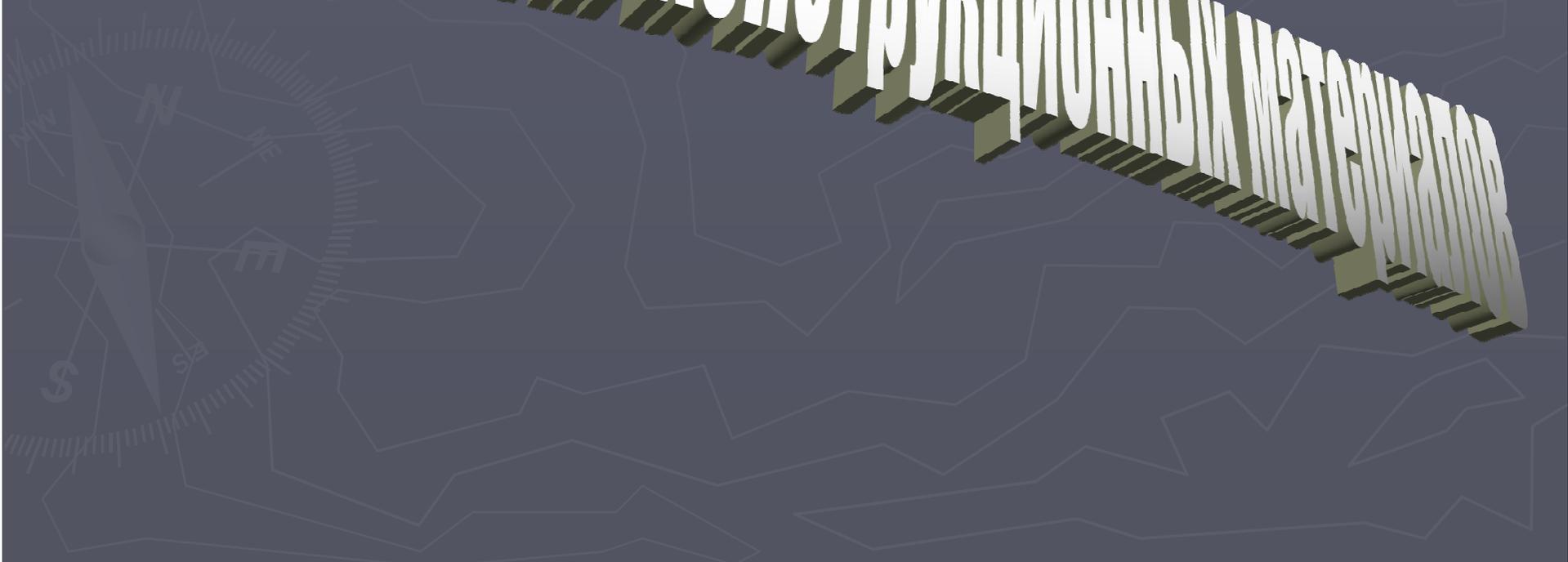


# Технология конструктивных материалов



## Сварочное производство. Сварка плавлением

- ▶ *Сварка* – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании.  
Сварные соединения можно получать двумя принципиально разными путями: сваркой плавлением и сваркой давлением.
- ▶ При *сварке плавлением* атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавляя их примыкающие кромки, так, чтобы получилась смачивающая их, общая ванна. Эта ванна затвердевает при охлаждении и соединяет детали в одно целое. Как правило, в жидкую ванну вводят дополнительный металл, чтобы полностью заполнить зазор между деталями, но возможна сварка и без него.
- ▶ При *сварке давлением* обязательным является совместная пластическая деформация деталей сжатием зоны соединения. Этим обеспечивается очистка свариваемых поверхностей от пленок загрязнений, изменение их рельефа и образование атомно-молекулярных связей. Пластической деформации обычно предшествует нагрев, так как с ростом температуры уменьшается значение деформации, необходимой для сварки и повышается пластичность металла.

Нагрев свариваемых деталей осуществляется различными способами: электрической дугой, газокислородным пламенем, пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация.

Существует множество технологических процессов сварки (более 70).

Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварка применяется во всех областях техники.

# Сварка плавлением

## *Дуговая сварка*

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

Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки (рис. 17.1):

- ▶ сварка неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом *1* дугой прямого действия *2* (рис. 17.1.а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла *3*, либо с применением присадочного металла *4*;
- ▶ сварка плавящимся электродом (металлическим) *1* дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 17.1.б);
- ▶ сварка косвенной дугой *5*, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 17.1.в);
- ▶ сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (рис. 17.1.г).

