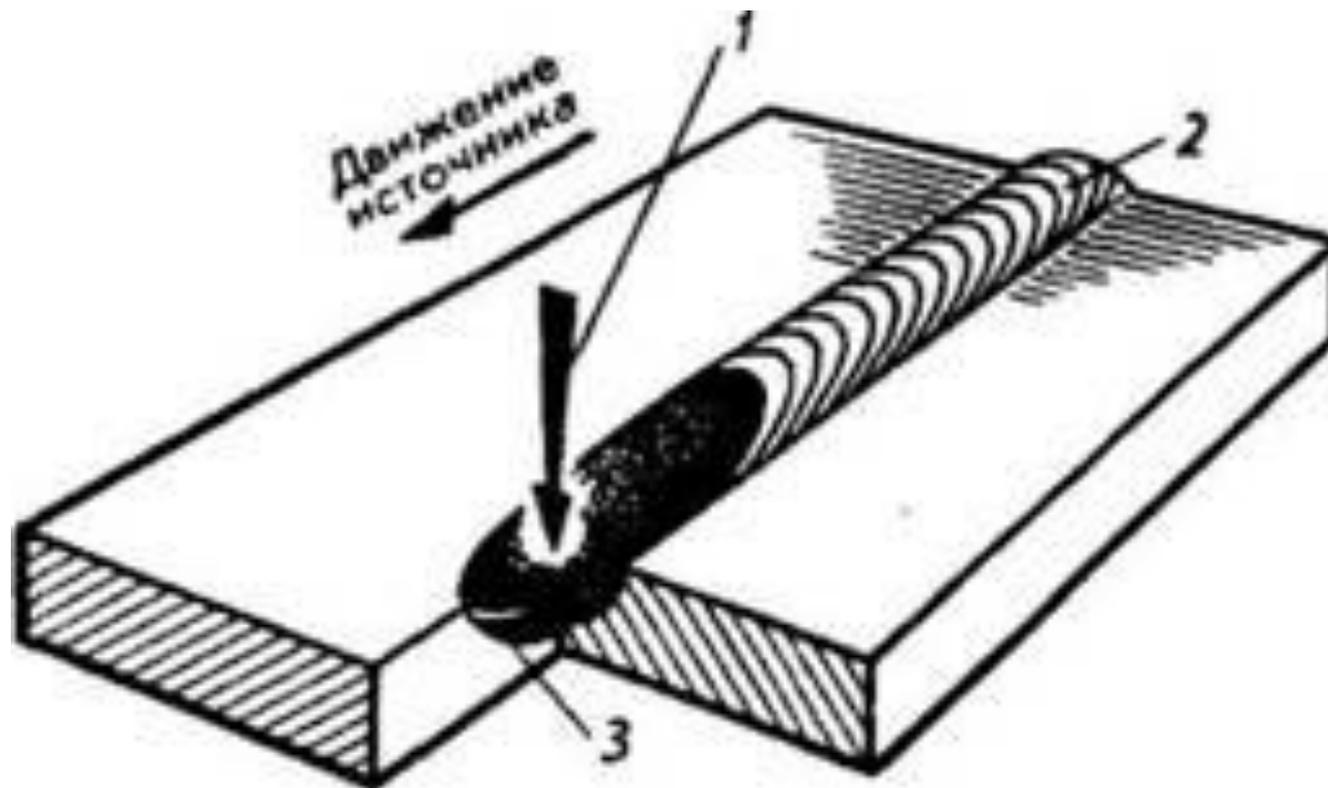


Сварка плавлением.

Основные способы сварки плавлением

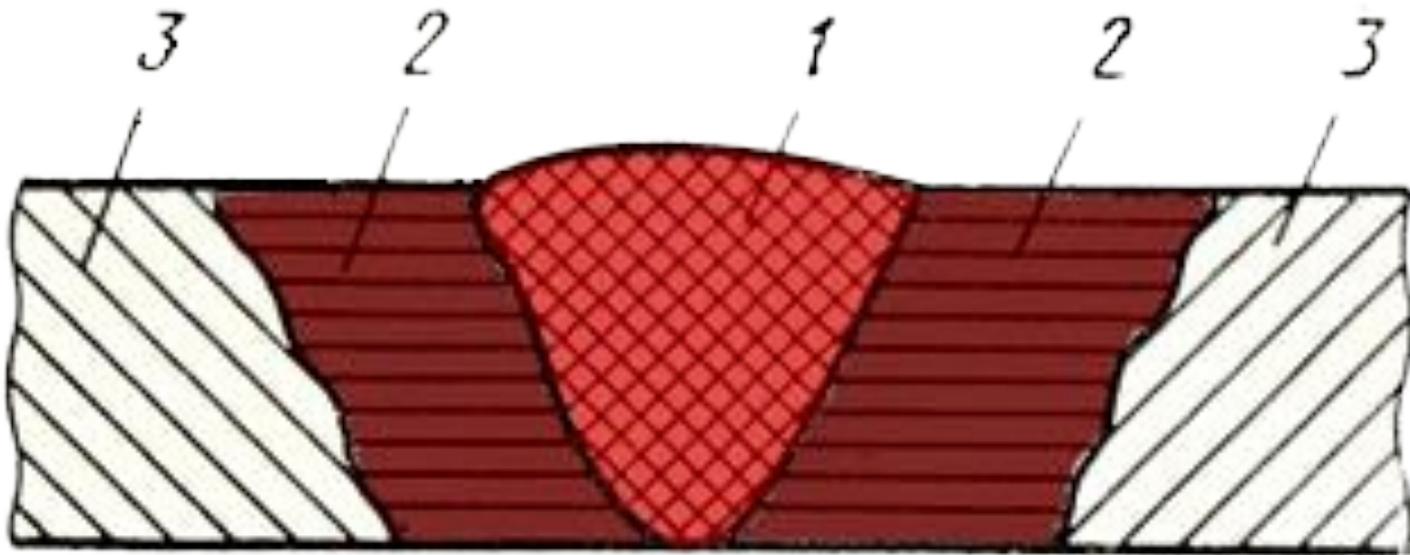
[Дуговая сварка](#)

Сварка плавлением — это процесс соединения двух деталей, или заготовок в результате кристаллизации общей сварочной ванны, полученной расплавлением соединяемых кромок.



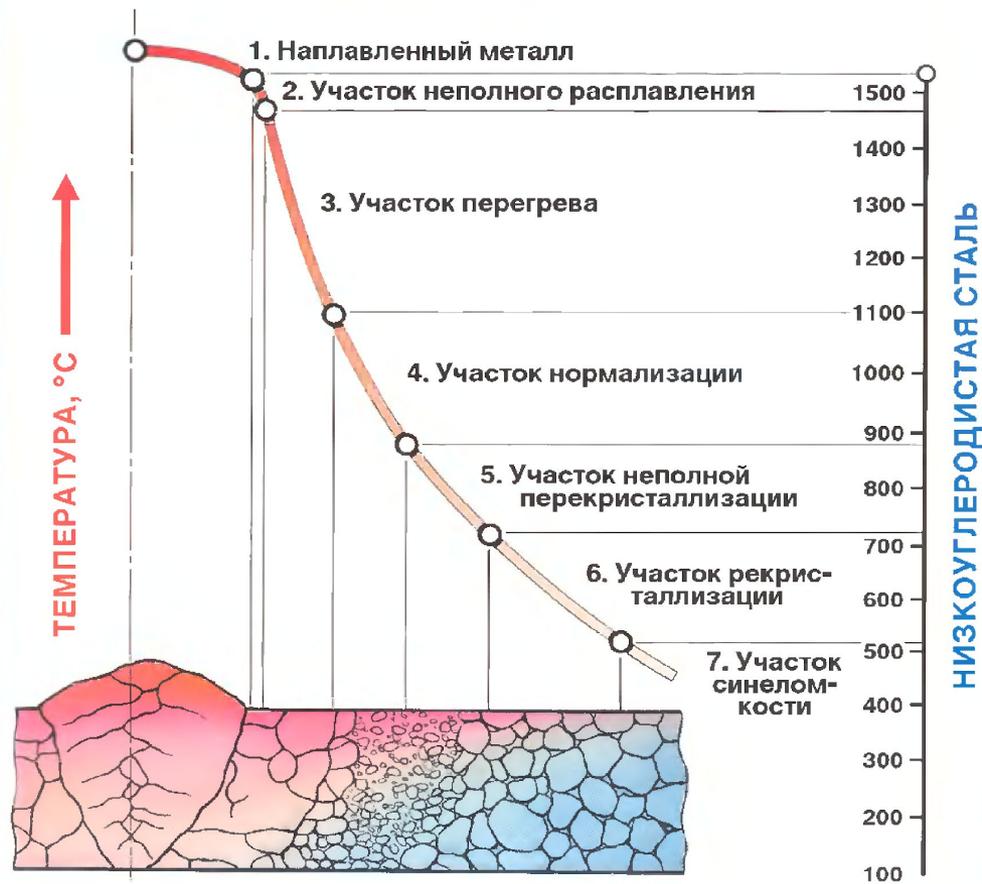
Процесс сварки плавлением осуществляется источником энергии 1, движущимся по свариваемым кромкам 3 с заданной скоростью, в результате получаем сварной шов 2.

Структура сварного соединения



1 – сварной шов, 2 – зона термического влияния, 3 – основной металл

ТЕРМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ

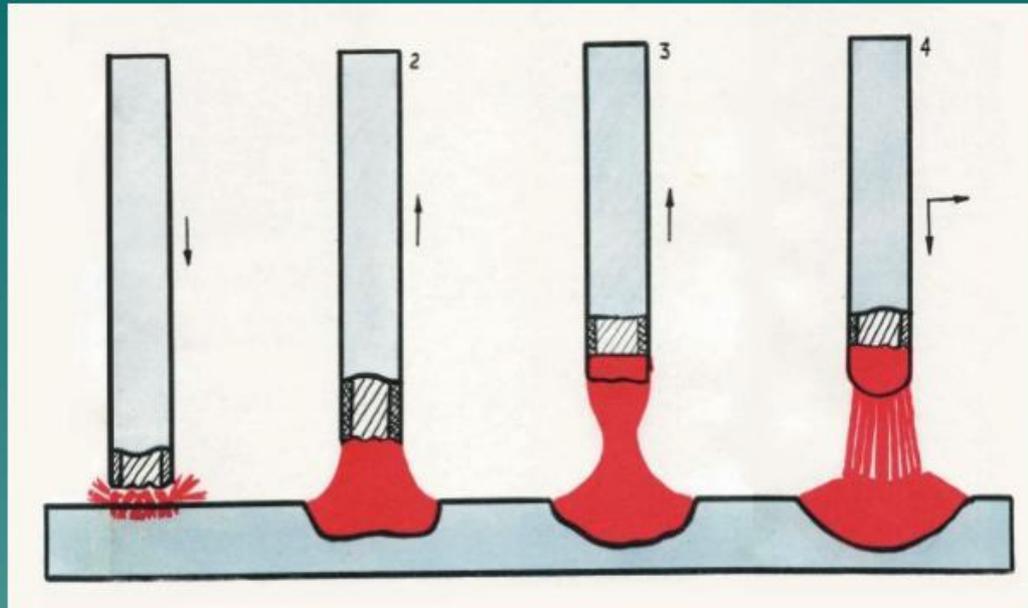


ХАРАКТЕРИСТИКИ УЧАСТКОВ

№	СТРУКТУРА МЕТАЛЛА	Температура, °C	Ширина, мм
1	Столбчатая, литая, с пониженными механическими свойствами	1530±5	1/2 ширина шва
2	Рост зерна, образование игольчатой структуры с повышенной хрупкостью	1530-1470	0,1-0,4
3	Крупнозернистое строение с пониженной ударной вязкостью и пластичностью	1470-1100	3-4
4	Измельчение зерна, повышение механических свойств	1100-880	0,2-4,0
5	Смешанное строение из мелких и крупных зерен с пониженными механическими свойствами	880-720	0,1-3,0
6	Восстановление формы и размеров зерен металла	720-510	0,1-1,5
7	Структурных изменений не имеет	510-200	0,8-12

Зажигание (возбуждение) и горение электрической дуги

Возбуждение (возникновение) и горение дуги



1 1. КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ

2 2. ОБРАЗОВАНИЕ ПРОСЛОЙКИ
ИЗ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА

3 3. ОБРАЗОВАНИЕ ШЕЙКИ

4 4. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДУГИ И
СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Процесс зажигания электрической дуги можно разделить на три этапа:

- короткое замыкание электрода на заготовку;
- отвод электрода на расстояние 3–6 мм (при большем отводе – длинная дуга);
- возникновение устойчивого дугового разряда

Сварка плавящимся и неплавящимся электродом

Рис 1.

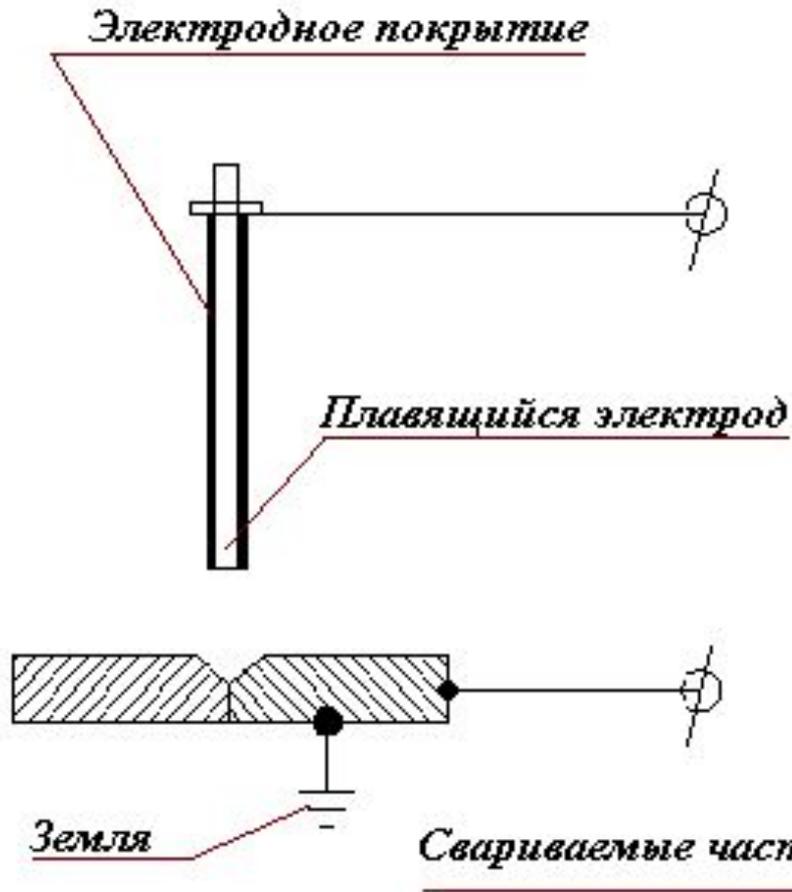
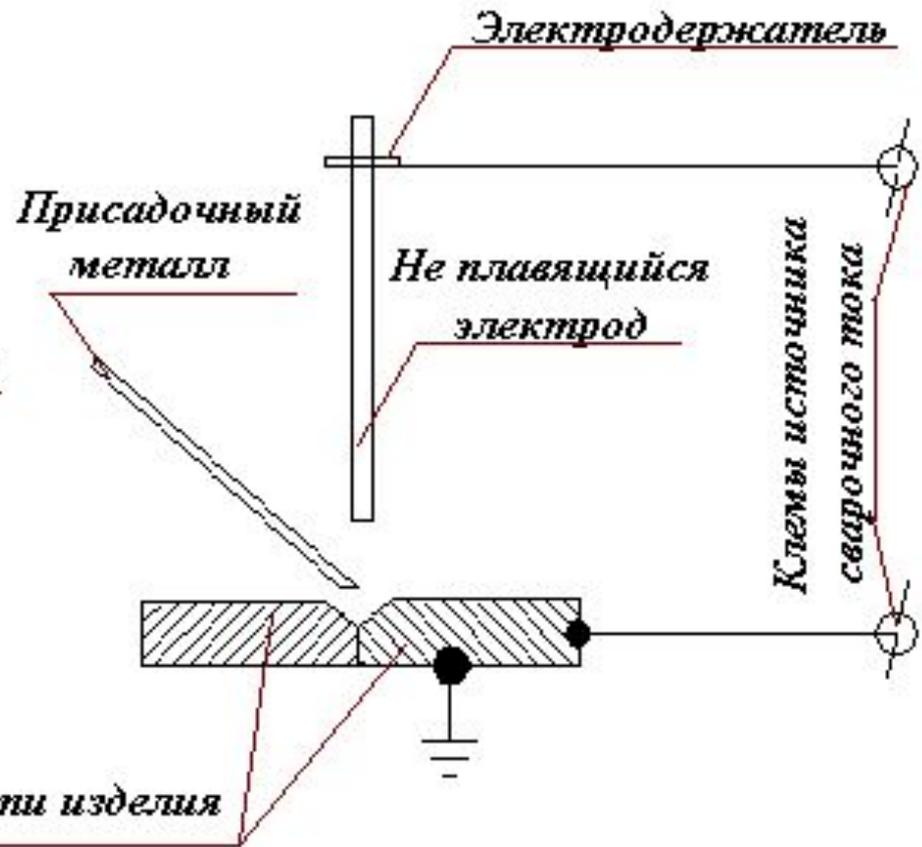


Рис 2.

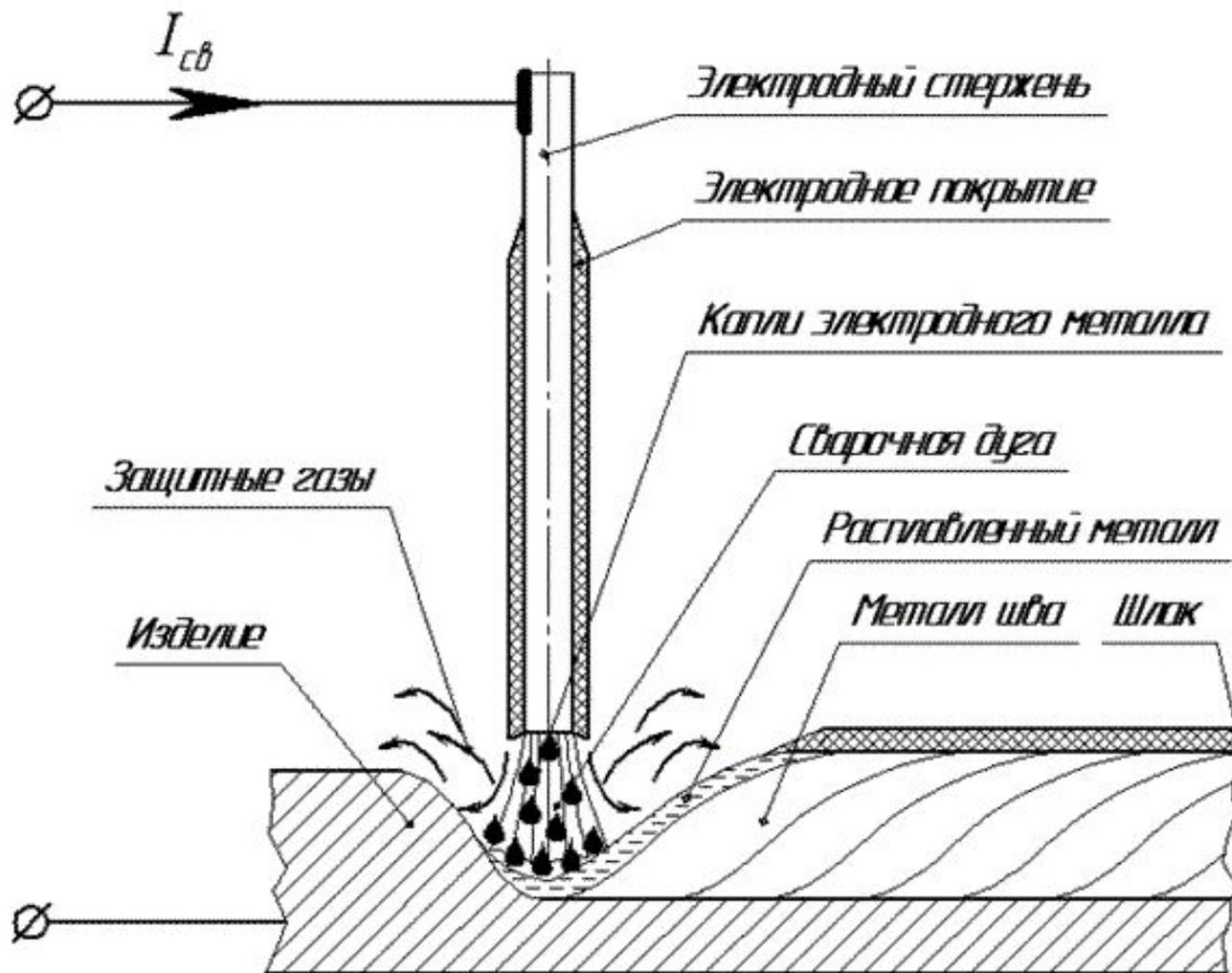


Плавящиеся электроды – это металлические стержни, проволоки, пластины со специальным покрытием.

