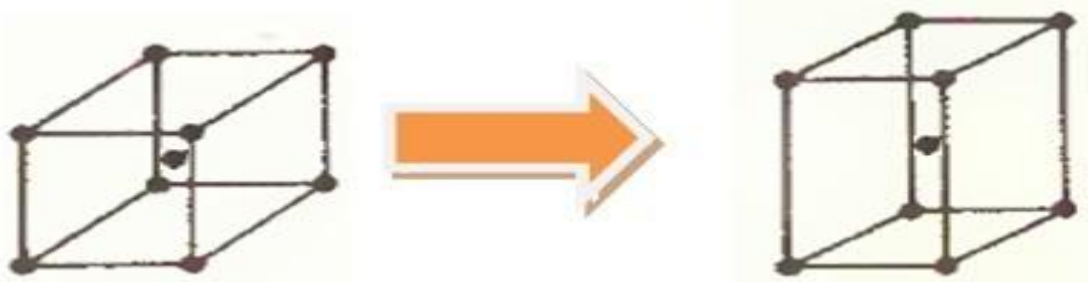


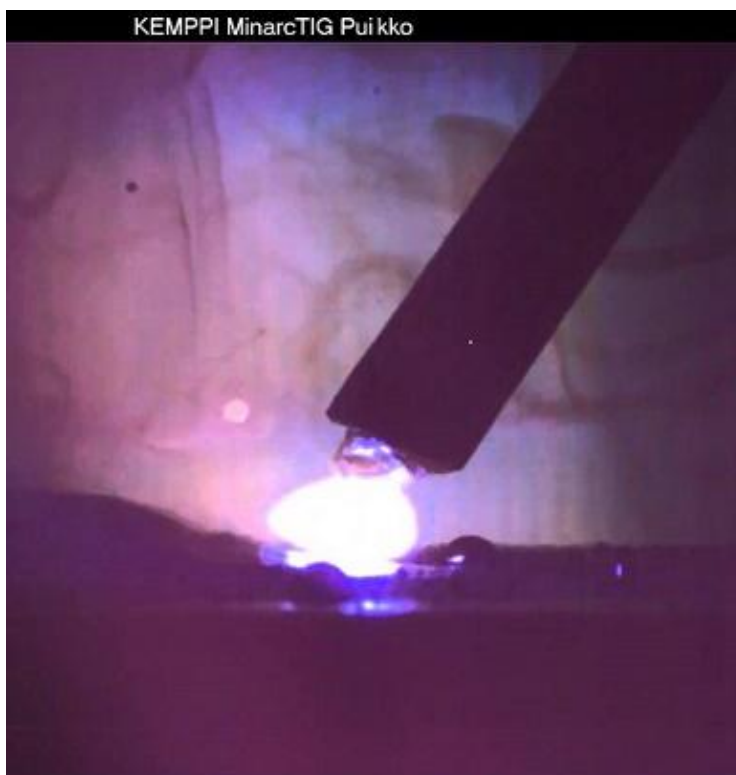
Технология сварки плавлением



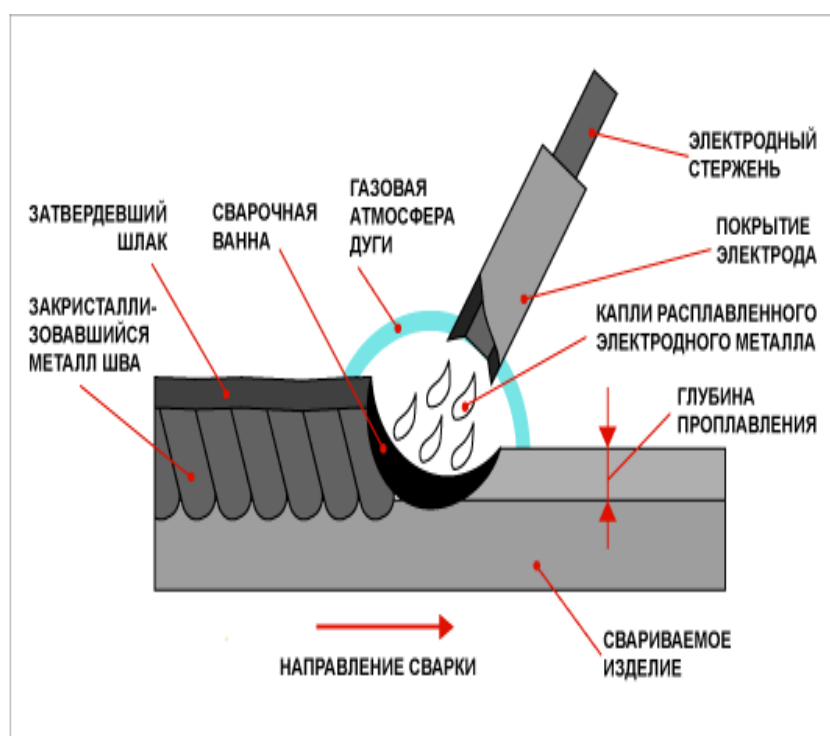
*По своей природе сварка является **металлургическим** процессом и характеризуется теми же физико-химическими процессами, которые протекают в **сварочной зоне**, которые определяются взаимодействием расплавленного металла со сварочными флюсами, шлаками и газами, а также **охлаждением** и **кристаллизацией** металла шва и **превращениями** основного металла в **зоне термического влияния**.*



*Эти процессы протекают на всех стадиях дуговой сварки: в период **плавления электрода**, перехода **капли жидкого металла** через **дуговой промежуток** и в самой **сварочной ванне**.*



Но в отличие от сталелитейной металлургии условия протекания металлургических процессов при *сварке* отличаются рядом *особенностей*, влияющих как на ход их развития, так и на получаемые *результаты*.