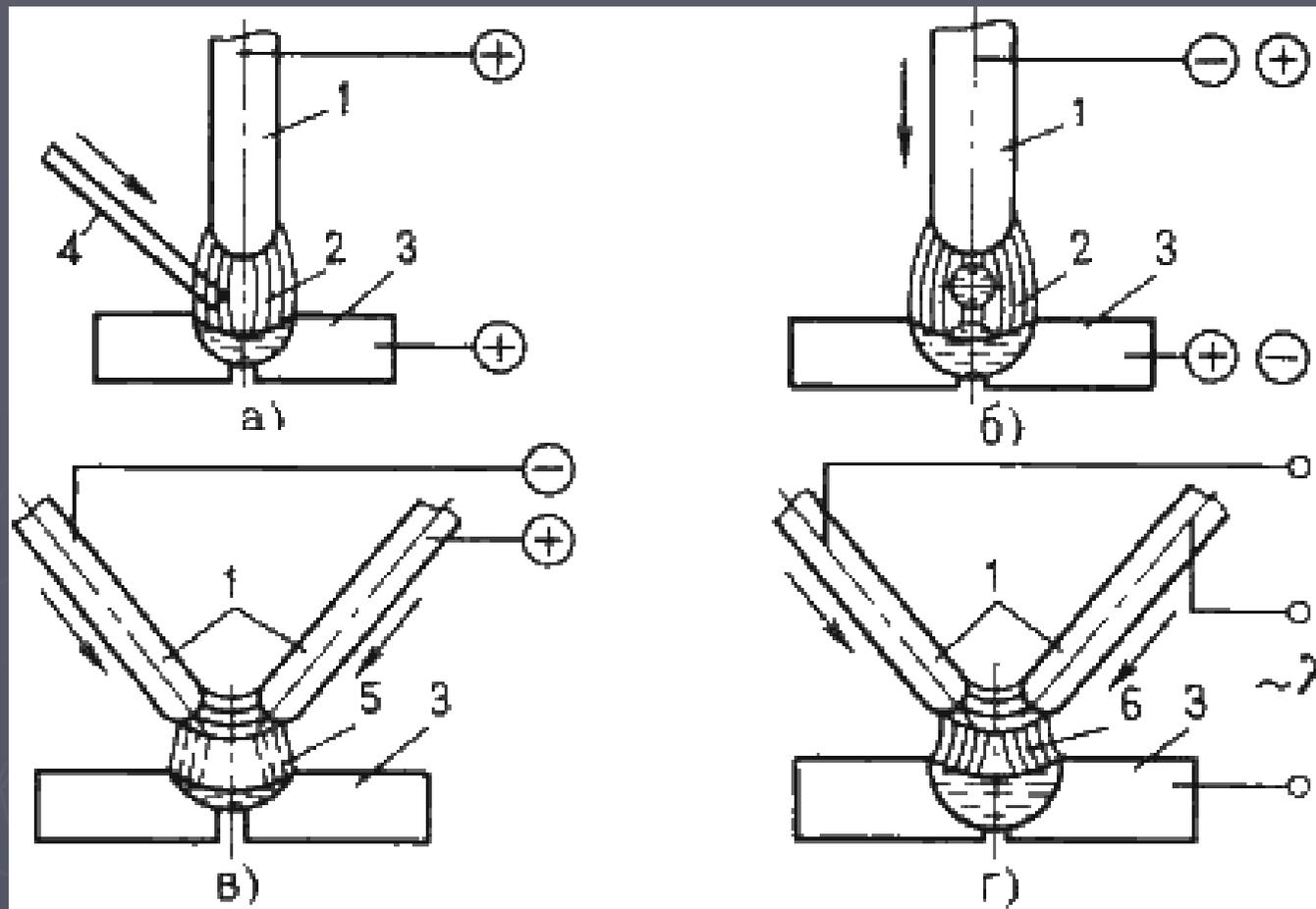


Рис. 17.1. Схемы дуговой сварки

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

► *Ручная дуговая сварка.*

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис.17.2) дуга *8* горит между стержнем *7* электрода и основным металлом *1*.

Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну *9*. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода *6*, образуя защитную газовую атмосферу *5* вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну *4* на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов *3*. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку *2*.