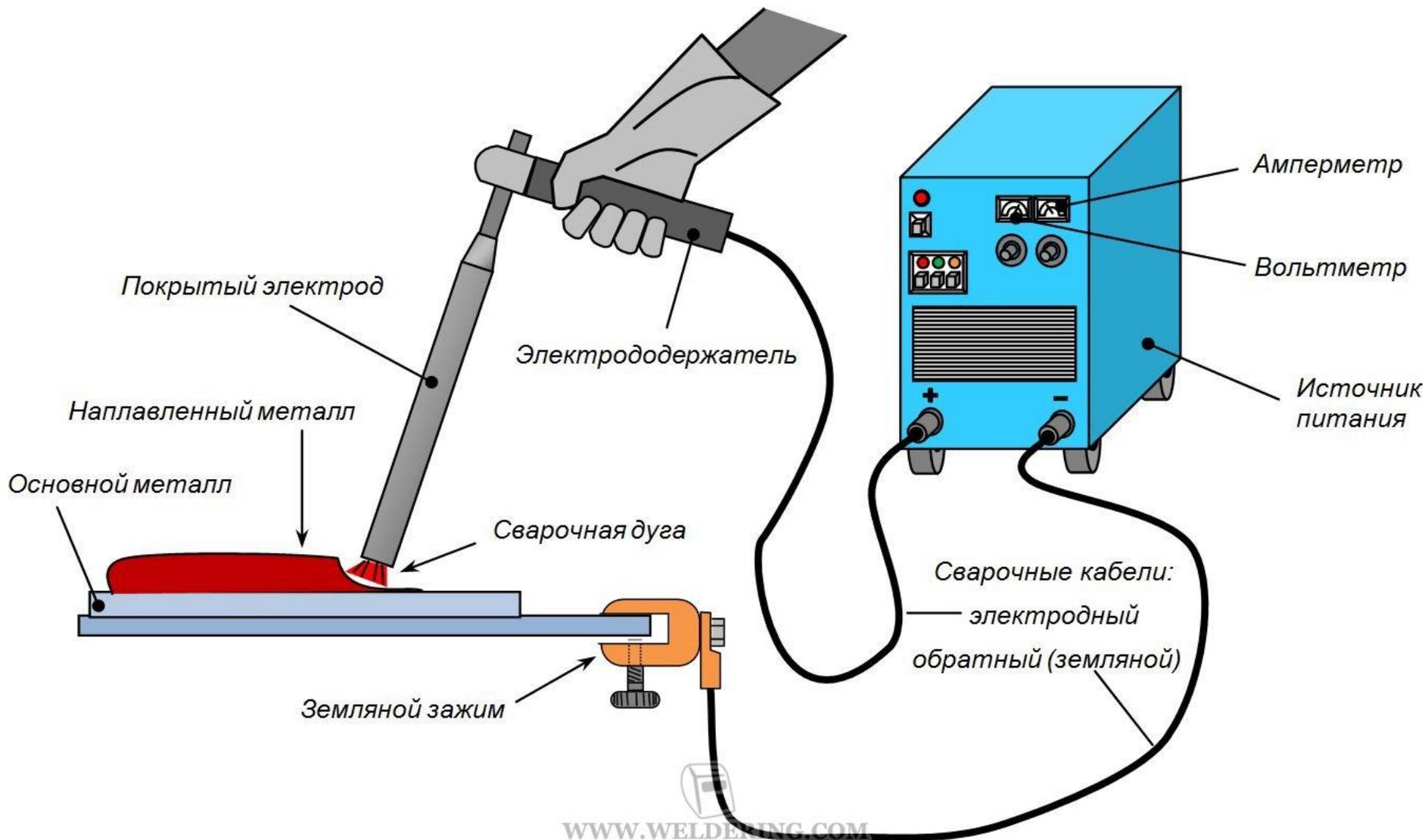
Неплавящиеся электроды - это вольфрамовые, угольные или графитовые стержни

Ручная, полуавтоматическая и автоматическая сварка

Ручная дуговая сварка



Ручная дуговая сварка



Ручная дуговая сварка

Общепринятые обозначения ручной дуговой сварки:

РДС – ручная дуговая сварка (преимущественно в советской литературе);

MMA – Manual Metal Arc (Welding) – ручная металлическая дуговая сварка;

SMAW – Shielded Metal Arc Welding – металлическая дуговая сварка в защитной атмосфере;

E – международный символ ручной дуговой сварки.

При ручной дуговой сварке покрытыми металлическими электродами сварочная дуга горит с электрода на изделие, оплавляя кромки свариваемого изделия и расплавляя металл электродного стержня и покрытие электрода. Кристаллизация основного металла и металла электродного стержня образует сварной шов.



Электрод состоит из электродного стержня и электродного покрытия. Стержень – сварочная проволока; электродное покрытие – многокомпонентная смесь металлов и их оксидов. По функциональным признакам компоненты электродного покрытия разделяют:

- **Газообразующие:**

- защитный газ;
- ионизирующий газ;

- **Шлакообразующие:**

- для физической изоляции расплавленного металла от активных газов атмосферного воздуха;

- раскислители;
- рафинирующие элементы;
- легирующие элементы;

- **Связующие;**

- **Пластификаторы.**

Ручная дуговая сварка



Ручная дуговая сварка широко применяется при изготовлении сварных конструкций из различных металлов и сплавов толщиной примерно от 2 до 30 мм, при монтажных, ремонтных и восстановительных работах в мелкосерийном производстве. Ручную дуговую сварку покрытыми электродами рационально применять для коротких швов при мелкосерийном производстве. Сварку ведут в любых пространственных положениях, а также в труднодоступных местах, где затруднительно использование других способов сварки. На монтаже применение этого способа сварки оправдано при небольшом объеме работ.

СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Сварка в защитных газах (СЗГ) — общее название разновидностей дуговой сварки, осуществляемой с вдуванием через сопло горелки в зону дуги струи защитного газа. В качестве защитных применяют: инертные (Ar, He), активные (CO_2 , O_2 , N_2 , H_2) газы и их смеси ($\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$, $\text{Ar}+\text{O}_2$, $\text{Ar}+\text{CO}_2$ и др.).

Сварка в **защитных газах** — один из распространенных способов сварки плавлением. По сравнению с другими способами он имеет ряд преимуществ, из которых главные: возможность визуального, в том числе и дистанционного, наблюдения за процессом сварки; широкий диапазон рабочих параметров режима сварки в любых пространственных положениях; возможность механизации и автоматизации процесса, в том числе с применением робототехники; высокоэффективная защита расплавленного металла; возможность сварки металлов разной толщины в пределах от десятых долей до десятков миллиметров.

[CLOOS Cold Weld Process](#)

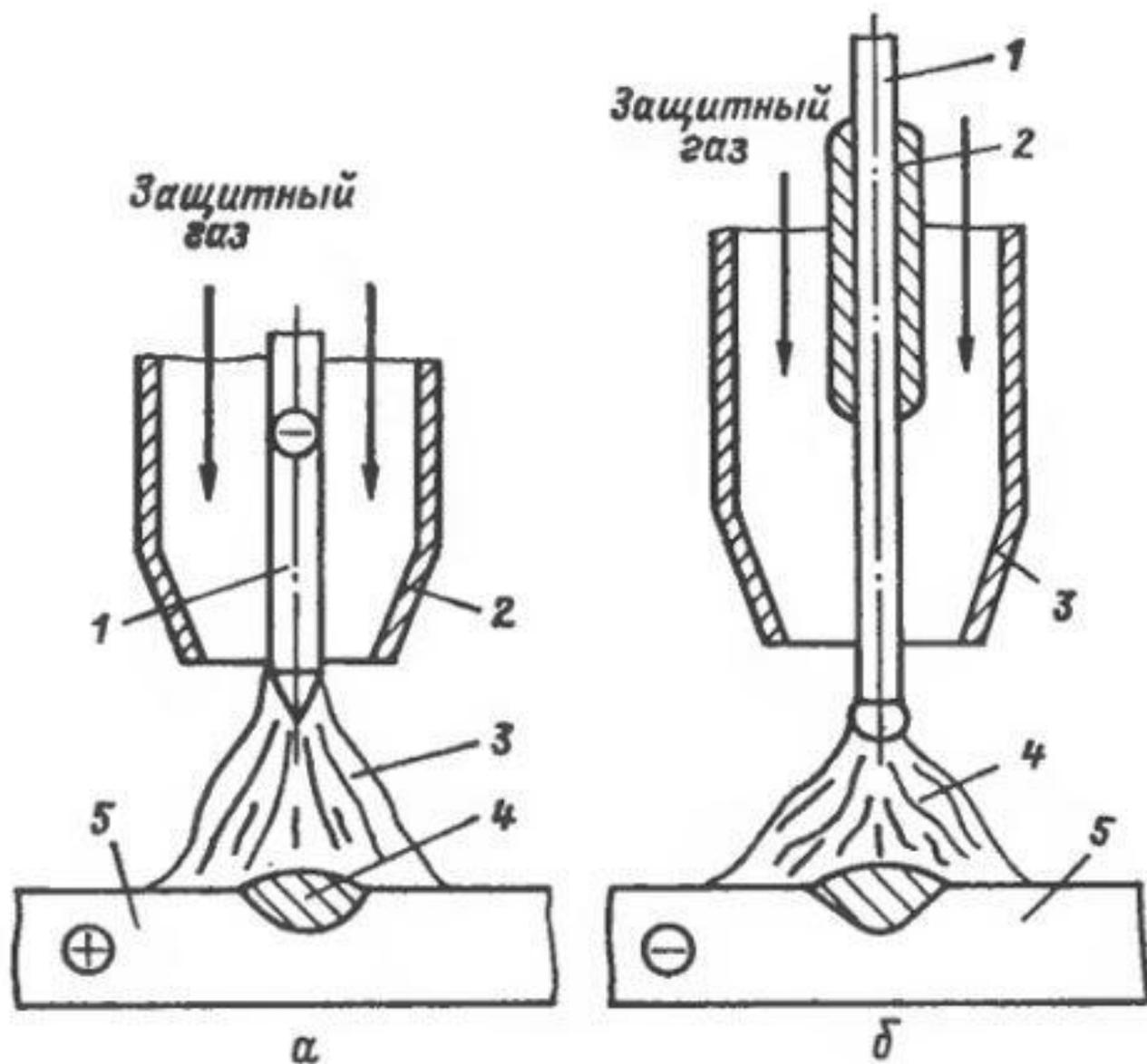
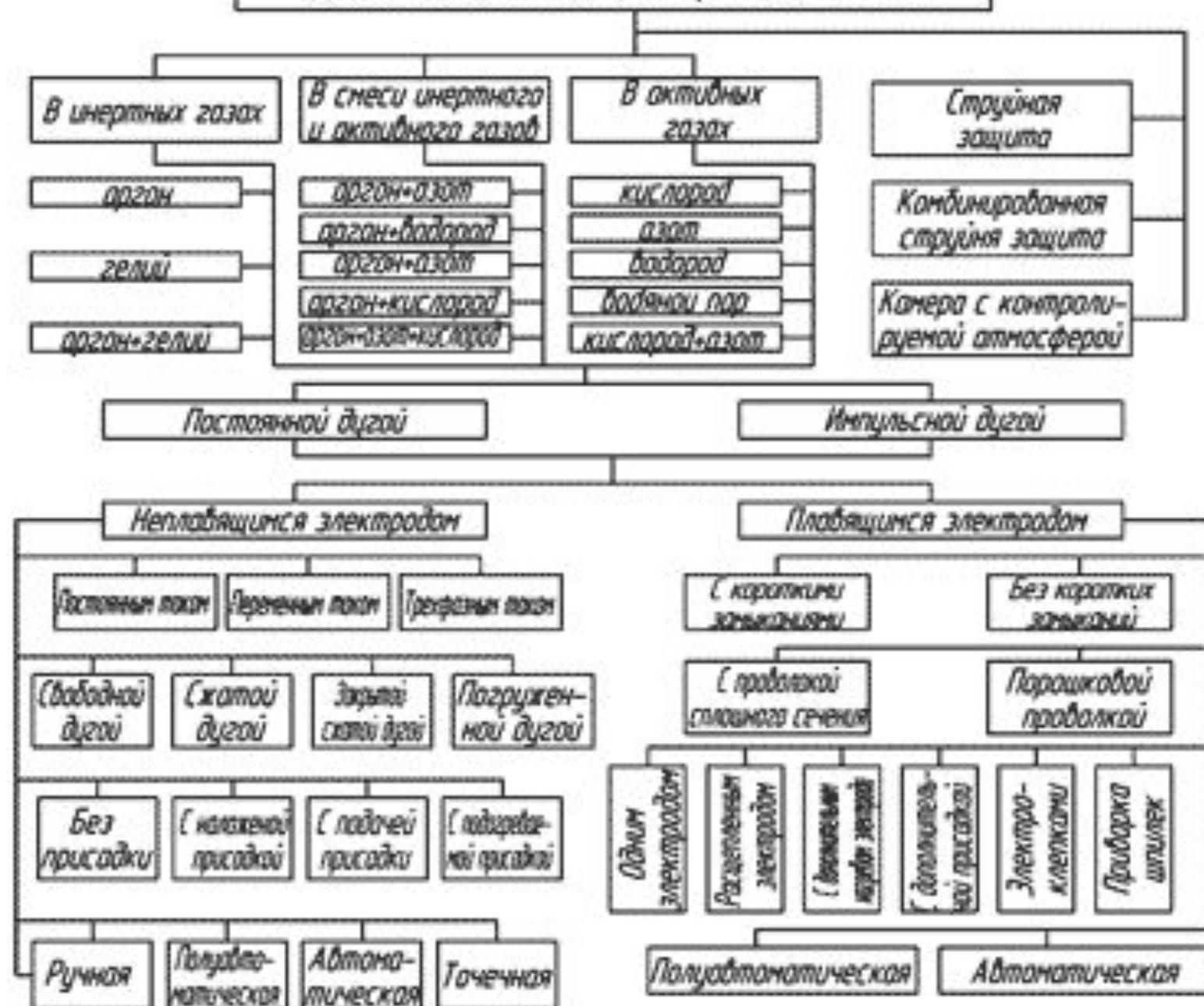
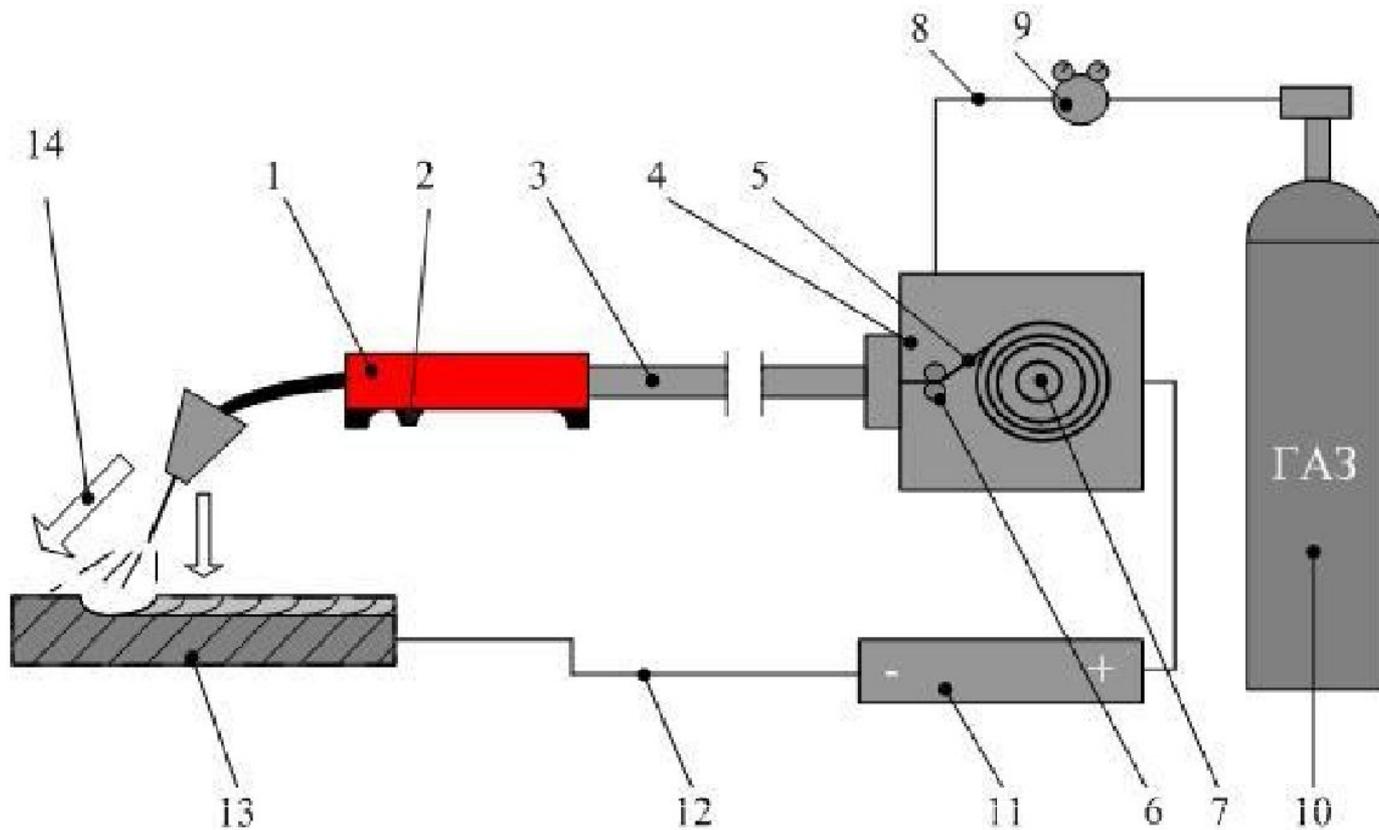


Рис. 2.2. Схема процесса сварки в защитном газе электродом:
а — неплавящимся (*1* — электрод вольфрамовый; *2* — сопло; *3* — дуга;
4 — металл шва; *5* — изделие); *б* — плавящимся (*1* — электрод;
2 — цанга; *3* — сопло; *4* — дуга; *5* — металл)

ДУГОВАЯ СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

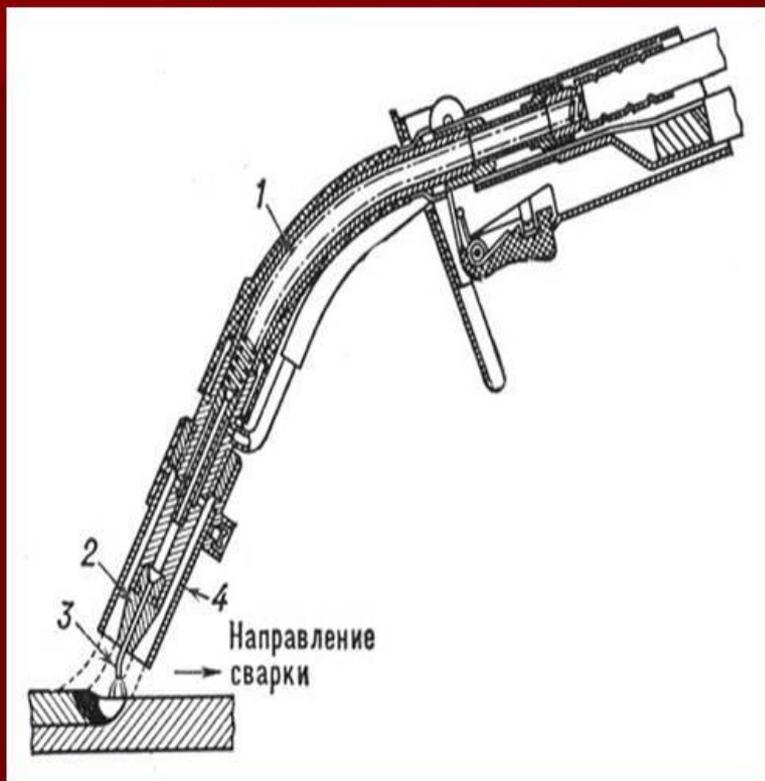


Полуавтоматическая дуговая сварка



1 - сварочную горелку с держателем пистолетного типа; 2 - клавишу «пуск»; 3 - гибкий шланг: с проходящими цепями управления, с кабелем, подводящим ток к контактному мундштуку внутри сопла горелки, с трубкой для прохода сварочной проволоки; 4 - проволокоподающий механизм состоит из: сварочной проволоки - 5, подаваемой к месту сварки с помощью роликов - 6, толкающих проволоку к соплу горелки из бухты - 7; 8 – шланг для подвода защитного газа из баллона - 10 через редуктор - 9 в горелку; 11 - сварочный выпрямитель с кабелями -12 для подвода тока к изделию -13; 14 – струя защитного газа, вытесняющая воздух из зоны плавления и кристаллизации металла шва.