1. *Малый объем сварочной ванны (и в то же время достаточно большие относительные количества реагирующих фаз в ней).*
2. *Высокие температуры в различных областях сварочной зоны и большой перегрев расплава в ванне.*
3. *Движение жидкого металла - интенсивное перемешивание расплавленных продуктов и их непрерывное обновление и обмен в сварочной ванне.*
4. *Высокие скорости охлаждения и кристаллизации наплавленного металла.*

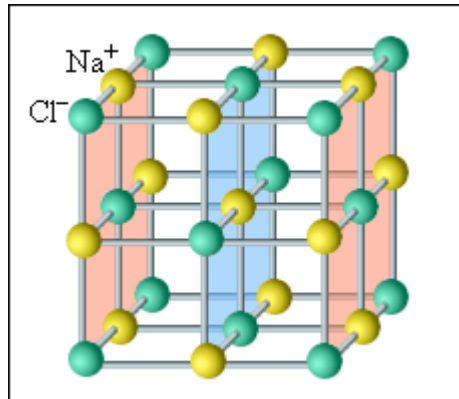


Сварка полуавтоматом (ЗАМЕДЛЕННАЯ СЪЁМКА).mp4

То есть, происходит - **активное взаимодействие** расплавленного металла с окружающей **газовой средой и флюсами**, нагретыми до высоких температур.

Протекание процессов проходит **с большой скоростью**. Однако в связи с **кратковременностью** существования расплава и постоянного обновления взаимодействующих **фаз**, все эти процессы не доходят до полного завершения, и большинство реакций в сварочной зоне не достигает **равновесного состояния**, на физико-химическом уровне.

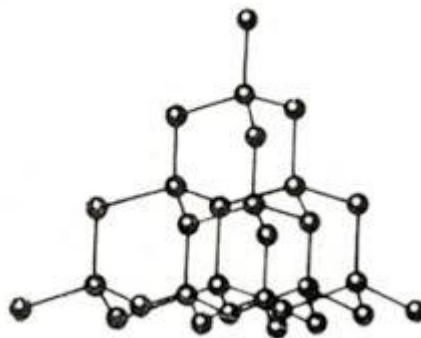
Физические процессы на атомарном уровне



(вспомогательный геометрический образ)

В твердой фазе практически не происходит перераспределения химических веществ, и кристаллическим телам свойственна строгое расположение частиц.

В то же время силы, удерживающие атомы в узлах кристаллической решетки, очень малы. Достаточно тепловой энергии самих атомов, чтобы они отклонялись от **равновесного положения** на заметные расстояния.

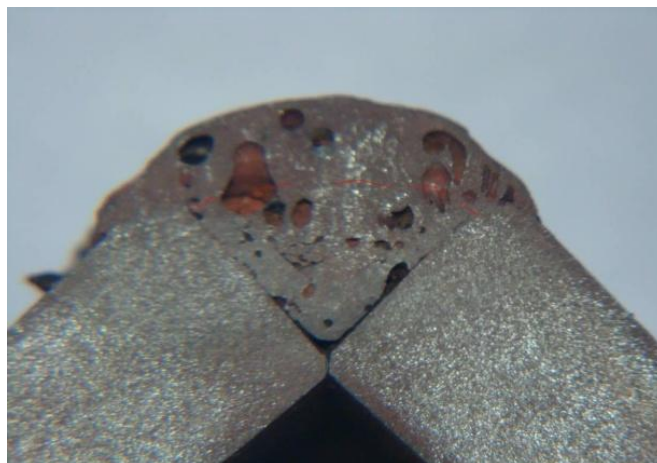


Тепло, образующееся в **плавильных агрегатах** в результате **горения топлива**, передается твердой металлической шихте, и расходуется на тепловое расширение - являющееся следствием увеличения колебательного движения **атомов** относительно их обычного **равновесного** положения.

=====

В процессе сварки:

При быстрой **кристаллизации** создаются условия, **препятствующие** полному **очищению** металла шва от различных неметаллических включений, оксидов и газов, которые из-за быстрого затвердевания расплава **не успевают выходить** на поверхность сварочной ванны и **удаляться в шлак**.



Влияние режимов сварки на форму, состав и свойства сварного шва.

Окисление шва

Имеющие место металлургические процессы связаны с протеканием определенных **химических реакций**, в результате которых может происходить **окисление или раскисление** металла шва, **легирование** его определенными элементами, растворение и выделение в шве газов.

Некоторые из них (**химические реакции**) ведут к ухудшению свойств получаемых соединений и являются нежелательными (**окисление**), другие способствуют повышению качества и свойств соединений, например, раскисление.

Диссоциация (распад на атомы). Атомы фтора, соединяясь с электронами, превращаются в ионы с малой подвижностью. Это ведет к снижению проводимости дугового промежутка и ухудшению **стабильности дуги**.

пример: водяной пар, в зависимости от условий протекания реакций, водяной пар может окислять или восстанавливать металл сварочной ванны.

*В состав многих покрытий электродов входят карбонаты. Разлагаясь при высоких температурах, они выделяют углекислый газ (CO_2), который в свою очередь **диссоциирует** с образованием кислорода.*



*Следовательно: находясь в атомарном состоянии, газы становятся **химически активными** и, реагируя с металлом, резко ухудшают его качество.*

Высокая температура в зоне дуги приводит к быстрому плавлению электродного металла, покрытия, флюса, а также металла свариваемых частей.

*Молекулы кислорода, азота, водорода, находящиеся в воздухе в зоне дуги, **частично распадаются** на атомы и ионы.*

В атомарном состоянии эти элементы обладают **высокой активностью**, вступают в химические соединения с элементами расплавленной стали и **растворяются в ней**, образуя после остывания **хрупкий металл**.

Высокая температура при сварке приводит так же к испарению, выгоранию и разбрызгиванию металла и других веществ, находящихся в зоне сварки.

И так: металл сварочной ванны может **окисляться** за счет кислорода, содержащегося в газовой среде и шлаках в зоне сварки. Кроме того, окисление может происходить и за счет **оксидов (окалины, ржавчины)**, находящихся на кромках деталей и поверхности электродной проволоки.



При нагреве имеющаяся в ржавчине **влага** испаряется, молекулы воды **диссоциируют**, а получающийся **кислород** **окисляет** металл.

