Электрическая дуга и ее применение при сварке

Ю.А.Дементьев
Краевое государственное образовательное учреждение
начального профессионального
образования «Профессиональное училище № 46»

Природа сварочной дуги

- Электрическая дуга представляет собой один из видов электрических разрядов в газах, при котором наблюдается прохождение электрического тока через газовый промежуток под воздействием электрического поля. Прохождение электрического тока через газ возможно только при наличии в нем заряженных частиц — электронов и ионов.
- Возникновение заряженных частиц в дуговом промежутке обусловливается эмиссией (испусканием) электронов с поверхности отрицательного электрода (катода) и ионизацией находящихся в промежутке газов и паров. Электрическую дугу, используемую для сварки металлов, называют *сварочной дугой.*

Сварочная дуга

- Сварочная дуга представляет собой электрический дуговой разряд в ионизированной смеси не только газов, но и паров металла и компонентов, входящих в состав электродных покрытий, флюсов и т.д.
- Если ионизированный воздушный промежуток находится в электрическом поле, то подвижные газовые ионы приходят в движение и создают электрический ток.
- Как только прекращается действие ионизирующих факторов, исчезает электропроводность и ток прекращается.

- Дуга является частью электрической сварочной цепи. При сварке на постоянном токе электрод, подсоединенный к положительному полюсу источника питания дуги, называют *анодом,* а к отрицательному — *катодом.*
- Если сварку ведут на переменном токе, то каждый из электродов является попеременно анодом или катодом.
- Промежуток между электродами называют областью дугового разряда, или *дуговым промежутком;* длину дугового промежутка — *длиной дуги.*

Возбуждение дуги

- При коротком замыкании электрода и детали в местах касания их поверхности разогреваются. При размыкании электродов с нагретой поверхности катода происходит испускание электронов — электронная эмиссия.
- Выход электронов в первую очередь связывают с термическим эффектом (термоэлектронная эмиссия) и наличием электрического поля высокой напряженности (автоэлектронная эмиссия).
- Наличие электронной эмиссии с поверхности катода считают непременным условием существования дугового разряда.