Оборудование для полуавтоматической дуговой сварки в защитных газах

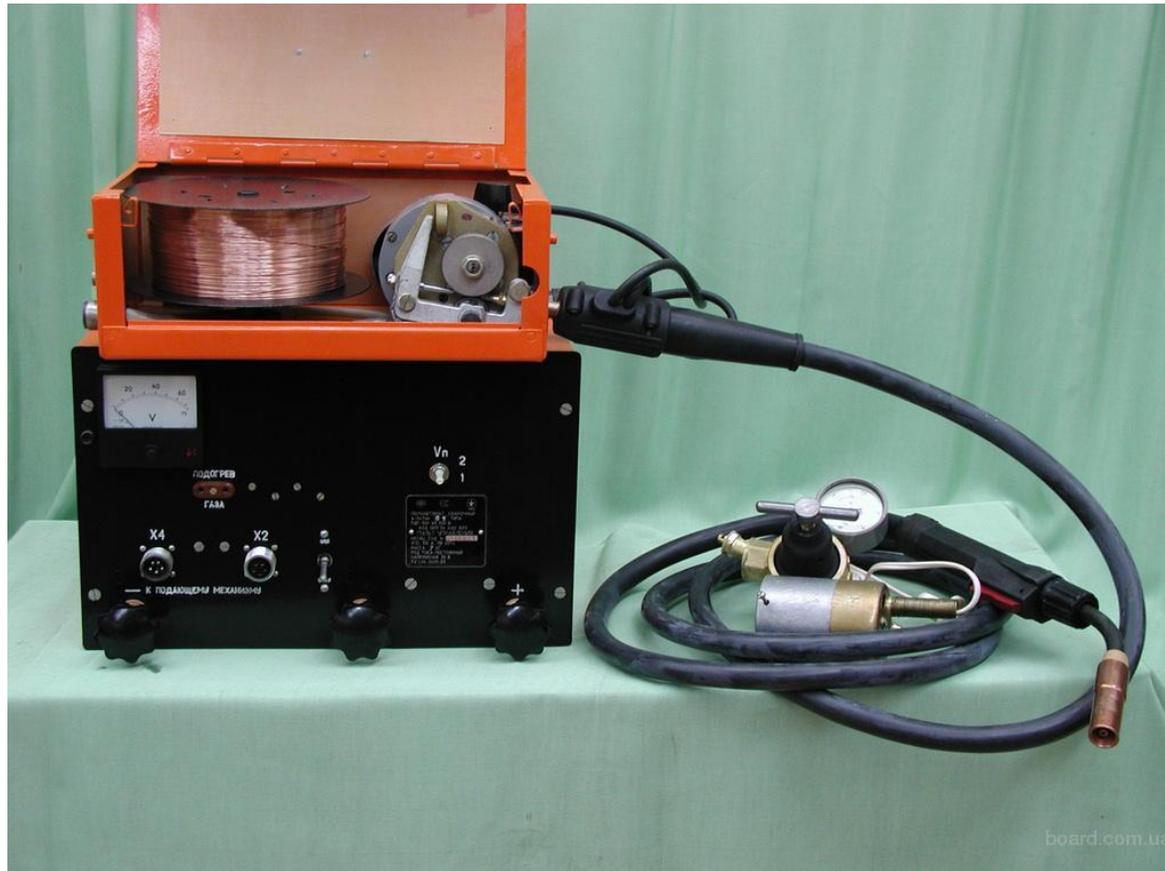


Горелка для полуавтоматической сварки плавящимся электродом:

1 — мундштук; 2 — сменный наконечник; 3 — электродная проволока; 4 — сопло.

Сварка в защитном газе может быть ручной, механизированной и автоматической. Ручная сварка применяется при соединении кромок изделий толщиной до 25–30 мм и при выполнении коротких и криволинейных швов. Полуавтоматическая и автоматическая сварка применяется при массовом производстве сварных конструкций с прямолинейными швами.

Сварочный полуавтомат



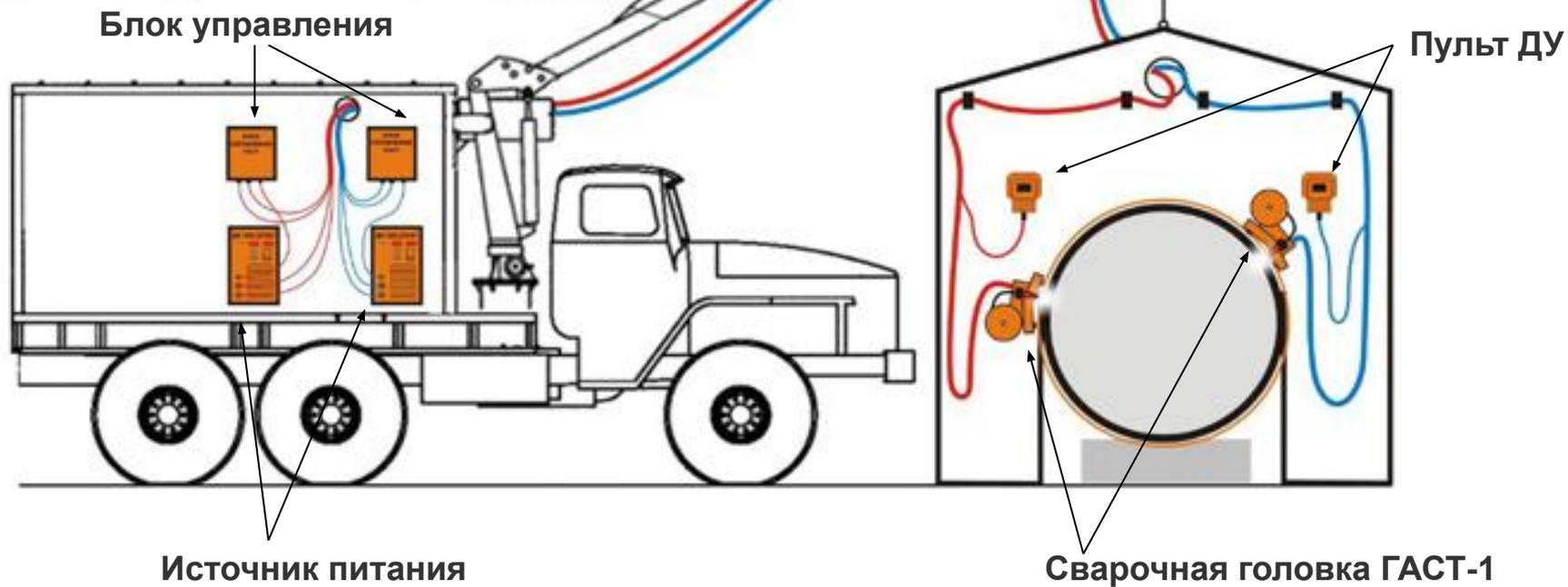
Области применения сварки в защитных газах охватывают широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов, детали автомобилей, сварка трубопроводов и т. п.). Аргонодуговую сварку применяют для цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов, а также легированных и высоколегированных сталей.

Компанией «ТехноТрон» опробован способ заварки дефектных участков наружной поверхности магистральных трубопроводов большого диаметра, согласно которому целью сварочная головка ГАСТ-1 устанавливается с возможностью механизированного перемещения на направляющем швеллере, приваренном к трубопроводу



Схема организации сварочных работ на установке УАСТ-1 при строительстве трубопроводов

Автоматическая сварка в защитных газах или самозащитой проволокой

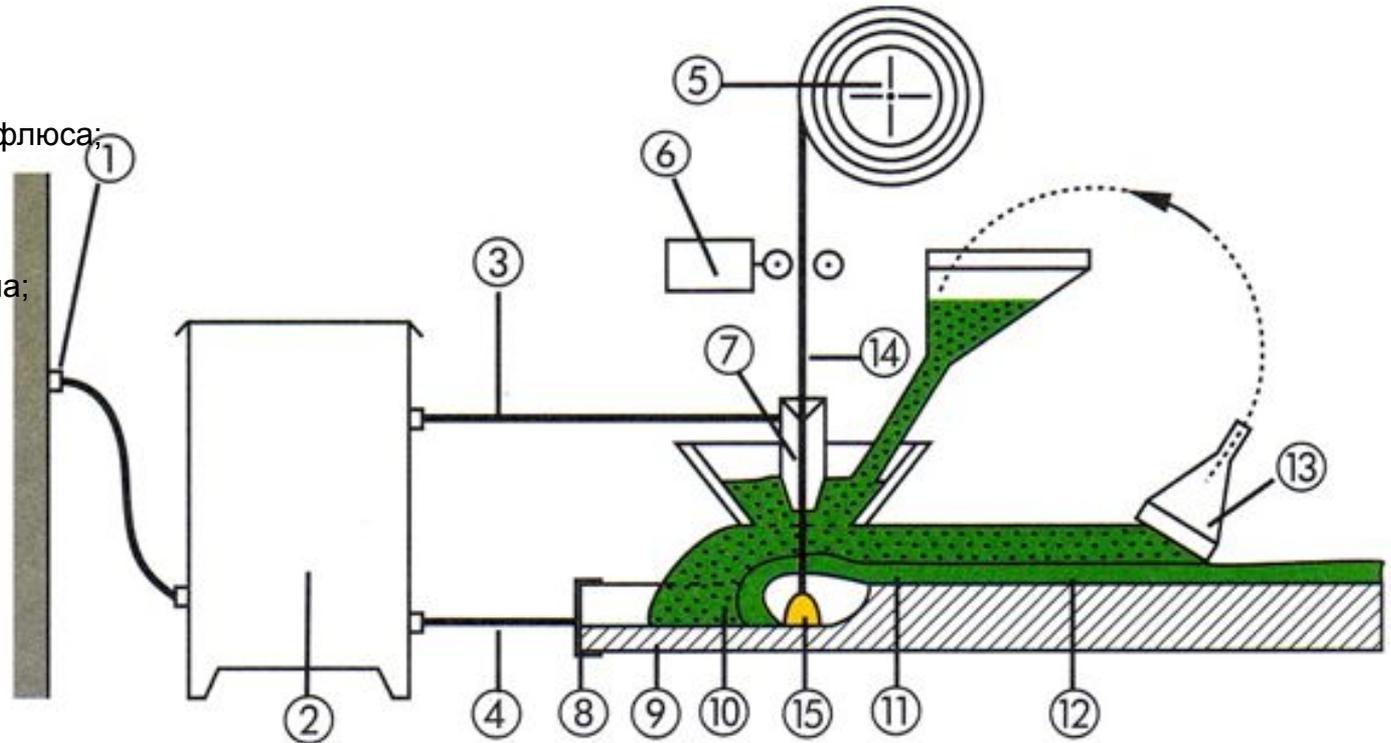


Сварка под флюсом

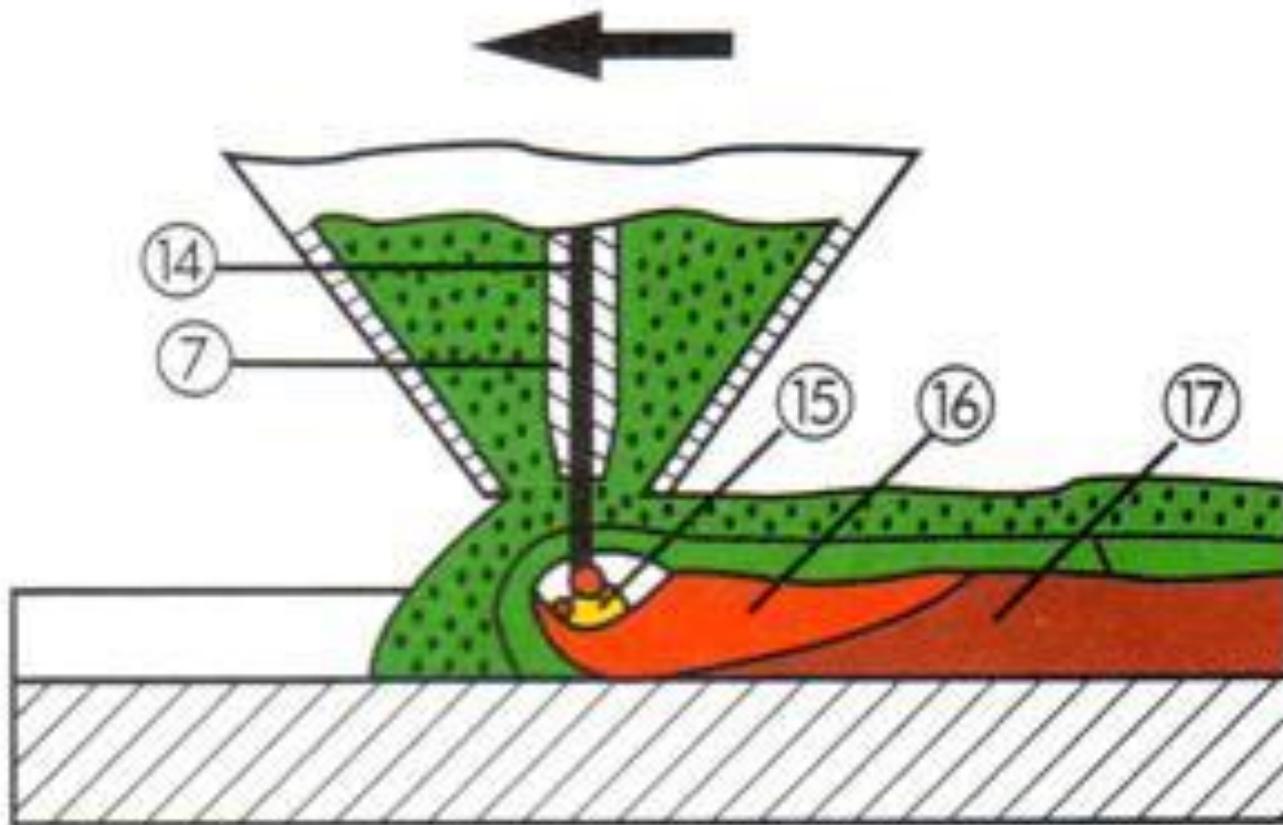
При этом способе сварки электрическая дуга горит между концом электродной (сварочной) проволоки и свариваемым металлом под слоем гранулированного флюса. Ролики специального механизма подают электродную проволоку в дугу. Сварочный ток, переменный или постоянный прямой или обратной полярности от источника подводится скользящим контактом к электродной проволоке и постоянным контактом — к изделию. Сварочная дуга горит в газовом пузыре, образованном в результате плавления флюса и металла и заполненном парами металла, флюса и газами. По мере удаления дуги расплавленный флюс при остывании образует шлаковую корку, которая легко отделяется от поверхности шва. Флюс засыпается впереди дуги из бункера слоем толщиной 40—80 и шириной 40—100 мм (чем больше толщина свариваемого металла и ширина шва, тем больше толщина и ширина слоя флюса). Масса флюса, идущего на шлаковую корку, обычно равна массе расплавленной сварочной проволоки. Потери металла на угар и разбрызгивание при горении дуги под флюсом значительно меньше, чем при ручной дуговой и сварке в защитных газах.