Окалина же при плавлении металла превращается в **оксид железа** также с выделением **кислорода**. При недостаточной **защите** сварочной ванны окисление происходит за счет **кислорода воздуха**.

Наибольшую опасность для качества шва и представляет FeO
(оксид железа)

!!!!



способный растворяться в жидком металле. Этот оксид обладает **температурой плавления** ($1\ 565^{\circ}\text{C}$) большей, чем у основного металла ($1300\text{-}1500^{\circ}\text{C}$), поэтому при **кристаллизации** металла шва он затвердевает в последнюю очередь. И в результате он располагается в виде прослоек по границам зёрен, что вызывает снижение пластических свойств металла шва.

И чем больше **кислорода** в шве находится в виде FeO , тем сильнее ухудшаются его **механические свойства**.

FeO - образуется при сгорании Fe (железа) на воздухе.

(В пищевой промышленности используется в качестве пищевого красителя E172)



Окисление приводит к уменьшению **легирующих элементов**, их содержания в металле шва.

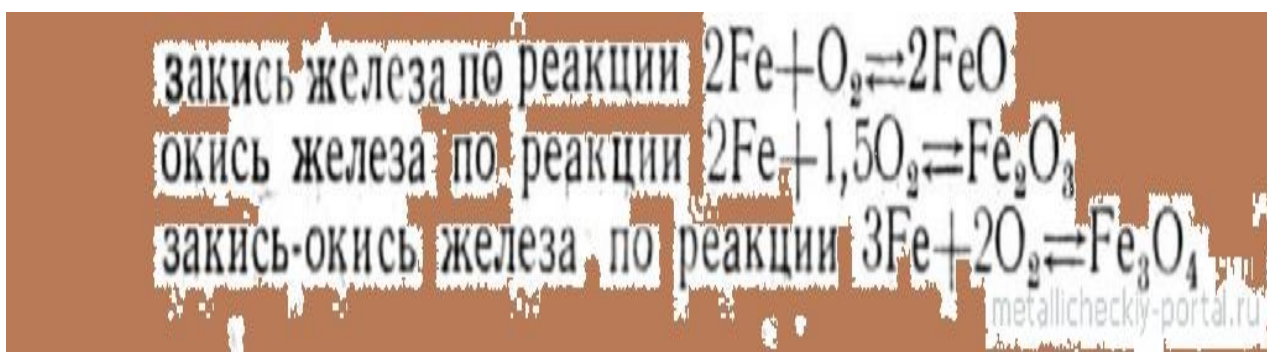
Кроме того, образующиеся оксиды могут оставаться в шве в виде различных включений, значительно снижающих **механические свойства** сварных соединений, особенно **пластичность и ударную вязкость** металла шва.



При случайном **увеличении длины дуги** капли электродного металла могут окисляться кислородом окружающего воздуха.

Раскисление металла при сварке

Применяемые при сварке защитные меры не всегда обеспечивают отсутствие окисления расплавленного металла. Поэтому его требуется **раскислить**.



Раскислением - называют процесс **восстановления** железа из его оксида и перевод кислорода в форму нерастворимых соединений с последующим удалением их в шлак.



В качестве раскислителей применяют – марганец, кремний, титан, алюминий, углерод.

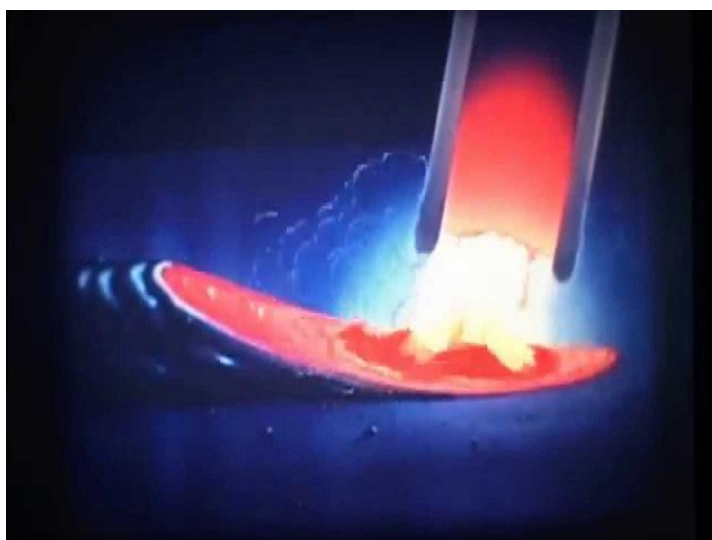
Раскислители вводят в сварочную ванну через электродную проволоку, покрытия электродов и флюсы.

Кристаллизация сварочной ванны

Сварной шов при дуговой сварке формируется путем кристаллизации (затвердевание) расплавленного металла сварочной ванны.

Кристаллизацией называют процесс образования кристаллов металла из расплава при переходе его из жидкого в твердое состояние.

Сварочная ванна условно может быть разделена на две области: переднюю (головную) и заднюю (хвостовую).



В передней части **горит дуга** и происходит **нагревание** и **расплавление** металла, а в хвостовой - **охлаждение** и **кристаллизация** расплава.

В процессе образования шва различают первичную и вторичную кристаллизации.