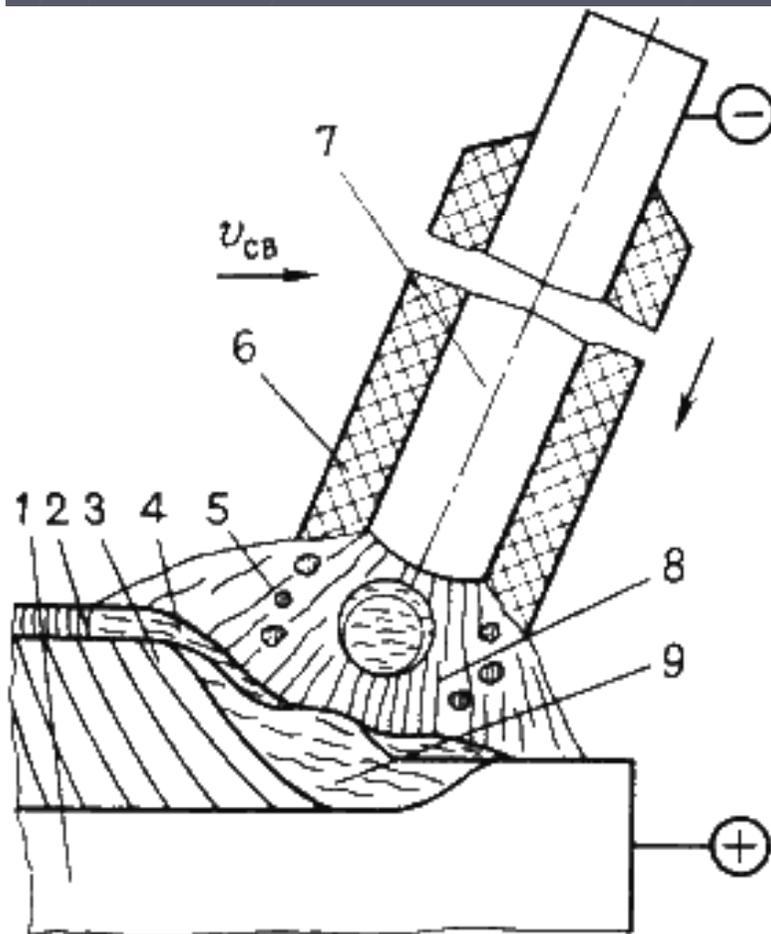
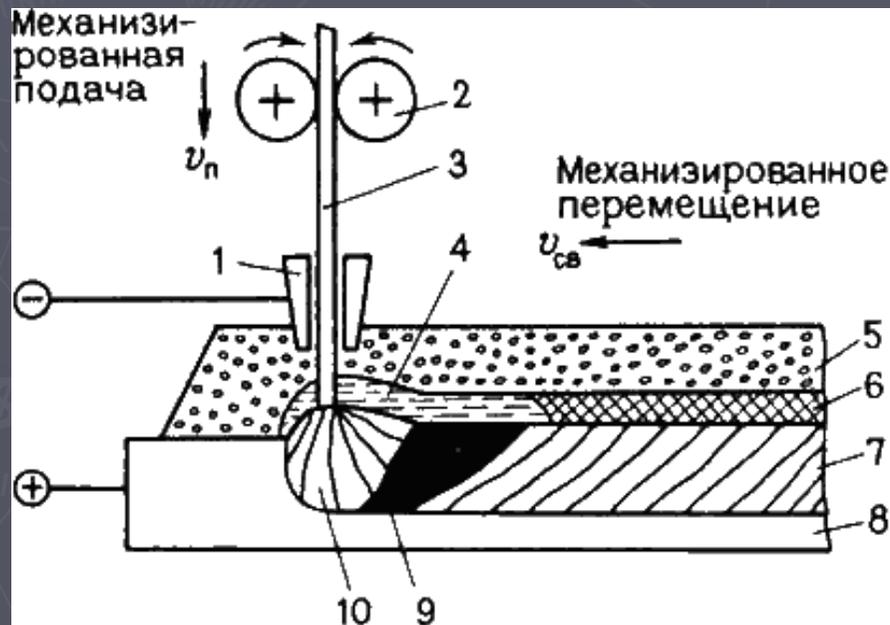


Рис. 17.2. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

Ручная сварка позволяет выполнять швы в любых пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном, вертикальном, потолочном. Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы.