Автоматическая сварка под флюсом

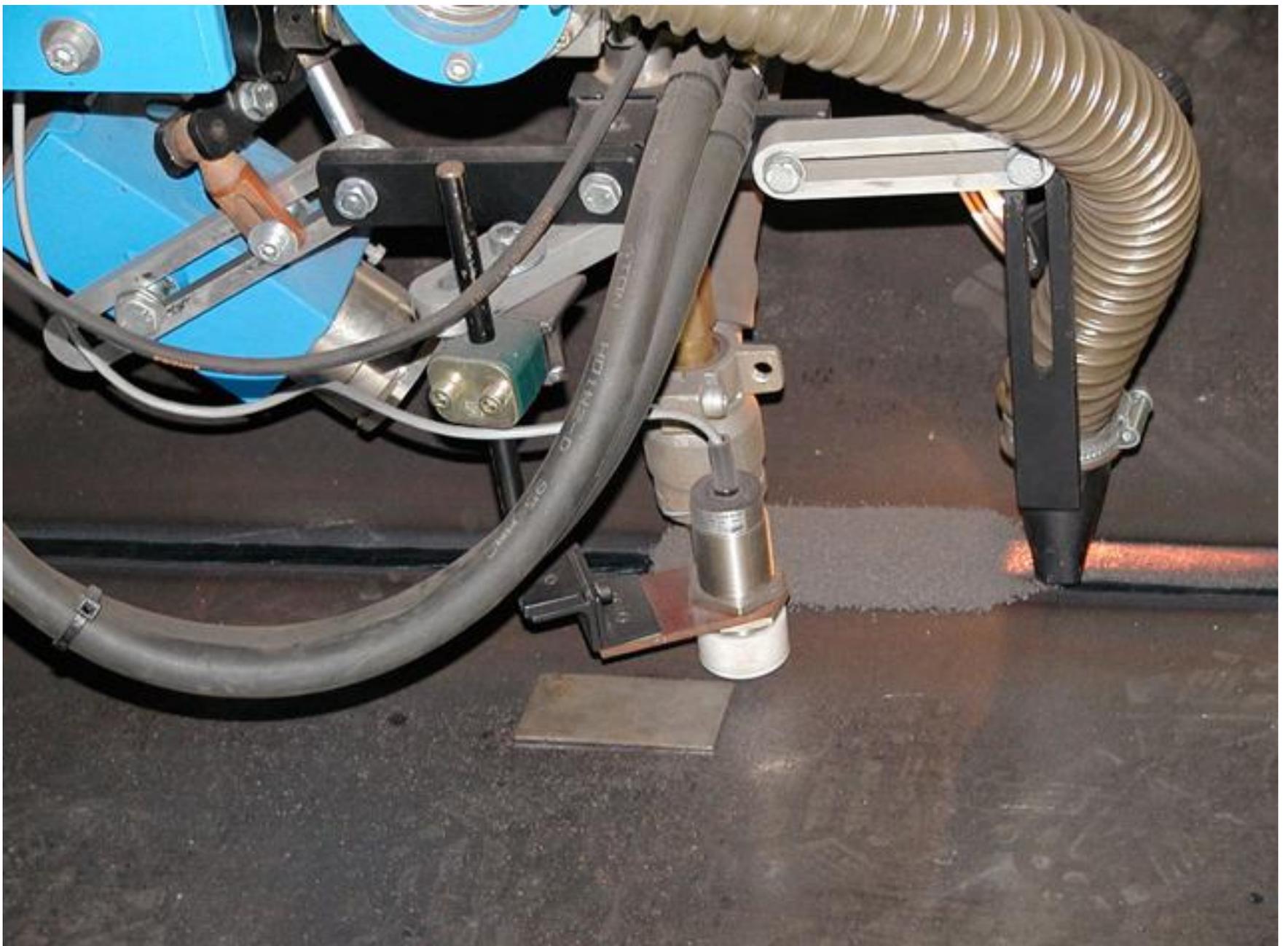
1. Подключение к сети;
2. Источник сварочного тока;
3. Электрический провод на горелку;
4. Электрический провод на деталь;
5. Катушка с проволокой;
6. Протяжный механизм;
7. Токопроводящий мундштук;
8. Клемма заземления;
9. Свариваемая деталь;
10. Флюс;
11. Жидкий шлак;
12. Твердый шлак;
13. Пневматический отсос флюса;
14. Сварочная проволока;
15. Сварочная дуга;
16. Жидкая сварочная ванна;
17. Сварной шов



Сварочная ванна автоматической сварки под слоем флюса



- 7. Токопроводящий мундштук;
- 14. Сварочная проволока;
- 15. Сварочная дуга;
- 16. Жидкая сварочная ванна;
- 17. Сварной шов



Автоматическая сварка под слоем флюса

Сварочный автомат



Сварочный автомат



Сварочный автомат



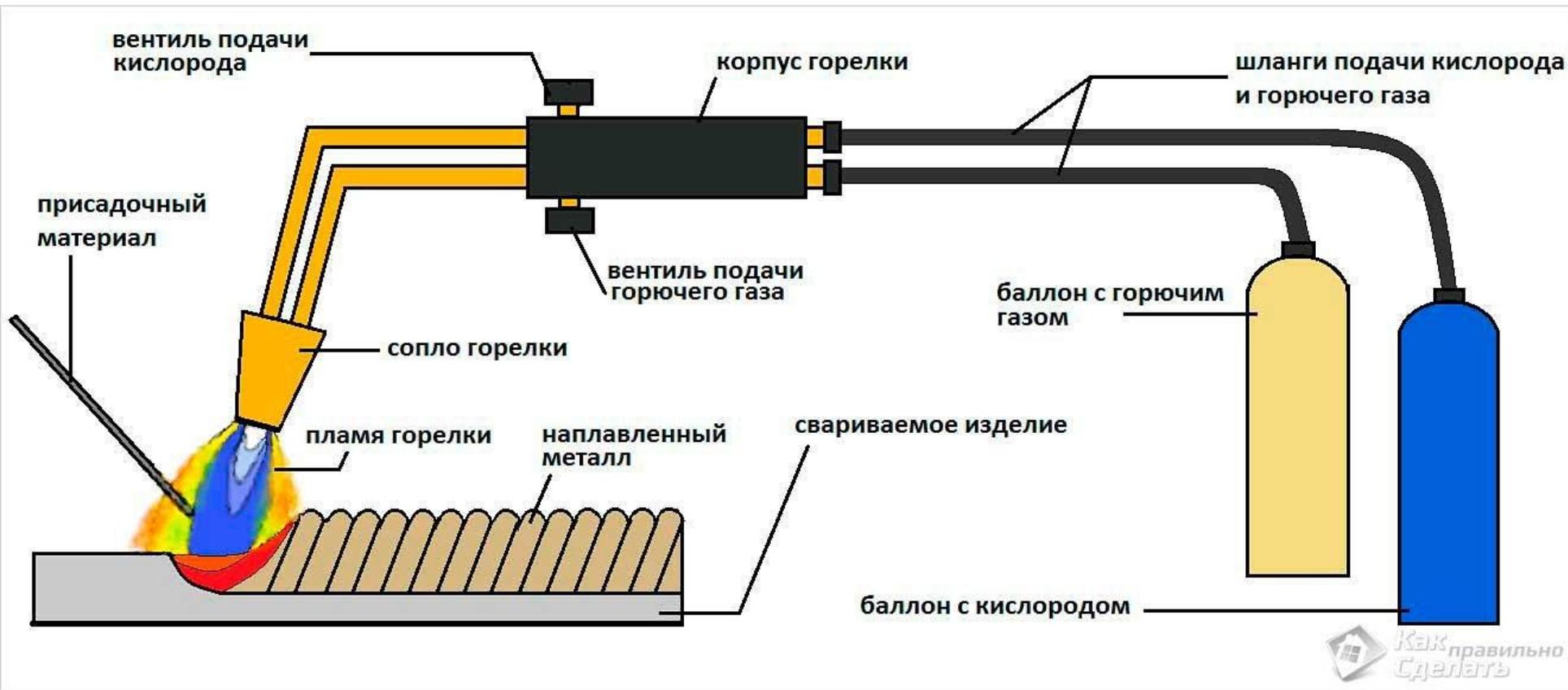
Автомат. сварка под флюсом 1,2,3

Сварка под флюсом успешно применяется при изготовлении аппаратуры, конструкций и изделий самого ответственного назначения, которые должны надежно работать и в условиях глубокого холода, и под действием высоких температур, давлений, агрессивных жидких и газовых сред и т. д. Широко применяется в судостроении (крупноблочная сборка, в заводских условиях с ее помощью монтируются целые секции кораблей, которые потом монтируются на стапеле).

Автоматическая сварка широко применяется при изготовлении резервуаров для нефтехранилищ, при производстве труб большого диаметра. Как правило это протяженные прямолинейные непрерывные швы на металле толщиной более 8 мм или кольцевые швы на трубах и сосудах диаметром более

Газовая сварка

Газовой сваркой называется сварка плавлением с использованием теплоты горючих газов.



Газовая сварка

Газовая сварка

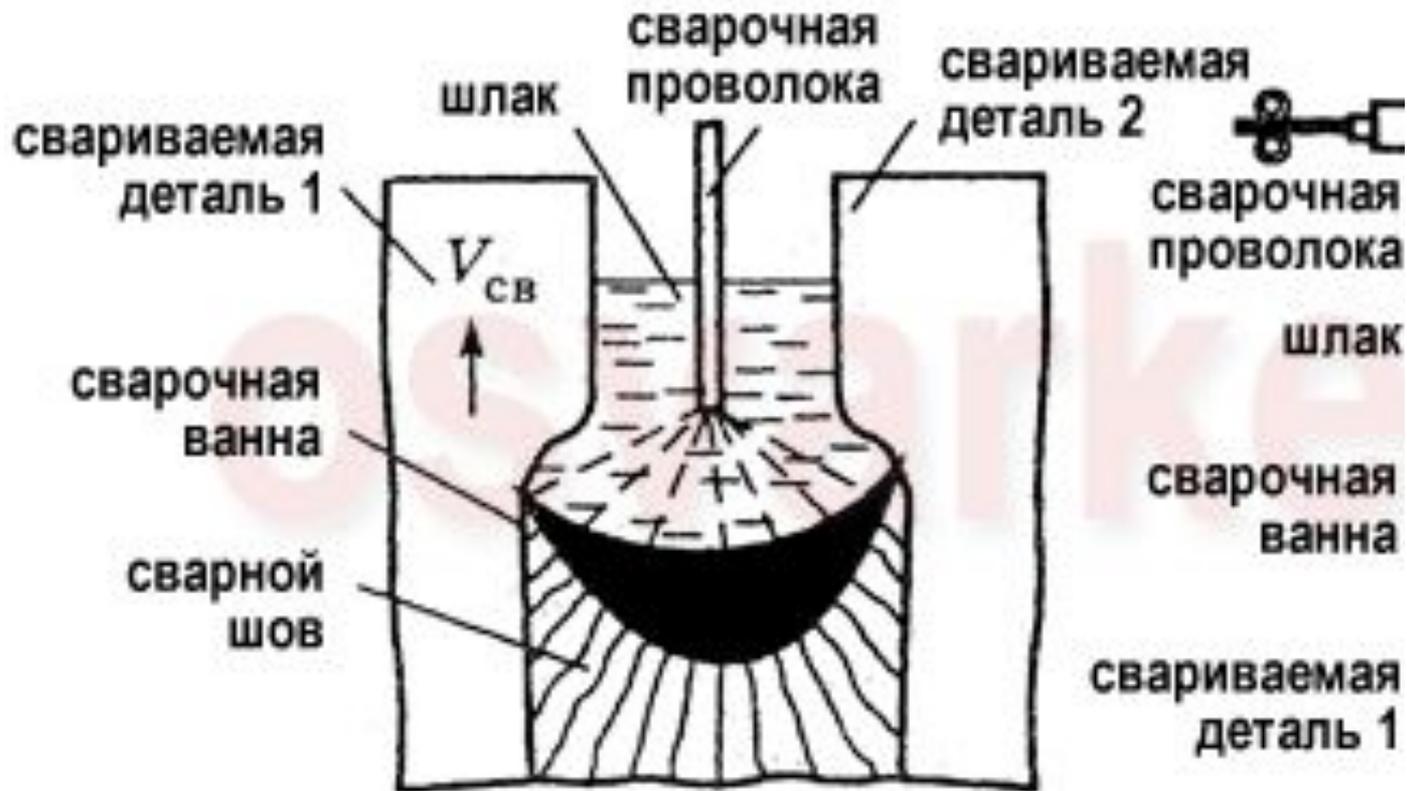


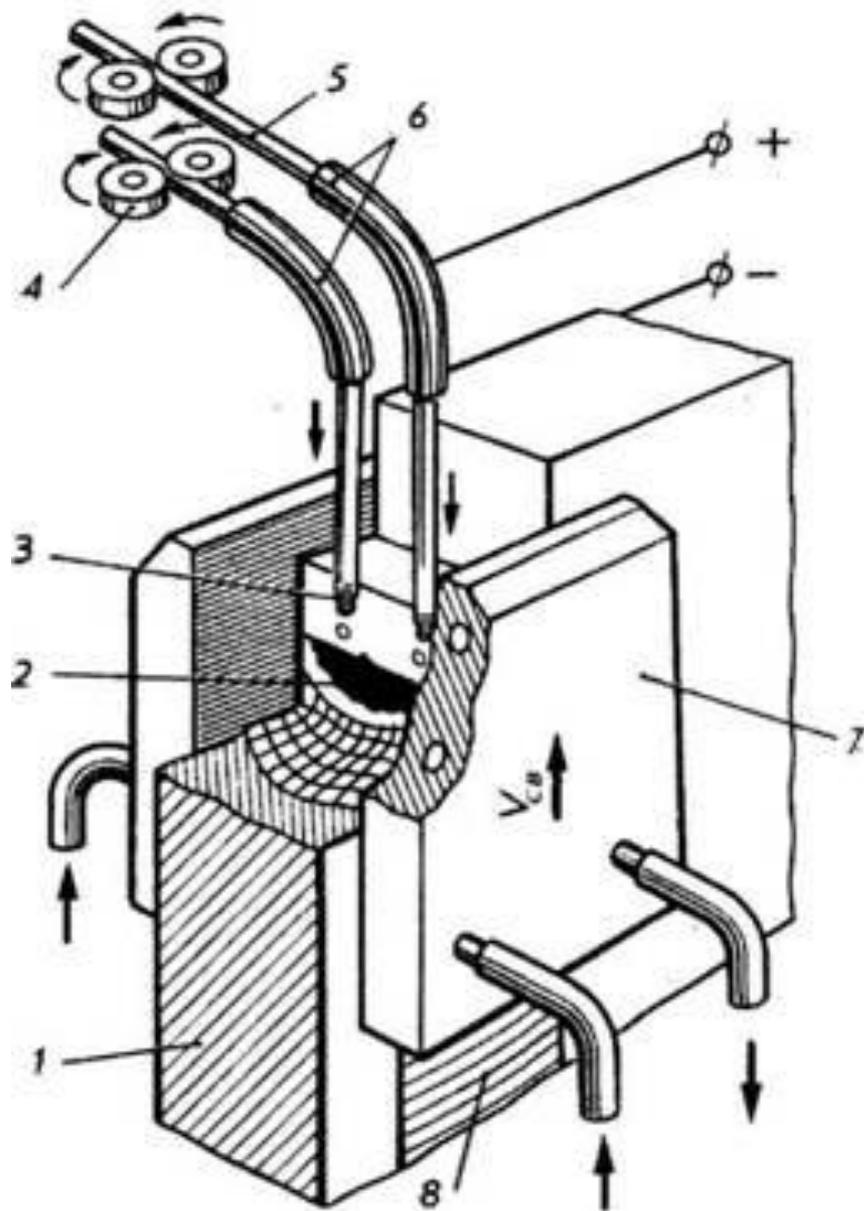
Газовую сварку применяют при изготовлении и ремонте изделий из тонколистовой стали толщиной 1-5 мм (для сварки больших толщин падает производительность), монтаже труб малого и среднего диаметров, сварке соединений и узлов, изготовляемых из тонкостенных труб, сварке изделий из алюминия и его сплавов, меди, латуни и свинца, сварке чугуна с применением в качестве присадки чугунных, латунных и бронзовых прутков, наплавке твердых сплавов и латуни на стальные и чугунные детали.

Газовой сваркой могут соединяться почти все металлы и сплавы, применяемые в настоящее время в промышленности. Наиболее широкое применение газовая сварка получила при строительно-монтажных работах, в сельском хозяйстве и при ремонтных работах.

ЭШС – электрошлаковая сварка ESW – Electroslag Welding

При электрошлаковой сварке тепло, необходимое для плавления свариваемого металла, образуется за счет прохождения электрического тока через расплавленный шлак, состоящий из оксидов галоидов или их смесей.

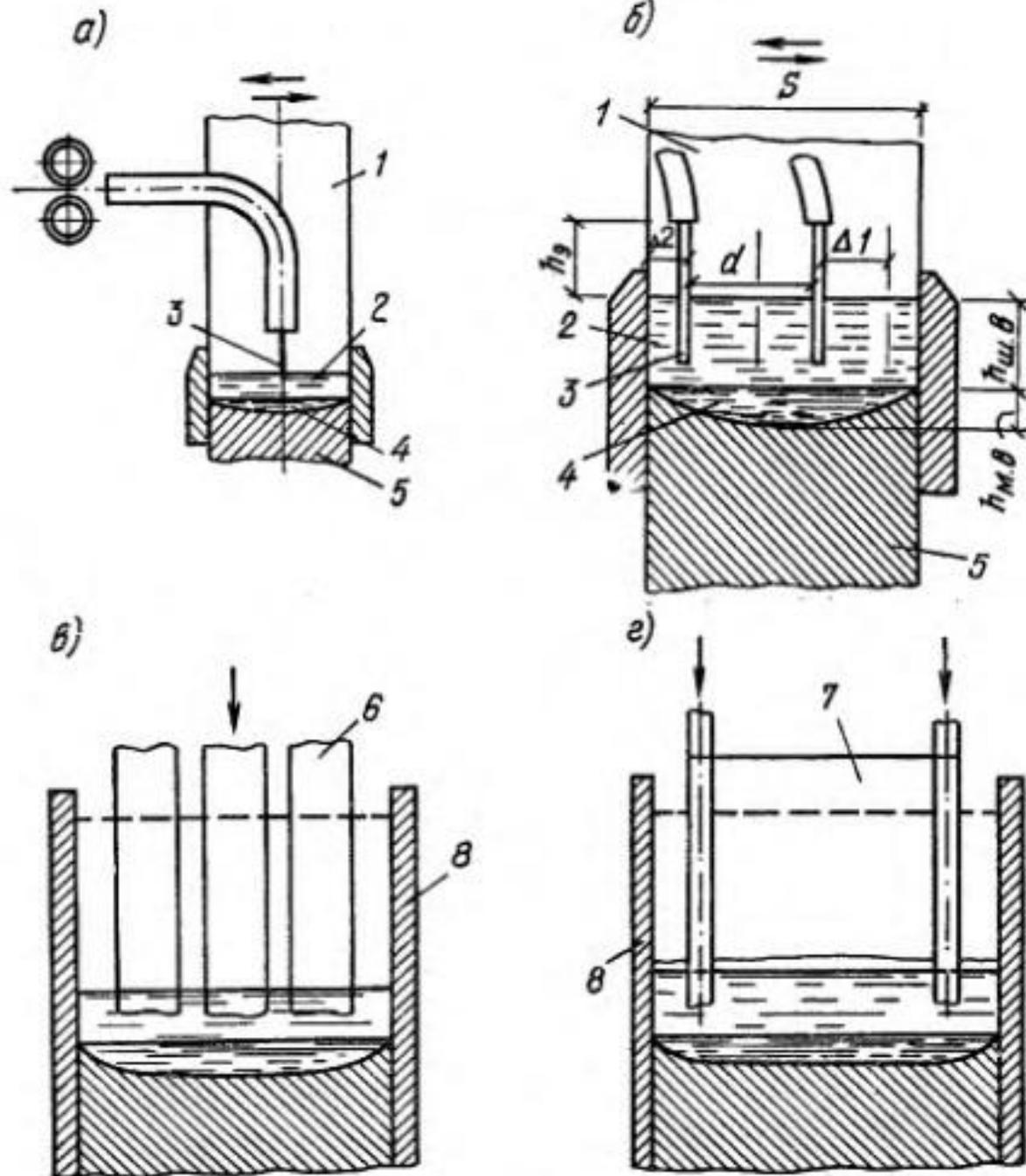




Автоматическая электрошлаковая сварка

Схема процесса и разновидности электрошлаковой сварки

а — одним проволочным электродом с неподвижной осью или с колебанием электрода; б — двумя проволочными электродами с их колебанием; в — пластинчатыми электродами; г — плавящимся мундштуком; 1 — свариваемая деталь; 2 — ванна расплавленного шлака; 3 — электрод; 4 — расплавленные электродный и основной металлы; 5 — сварной шов; 6 — пластинчатый электрод; 7 — мундштук; 8 — медные пластины



Возбуждение электрошлакового процесса

Возбуждение электрошлакового процесса заключается в расплавлении флюса и нагреве образовавшейся шлаковой ванны до рабочей температуры.