Зажигание дуги

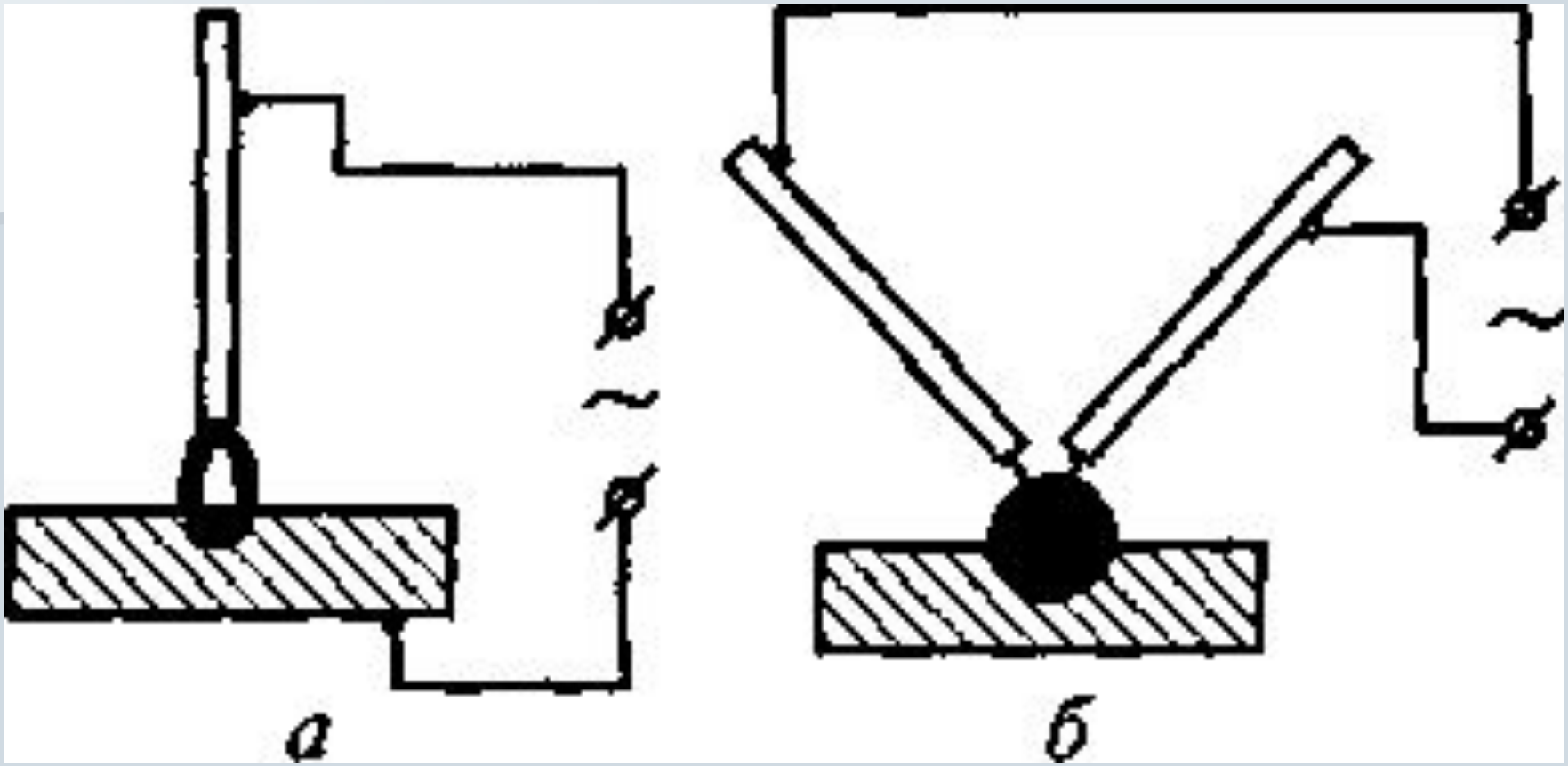
- Зажигание дуги при сварке плавящимся электродом также начинается с короткого замыкания. Из-за шероховатости поверхностей касание электрода с основным металлом происходит отдельными выступающими участками, которые мгновенно расплавляются под действием выделяющейся теплоты, образуя жидкую перемычку между основным металлом и электродом.

Области дугового промежутка

- По длине дугового промежутка можно выделить три области : катодную, анодную и находящийся между ними столб дуги.
- Катодная область включает в себя нагретую поверхность катода, называемую катодным пятном, и часть дугового промежутка, примыкающую к ней.
  Температура катодного пятна на стальных электродах достигает 2400... 2700С. В катодном пятне выделяется до 38% общей теплоты дуги. Основным физическим процессом в этой области является разгон электронов.
  Падение напряжения в катодной области *UK* составляет 10...20 В.
- Анодная область состоит из анодного пятна на поверхности анода и части дугового промежутка, примыкающего к нему. Анодное пятно — имеет примерно такую же температуру, как и катодное пятно, но в результате бомбардировки электронами на нем выделяется больше теплоты, чем на катоде. Для дуг с плавящимся электродом анодное падение напряжения составляет 2...6 В.
- Столб дуги, расположенный между катодной и анодной областями, имеет наибольшую протяженность в дуговом промежутке.

