволоки, повреждение электрода и коробление изделия.

### *Преимущества.*

Плазменная струя позволяет регулировать температуру факела в широких пределах. Высокая устойчивость процесса образования плазмы позволяет получать микроплазменную струю при токах до 0,5 А, которой можно сваривать металлы толщиной в несколько десятков микрон. Мощной концентрированной струей можно сваривать металлы толщиной 15 мм за один проход и резать металлы узким резом. Не требуется вакуум.

### *Недостатки.*

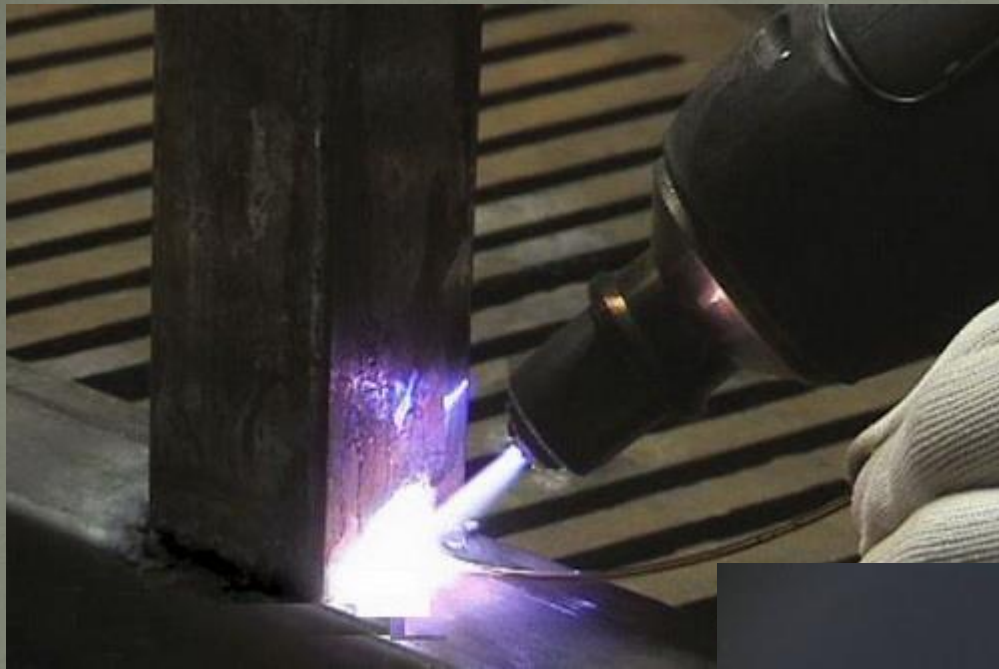
Быстро изнашиваются сопло и электроды плазмотрона. Для обработки различных толщин металлов требуются установки с разными параметрами (для каждой толщины - своя установка). Конфигурация швов и их расположение в пространстве ограничивается весом и габаритами плазмотрона.

## *Применение.*

Плазменной струей можно сваривать, резать и наплавлять все металлы и их сплавы, а также полупроводники и диэлектрики. Особенно эффективна микроплазменная сварка тонколистовых заготовок из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов, тугоплавких металлов и их сплавов (ниобий, молибден, титан, цирконий и др.). С помощью плазменной струи производят резку любых материалов, наплавку изношенных деталей, наплавку меди на сталь, нанесение жаростойких и коррозионностойких защитных покрытий.

Плазменной струей можно испарять материалы. Конденсацией паров материалов, выходящих из плазменной струи, получают монокристаллы полупроводниковых материалов и чистых металлов, таких, как вольфрам, молибден, ниобий и др.

Плазменную струю можно использовать для получения тонких металлических нитей очень высокой прочности.



Плазменная сварка

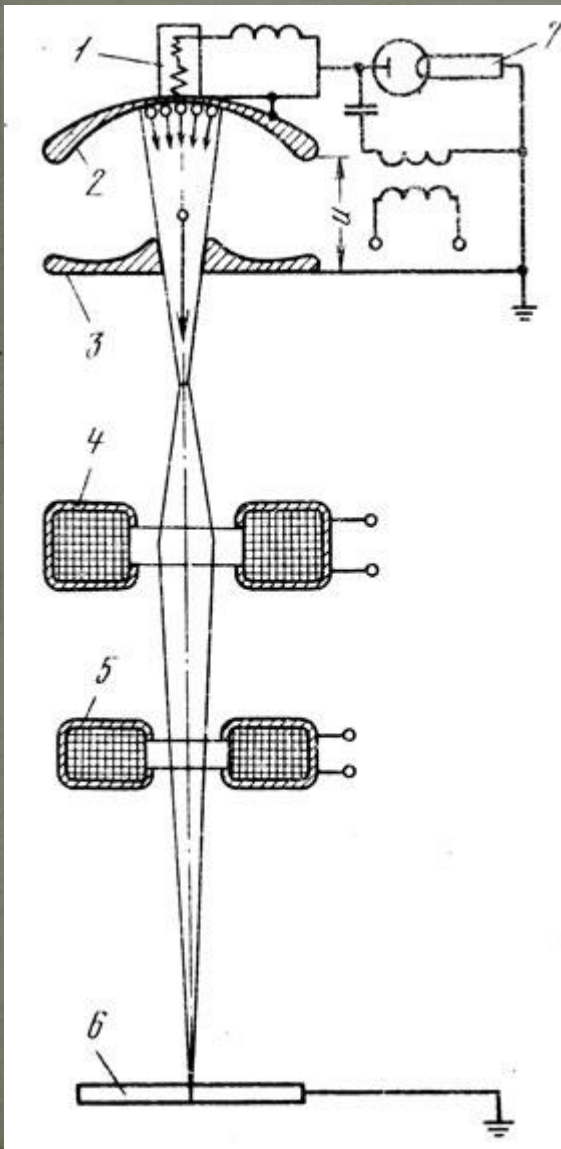
Плазменная резка



# Электронно-лучевая сварка

При *электронно-лучевой* сварке нагрев металла производится электронным лучом - сжатым потоком электронов, быстро перемещающимся в сильном электрическом поле.

Принципиальная схема установки для сварки электронным лучом: 1 - катодная спираль, 2 - фокусирующая головка катода, 3 - первый анод с отверстием, 4 - фокусирующая магнитная катушка для регулирования диаметра пятна нагрева на изделии, 5 - магнитная система отклонения пучка, 6 - свариваемое изделие, 7 - высоковольтный источник постоянного тока для питания катода





Установка для *электронно-лучевой* сварки состоит из вакуумной камеры, в которой поддерживается в процессе сварки вакуум  $133 \cdot 10^{-4} - 133 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>, и электронной пушки - генератора электронного луча

К полюсам сварочной установки подводится высокое напряжение (от 10 до 150 кВ), ток постоянный небольшой силы (35-1000 мА). При нагреве катода 1 с его поверхности излучаются электроны и со скоростью, соизмеримой со скоростью света, под действием большой разности потенциалов устремляются к аноду 3. Магнитное поле юстировочных катушек 4 направляет луч по оси пушки и фокусирует (сжимает) луч до диаметра 0,01-1,2 мм на поверхности заготовки. Скорость сварки определяется скоростью перемещения заготовки в камере под неподвижным лучом или отклонением самого луча с помощью отклоняющей системы 5.