В производстве находят применение следующие способы наведения шлаковой ванны: «твердый старт», когда сварочный флюс вначале плавится теплом электрической дуги во входной планке, а затем шунтируется подсыпаемым и расплавляющимся флюсом, и «жидкий старт», когда в пространство, образуемое свариваемыми деталями и формирующими водоохлаждаемыми устройствами, заливают жидкий флюс, который предварительно расплавляют в отдельной печи.

При «твердом старте», желательно принимать более высокое сварочное напряжение (в процессе горения дуги), чем при стабильном электрошлаковом процессе. Для более легкого возбуждения дуги на дно входной планки засыпают металлический порошок, стружку, термитные смеси или устанавливают металлические вставки.

Область применения

Электрошлаковая сварка применяется при сварке прямолинейных, криволинейных и кольцевых швов.

Минимальная толщина деталей, образующих стыковое соединение при ЭШС без технологических затруднений, находится в пределах 25—30 мм. Экономически целесообразнее использовать ЭШС при изготовлении толстостенных конструкций, а также при изготовлении конструкций из низко- и среднеуглеродистых, низко-, средне- и высоколегированных сталей, чугуна и цветных металлов (алюминия, титана).

ЭШС применяют для наплавки различных сплавов на низкоуглеродистые и низколегированные стали.

Основным преимуществом электрошлаковой сварки является возможность сварки за один проход деталей практически любой толщины. Сварка производится без разделки кромок, поэтому ее экономичность повышается с ростом толщины свариваемого металла. Экономически целесообразно применять ее уже начиная с 40 мм, но чаще всего она используется для сварки толщин 100–500 мм.

Электрошлаковая сварка применяется при изготовлении массивных станин, валов мощных турбин, толстостенных котлов и барабанов. Ее применение вносит коренные изменения в технологию производства крупногабаритных изделий. Появляется возможность замены крупных литых или кованных деталей сварно-литыми или сварно-коваными из более мелких поковок или отливок.

Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая технология

Лазерная сварка

Термин "лазер" происходит от первых букв английской фразы: "Light amplification by the stimulated emission of radiation", что означает в переводе: "Усиление света посредством индуцирования эмиссии излучения".

Академик Н.Г. Басов, удостоенный в 1964 г. совместно с академиком А.М. Прохоровым и американским ученым Ч.Таунсом Нобелевской премии за теоретическое обоснование и разработку лазеров, так характеризует лазер: "Это устройство, в котором энергия, например тепловая, химическая, электрическая, преобразуется в энергию электромагнитного поля - лазерный луч. При таком преобразовании часть энергии неизбежно теряется, но важно то, что полученная в результате лазерная энергия обладает несравненно более высоким качеством. Качество лазерной энергии определяется ее высокой концентрацией и возможностью передачи на значительное расстояние".

В основе работы квантовых генераторов лежит предсказанное в 1916 г. Л. Эйнштейном физическое явление - принцип индуцированного излучения.

Оно в равной мере распространяется на излучение молекул, атомов и атомных ядер.

Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения.

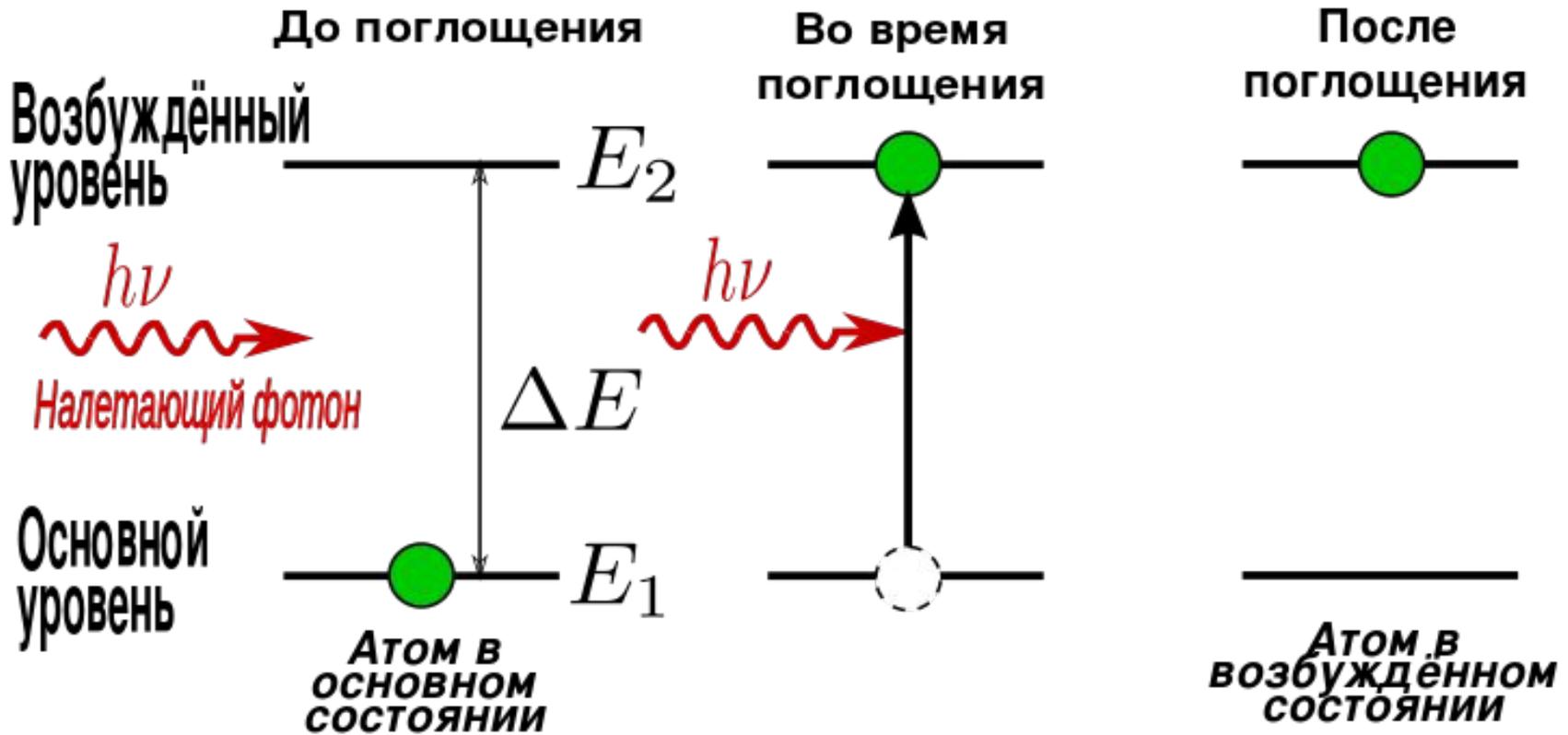
При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление света.

Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу.

[Строение атома и теория бора. Опыт Франка и Герца](#)

[Физика- квантовая механика](#)

Поглощение

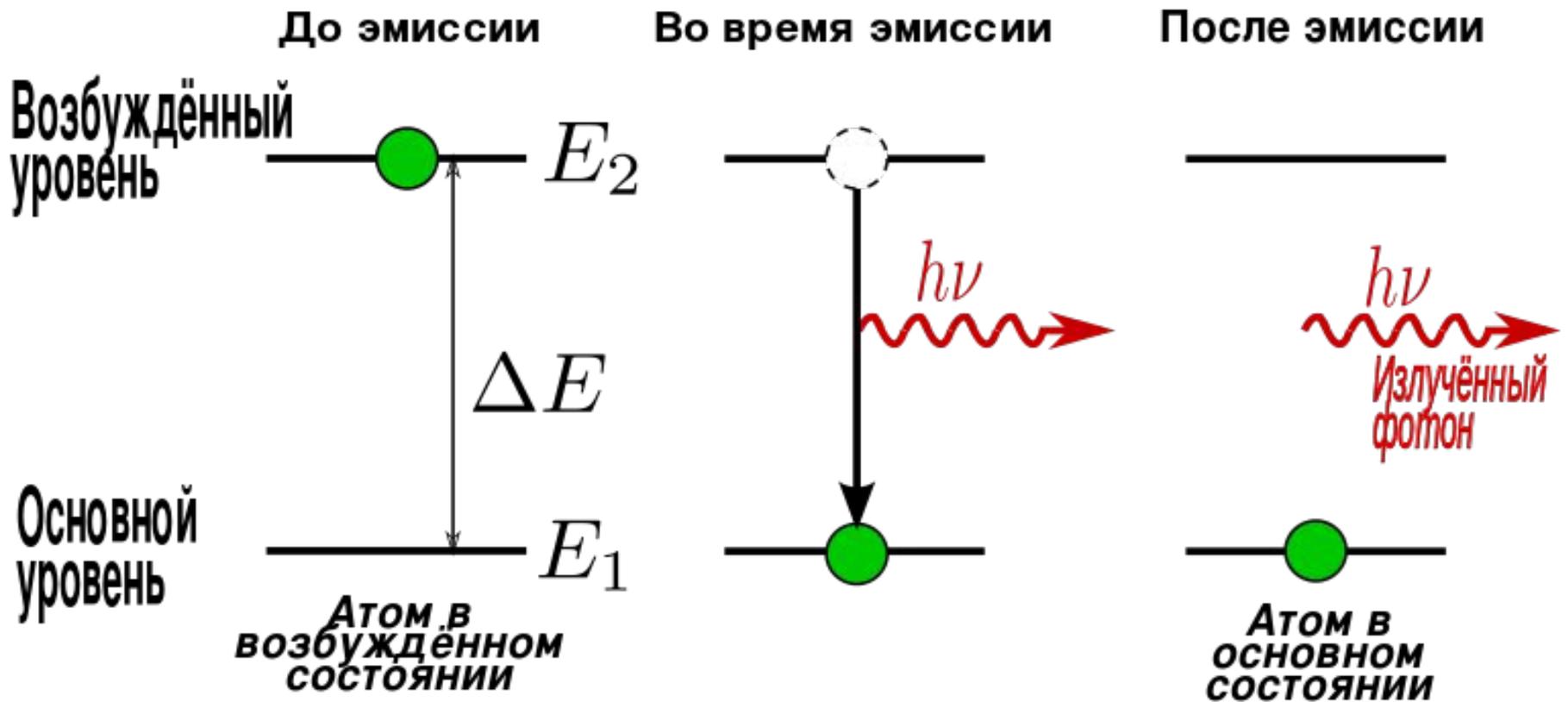


$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$$

1) Под действием электромагнитного поля частоты ω молекула (атом) может перейти с более низкого энергетического уровня на более высокий с **поглощением** фотона энергией $\hbar\omega = E_2 - E_1$

The excited state (Возбужденное состояние)

Спонтанное испускание

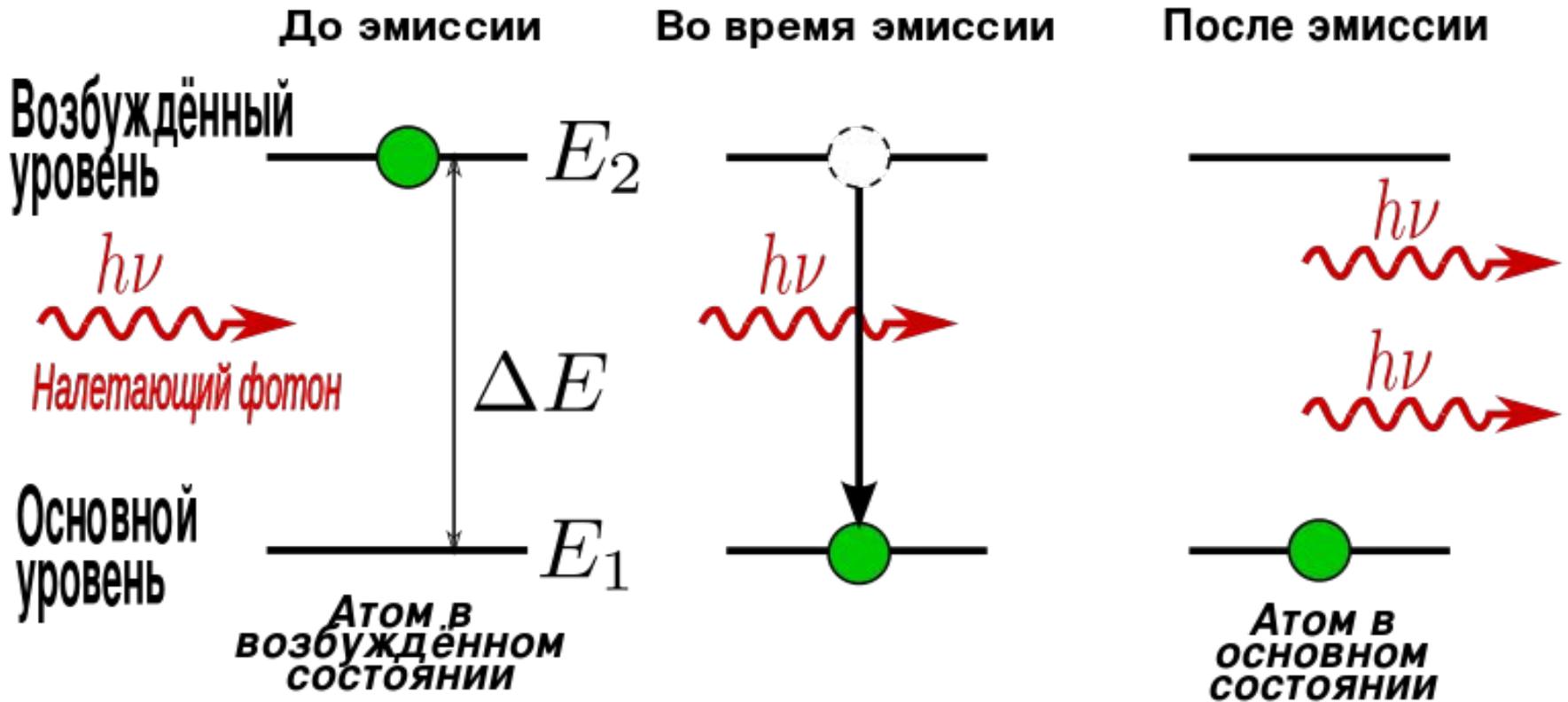


$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$$

3. Остаётся возможным самопроизвольный переход молекулы (атома) с верхнего на нижний уровень с испусканием фотона энергией $h\omega = E_2 - E_1$

The spontaneous emission (Спонтанное излучение)

Вынужденное (индуцированное) испускание



$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$$

2. Под действием электромагнитного поля частоты ω молекула (атом) может перейти с более высокого энергетического уровня на более низкий с **испусканием** фотона энергией $\hbar\omega = E_2 - E_1$

Stimulated emission (Вынужденное излучение)

Активная среда

В настоящее время в качестве рабочей среды лазера используются все агрегатные состояния вещества: твёрдое, жидкое, газообразное и даже плазма. В обычном состоянии число атомов, находящихся на возбуждённых энергетических уровнях определяется распределением Больцмана:

$$N=N_0\exp(-E/kT),$$

где:

N — число атомов, находящихся в возбуждённом состоянии с энергией E ,

N_0 — число атомов, находящихся в основном состоянии,

k — постоянная Больцмана,

T — температура среды.

Таких атомов очень мало, поэтому вероятность того, что фотон, распространяясь по среде вызовет вынужденное излучение также очень мала по сравнению с вероятностью его поглощения. Поэтому электромагнитная волна, проходя по веществу, расходует свою энергию на возбуждение атомов. Интенсивность излучения при этом падает по [Закон Бугера — Ламберта — Бера|закону Бугера]:

$$I_l=I_0\exp(-a_1 l),,$$

где:

I_0 — начальная интенсивность,

I_1 — интенсивность излучения, прошедшего расстояние l в веществе,

a_1 — коэффициент поглощения вещества. Поскольку зависимость экспоненциальная, излучение очень быстро поглощается.

В том случае, когда число возбуждённых атомов больше, чем невозбуждённых (то есть в состоянии инверсии населённостей), ситуация прямо противоположна.

Акты вынужденного излучения преобладают над поглощением, и излучение усиливается по закону:

$$I_l = I_0 \exp(a_2 l),$$

где:

a_2 — коэффициент квантового усиления.

Лазер

Лазерная сварка 1,2

Лазерная сварка в машиностроении

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

Лазерную сварку производят на воздухе или в среде защитных газов: аргона, CO_2 .

Вакуум, как при электронно-лучевой сварке, здесь не нужен, поэтому лазерным лучом можно сваривать крупногабаритные конструкции.

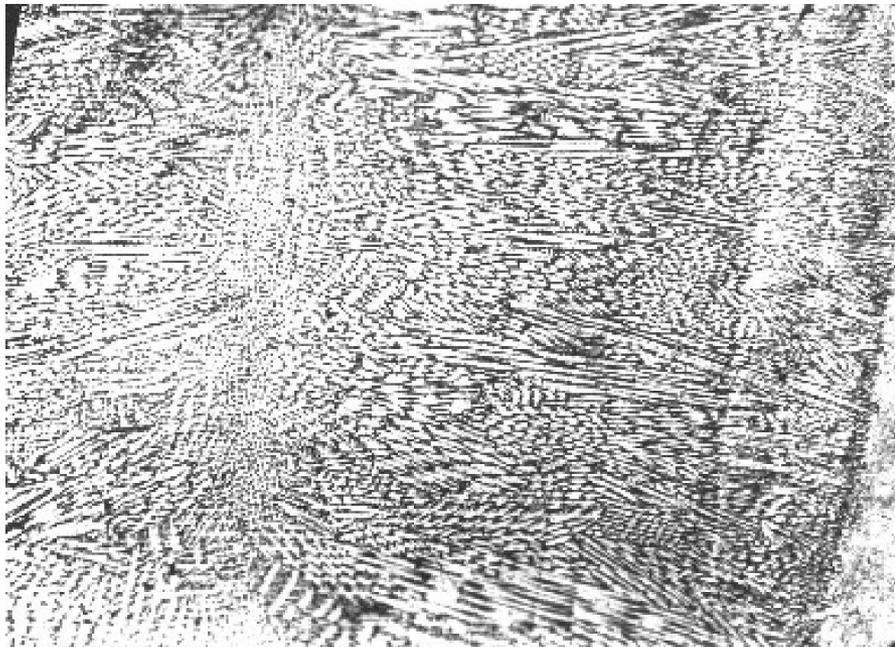
Лазерный луч легко управляется и регулируется, с помощью зеркальных оптических систем легко транспортируется и направляется в труднодоступные для других способов места.

В отличие от электронного луча и электрической дуги на него не влияют магнитные поля, что обеспечивает стабильное формирование шва.

Из-за высокой концентрации энергии (в пятне диаметром 0,1 мм и менее) в процессе лазерной сварки объем сварочной ванны небольшой, малая ширина зоны термического влияния, высокие скорости нагрева и охлаждения. Это обеспечивает высокую технологическую прочность сварных соединений, небольшие деформации сварных конструкций, более мелкую структуру сварного соединения



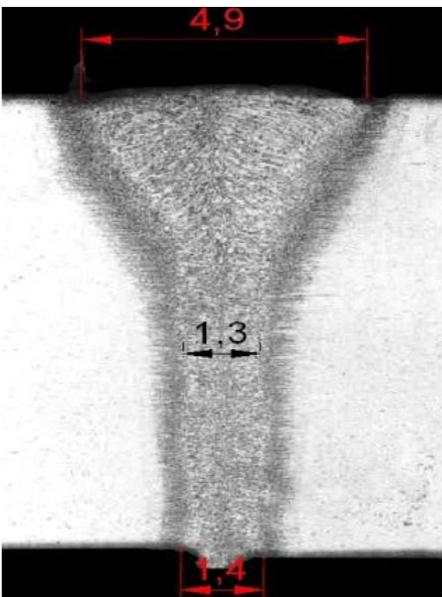
Первичная структура металла шва при дуговой сварке стали ($\times 100$).