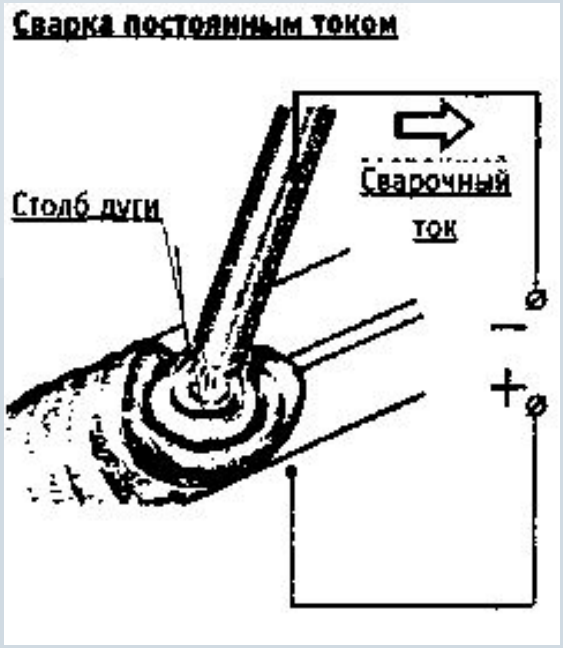
Классификация сварочной дуги

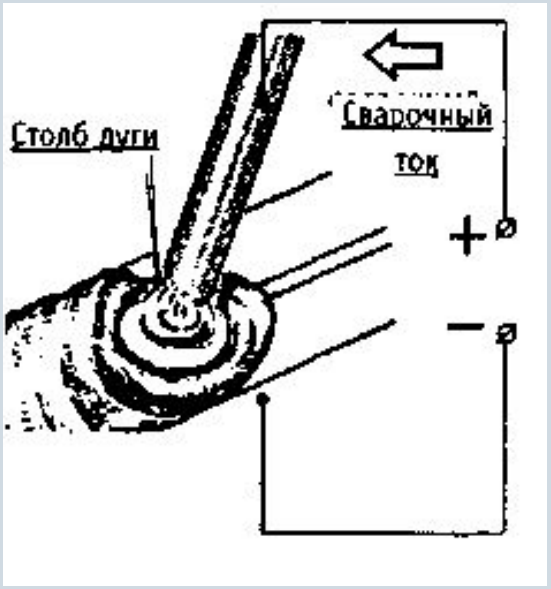
- по применяемым электродам — с плавящимся и неплавящимся;
- по степени сжатия дуги —свободная и сжатая;
- по схеме подвода сварочного тока — прямого и косвенного действия.
- по роду тока — постоянного и переменного (однофазного или трехфазного) тока;
- по полярности постоянного тока — прямой и обратной полярности.
- Дугу называют *короткой,* если длина ее составляет 2...4 мм. Длина *нормальной* дуги составляет 4...6 мм. Дугу длиной более 6 мм называют *длинной.*



Сварочные дуги прямого (а) и косвенного *(б)* действия

- При применении постоянного тока различают сварку на **прямой** и **обратной** полярности.
- При сварке на **прямой** полярности электрод подключается к отрицательному полюсу и служит катодом, а изделие — к положительному и служит анодом.
- При сварке на **обратной** полярности электрод подключается к положительному полюсу и служит анодом, а изделие — к отрицательному и служит катодом.





- Дугу можно зажечь путем касания электродом свариваемого изделия и отводом его перпендикулярно вверх.

- Дугу можно зажечь путем «чиркания» электродом как спичкой по поверхности свариваемого изделия.

Способы возбуждения дуги

- два основных способа возбуждения дуги: способ короткого замыкания и способ высоковольтного высокочастотного разряда.
- Способ короткого замыкания используют в основном при сварке плавящимся электродом. В момент касания электродом поверхности основного металла происходит замыкание электрической цепи вторичного контура источника питания дуги и в этой цепи возникает электрический ток. Из-за шероховатости поверхностей электрода и основного металла короткое замыкание происходит по отдельным выступам, плотность тока в которых оказывается достаточной для почти мгновенного расплавления выступающих участков. Между электродом и свариваемым изделием образуется жидкая перемычка расплава.
- При отводе электрода перемычка растягивается, сечение ее уменьшается, сопротивление и температура возрастают. Когда расплавленный металл этой перемычки нагреется до температуры кипения, она разрушается, образуя легко ионизируемые пары металла, в которых и развивается дуговой разряд.

- При втором способе возбуждения дуговой разряд развивается из искрового.
- Для создания искрового разряда используют специальное устройство - осциллятор, который представляет собой генератор высоковольтного *(U =* 2000...4000 В) высокочастотного (f= 250 кГц) электрического разряда.
- Осциллятор подключают или параллельно газовому промежутку между электродом и изделием, или последовательно с этим промежутком.
- Напряженность электрического поля, создаваемого осциллятором между электродом и изделием, выше потенциала ионизации газа, что ведет к электрическому пробою газового промежутка.
- Поскольку работающий осциллятор - это мощный источник радиопомех, то после возбуждения дуги его отключают.