### *Преимущества.*

Благодаря идеальной защите от вредного влияния воздуха обеспечивается высокая чистота металла и качество сварки. Можно сваривать за один проход узким (кинжальным) швом заготовки толщиной до 200 мм без разделки кромок при скорости сварки до 100 м/час. Хороший внешний вид сварного соединения (зеркальная поверхность). Возможность сварки через узкие отверстия в недоступных местах.

### *Недостатки.*

Дорогое и сложное оборудование; размер свариваемых заготовок и оперативное управление процессом сварки ограничено вакуумной камерой; низкая производительность процесса из-за того, что много времени, нужно для получения высокого вакуума; требуется биологическая защита персонала от рентгеновского излучения, возникающего при соударении электронного пучка с твердой поверхностью изделия.

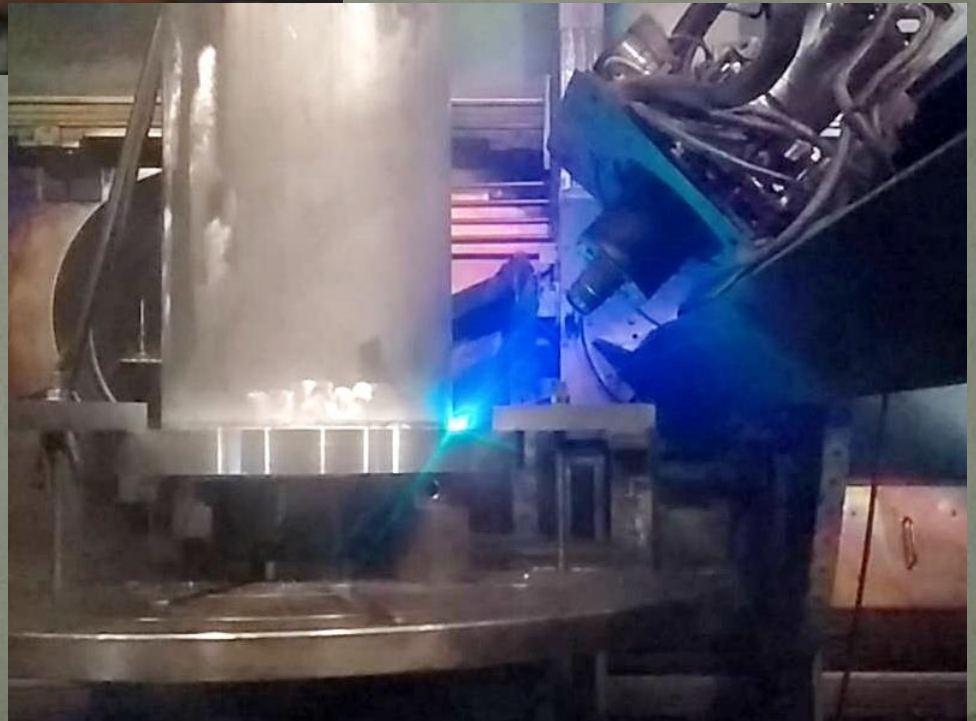
## *Применение.*

Для сварки всех материалов, в том числе разнородных, например, металлов с керамикой, стеклом; особенно высокое качество обеспечивается при сварке тугоплавких и химически активных металлов: ниобия, тантала, молибдена, вольфрама, титана, циркония и др.; минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм.

С помощью электронного луча, кроме процесса сварки, можно успешно прошивать отверстия диаметром тоньше человеческого волоса, прорезать очень узкие пазы, щели, разрезать на части заготовки, особенно из драгоценных металлов, а также неметаллов (кварц, керамика, алмазы и др.). Края обработанной поверхности получаются ровные и чистые, не требующие доводки, а структура смежных слоев металла при этом остается неизменной.