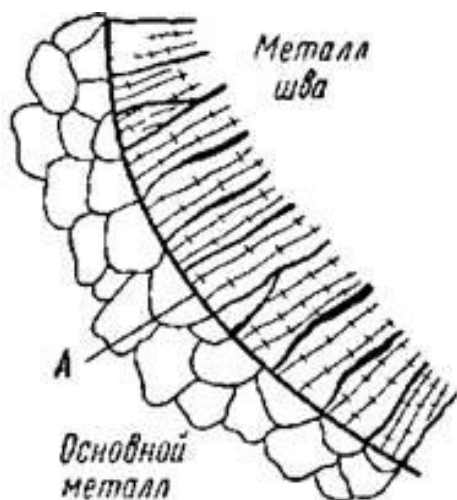


Рис. 2-39. Граница сплавления А

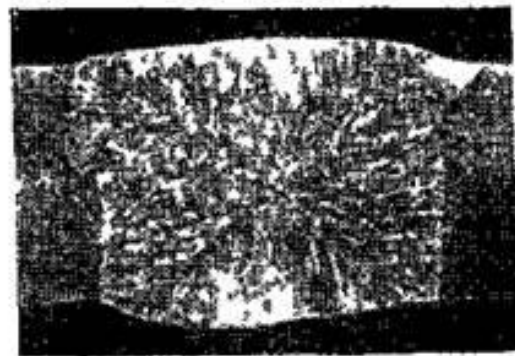


Рис. 2-40. Направление роста кристаллитов при электрошлаковой сварке металла толщиной до 40 мм

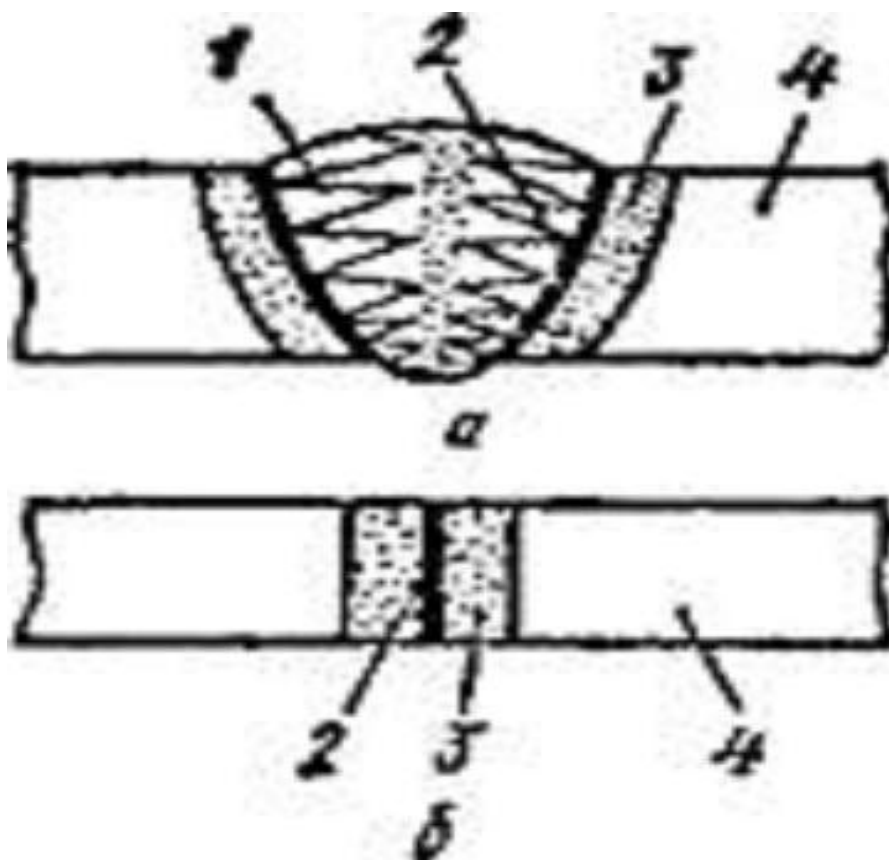
Теплота отводится в основной металл, окружающий сварочную ванну.

В процессе затвердевания в расплаве могут появляться и новые центры **кристаллизации** - тугоплавкие частицы примесей, обломки зерен и т.п.

Структура сварного соединения

Сварное соединение при сварке плавлением включает в себя:

1. **Сварной шов** — участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны.
2. **Зону сплавления** — зону, где находятся частично сплавившиеся зерна металла на границе основного металла и шва.
3. **Зону термического влияния** — участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке плавлением.
4. **Основной металл** — металл подвергающихся сварке соединяемых частей, не изменивший своих свойств при сварке.



Сварной шов образуется в результате расплавления основного и электродного металлов, а потому после затвердевания он имеет структуру литого металла с вытянутыми столбчатыми кристаллитами.

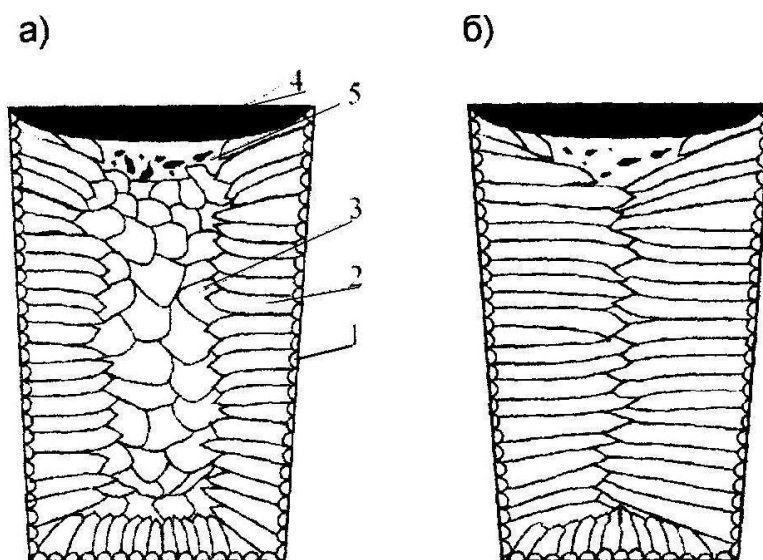


Рис. 20. Строение металлического слитка: 1 – зона мелких равноосных кристаллов; 2 – зона столбчатых кристаллов; 3 – зона крупных равноосных кристаллов; 4 – усадочная раковина; 5 – газовые пузыри (а), транскристаллитное строение слитка (б)

В зоне термического влияния изменение нагрева происходит от температуры плавления на границе со швом до комнатной температуры.