Оборудование для ручной сварки: источник питания дуги, электрододержатель, гибкие провода, защитная маска или щиток.

► *Автоматическая дуговая сварка под флюсом.*



Для сварки используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха.

Рис.17.3. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва. Дуга *10* горит между проволокой *3* и основным металлом *8*. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла *9* со всех сторон плотно закрыты слоем флюса *5* толщиной 30...50 мм. Часть флюса плавится и образуется жидкий шлак *4*, защищающий жидкий металл от воздуха. Качество защиты лучше, чем при ручной дуговой сварке. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва *7*, покрытого твердой шлаковой коркой *6*. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи *2*. Ток к электроду подводят через токопровод *1*.

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла.

Преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной: повышение производительности процесса сварки в 5...20 раз, повышение качества сварных соединений и уменьшение себестоимости 1 м сварного шва.

► *Флюсы.* Применяемые флюсы различают по назначению.

Флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей предназначены для раскисления шва и легирования его марганцем и кремнием. Для этого применяют высококремнистые марганцевые флюсы, которые получают путем сплавления марганцевой руды, кремнезема и плавикового шпата в электропечах.

Флюсы для сварки легированных и высоколегированных сталей должны обеспечивать минимальное окисление легирующих элементов в шве. Для этого применяют керамические низкокремнистые, безкремнистые и фторидные флюсы, которые изготавливают из порошкообразных компонентов путем замеса их на жидком стекле, гранулирования и последующего прокаливания. Основу керамических флюсов составляют мрамор, плавиковый шпат и хлориды щелочно-земельных металлов.

► *Дуговая сварка в защитных газах.*

При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа (инертного – аргон, гелий; активного – углекислый газ, азот, водород).

- ▶ *Сварку в инертных газах* можно выполнять неплавящимся и плавящимся электродами.

В качестве неплавящегося электрода применяется пруток вольфрама, а в качестве плавящегося – проволока из основного металла или близкого ему по химическому составу. Область применения аргонодуговой сварки охватывает широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов). Аргонодуговую сварку применяют для легированных и высоколегированных сталей, цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов.

- ▶ *Сварка в углекислом газе* выполняется только плавящимся электродом. Защита сварочной ванны осуществляется углекислым газом. Углекислый газ химически активен по отношению к жидкому металлу. При нагреве он диссоциирует на оксид углерода и кислород, который окисляет железо и легирующие элементы. Окисляющее действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием кремния и марганца. Хорошее качество сварного шва получается при использовании специальной порошковой проволоки.

Обычно свариваются конструкции из углеродистых и низколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.п.). При сварке меди, алюминия, титана и редких металлов невозможно связать свободный кислород введением раскислителей.

Преимуществами данного способа являются низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность.

- ▶ Основной недостаток – разбрызгивание металла (на зачистку расходуется 30...40% времени сварки).

## Плазменная сварка

Плазменная струя, применяемая для сварки, представляет собой направленный поток частиц или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 10000...20000<sup>0</sup>С. Плазму получают в плазменных горелках, пропуская газ через столб сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси.

Применяют два основных плазменных источника нагрева: *плазменную струю*, выделенную из столба косвенной дуги и *плазменную дугу*, в которых дуга прямого действия совмещена с плазменной струей.

- ▶ Плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, позволяющий в широких пределах изменять степень нагрева и глубину проплавления поверхности заготовок. Тепловая мощность плазменной струи ограничена, и ее применяют для сварки и резки тонких металлических листов и неэлектропроводящих материалов, для напыления тугоплавки материалов.

- ▶ Плазменная дуга обладает большой тепловой мощностью, имеет более широкое применение: для сварки высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама. Плазменную дугу применяют для резки материалов (меди, алюминия), наплавки тугоплавких материалов на поверхность.

Плазменной дугой можно сваривать металл толщиной до 10 мм без разделки кромок и применения присадочного материала. Так как плазменная дуга обладает высокой стабильностью, то обеспечивается повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять микроплазменную сварку металла толщиной 0,025...0,8 мм.

- ▶ Недостаток плазменной сварки – недолговечность горелок.

# Электрошлаковая сварка

Сущность процесса заключается в том, что тепловую энергию, необходимую для расплавления основного и присадочного металла, дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока (рис. 17.4).