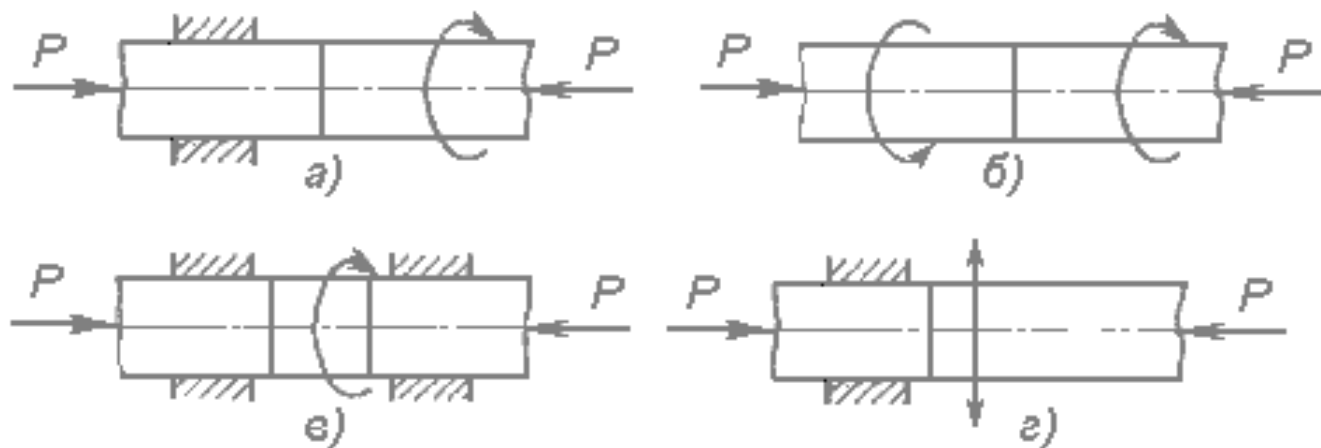


Электронно-лучевая  
сварка



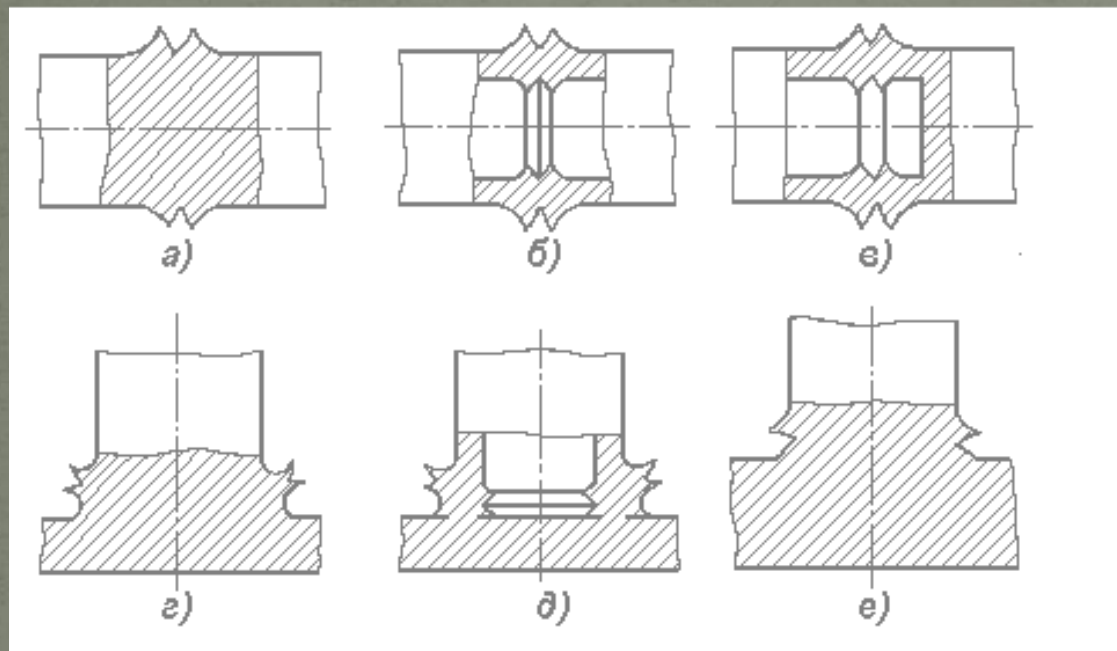
# Сварка трением

Сварка трением происходит в твердом состоянии. При этом торцы свариваемых стержней сводятся до соприкосновения. Затем один из стержней приводится во вращение и сдавливается со вторым силой  $P$ . За счет трения выделяется тепло, и свариваемые поверхности разогреваются до пластического состояния. При этом разрушаются окисные пленки. Этот период называется осадка. Затем вращение мгновенно прекращается, усилие сдавливания увеличивается (проковка), и возникает сварное соединение за счет сил межатомного взаимодействия.



*Принципиальные  
схемы  
сварки  
трением*

Основными параметрами режима сварки являются: *удельное давление*  $P=10-20$  кгс/мм<sup>2</sup>, *время*  $t=3-10$  с; *величина осадки* 2-10 мм, *скорость вращения*  $V$  - до 3000 об/мин.



Существуют разные типы сварных соединений, которые могут быть осуществлены по двум схемам: 1) *сварка встык*

*и труб* (рис. а, б) или сварка трубы со стержнем (рис. в) и 2) *сварка стержня или трубы с листом* (рис. г, д, е). При этом для сварки стержня с листом необходимо, чтобы лист имел выступ по размеру стержня.

## ***Преимущества.***

При сварке трением расходуется в 5-10 раз меньше электроэнергии, чем при контактной сварке. Нет разбрызгивания жидкого металла и искр, как при контактной электросварке.

## ***Недостатки.***

Дорогое оборудование, необходимость иметь сжатый воздух (4-6 атм) для сдавливания заготовок или гидросистему, что еще хуже. Быстрый износ и требование частой регулировки тормозных узлов.



## *Применение.*

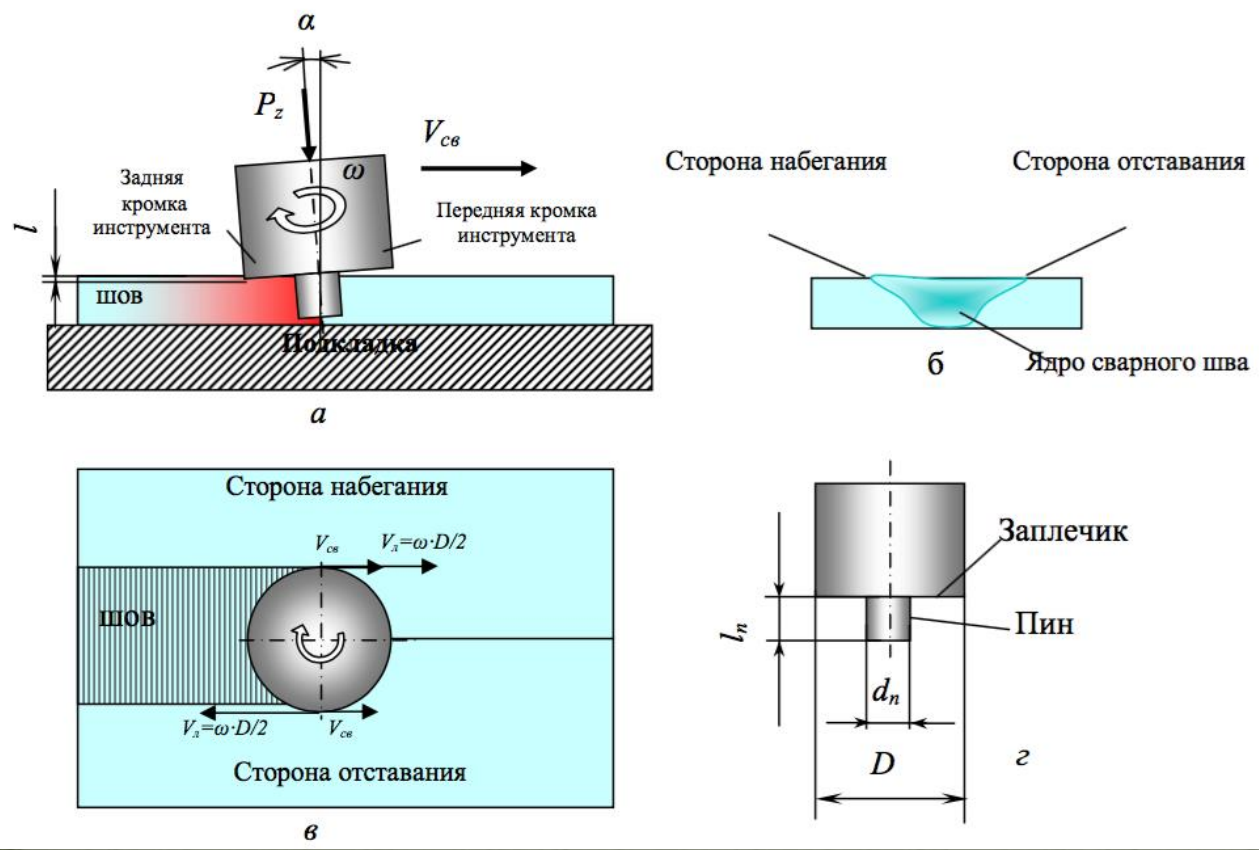
Широко применяется сварка трением в инструментальной промышленности для изготовления сверл, фрез, метчиков и т. п. При этом заготовки диаметром от 8 до 35 мм сваривают сваркой трением, а заготовки большего диаметра - электроконтактной сваркой.

В машиностроении сваривают рукоятки, валы, штоки, пуансоны и т. п. При сварке разнородных металлов требуется специальная оправка для формирования сварного соединения.





# Сварка трением с перемешиванием



Сущность процесса состоит в следующем. Сварка ведется вращающимся нерасходуемым инструментом. Инструмент в общем случае представляет собой цилиндр с плоским торцом диаметром  $D$ , данный элемент называется заплечиком.

Из заплечика выступает цилиндр меньшего диаметра  $d$  – пин. При сварке ось инструмента наклонена на угол  $\alpha$  относительно нормали. Вначале инструмент, вращаясь со скоростью  $n$  (или  $\omega$ ), погружается в свариваемый металл на определенную глубину  $l$  и перемещается вдоль стыка (сварка углом «вперед») со скоростью сварки  $V_{св}$ .

. В результате нагрева от трения и приложенного давления от силы  $P_z$  металл под заплечиком находится в пластифицированном состоянии. За счет перемешивания пластифицированного металла и приложения к нему давления за инструментом образуется сварной шов. После сварки в соединении (в месте выхода инструмента) остается характерное глухое отверстие, повторяющее форму пина инструмента. Процесс сварки ведется на подкладке. Система инструмент-деталь-подкладка должна обладать достаточной жесткостью.