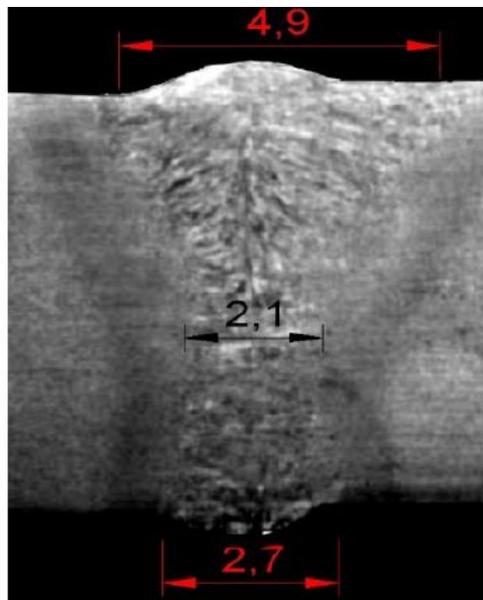
Первичная структура металла шва при лазерной сварке стали ($\times 100$).

Скорость лазерной сварки непрерывным излучением в несколько раз превышает скорости традиционных способов сварки плавлением. Например, стальной лист толщиной 20 мм электрической дугой сваривают со скоростью 15 м/ч за 5...8 проходов, ширина шва получается 20 мм. Непрерывным лазерным лучом этот лист сваривается со скоростью 100 м/ч за 1 проход, получают ширину шва 5 мм. Однако лазерная сварка импульсным излучением по скорости сопоставима с традиционными способами сварки.

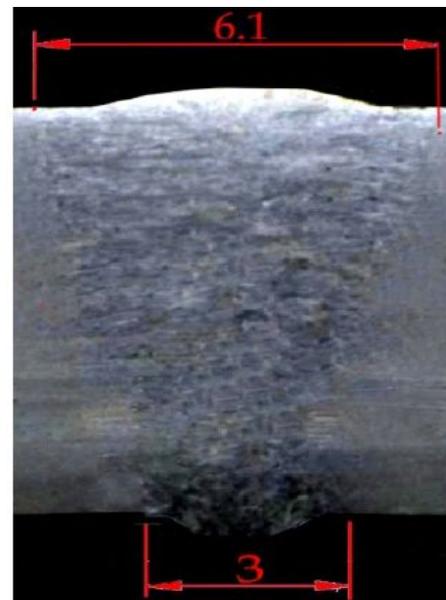
Высокая концентрация энергии, большая скорость лазерной сварки по сравнению с дуговыми способами, незначительное тепловое воздействие на околошовную зону вследствие высоких скоростей нагрева и охлаждения металла существенно повышают сопротивляемость большинства конструкционных материалов образованию горячих и холодных трещин. Это обеспечивает высокое качество сварных соединений из материалов, плохо свариваемых другими способами сварки. Существенно (до десяти раз) снижаются деформации сваренных деталей, что снижает затраты на правку.



а



б



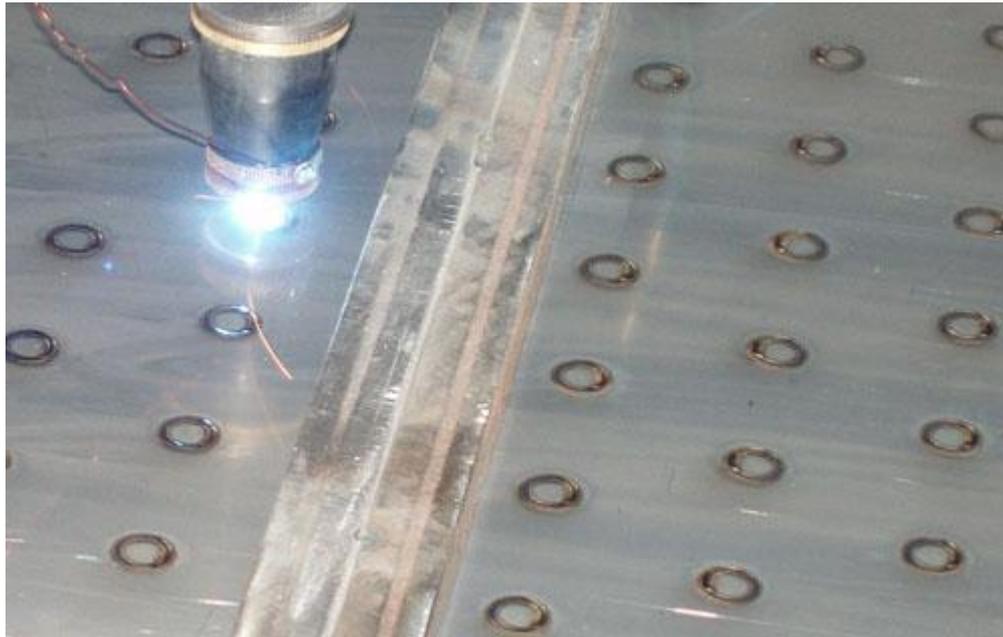
в

2.11. Лазерная сварка встык по зазору 0,15 мм стали 17Г1СУ толщиной 10 мм на мощности излучения 10 кВт, скорости сварки 1,0 м/мин:

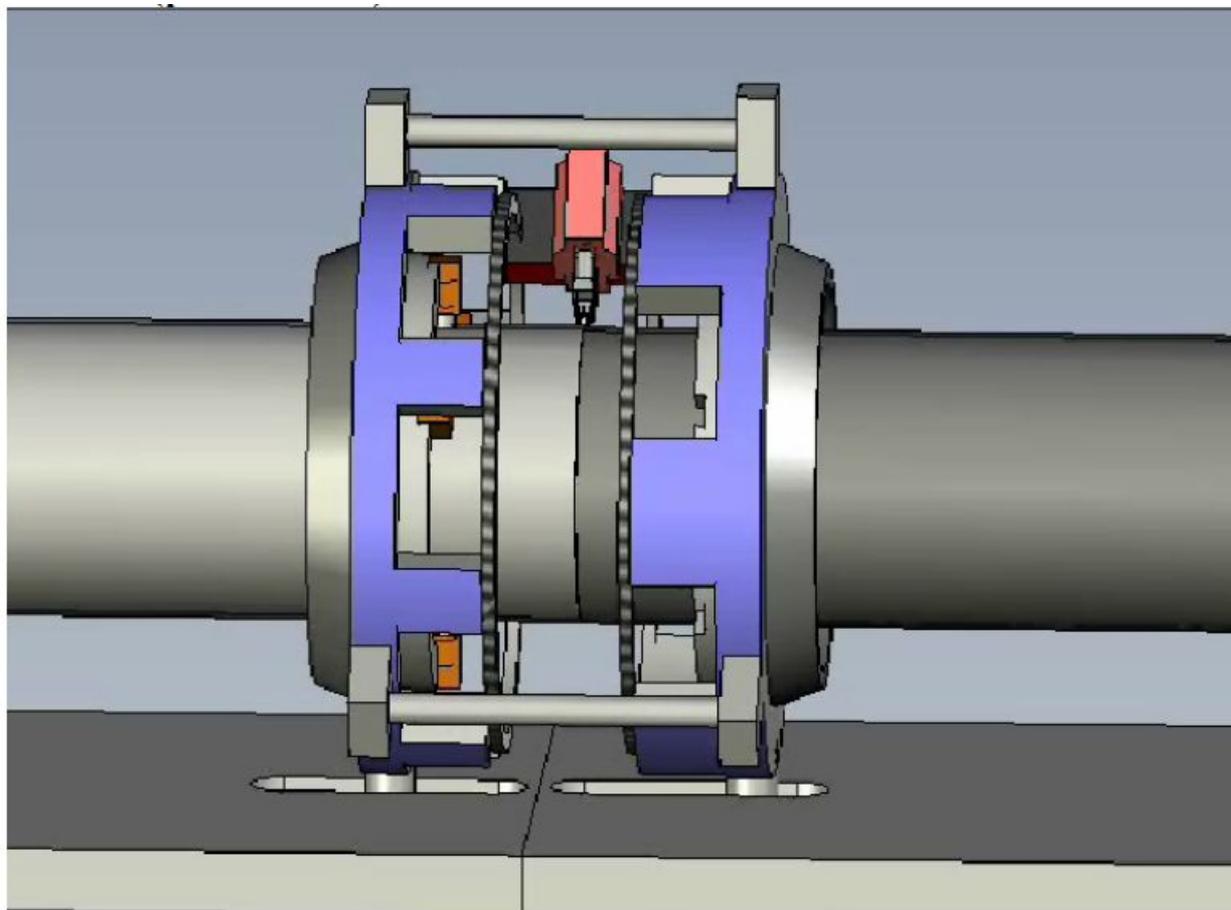
- а – однолучевая лазерная сварка;
- б – двухлучевая лазерная сварка;
- в – трехлучевая лазерная сварка.

Лазерная сварка нержавеющей стали.

Технология нахлесточной лазерной сварки листов из нержавеющей стали толщиной 0,8 и 2,5мм.



Сварка труб



Концепция механического сварочного устройства для лазерной сварки неповоротных кольцевых стыков.

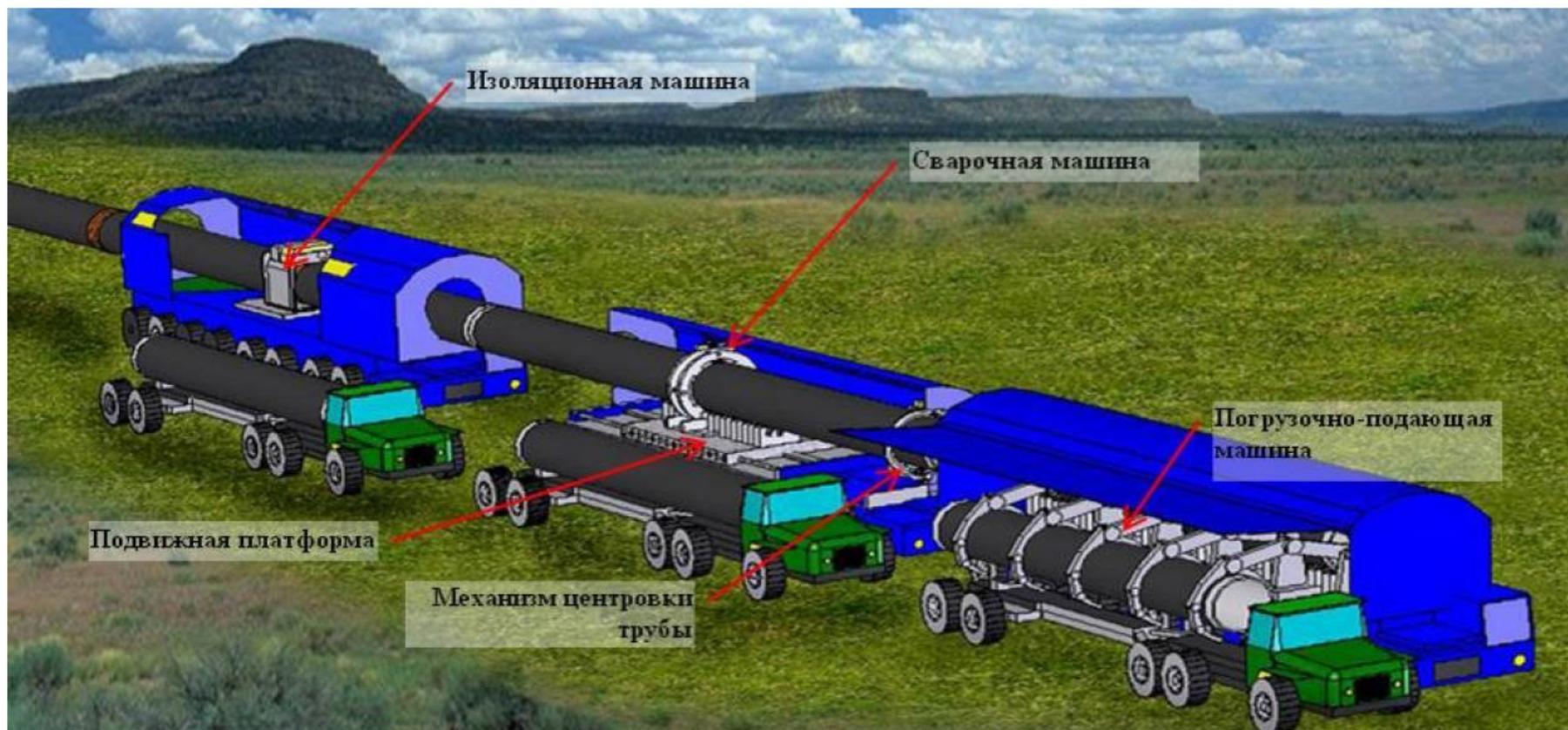


Рис.2.17. Автоматизированный мобильный комплекс для лазерной сварки газопроводных труб в полевых условиях

Лазерная сварка металлов широко применяется в приборостроении и машиностроении.

Лазерную сварку следует рекомендовать при необходимости получения прецизионной конструкции, форма и размеры которой практически не должны изменяться в результате сварки; возможности значительного упрощения технологии изготовления сварных конструкций за счет выполнения сварки в виде заключительного процесса без последующих операций правки либо механической обработки для достижения требуемой точности и т.д.;

Поскольку лазерная технология легко автоматизируется и роботизируется, ее внедрение в массовое производство, например, автомобильную, судостроительную, авиакосмическую, компьютерную, медицинскую, электронную и другие отрасли, получило особый приоритет.

Лазерная сварка, являясь дорогостоящим методом (стоимость технологических лазеров пока еще достаточно высока), считается наиболее эффективной тогда, когда традиционные сварочные технологии не дают нужного результата или их проведение технически невозможно.

ТЕРМИТНАЯ СВАРКА

Начало этому процессу было положено в 1859 году русским ученым Н.Н. Бекетовым, который впервые открыл алюминотермию и дал описание алюминотермитной реакции.

Ее сущность – получение металлов и сплавов восстановлением их окислов алюминием. Поскольку реакция проходит с выделением большого количества тепла, ее называли термитной.

Несколько позже, в 1898 году, в Германии химиком Гансом Гольдшмидтом этот процесс был отработан в промышленных масштабах и приспособлен для сварки рельсов. Своими работами профессор Г.Гольдшмидт внес большой вклад в развитие практического использования термитной сварки.

История развития производства термита и термитной сварки рельсов

В Москве термитную сварку впервые применили в 1915 г., когда было сварено 126 стыков. В 1918 г. сварили еще 151 стыков. С 1923 г. в трамвайных путях столицы начинают регулярно варить стыки термитом. До 1925 г. стыки сваривали импортным термитом. В 1925 г. на Московском термитно-стрелочном заводе инженером М. Л. Карасевым было налажено промышленное производство термита.

В последующие годы в путях московского трамвая было сварено термитом свыше 100 000 стыков.

Сварка производилась двумя способами: комбинированным и врасклинку. Ввиду того, что стыки, свариваемые последним способом, часто выходили из строя, к 1931 г. этот способ перестали применять. Вместо него начали внедрять способ сварки промежуточным литьем. Одновременно начали применять способ сварки «дуплекс» (способ промежуточную литья с последующим прессованием). Однако этот способ не получил широкого распространения из-за сложности технологического процесса.

[Термитная сварка в Калининграде](#)

[Термитная сварка](#)

Сущность термитной реакции заключается в том, что алюминий способен восстанавливать окислы металлов со значительным выделением тепла, в результате чего происходит изменение потенциального состояния энергии и рекристаллизация компонентов, участвующих в процессе:

$$Q = (U_1 - U_2) - A, \quad (1)$$

где: Q — теплота реакции;
 $U_1 - U_2$ — изменение энергетического состояния материалов;
 A — работа по рекристаллизации компонентов.

Термитами называются порошкообразные или зернистые смеси, состоящие из металла с большой теплотой образования окисла (алюминий, магний и др.) и окисла металла с меньшей теплотой образования (например, окислы железа, меди). В термитной сварке, наиболее известен алюминиевый термит из металлического алюминия и железной окалины Fe_3O_4 . Если эту смесь поджечь, она сгорит, давая металлическое железо и окись алюминия. Реакция термитной сарки, сопровождающаяся повышением температуры более чем до $3000^\circ C$, идет по уравнению



Сгорая, килограмм термитной смеси дает около 750 ккал тепла.

СПОСОБЫ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ

1. Способ промежуточного литья

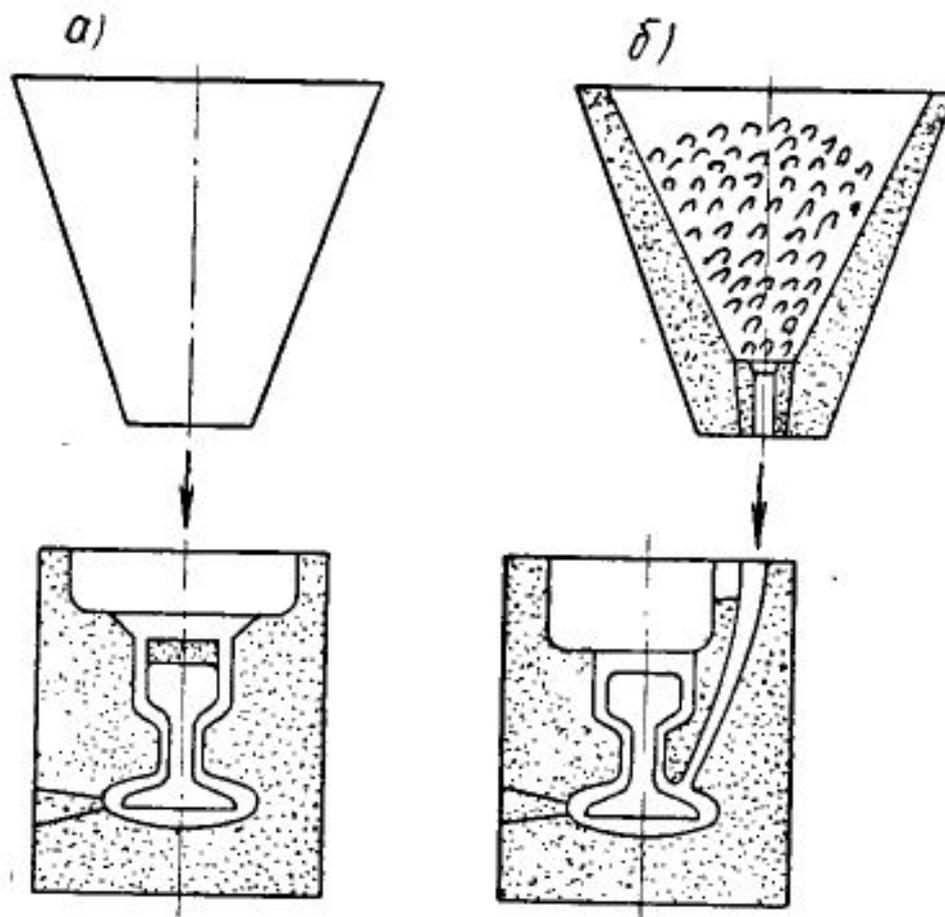


Рис. 8. Способы промежуточного литья:
а — заливка снизу вверх; б — заливка сверху.