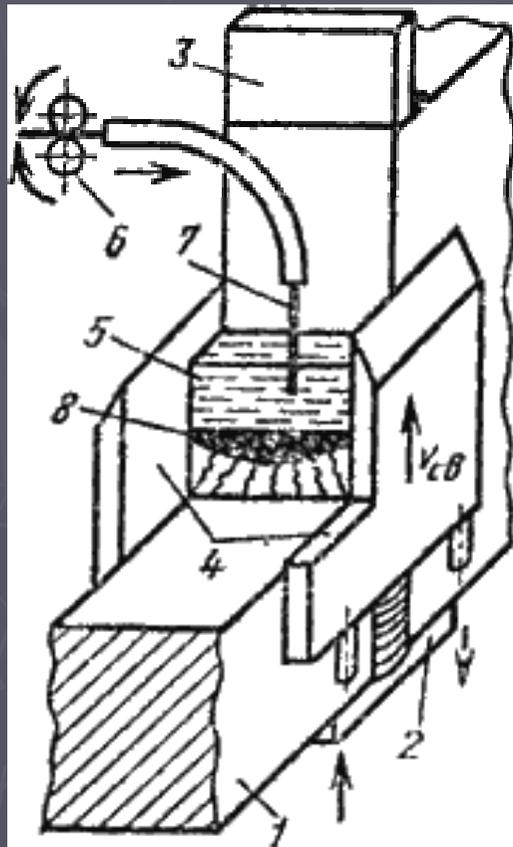


Рис.17.4. Схема электрошлаковой сварки

- ▶ Свариваемые заготовки *1* устанавливают в вертикальном положении. В замкнутое пространство между водоохлаждаемыми медными ползунами *4* и вертикально установленными кромками изделий засыпают флюс и подают электродную проволоку *7* при помощи специального механизма подачи *6*.
- ▶ В начале процесса возбуждают дугу, флюс плавится и образуется электропроводный шлак *5*. Шлак шунтирует дугу, она гаснет, выходная цепь источника питания замыкается через шлак. Ток, проходя через шлак, разогревает его, это приводит к расплавлению кромок основного металла и электрода. Расплав стекает вниз и образует сварочную ванну *8*, выжимая шлак вверх, и затвердевает.
- ▶ В начальном и конечном участках шва образуются дефекты: в начале шва – непровар кромок, в конце шва – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают и заканчивают на специальных планках *2* и *3*, которые затем удаляют газовой резкой.

- ▶ Преимущества: возможна сварка металла любой толщины (с 16 мм). Заготовки с толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечное колебание в плоскости стыка, при толщине более 150 мм используются нескольких проволок. Есть опыт сварки толщиной до 2 м.
- ▶ Недостаток способа – образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. Необходимо проведение термической обработки: нормализации или отжига для измельчения зерна.

Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжелом машиностроении для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций; станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т.п.

# Лучевые способы сварки

## *Электронно-лучевая сварка*

Сущность процесса состоит в том, что свариваемые детали, собранные без зазора, помещают в вакуумную камеру и подают на них электродный луч – пучок электронов, движущихся с большой скоростью. При соударении с изделием электроны тормозятся, их кинетическая энергия переходит в тепловую энергию и расплавляет металл. Температура в месте соударения достигает 5000...6000 °С. Перемещая электронный луч вдоль стыка, получают сварной шов.