## *Преимущества.*

Высокие показатели механических свойств соединений при растяжении, изгибе; при статическом нагружении и при действии переменных нагрузок.

Возможность соединения сплавов трудно свариваемых традиционными способами (алюминиевые сплавы, содержащие цинк; дуралюмины; литейные алюминиевые сплавы).

Стабильность параметров процесса, повторяемостью служебных свойств сварных соединений в партии деталей, сваренных на одном и том же режиме.

Простота автоматизации процесса, низкая квалификация сварочного персонала.

Малая величина остаточных сварочных деформаций даже при сварке протяженных швов.

Экологичность процесса: отсутствие светового излучения, выделения вредных аэрозолей.

## *Недостатки.*

Требуется жесткое закрепление деталей перед сваркой. После завершения процесса сварки в шве остается отверстие.

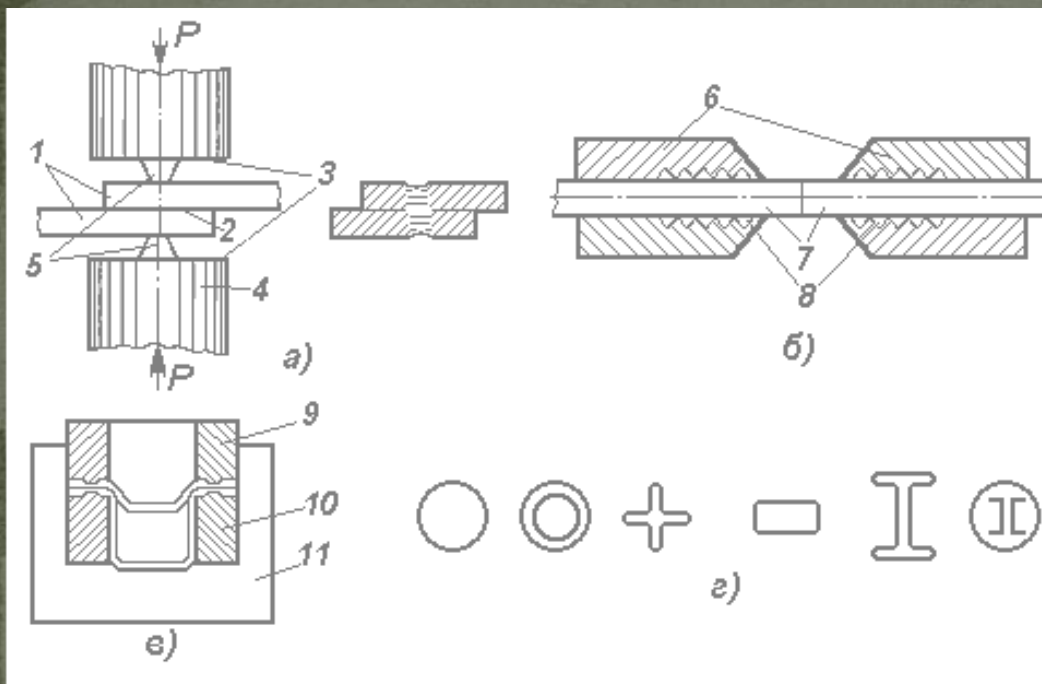
Не представляется возможным выполнить сварное соединение, когда для его образования требуется присадочный материал, например, сварку угловых швов.



## *Холодная сварка*

Холодная сварка осуществляется без нагрева при нормальных и даже при отрицательных температурах. Холодной сваркой свариваются только пластичные металлы.

Сущность процесса заключается в том, что под действием сжимающих усилий (выше предела текучести) металл пластически деформируется, при этом разрушаются окисные пленки и свариваемые поверхности сближаются на расстояние действия межатомных сил. При этом происходит диффузионный обмен электронов внешних орбит атомов соединяемых металлов и образование сварного соединения.



### *Принципиальная схема холодной сварки*

Свариваемые заготовки 1 с тщательно зачищенной поверхностью 2 помещают между пуансонами 4, имеющими выступы 5. При сжатии пуансонов усилием  $P$  выступы вдавливаются в металл, пока опорные поверхности 3

пуансонов не упрутся в наружную поверхность свариваемых заготовок (рис. а). Форма сварной точки зависит от формы выступов (рис. г).

Холодной сваркой можно выполнять точечные, стыковые и шовные соединения. При холодной стыковой сварке соединяемые стержни 7 зажимаются губками 6 с насечкой 8 для увеличения трения и сдавливаются (рис. б).

Для холодной шовной сварки применяют специальные ролики или получают соединение путем одновременного сдавливания по контуру. При этом пуансоны 9 и 10 строго центрируются с помощью корпуса 11 (рис. в).

### ***Преимущества.***

Простота процесса и оборудования. Возможность сварки в полевых условиях, не нужны источники нагрева.

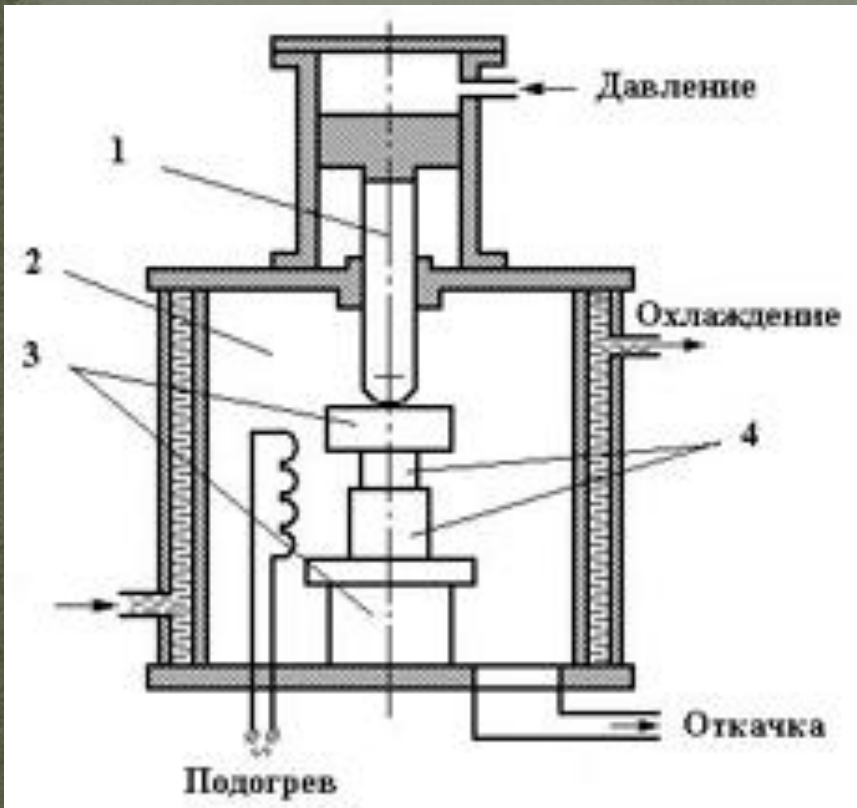
### ***Недостатки.***

Ограниченность мощности и величины сварных заготовок. Требуется специальное оборудование. Возможность сварки только пластичных металлов.