Термитная сварка применяется при:

- а) производстве крупногабаритных деталей, состоящих из нескольких элементов: коленчатых валов, рулевых рам судов, приварке лопастей к гребным валам судов и пр.;
- б) восстановлении цилиндров прессов, поршневых штоков, колонн кузнечных прессов, роторных валов, валков, а также ведущих реверсивных шестерен прокатных станов, всевозможных станин—клетей прокатных станов, станин прессов и главных станин ковочно-высадочных машин и пр.;
- в) ремонте чугунного технологического оборудования сталелитейных цехов: изложниц, шлаковых ковшей, поддонов и т. д. Термитная сварка крупных чугунных деталей дает большой экономический эффект, особенно для восстановления технологического оборудования металлургического производства: различных ковшей, изложниц, поддонов, а также всевозможных станин.

Приступая к термитной сварке чугунных деталей, нужно учитывать повышенную чувствительность чугуна к температурным изменениям. При нагревании чугуна выше критической точки и охлаждении со скоростью, превышающей 149° в мин., он становится хрупким.

Одним из важнейших условий успешного проведения термитной сварки чугунных деталей является предварительный подогрев. При сварке чугунных деталей, помимо местного подогрева в зоне сварки до 900° , необходимо произвести и общий подогрев всей детали до $450—500^{\circ}$.

Плазменная сварка

Плазмой называется частично или полностью ионизированный газ, состоящий из нейтральных атомов и молекул, а также электрически заряженных ионов и электронов (частиц активно проводящих электрический ток) . В таком определении обычная дуга может быть названа плазмой. Однако по отношению к обычной дуге термин «плазма» практически не применяют, так как обычная дуга имеет относительно невысокую температуру и обладает невысоким запасом энергии по сравнению с традиционным понятием плазмы.

Плазменная дуга, характеризующаяся сверхвысокой температурой и мощностью, получается из обычной дуги после того, как последняя подвергается сжатию и вдуванию в дугу, формируемую плазмообразующим газом. В качестве такого газа обычно выступает аргон (иногда к нему добавляют гелий или водород).

Во время ионизации кинетическая энергия частиц, содержащихся в газе, приумножает выделяемую тепловую энергию дуги. Кроме того, плазменная дуга получает возможность, по сравнению с обычной дугой, в несколько раз увеличить давление на металл за счет уменьшения своего диаметра.

Температурная амплитуда плазменной дуги - не менее 5 и не выше 30 тысяч градусов по Цельсию.

Кроме повышенной мощности и температуры плазменная дуга имеет несколько других важных отличий от обычной:

- ее давление на обрабатываемый металл выше в 6–8, а иногда и в 10 раз;
- диаметр дуги по своим размерам получается меньшим;
- плазменную дугу можно без проблем держать на объективно небольших токах (от 0,2 А до 30 А);
- форма плазменной дуги является не конической, а цилиндрической.

Все указанные отличия обеспечивают плазменной дуге большую универсальность. Благодаря этому сварка плазмой гарантирует проплавление металла на большую глубину и при этом снижает объем расплавления свариваемого материала.

Плазму получают в специальных устройствах – плазмотронах. Плазмотрон – устройство для создания плотной (с давлением порядка атмосферного) низкотемпературной плазмы (до 104 К) с помощью электрического разряда в газах, дающее плазменный поток.

В качестве плазмообразующего газа используют аргон (температура плазмы – 15000–30000 °С), азот (температура плазмы – 10000–15000 °С) или смесь газов, а также водяной пар (температура плазмы до 10000 °С).

Применяют два основных плазменных источника нагрева для сварки:

- плазменную струю, выделенную из столба косвенной дуги;
- плазменную дугу, совмещенную с плазменной струей.

Соответственно применяют два типа плазменных горелок.

В горелках для получения плазменной струи дуга 1 горит между вольфрамовым электродом 2 и соплом 4, к которому подключен положительный полюс источника тока. Электрод изолирован от корпуса горелки керамической прокладкой 3. Сопло интенсивно охлаждается водой. Из сопла выходит яркосветящаяся плазменная струя 5. Горелка питается током прямой полярности от источников с падающей характеристикой.

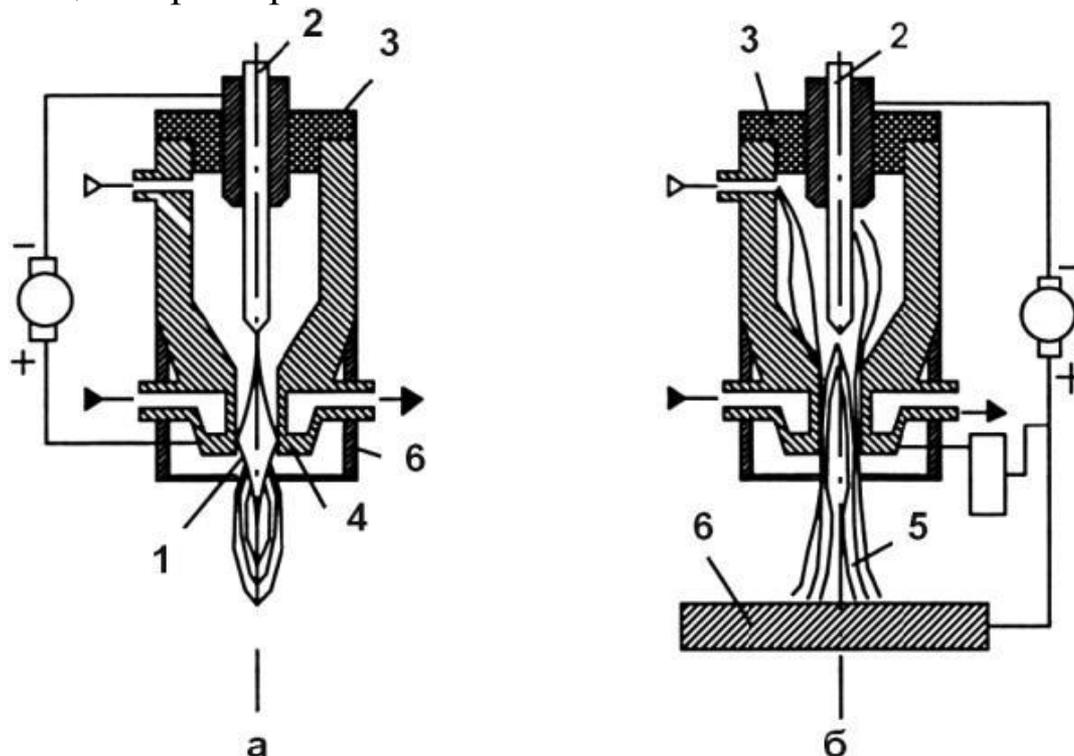


Схема получения плазменных источников нагрева:

а – плазменная струя, выделенная из дуги; б – плазменная дуга, совмещенная с плазменной струей

Горелки, предназначенные для сварки, снабжены вторым концентрическим соплом (б), через которое подается защитный газ. Сопло электрически нейтрально и служит для сжатия и стабилизации дуги.

Сжатие столба происходит следующим образом: рабочий газ, проходя через столб дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла плазмотрона в виде плазменной струи.

Устройство горелок для получения плазменной дуги (рис.,б) принципиально не отличается от устройства горелок первого типа. Только дуга горит между электродом и изделием.

Процесс возбуждения плазменной дуги между электродом и изделием осуществить очень трудно. Поэтому дуга вначале возбуждается между электродом и соплом (дежурная дуга), а затем при касании ее факела изделия происходит автоматическое зажигание основной дуги между электродом и изделием. Для этого к соплу подключен токопровод от положительного полюса источника тока.

Плазменная дуга обладает большей тепловой мощностью по сравнению с плазменной струей, т. к. в изделие вводится дополнительное тепло от электрического тока дуги.



Плазменная сварка

Плазменная сварка

Плазменная резка. Что такое плазма и как работает плазменная резка

Плазменная сварка и резка черных и цветных металлов

Плазменная сварка применяется в различных отраслях, к примеру, в приборостроении, ракетостроении, автомобилестроении, в производстве медицинского оборудования. Плазменная сварка используется для соединения таких металлических изделий, как арматура для фундамента, стальные листы, трубы и т.д.

Получила применение наплавка плазменной струей различных материалов, преимущественно карбидов вольфрама и других тугоплавких металлов, которые подаются в струю в виде порошка мелких фракций. При наплавке желательно получать сравнительно тонкий наплавленный слой, мало перемешанный с основным металлом.

Качество сварочных соединений сравнимо с качеством швов, получаемых при электронно-лучевой сварке. Но та сложнее в обеспечении, т.к. обладает вредным рентгеновским излучением. Неслучайно более «прирученная» плазменная сварка, показывая почти те же результаты, нашла применение в авиастроении и ракетной технике. Плазменные методы обработки охотно взяли на вооружение и автомобилестроение, электронное, электротехническое, химическое машиностроение, пищевая промышленность и др.

Микроплазменная сварка широко применяется в таких сферах промышленности, где необходимо соединять тонкие листы металла, к примеру, в приборостроении, микроэлектронике, радиоэлектронике и т.д. Микроплазменную сварку можно использовать для соединения металла толщиной до 0,025 мм. При микроплазменной сварке шов получается достаточно узким, и за счет сокращения зоны термического влияния уменьшается деформация изделия.

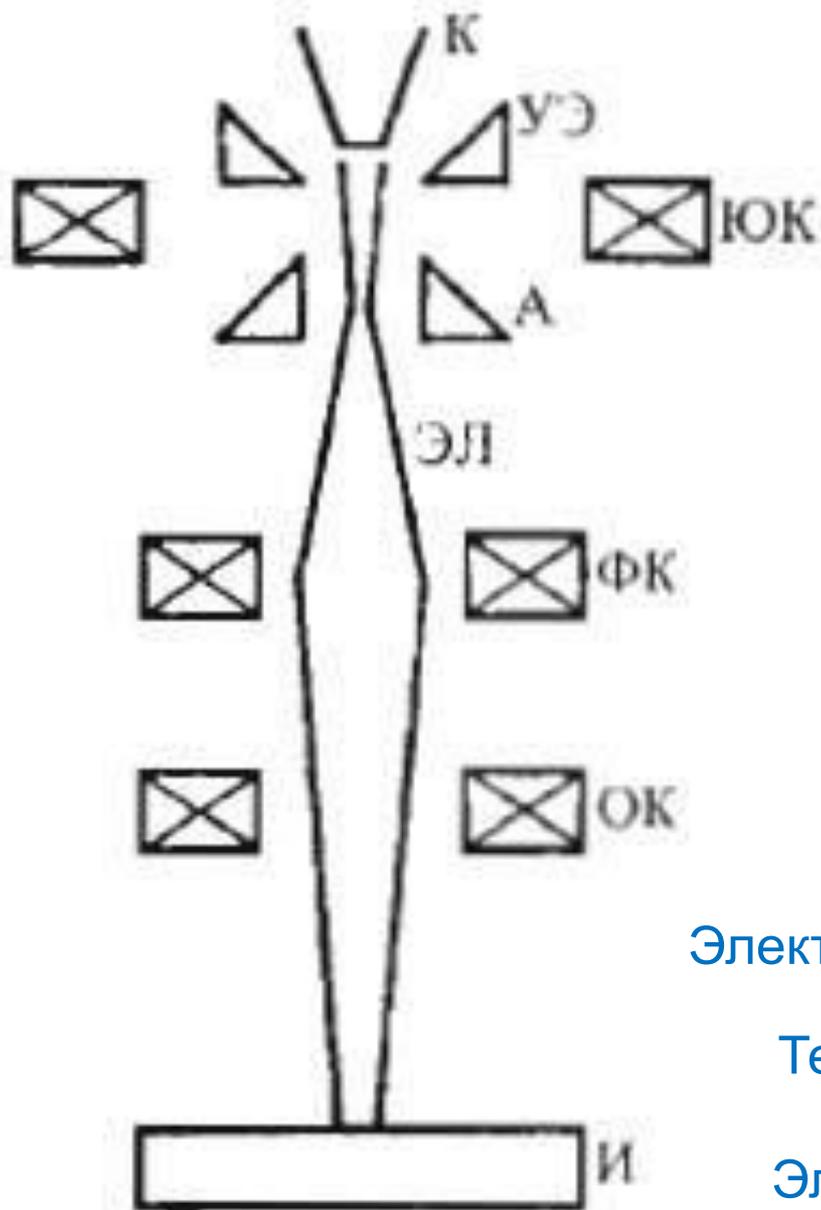
Электронно-лучевая сварка

Открытие термоэлектронной эмиссии, использование магнитных и электростатических аксиально-симметричных полей для фокусировки электронных пучков, развитие вакуумной техники — основные вехи на пути развития электроннолучевой сварки. Промышленное применение электроннолучевой сварки началось в конце 50-х годов нашего столетия.

Определение термина по ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 "*... Процессы сварки металлов. Термины и определения*" (**вступает в действие с 01.07.2010 г.**):

Электронно-лучевая сварка

- сварка плавлением, при которой используют сфокусированный электронный луч.



Типичная схема электронно-лучевой пушки:

К - катод ;

УЭ - управляющий электрод;

ЮК - юстирующие катушки ;

А - анод;

ЭЛ - электронный луч;

ФК - фокусирующие катушки ;

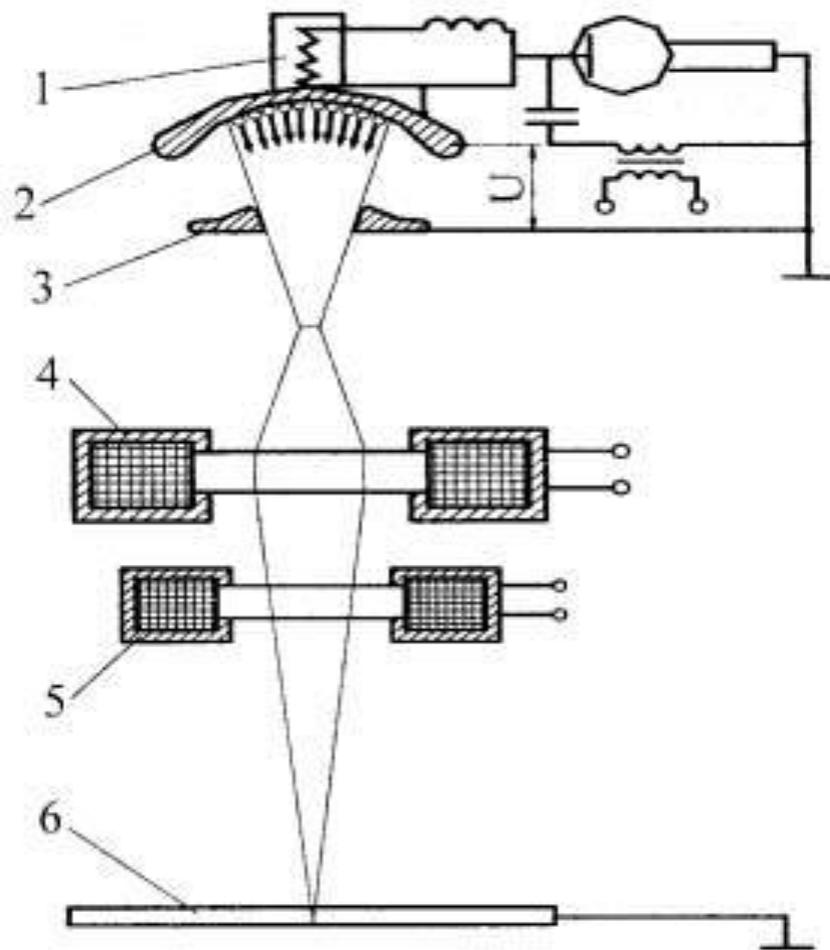
ОК - отклоняющие катушки;

И - свариваемое изделие.

Электронно-лучевая сварка с 1.37 мин

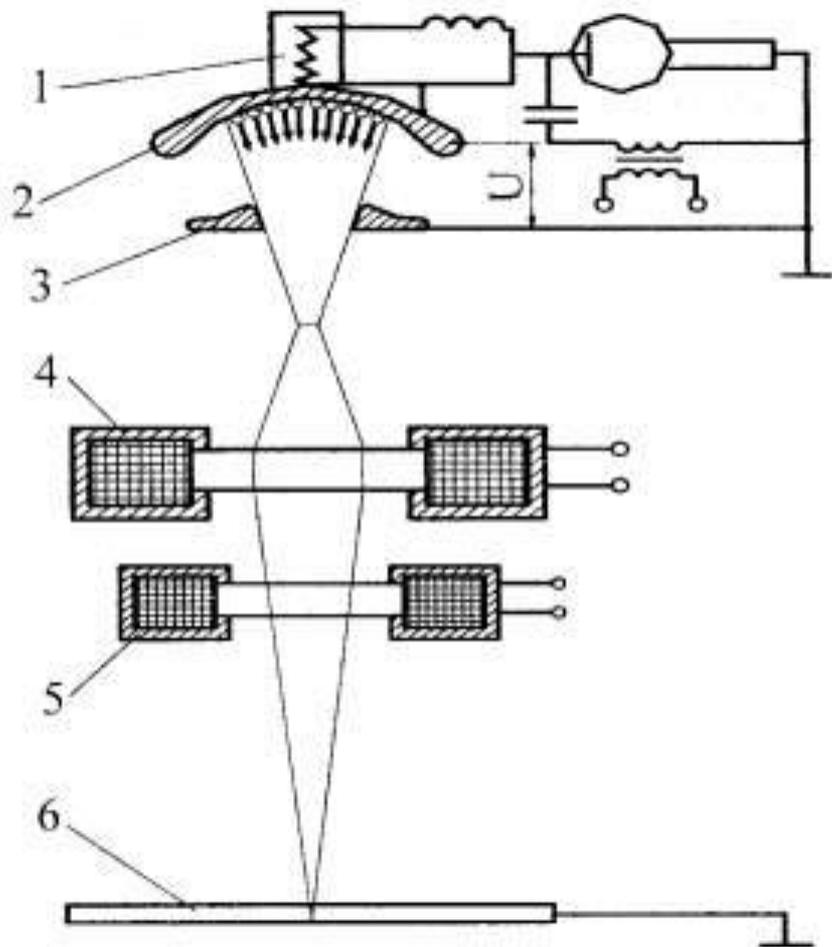
Термоэлектронная эмиссия (ЭЛС)

Электронно-лучевая технология



Пушка имеет катод (1), который размещен внутри прикатодного электрода (2). На некотором удалении от катода находится ускоряющий электрод - анод (3) с отверстием. Прикатодный и ускоряющий электроды имеют форму, обеспечивающую такое строение электрического поля между ними, которое фокусирует электроны в пучок с диаметром, равным диаметру отверстия в аноде. Положительный потенциал ускоряющего электрода может достигать нескольких десятков тысяч вольт, поэтому электроды, эмиттированные катодом, на пути к аноду приобретают значительную скорость и, соответственно, кинетическую энергию.

После ускоряющего электрода электроны движутся равномерно. Питание пушки электрической энергией осуществляется от высоковольтного источника постоянного тока. Электроны имеют одинаковый заряд, поэтому они отталкиваются друг от друга, вследствие чего диаметр пучка увеличивается, а плотность энергии в пучке уменьшается.



Для увеличения плотности энергии в луче после выхода из анода электроны фокусируются магнитным полем в специальной магнитной линзе (4). Сфокусированные в плотный пучок летящие электроны ударяются с большой скоростью о поверхность изделия (6), при этом кинетическая энергия электронов, вследствие торможения в веществе, превращается в теплоту, нагревая металл до высоких температур.

Для перемещения луча по свариваемому изделию на пути электронов помещают магнитную отклоняющую систему (5), позволяющую направлять электронный луч точно по сварочному стыку.