Условия зажигания и устойчивость горения дуги

- Условия зажигания и устойчивого горения дуги зависят от таких факторов, как род тока (постоянный или переменный), прямая или обратная полярность при сварке на постоянном токе, диаметр электрода, состав обмазки при сварке штучными электродами, температура окружающей среды.

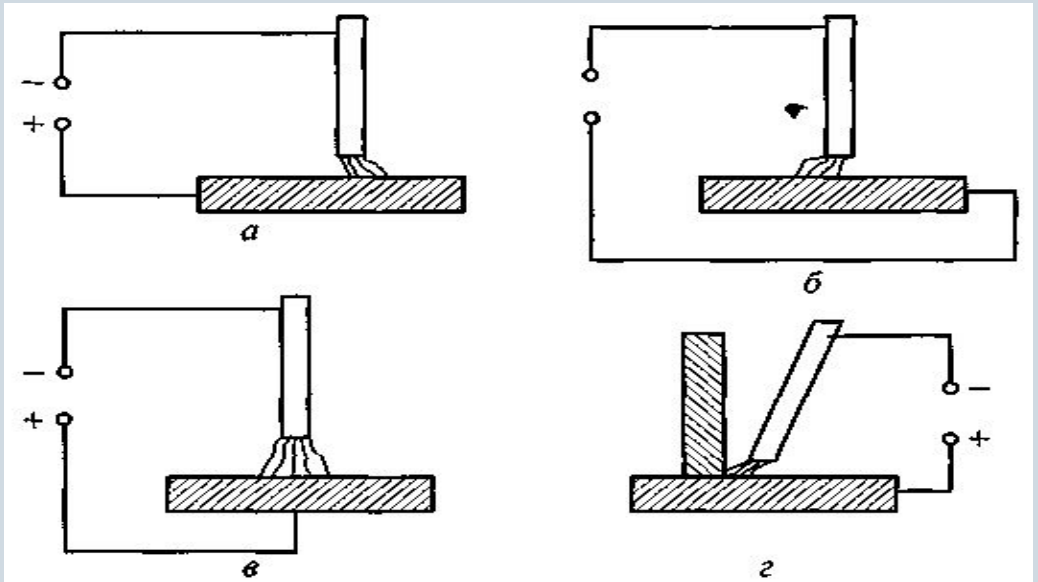
- Для зажигания дуги требуется большее напряжение, чем напряжение для горения дуги.
- Напряжение, подводимое от источника питания к электродам при разомкнутой сварочной цепи, является напряжением холостого хода.
- При сварке на постоянном токе напряжение холостого хода не превышает 90 В, а на переменном —80 В.
- В момент горения дуги напряжение, подаваемое от источника питания, значительно снижается и достигает значения, необходимого для устойчивого горения дуги.

Условие зажигания и горения дуги

- *Первое условие* зажигания и горения дуги — наличие электрического источника питания дуги достаточной мощности, позволяющего быстро нагревать катод до высокой температуры при возбуждении дуги.
- *Вторым условием* для зажигания и горения дуги является введение в состав покрытия штучных электродов или в состав флюсов таких элементов, как калий, натрий, барий, литий, алюминий, кальций и др. Эти элементы обладают низким потенциалом ионизации и способствуют быстрому зажиганию дуги.
- *Третьим условием* устойчивости горения дуги при сварке является включение в сварочную цепь последовательно с дугой индуктивного сопротивления, что позволяет вести сварочные работы металлическими электродами на переменном токе при напряжении сварочного трансформатора порядка 60*- 65 В и стандартной частоте тока.

Магнитное дутье

- Отклонение столба дуги под действием магнитного поля, наблюдаемое в основном при сварке постоянным током, называют *магнитным дутьем.*
- При сварке переменным током, когда полярность меняется с частотой тока, это явление выражено значительно слабее.
- Магнитное дутье вызывает непровары и ухудшает формирование швов.