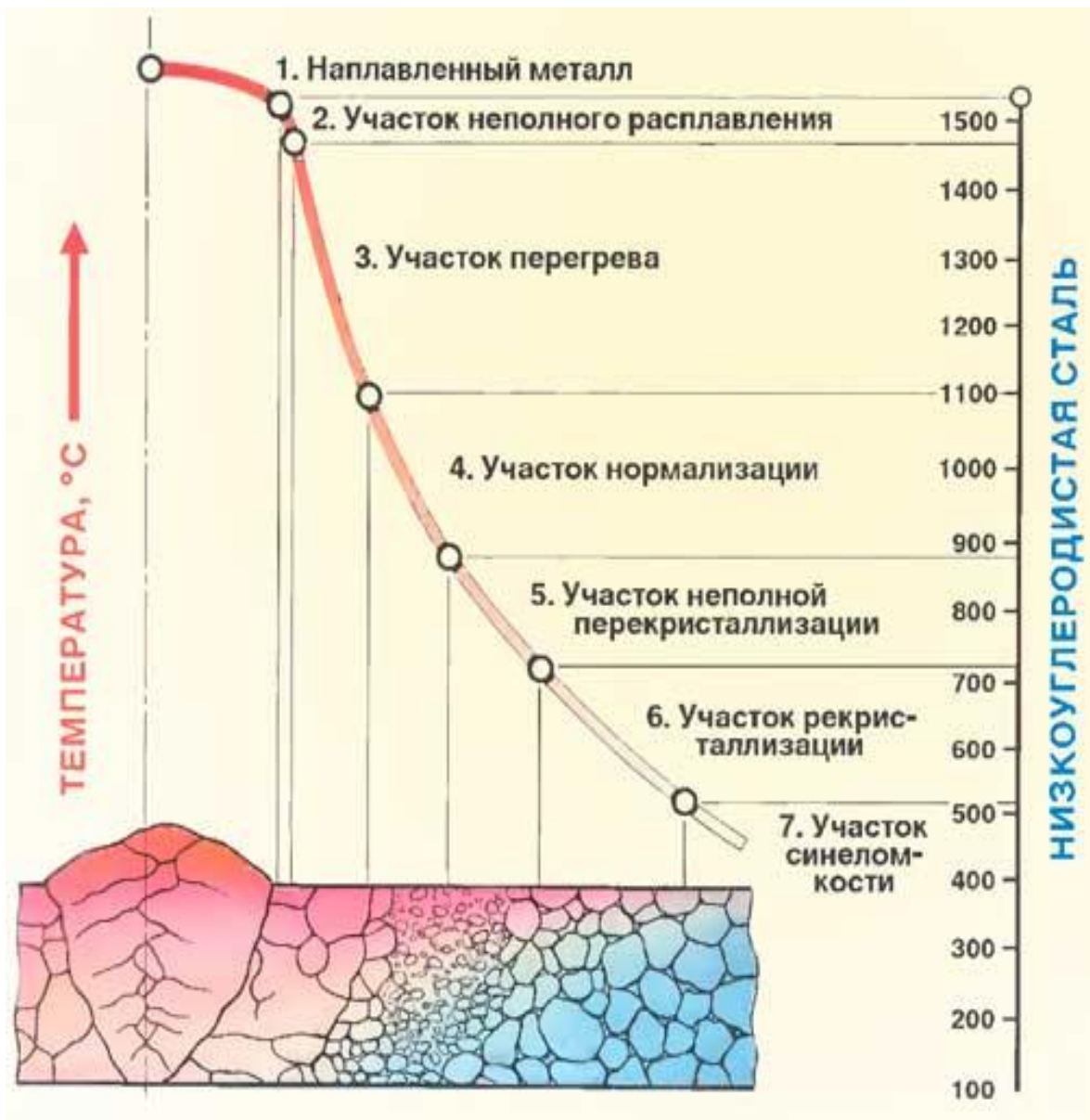


При этом в металле могут происходить различные структурные и фазовые **превращения**, приводящие к появлению участков металла, различающихся по структуре.

При сварке низкоуглеродистых сталей в ней отмечают участки:

1. **неполного расплавления**
2. **перегрева**
3. **нормализации**
4. **неполной перекристаллизации**
5. **рекристаллизации**
6. **синеломкости.**

Синеломкость - снижение пластичности стали при одновременном повышении прочности, наблюдаемое при деформации в интервале температур, вызывающих синий цвет побежалости (200 300 .С)



Участок неполного расплавления - примыкает непосредственно к сварному шву и является переходным от литого металла шва к основному.

На этом участке происходит образование *соединения* и проходит *граница сплавления*. Он представляет собой узкую область (0,1 - 0,4 мм) основного металла, нагревавшегося до *частичного оплавления* зерен.

Участок перегрева - область основного металла, нагреваемого до температур 1100 - 1450°C,

В связи с чем металл этого участка отличается крупнозернистой структурой и пониженными механическими свойствами, и тем заметнее, чем крупнее зерно и шире зона перегрева.

Участок нормализации (перекристаллизации) - охватывает область основного металла, нагреваемого до температуры 900 - 1100°C.

Металл этого участка обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлаждении на этом участке образуется мелкозернистая структура в результате перекристаллизации без перегрева.

Участок неполной перекристаллизации - нагревается в пределах температур 725 - 900°C.

В связи с неполной перекристаллизацией, вызванной недостаточным временем и температурой нагрева, структура металла состоит из смеси мелких перекристаллизовавшихся зерен и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Свойства его более низкие, чем у металла предыдущего участка.

Участок рекристаллизации - наблюдается при сварке сталей, подвергавшихся холодной деформации (прокатке, ковке, штамповке). При нагреве до температуры 450 - 725°C

*В этой области основного металла развивается процесс **рекристаллизации**, приводящий к росту зерна, огрублению структуры, к разупрочнению металла.*

Участок, нагреваемый в области температур 200 - 450°C - является **переходным** от зоны **термического влияния** к основному металлу.