### ***Применение.***

Холодной сваркой сваривают алюминий, медь, свинец, никель, золото, серебро и их сплавы; однородные и разнородные металлы в приборостроении, при изготовлении бытовых приборов, в электромонтажном производстве. Для сварки медных и алюминиевых проводов существуют переносные рычажные клещи

# Диффузионная сварка в вакууме

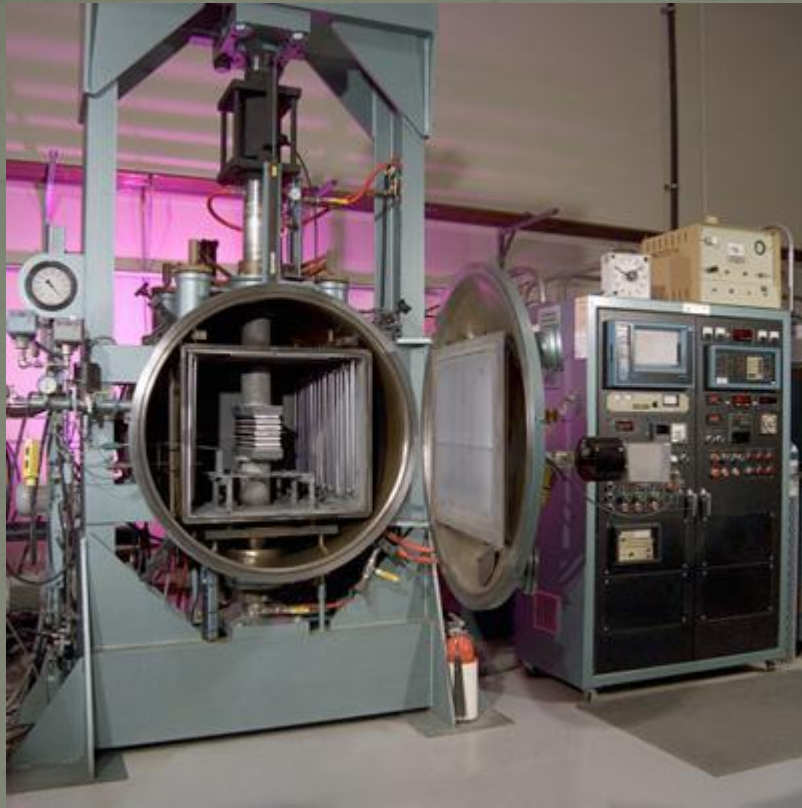


1. Силовой механизм
2. Рабочая камера
3. Оправки
4. Свариваемый материал

Свариваемые детали с тщательно зачищенными свариваемыми поверхностями помещаются в рабочую камеру. В рабочей камере создается разрежение путем откачки атмосферного воздуха до давления  $10^{-5}$  мм рт. ст. Для повышения пластичности и ускорения процесса диффузии на свариваемые детали прикладывается небольшое сжимающее усилие и они нагреваются до температуры  $600 - 800^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность процесса сварки составляет около 5 мин.

В результате нагрева свариваемых деталей в вакууме происходит интенсивное очищение поверхностей от окислов и органических загрязнений. Сварные швы, полученные в результате диффузионной сварки, при высоком качестве не имеют внутренних напряжений.





### ***Преимущества.***

При диффузионной сварке не требуется высокий нагрев до расплавления, а только до температуры рекристаллизации. По этой причине отсутствуют термические деформации. Не требуются флюсы, присадочная проволока. Можно сваривать различные композиции материалов.

### ***Недостатки.***

Одним из недостатков этого способа является низкая прочность сварного соединения. Размер свариваемых изделий ограничивается размерами вакуумной камеры. Ограничена геометрия сварных соединений.

### ***Применение.***

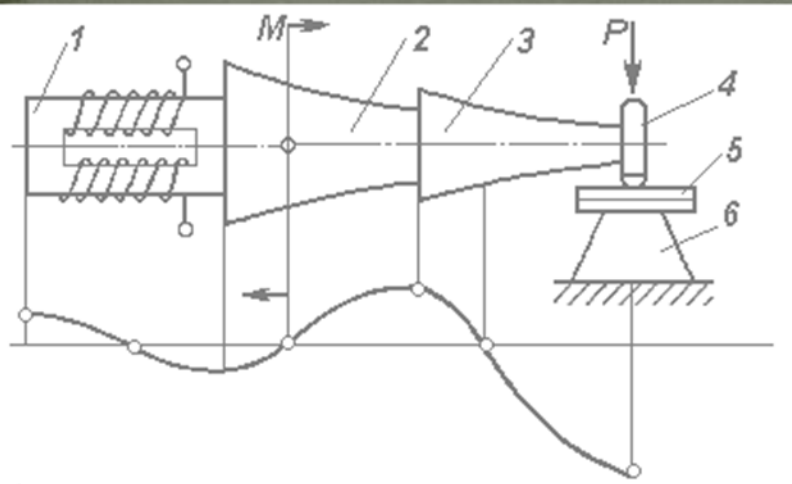
Применяется диффузионная сварка в радиоэлектронике и электронной технике, в приборостроении. Этим способом можно сваривать трудносвариваемые металлы: вольфрам, молибден, чугун, твердые сплавы, а также стекло с металлами. Можно получать многослойные изделия.

# *Ультразвуковая сварка*

Этот вид микросварки применяется для соединения деталей, нагрев которых затруднен, или при соединении разнородных металлов или металлов с прочными окисными пленками



(алюминий, нержавеющей стали, магнитопроводы из пермаллоя и т. п.). При ультразвуковой сварке используются давление и вибрации при взаимном трении свариваемых поверхностей. Силы трения возникают в результате действия на заготовки механических колебаний с ультразвуковой частотой 15-30 кГц. Для получения механических колебаний высокой частоты используется магнитострикционный эффект.



Этот эффект заключается в изменении размеров некоторых металлов и сплавов под действием переменного магнитного поля. Свариваемые заготовки 5 размещаются на опоре 6. Наконечник 4 присоединен к рабочему инструменту 3 и вместе с трансформатором продольных колебаний 2 представляет волновод.

. Волновод присоединен к магнитострикционному вибратору 1 с катушкой. Переменный ток от высокочастотного генератора, проходя по обмотке катушки, возбуждает в ней переменное магнитное поле, под действием которого вибратор 1 изменяет свои размеры. Эти колебания (расширение и сжатие) передаются волноводу, который увеличивает их амплитуду с 1-3 мкм до десятков мкм на наконечнике 4. В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей разрушаются поверхностные пленки, слой металла нагревается и пластически деформируется. При сближении свариваемых поверхностей на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная связь.

### ***Преимущества.***

Низкие температуры нагрева при ультразвуковой сварке (меди до 600 °С, алюминия до 200-300 °С) позволяют избежать изменений структуры в зоне термического влияния и образования сварных деформаций. Не требуются сварочные материалы и высокая квалификация сварщика.