ис. 2.8. Отклонение дуги в зависимости от места подвода то к свариваемой детали и наклона электрода:

а — г — возможные варианты

Плавление и перенос электродного материала

Перенос металла может быть различным:

- крупнокапельный (характерен сварочная ванна для ручной дуговой сварки покрытым электродом)
- мелкокапельный (наблюдается при сварке под флюсом и в защитных газах — аргоне, углекислом газе и пр.)
- струйный (имеет место при сварке в аргоне на больших токах)
- **Мелкокапельный и струйный переносы электродного металла обеспечивают более устойчивый процесс сварки и лучшее формирование сварного шва.**

- Основная характеристика плавления электрода — линейная скорость его расплавления в единицу времени, которая зависит от состава электрода, покрытия, режима сварки, плотности и полярности тока.
- В общем случае скорость плавления электрода возрастает с увеличением силы тока примерно по линейной зависимости, определяется условиями выделения и передачи теплоты в анодной и катодной областях и зависит от полярности тока.

- При плавлении на торце электрода образуется капля жидкого металла.
- Характер переноса электродного металла зависит от соотношения сил, действующих на каплю металла на торце электрода.
- К основным из них относят силу тяжести, силу поверхностного натяжения, электромагнитную силу, силу реактивного давления паров, аэродинамическую силу и др.

- В зависимости от соотношения сил, действующих на каплю, характер переноса электродного металла может существенно изменяться.
- При сварке *покрытыми электродами* наблюдается в основном *крупнокапельный* и *мелкокапельный* перенос .
Тип переноса зависит от состава и толщины покрытия, режима сварки, рода тока и полярности.

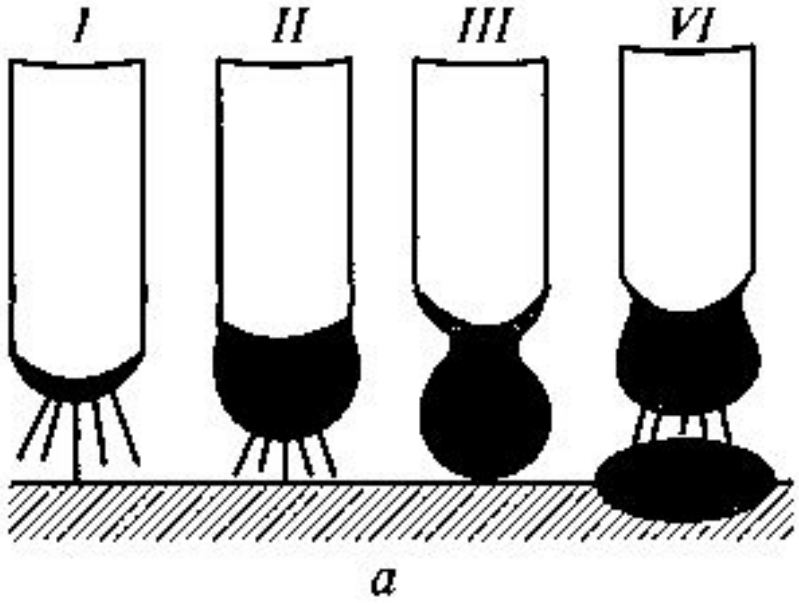


Рис. 3.1. Схемы процессов переноса электродного металла в сварочную ванну:

а — капельный; *б* — струйный; *I*—*IV* — этапы преноса капли металла

- Для электродов с основным покрытием характерен крупнокапельный перенос металла в широком диапазоне режимов сварки, что обусловлено высоким поверхностным натяжением металла на границе со шлаком, поскольку и шлак, и металл хорошо раскислены.
- Для сварки электродами с кислым и рутиловым покрытиями характерен мелкокапельный перенос.
- Струйный процесс переноса металла характерен для сварки плавящимся электродом в инертных газах.