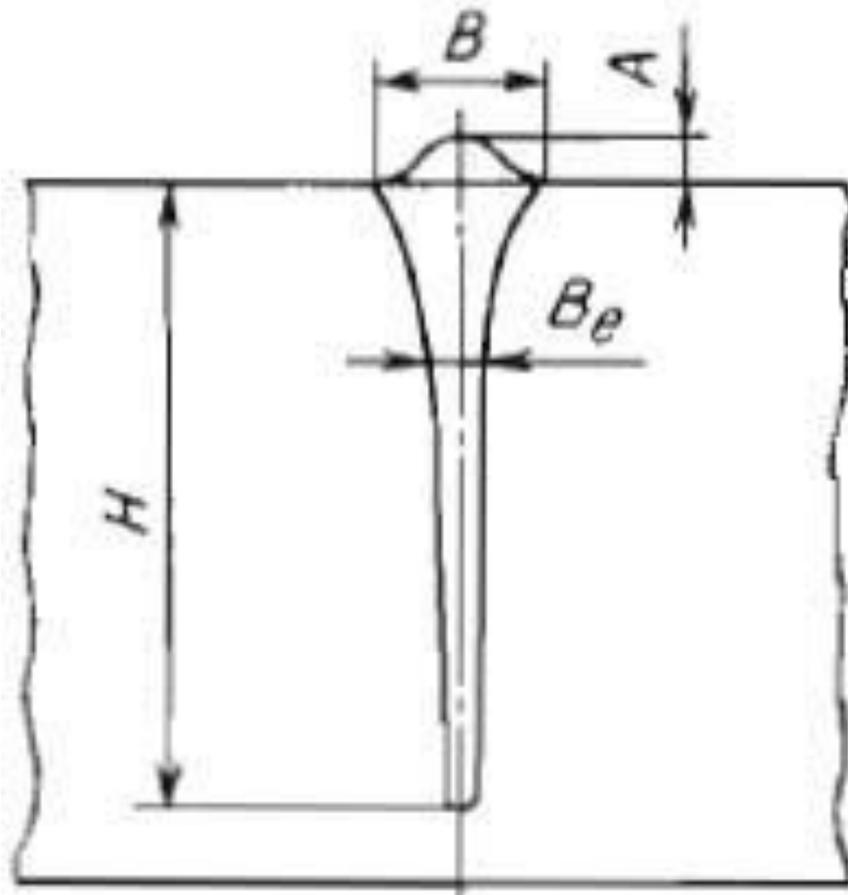
Электронно-лучевая сварка в основном осуществляется в высоком вакууме ($10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па), реже в диапазоне давления $1 \dots 10^{-1}$ Па .

Высокий вакуум применяется как для эффективной генерации электронного пучка и беспрепятственного прохождения его (из-за отсутствия столкновения электронов с остаточными молекулами воздуха) до свариваемого изделия, так и для создания химически инертной среды, содержащей вредные примеси (водород, кислород, азот), в 10-100 раз меньшие, чем в аргоне высшего сорта при атмосферном давлении. Это позволяет получать сварные соединения высокого качества при сварке таких химически активных сплавов, как титановые сплавы, циркониевые, молибденовые, ниобиевые и др.

При повышении давления в сварочной камере до $1 \dots 10$ Па становится уже заметным рассеяние пучка электронов в пространстве дрейфа до изделия, что ограничивает возможную длину пучка при электронно-лучевой сварке. При вневакуумной эле рассеяние пучка столь велико, что не удастся достигнуть рабочего расстояния пучка-изделие $> 10 \dots 30$ мм.

При воздействии пучка электронов сравнительно невысокой плотности мощности (до $1 \cdot 10^5$ Вт/см²) процесс электронно-лучевая сварки подобен процессу обычной электродуговой сварки. Проплавление существенно ограничено по глубине и в поперечном сечении близко по форме к полусфере. Такой процесс при меняется для сварки малых толщин (до 3 мм).

Переход от сварки малых толщин к однопроводной сварке металлов больших толщин осуществляется при условии достижения критической плотности мощности q^*_2 , величина которой для большинства металлов $q^*_2 = 10^5 \dots 10^6$ Вт/см². В этом случае эффективная мощность электронного луча уже не может быть отведена вглубь металла путем теплопроводности и тепловое равновесие поверхности нагрева наступает при испарении части металла.



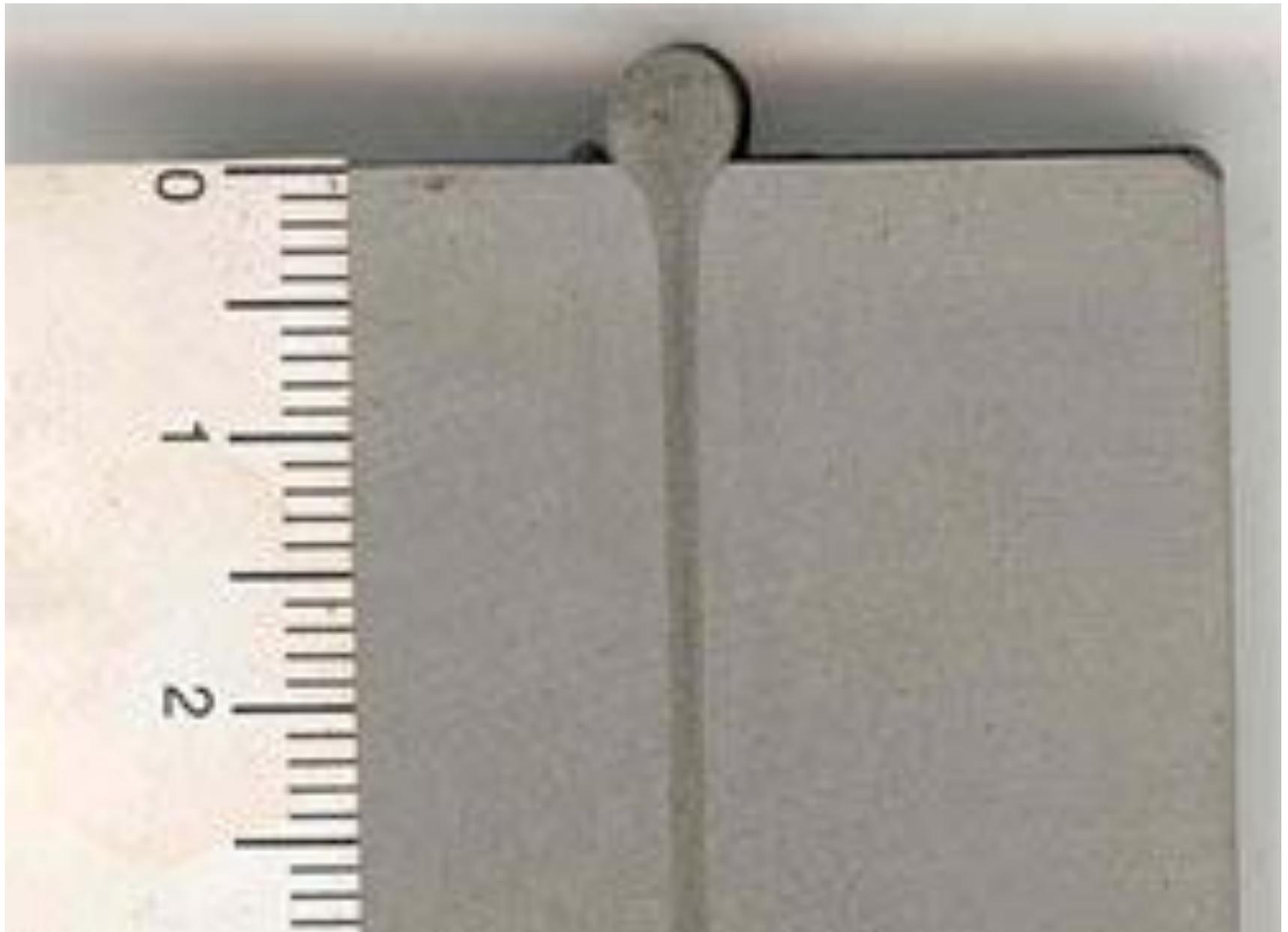
Типичная форма поперечного сечения сварного шва в металле, выполненного электронным лучом:

H , B , A - глубина, ширина и усиление шва соответственно; B_e - ширина шва на уровне $0,368H$, т.е. на уровне H / e , где e - основание натурального логарифма.

Сварка алюминия



Сварка аустенитной стали



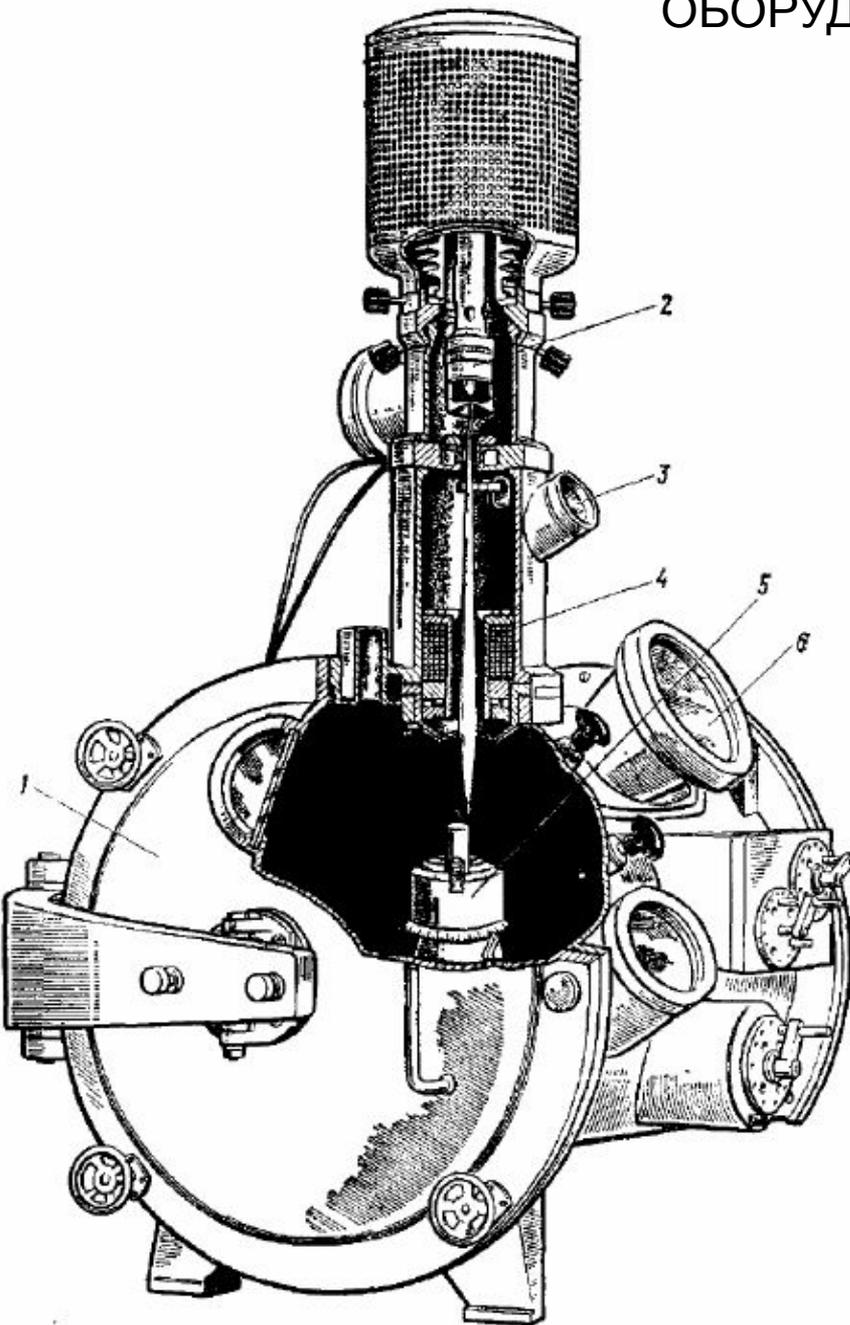
Сварка электронным лучом имеет значительные преимущества:

- 1. Высокая концентрация ввода теплоты в изделие, которая выделяется не только на поверхности изделия, но и на некоторой глубине в объеме основного металла.** Фокусировкой электронного луча можно получить пятно нагрева диаметром 0,0002 ... 5 мм, что позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм. В результате можно получить швы, в которых соотношение глубины провара к ширине до 20:1 и более. Появляется возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др.), керамики и т.д. Уменьшение протяженности зоны термического влияния снижает вероятность рекристаллизации основного металла в этой зоне.
- 2. Малое количество вводимой теплоты.** Как правило, для получения равной глубины проплавления при электронно-лучевой сварке требуется вводить теплоты в 4 ... 5 раз меньше, чем при дуговой. В результате резко снижаются коробления изделия.
- 3. Отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами.** Наоборот, в целом ряде случаев наблюдается дегазация металла шва и повышение его пластических свойств. В результате достигается высокое качество сварных соединений на химически активных металлах и сплавах, таких как ниобий, цирконий, титан, молибден и др. Хорошее качество электронно-лучевой сварки достигается также на низкоуглеродистых, коррозионно-стойких сталях, меди и медных, никелевых, алюминиевых сплавах.

Недостатки электронно-лучевой сварки:

1. Возможность образования несплавлений и полостей в корне шва на металлах с большой теплопроводностью и швах с большим отношением глубины к ширине;
2. Для создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделий требуется длительное время.

ОБОРУДОВАНИЕ



Сварочная электронно-лучевая установка состоит из вакуумной камеры 1, в верхней части которой размещается электронная пушка 2, получающая питание электроэнергией от высоковольтного выпрямителя. Для фокусировки электронного луча и возможности управления лучом на его пути установлена электромагнитная фокусирующая линза и отклоняющая система 4. Внутри камеры может также находиться механизм перемещения изделия 5 с электродвигателем. Питание системы управления пушкой и электрического двигателя механизма перемещения осуществляется через электрический вакуумный ввод. Вакуум в камере создается с помощью вакуумной системы.

Управление всеми электрическими агрегатами осуществляется с пульта управления. Вакуумная камера выполнена в виде цилиндра. Для наблюдения за процессом сварки в камере и электронной пушке имеются несколько смотровых окон 3 и 6, изготовленных из свинцового стекла. Внутри камеры расположены приспособления для крепления изделия и механизм перемещения изделия под электронным лучом.

Электронно-лучевая сварка является прецизионным способом получения неразъемного соединения, поэтому применяется к конструкциям ответственного назначения в различных отраслях: автомобильная промышленность; машиностроение; приборостроение, медицинская промышленность; самолетостроение и космическая техника; турбиностроение, ядерная энергетика и т.д.

Она позволяет, в зависимости от толщины материала, получать сварные швы шириной от долей до нескольких миллиметров. С ее помощью достигается минимальная зона термического влияния, а также соотношение высоты к ширине сварного шва 40:1.

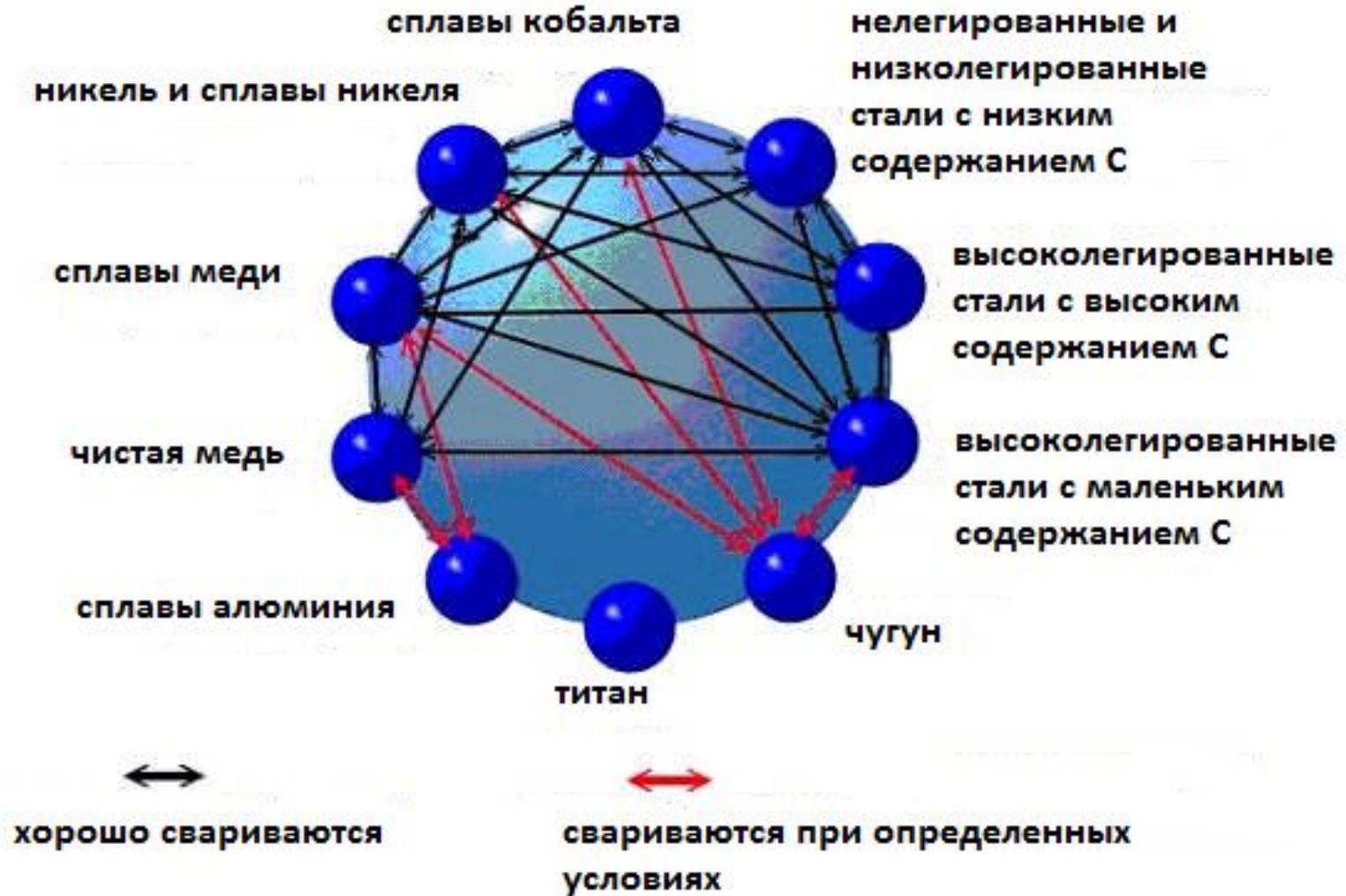
В силу того, что возникают некоторые трудности при строительстве вакуумных камер внушительных размеров, вышеуказанным путем свариваются лишь небольшие детали.

ЭЛС является наиболее перспективным способом соединения деталей из химически активных и тугоплавких металлов и сплавов, изделий из термически упрочняемых материалов, когда не желательна, затруднена или невозможна термическая обработка; изделий после завершающей механической обработки при необходимости обеспечения минимальных сварочных деформаций, ряда толстостенных и тонкостенных конструкций ответственного назначения.

Электронно-лучевая сварка применяется для:

- соединения сталей различных структурных классов толщиной до 80 мм;
- соединения титановых сплавов толщиной до 100 мм;
- соединения легких сплавов толщиной до 100 мм;
- соединения сплавов на основе меди толщиной до 20 мм.

Возможности электронно-лучевой сварки



Свариваемость материалов друг с другом
Если отсутствуют связи, материалы друг с другом практически не свариваются.