*В этой области могут протекать процессы **старения металла** в связи с выпадением **карбидов и нитридов железа**. **Понижается пластичность и вязкость** металла. По структуре этот участок **практически не отличается от основного металла**.*

*Таким образом, сварное соединение характеризуется **неоднородностью свойств**.*

*Ширина **околошовной зоны** зависит - от толщины металла, вида и режима сварки.*

Например, при ручной дуговой сварке она составляет обычно 5 - 6 мм.

=====

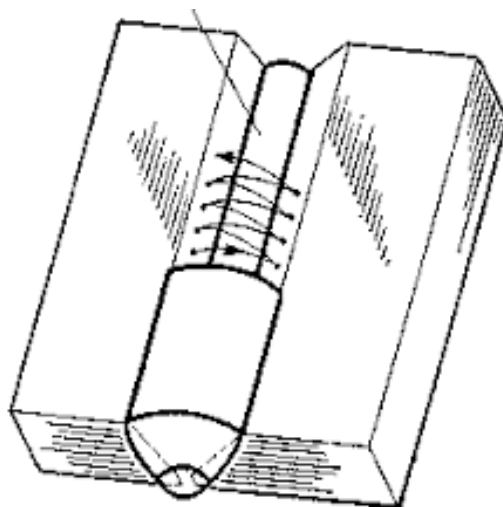
Влияние параметров режима сварки на форму и размеры шва

К параметрам режима дуговой сварки относятся:

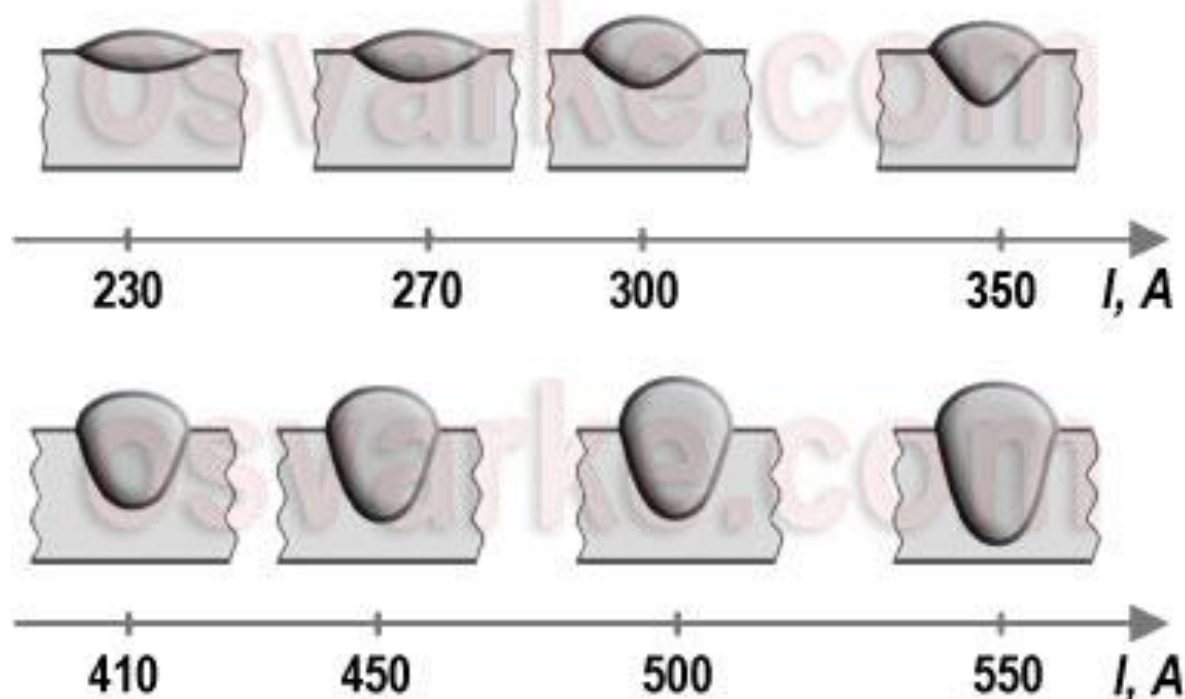
1. *величина (A), полярность (+/-) и род сварочного тока (AC/DC)*
2. *напряжение дуги (U)*
3. *скорость сварки*
4. *площадь сечения (диаметр) проволоки (электрода) - плотность тока*
5. *толщина и состав электродного покрытия*
6. *вылет сварочной проволоки*
7. *положение электрода и изделия при сварке*
8. *размер зерен сварочного флюса и его состав*

От этих параметров зависят **форма и размеры** шва, его химический состав.

На форму и размеры шва также влияет и *техника* сварки.



С повышением **сварочного тока (A)** возрастает **глубина провара**, ширина же шва практически не изменяется.

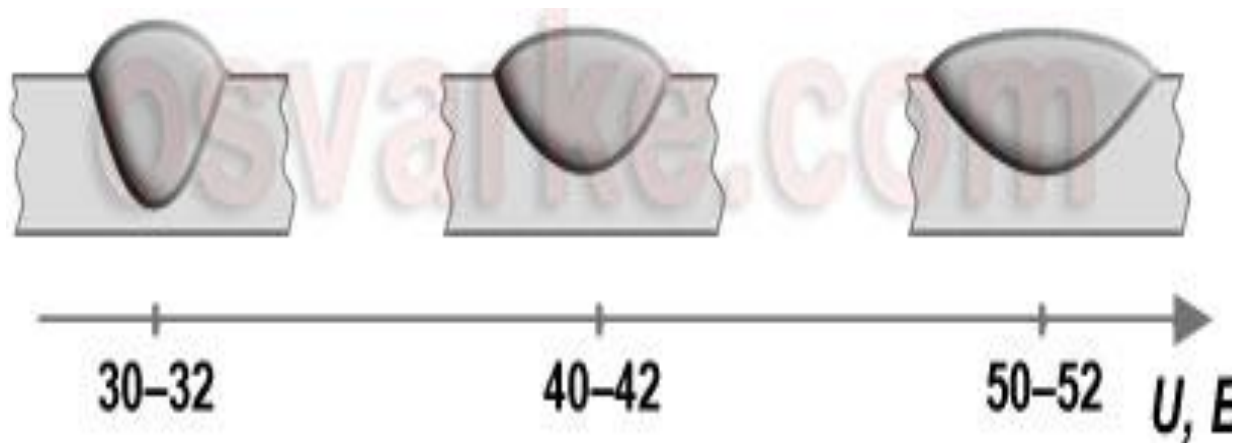


Влияние тока на форму и размеры сварного шва

С увеличением **напряжения дуги (U)** - ширина шва резко возрастает, глубина провара уменьшается.