Столб дуги

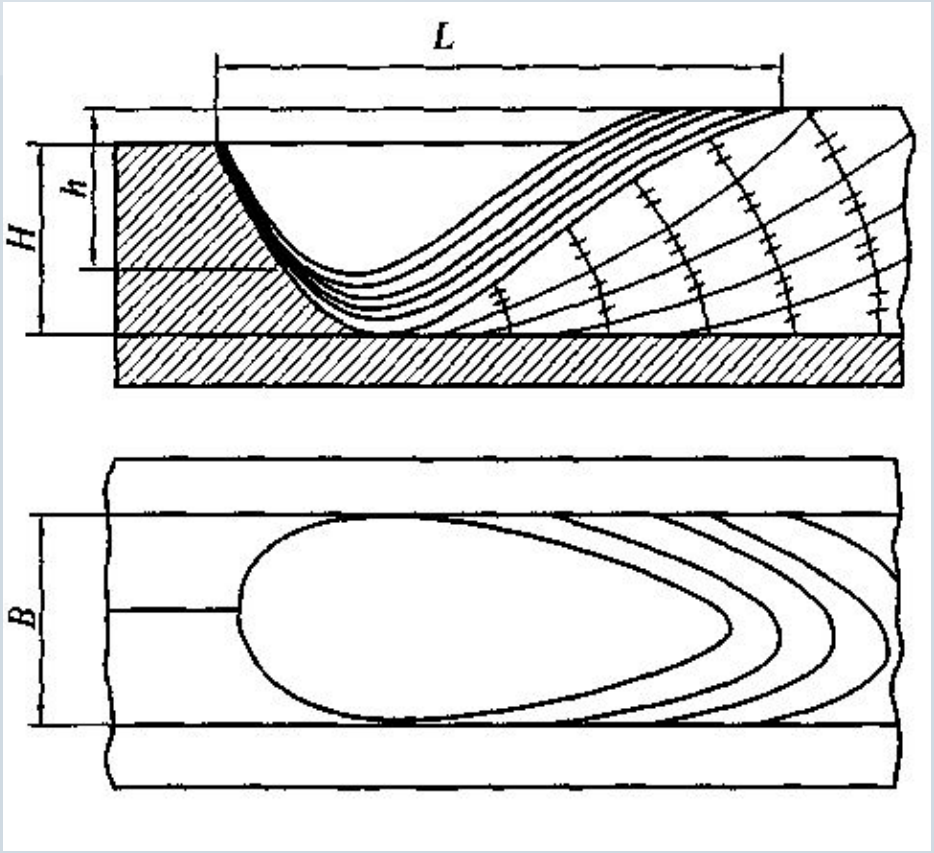
- Основным процессом здесь является ионизация, или образование заряженных частиц газа.
- Температура столба дуги достигает 6000... 8000°С и более — в зависимости от плотности сварочного тока. Падение напряжения в столбе изменяется в пределах 10...50 В/см.

Рис. 2.1. Строение электрической дуги и распределение напряжений в ней:
1 и *3* — катодная и анодная области;
2 — столб дуги

Формирование сварочной ванны

- Образование сварочной ванны — важнейший этап получения соединения при сварке плавлением. От формы и размеров сварочной ванны зависят форма и размеры сварных швов и, следовательно, эксплуатационные характеристики получаемых соединений.
- Форма сварочной ванны при дуговых процессах характеризуется ее длиной, шириной и глубиной проплавления основного металла .

- Объем сварочной ванны в зависимости от способа и режима сварки изменяется от 0,1 до 10 см3.
- Сварочная ванна имеет эллипсовидное, вытянутое вдоль направления сварки очертание.
- В поперечном сечении в зависимости от режима и условий сварки форма сварочной ванны изменяется в широких пределах.
- Для дуговой сварки наиболее характерна форма провара, приближающаяся к полуокружности.