### ***Недостатки.***

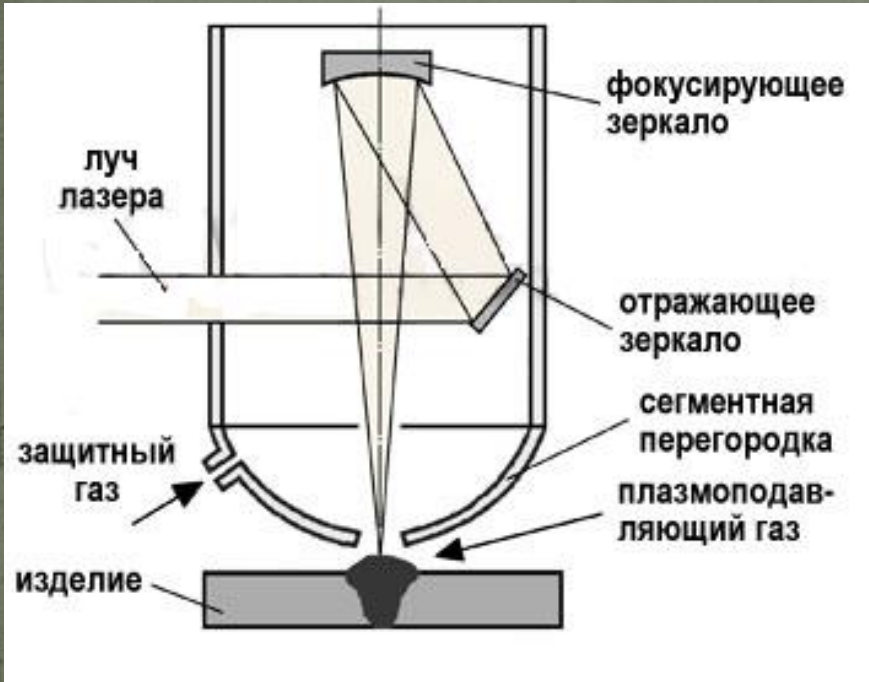
Малая мощность. Поэтому можно сваривать листы толщиной до 1 мм.

### ***Применение.***

Ультразвуковая сварка применяется для получения точечных и шовных соединений внахлестку. Можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях. Успешно можно приварить тонкие листы и фольгу к заготовке неограниченной толщины.

# Сварка лазерным лучом

LBW – Laser Beam Welding –  
сварка лазерным лучом



Лазерная сварка производится в атмосферных условиях, без создания вакуума, необходима защита расплавленного металла от воздуха. Обычно для защиты используются газы, в частности аргон. Особенностью процесса лазерной сварки является то, что вследствие высокой тепловой мощности луча на поверхности свариваемого изделия происходит интенсивное испарение металла.

Пары ионизируются, что приводит к рассеиванию и экранированию луча лазера. В связи с этим при использовании лазеров большой мощности в зону сварки необходимо подавать, кроме защитного, так называемый плазмоподавляющий газ. В качестве плазмоподавляющего газа обычно используют гелий, который значительно легче аргона и не рассеивает луч лазера. Для упрощения процесса целесообразно применение смесей 50% Аг + 50%

### ***Преимущества.***

Сварка лазером выгодно отличается от электронно-лучевой сварки тем, что может выполняться в любой среде - на открытом воздухе, в вакууме и т. д. Лазерная сварка более проста и безопасна, может быть использована в недоступных местах. Малая длительность импульсов и концентрированный луч позволяют уменьшить зону термического влияния до нуля.

### ***Недостатки.***

Низкий КПД использования энергии накачки (менее 2 %). При этом требуется мощное охлаждение установки. По этой причине лазер может работать только с длительными перерывами между импульсами (от 1 до 100 в минуту) для охлаждения в паузах.

## *Применение.*

Сварка контактов проводников с пленками на микроплатах, твердых схемах и электроэлементах. Можно сваривать любые композиции металлов. Можно сваривать очень тонкие проволоки диаметром в несколько десятков микрон.

выполняют резку любых металлов и металлокерамических заготовок толщиной от 0,5 до 10 мм методом прямого испарения (узким резом); производить прошивку отверстий, до 5 мкм в металлах, рубине, алмазах, твердых сплавах. Такая резка и прошивка отличается высокой чистотой и точностью. При изготовлении изделий сложной геометрической формы используют системы перемещения с ЧПУ.

На достаточно мощных установках непрерывного действия, с использованием в качестве излучателя углекислого газа, можно сваривать стальные заготовки толщиной до 10-15 мм, накладывая непрерывные и прерывистые швы (типа точечной сварки).

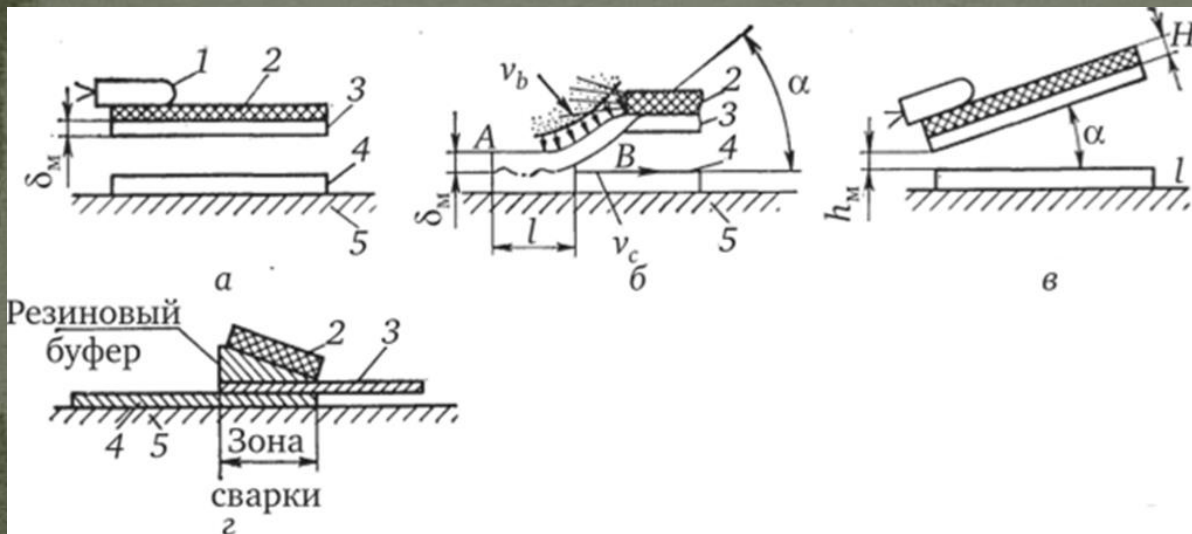


## *Сварка взрывом*

При сварке взрывом используется энергия направленного (кумулятивного) взрыва.

Сварка взрывом мгновенно соединяет поверхности двух заготовок, например, пластин.





Взрывчатое вещество (ВВ) обычно укладывают равномерным слоем непосредственно на деталь (а, в), иногда для некоторого смягчения удара между зарядом и деталью помещается

прокладка из резины или пластика (г). Образование соединения происходит в результате соударения верхней (метаемой) пластины с нижней. Ударной волной взрыва осуществляется и необходимая для сварки очистка от загрязнений свариваемых поверхностей. После инициирования детонатором взрыва заряда ВВ с огромной скоростью по заряду распространяется плоская детонационная волна. Позади движущейся плоской детонационной волны остаются продукты взрыва. Давление в их объеме составляет 10—20 ГПа. За счет этого давления части верхней детали, расположенной в зоне действия продуктов взрыва, сообщается ускорение в направлении к неподвижной детали.