Также снижается и **выпуклость** (высота усиления) шва.

При сварке на **постоянном токе** (в особенности **обратной полярности**) ширина шва будет гораздо **больше**, чем при сварке на **переменном токе** с таким же значением напряжения.



Влияние напряжения дуги на форму и размеры сварного шва



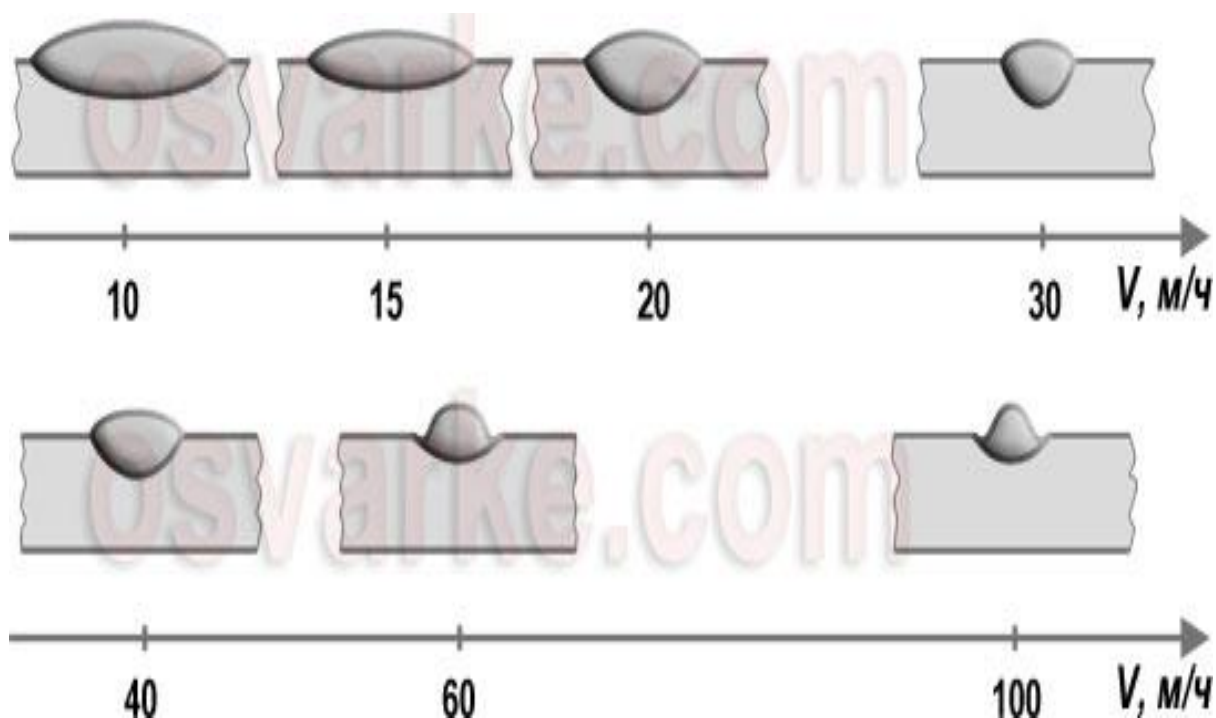


Влияние скорости сварки на форму и размеры шва

(Одна из причин неравномерности сварного шва по всей длине)

С возрастанием **скорости сварки** - ширина шва уменьшается, и **глубина** понижается.

При скорости сварки свыше **70–80 м/ч** возможны **подрезы** по обеим сторонам шва из-за недостаточного **прогрева** основного металла.



Скорость сварки выбирает **сварщик** в зависимости от **свойств** основного металла, характеристик электрода, положения шва и т. д.

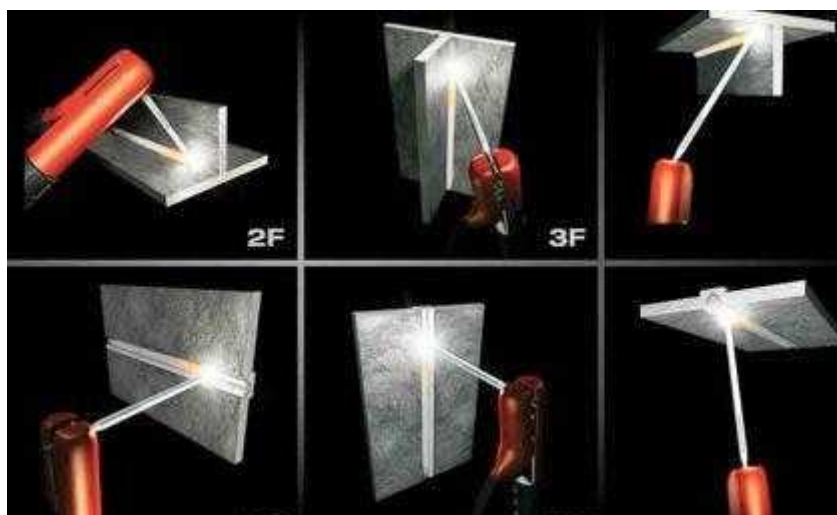
Скорость сварки должна быть такой, чтобы жидкий металл сварочной ванны немного поднимался над поверхностью основного металла с плавным переходом к нему без подрезов и наплывов.

Для предотвращения перегрева металла высоколегированные стали сваривают с большей скоростью.