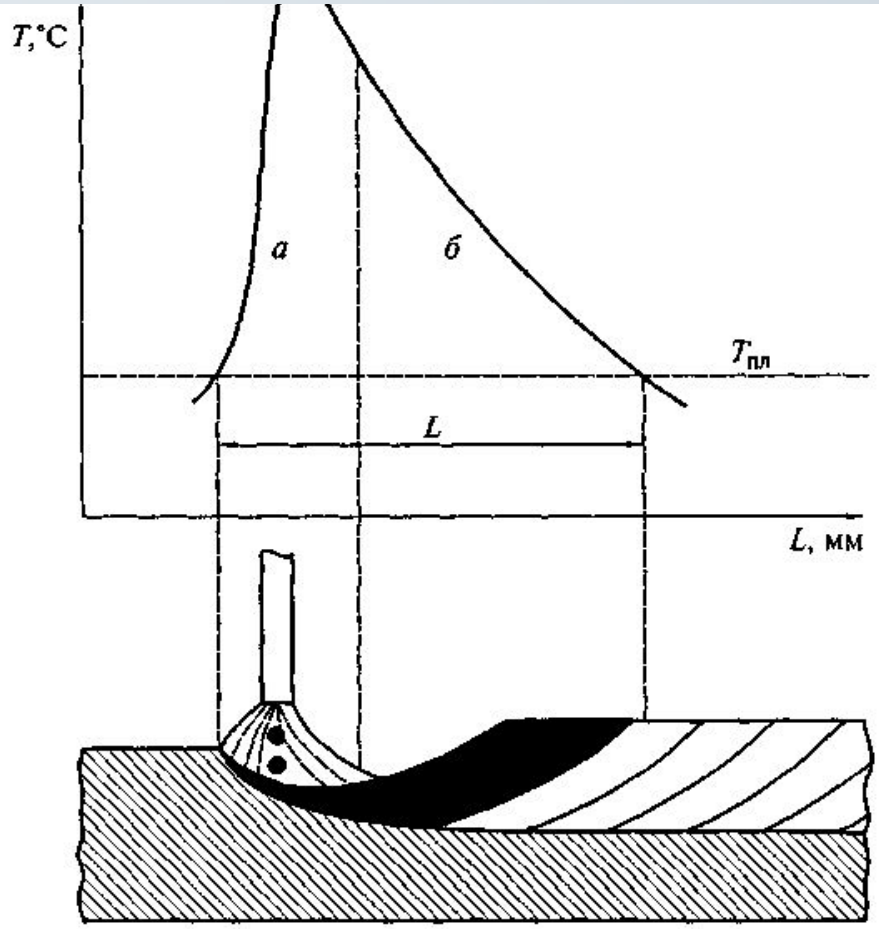


Рис. 3.7. Распределение температуры по длине головной (*а*) и хвостовой (*б*) части сварочной ванны

Средняя температура сварочной ванны при сварке под флюсом конструкционных низкоуглеродистых сталей составляет около 1800° С. Максимальная температура в этих условиях достигает 2300 °С.

Давление дуги

- Столб дуги, находящийся в головной части сварочной ванны, оказывает механическое воздействие — давление на поверхность расплавленного металла.
- Давление дуги приводит к вытеснению жидкого металла из-под основания дуги и погружению столба дуги в расплавленный металл, что обусловливает увеличение глубины проплавления.
- Жидкий металл, вытесненный из-под основания дуги действующими на поверхность сварочной ванны силами, по мере передвижения дуги отбрасывается в хвостовую часть плавильного пространства.

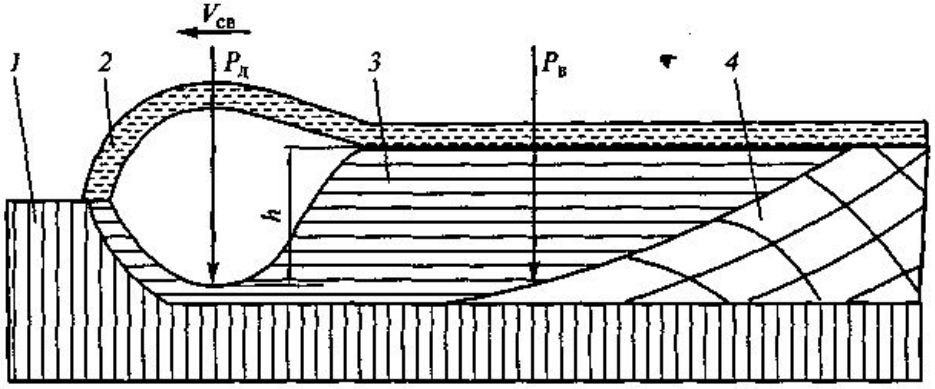


Рис. 3.8. Расположение жидкого металла в головной и хвостовой частях сварочной ванны:

1 — основной металл; *2* — расплавленный шлак; *3* — металл сварочной ванны; *4* — металл шва