### ***Преимущества.***

Быстрота процесса; возможность применения в труднодоступных местах конструкции. Сварной шов имеет более высокую прочность по сравнению со свариваемым металлом, так как во время сварки подвергается упрочнению.

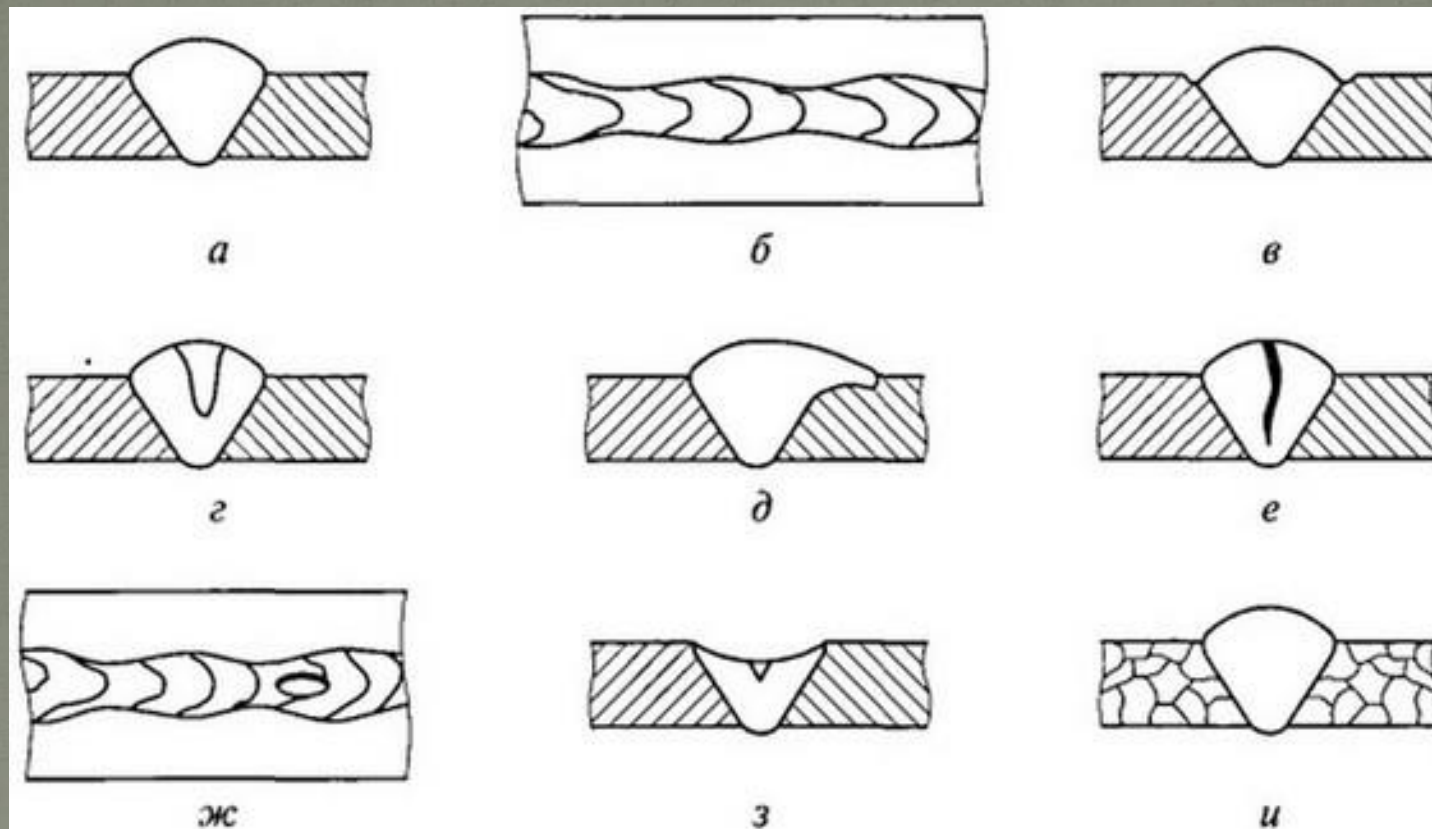
### ***Недостатки.***

Сварка взрывом является опасным процессом, требующим специального полигона вне населенного пункта, хранение взрывчатых веществ требует особых условий безопасности.

### ***Применение.***

Для получения биметаллических пластин высокой прочности. Используется сварка взрывом в сочетании со штамповкой.

# Основные виды дефектов сварных швов и их причины



Наружные дефекты сварного шва:

а — чрезмерная выпуклость; б — нестабильность ширины шва;  
в — подрезы; г — свищ; д — наплыв; е — поверхностная трещина; ж — прожог; з — усадочная раковина; и — перегрев

***Нарушение размеров и формы шва*** - эти дефекты при ручной сварке являются результатом низкой квалификации сварщика, плохой подгонки свариваемых кромок, неправильного выбора величины сварочного тока.

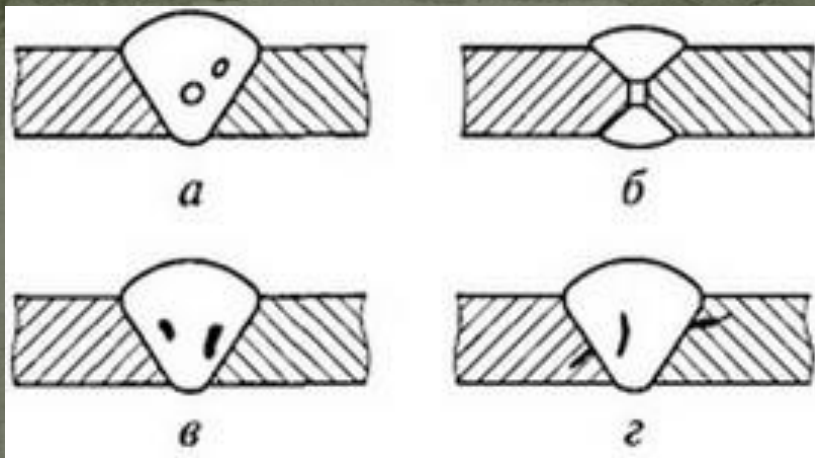
***Наплывы*** образуются из-за нарушения техники сварки, низкой квалификации сварщика, недоброкачественных электродов, несоответствия скорости сварки и величины сварочного тока.

***Подрезы*** - из-за большого тока, удлиненной дуги, неправильного положения электрода или горелки.

***Непровары*** - из-за низкой квалификации сварщика, некачественной подготовки свариваемых кромок (малый угол скоса, отсутствие зазора, большое притупление).

***Наружные трещины*** - из-за жесткой формы сварного соединения (например, пересекающиеся швы), неправильного теплового режима сварки, закрепления сварных заготовок.

***Усадочная раковина*** сварного шва — дефект в виде полости или впадины, образовавшийся при усадке металла шва в условиях отсутствия питания жидким металлом.



Внутренние дефекты сварного шва:

а — поры; б — непровар; в — шлаковые включения; г — внутренние трещины

**Газовые поры** - из-за загрязнений на свариваемых поверхностях (ржавчина, влага, масло и др.), отсыревших электродов и кромок, попадания воздуха в сварочную ванну, повышенного содержания углерода.