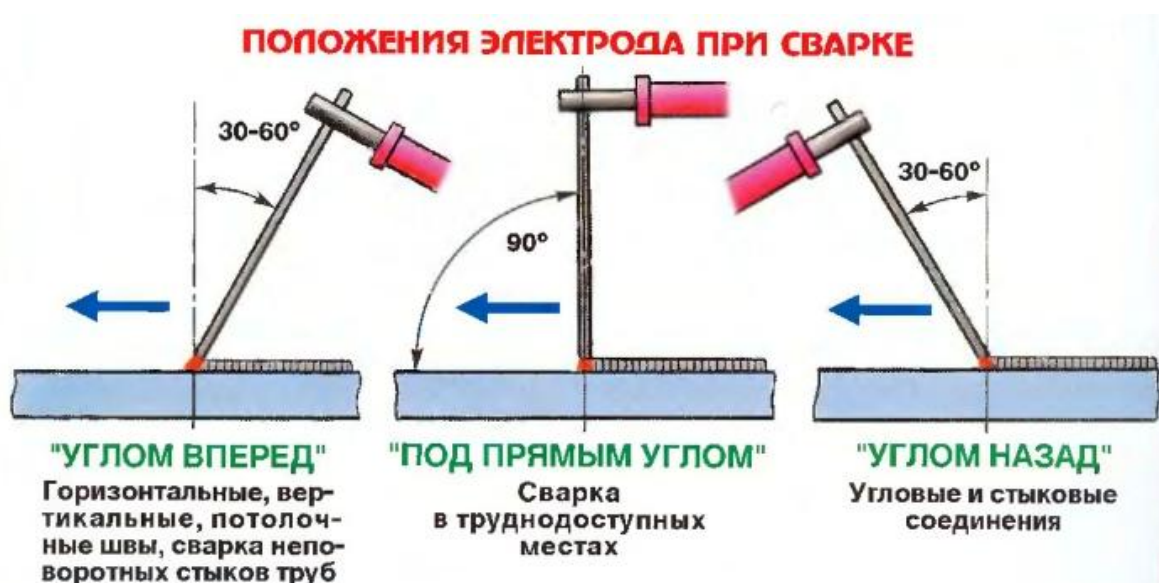
Расположение шва в пространстве

Расположение шва в пространстве влияет на выбор основных параметров режима ручной дуговой сварки. Ручную сварку используют для стыков во всех пространственных положениях, но наиболее удобным положением считается **нижнее**.

И надо учитывать положение шва в пространстве при расчете основных параметров и выборе электрода.



Влияние угла наклона электрода и изделия



Изменяя **угол** положения электрода к основному металлу, сварщик может изменять **направление давления дуги** и как следствие **размеры шва**.

Сварка **уголом вперед** способствует уменьшению **глубины провара** и **увеличению ширины шва**.

Немного уменьшается высота выпуклости шва. *(этот приём можно использовать для сварки тонколистового металла).*

Хорошее сплавление **кромки** изделия сваркой **углом вперед** позволяет **повысить скорость** сварки.

При сварке **углом назад** глубина шва **увеличивается**, а **ширина** уменьшается. Сварка **на подъём** увеличивает глубину провара и **уменьшает ширину** шва, при сварке **на спуск** — наоборот.

Глубина провара также зависит от **амплитуды** движения электрода — чем больше амплитуда, тем меньше провар.

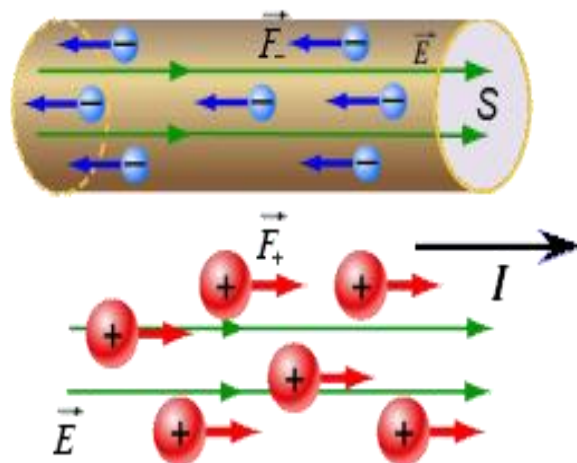
Температура окружающей среды практически не влияет на геометрические размеры шва. Значительное увеличение происходит при предварительном подогреве до 500 °С

С уменьшением **диаметра проволоки** **возрастает плотность тока** в электроде, что приводит к росту **глубины провара** и **выпуклости шва**, но при этом снижается **ширина шва**.

Таким образом, при уменьшении **диаметра проволоки** можно получить более глубокий провар при неизменной силе тока (**A**) или такой же провар при меньшей силе тока.

При возрастании **вылета проволоки** диаметром не более 3 мм из токоподводящего мундштука (наконечник) снижается глубина провара, что может привести к возникновению краевых наплавов в шве.

Прямая и обратная полярность



электрод-отрицательная и электрод-положительная полярность

(Прямая полярность - это электрод на минусе, обратная полярность - электрод на плюсе)

При сварке током **обратной полярности** температура больше на **электроде**, т. е. основной металл **нагревается меньше**.



Применяют при стыковке высокоуглеродистых и легированных сталей, нержавеющей стали, чувствительных к перегреву.

На **прямой полярности** температура **больше** на основном металле, т. е. разогревается **сильнее**, что позволяет **углубить корень** сварочного шва.

(расплавленным металлом ванны легче управлять, металл растекается, что позволяет плавными движениями создавать направленность сварного шва, при этом легко контролируется и глубина сваривания).

Переменный ток позволяет уменьшить на 15—20% глубину провара по сравнению с постоянным током обратной полярности.

Постоянный ток прямой полярности дает возможность получить шов меньшей ширины, чем постоянный ток обратной полярности и переменный ток.

Уменьшение диаметра электрода приводит к **увеличению глубины провара**, особенно при сварке на небольших токах.

С повышением сварочного тока становится меньше влияние увеличения диаметра электрода. Ширина шва тем больше, чем больше диаметр электрода.