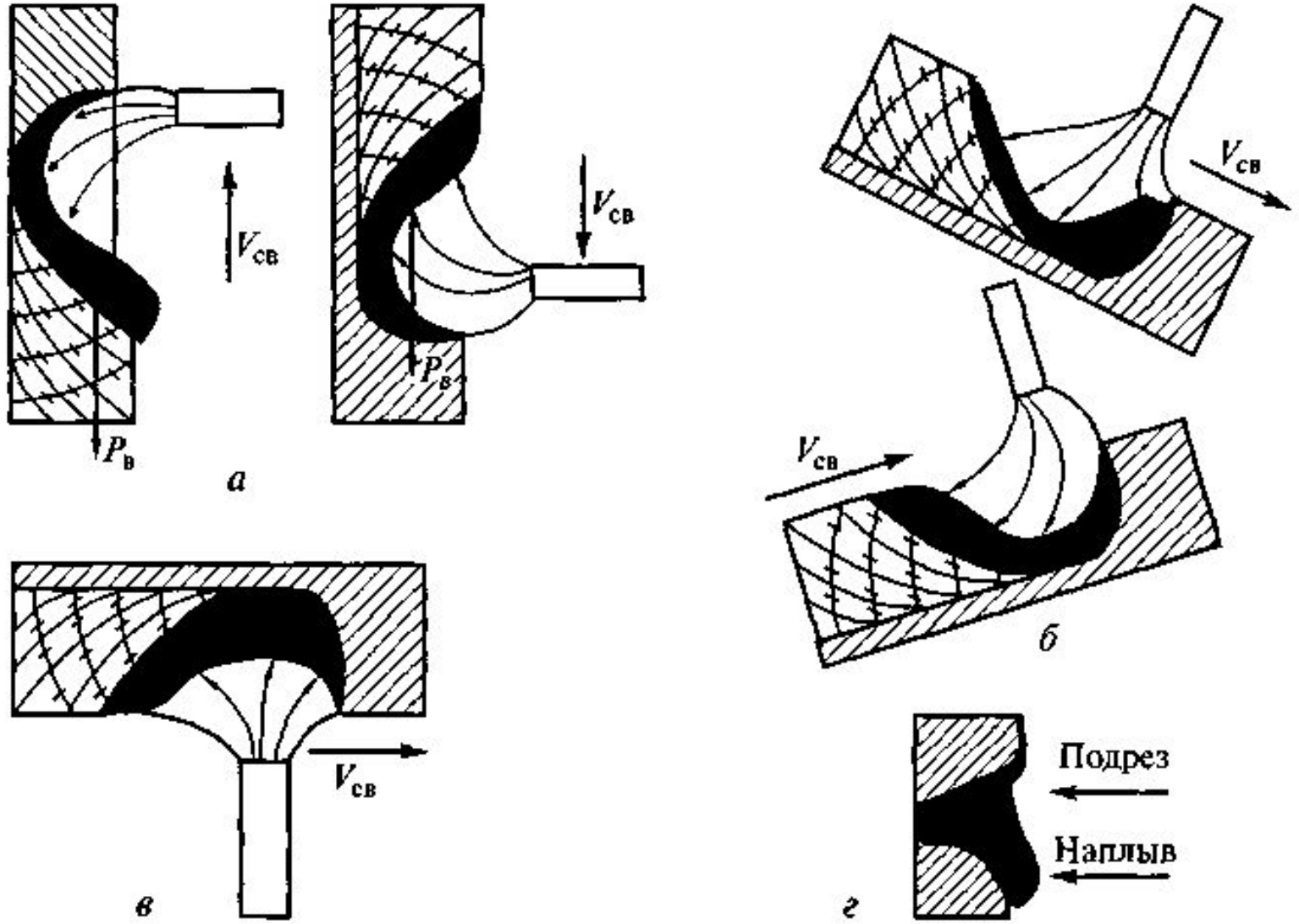


Рис. 3.9. Форма сварочной ванны при сварке в различных пространственных положениях:

а — вертикальном на подъем и спуск; *б* — наклонном; *в* — потолочном; *г* — формирование шва при сварке в горизонтальном положении