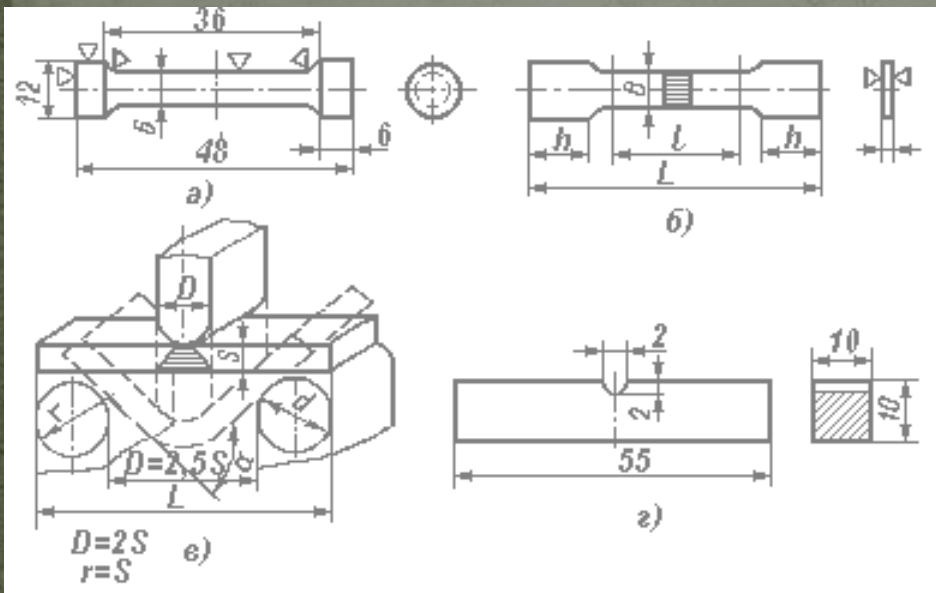
**Неметаллические** включения образуются при сварке малым сварочным током, при недоброкачественных электродах и флюсе, из-за загрязнений на свариваемых поверхностях. При неправильно выбранном режиме сварки шлак не успевает всплывать на поверхность и остается в металле шва в виде шлаковых включений.

**Трещины** в высокоуглеродистых и легированных сталях образуются вследствие напряжений, возникающих в металле от его неравномерного нагрева и структурных превращений. В этом случае требуется подогрев сварного соединения при сварке и отпуск сразу после сварки.

# Контроль качества сварки

## Окончательный контроль готовых сварных соединений

осуществляется наружным осмотром, проверкой размеров швов, механическими испытаниями прочности соединений, испытаниями плотности шва, металлографическими исследованиями и контролем внутренних дефектов.



## Механические испытания.

При испытаниях на растяжение на разрывной машине изготавливается образец (а) из основного или наплавленного металла. При этом определяются характеристики прочности и пластичности.

Схема испытания на изгиб (в) проводится до образования первой трещины. Максимальный угол загиба  $180^\circ$  характеризует хорошую пластичность. Испытание на ударную вязкость проводят с надрезом по шву (г).

**Твердость** сварного соединения определяют обычно на закаливаемых сталях.

**Металлографические исследования** включают макро- и микроструктурный анализ. При макроструктурном анализе исследуют изломы, а также визуально видимые дефекты на макрошлифах, протравленных 25-процентным раствором азотной кислоты. При микроструктурном анализе исследуется структура на микрошлифах, протравленных 4-процентным раствором азотной кислоты. Исследование ведется с помощью металлографического микроскопа и позволяет определить не только дефекты металла, но и дефекты режима сварки.

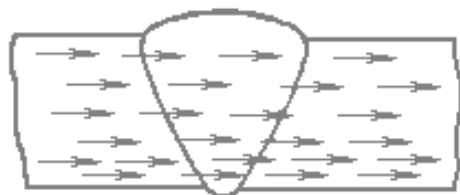
**Коррозионные испытания** сварных соединений проводятся в средах с моделированием условий эксплуатации изделия.

**Гидравлические испытания** производятся с целью проверки плотности швов и прочности. При испытаниях создают давление на 2 атм ( $\text{кгс/см}^2$ ) выше рабочего и выдерживают 5 мин. Места, в которых обнаружена течь, отмечают мелом, вырубают и снова заваривают.



**Пневматические испытания** выполняются сжатым воздухом только при рабочем давлении. Дефекты обнаруживаются с помощью покрытия швов мыльным раствором или погружения изделия в воду.

**Керосиновая проба** является удобным, надежным и широко распространенным методом контроля плотности швов (корпуса судов, резервуары, баки, контейнеры и т. п.). Для этого шов с одной стороны покрывают белой краской (порошок мела и вода), а с другой - смазывают керосином. Керосин способен проникать через самые мелкие поры диаметром в несколько микрон и выявляется в дефектном участке в виде темных пятен на фоне белой краски. Способ не требует ни оборудования, ни квалификации.



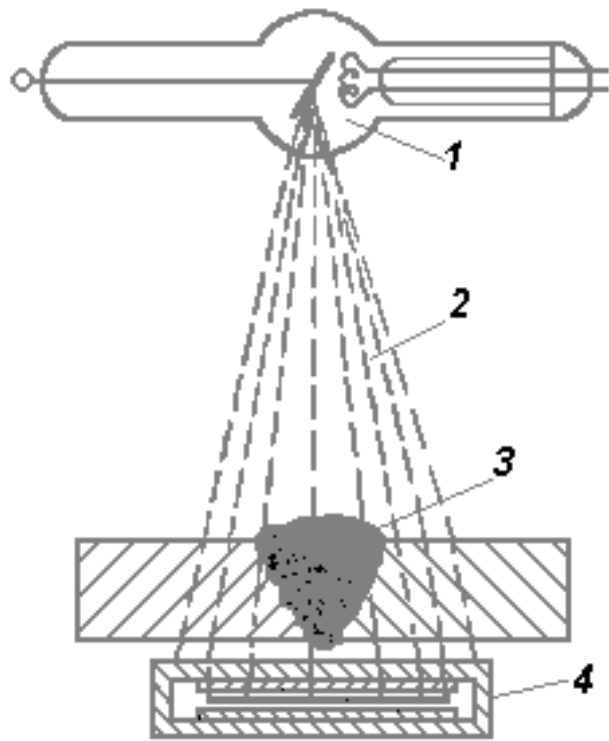
а)



б)

**Магнитный контроль** основан на намагничивании сварных соединений и обнаружении полей магнитного рассеивания на дефектных участках.

Методом магнитного порошка, нанесенного на шов, дефект определяют по скоплению порошка (окалины).



**Рентгеновское просвечивание** основано на способности рентгеновских лучей проникать через металлы. Выявление дефектов происходит за счет того, что участки металла с дефектами и без дефектов по-разному пропускают излучение. Рентгеновские лучи, проходя через сварной шов, фиксируют дефекты в виде темных пятен.

**Ультразвуковой контроль** основан на способности высокочастотных, (свыше 20000 Гц), не воспринимаемых человеческим ухом, ультразвуковых волн проходить через большие толщины металла, отражаясь от поверхности раздела двух сред (металл-дефект),