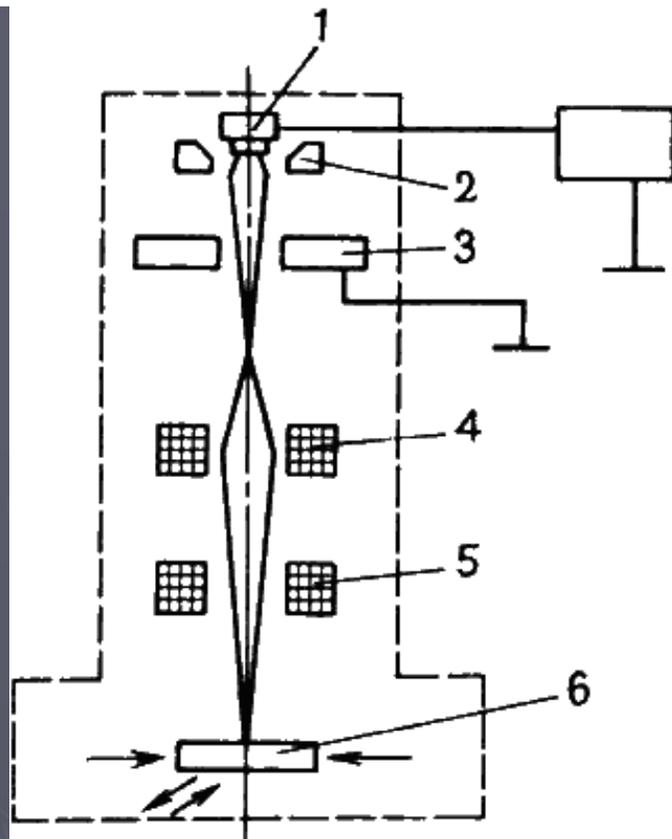


Рис.17.5. Схема установки для электронно-дуговой сварки

Электроны, испускаемые катодом *1* электронной пушки, формируются в пучок электродом *2*, расположенным непосредственно за катодом, ускоряются под действием разности потенциалов между катодом и анодом *3*, составляющей 20...150 кВ и выше,

затем фокусируются в виде луча и направляются специальной отклоняющей магнитной системой *5* на обрабатываемое изделие *6*. На формирующий электрод *2* подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность луча. Ток электронного луча невелик – от нескольких миллиампер до единиц ампер.

Процессу электронно-лучевой сварки присущи две характерные особенности:

- ▶ сварка протекает в вакууме, обеспечивается получение зеркально чистой поверхности и дегазация расплавленного металла;
- ▶ интенсивность нагрева очень велика, что обеспечивает быстрое плавление и затвердевание металла. Шов получается мелкозернистый с высокими механическими свойствами, с минимальной шириной, что позволяет сваривать сплавы, чувствительные к нагреву.

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких, химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, молибденовых, ниобиевых, циркониевых), а также алюминиевых и титановых сплавов и высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разностью толщин, температур плавления. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная – до 100 мм.

## *Лазерная сварка.*

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

Лазерный луч представляет собой вынужденное монохроматическое излучение, длина волны которого зависит от природы рабочего тела лазера-излучателя. Оно возникает в результате вынужденных скачкообразных переходов возбужденных атомов рабочих тел на более низкие энергетические уровни.

Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки, скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча.

Преимуществом лазерной сварки является быстрый точечный нагрев металла до плавления. Интенсивный сосредоточенный нагрев обуславливает и чрезвычайно большую скорость охлаждения после прекращения воздействия луча. Это позволяет свести к минимуму ширину околошовной зоны, сварочные напряжения и деформации.

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

Лазером сваривают преимущественно толщины до 1 мм, так как коэффициент полезного действия преобразования энергии в лазерное излучение довольно низкий.

## Газовая сварка

При газовой сварке заготовки *1* и присадочный материал *2* в виде прутка или проволоки расплавляют высокотемпературным пламенем *4* газовой горелки *3* (рис. 17.6).

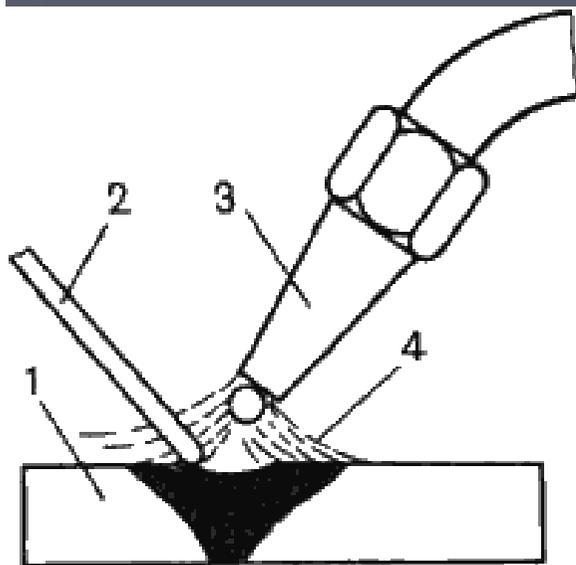


Рис. 17.6. Схема газовой сварки

Газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода. Мощность пламени регулируют сменой наконечников горелки. Нагрев заготовки осуществляется более плавно, чем при дуговой сварке, поэтому газовую сварку применяют для сварки

металла малой толщины (0,2...3 мм), легкоплавких цветных металлов и сплавов; металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения (инструментальные стали, латуни); для подварки дефектов в чугуновых и бронзовых отливках. При увеличении толщины металла снижается производительность и увеличивается деформация.