

# **Тема 3 МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ**

- 1. Особенности металлургических процессов при сварке.**
- 2. Окисление металла и примесей. Защита сварочной ванны от взаимодействия с окружающей средой.**
- 3. Строение сварного шва.**

Процессы расплавления и затвердевания металла, сопровождающиеся изменением его химического состава и кристаллического строения, называются металлургическими.

Сварка также является металлургическим процессом, но отличается от других подобных процессов следующими особенностями:

а) происходит при высокой температуре нагрева;

б) протекает с большой скоростью;

в) характеризуется очень малыми объемами нагретого и расплавленного металла;

г) при сварке имеет место быстрый отвод тепла от расплавленного металла сварочной ванны в прилегающие к ней зоны твердого основного металла;

д) на расплавленный металл в зоне сварки интенсивно воздействуют окружающие его газы и шлаки;

е) в ряде случаев для образования металла шва используется присадочный металл, химический состав которого может значительно отличаться от состава основного металла.

Высокая температура нагрева при сварке ускоряет процессы плавления электродного металла, основного металла, электродного покрытия и флюса. При этом имеет место испарение, разбрызгивание и окисление веществ, участвующих в химических реакциях в зоне сварки.

Молекулы ряда элементов, таких, как кислород, азот, водород, при высоких температурах дуги частично распадаются на атомы (диссоциируют). В атомарном состоянии эти элементы обладают более высокой химической активностью, чем в молекулярном. Вследствие этого окисление элементов, насыщение металла азотом и поглощение водорода в процессе сварки протекает более интенсивно, чем при обычных металлургических процессах.

Химический состав, структура и плотность металла шва зависят от состава основного и присадочного металла, характера и состава газов, окружающей жидкий металл, режима сварки и прочих факторов.

Перечисленные особенности затрудняют получение сварных швов высокого качества, особенно для металлов, чувствительных к быстрому нагреву и охлаждению, легко окисляющихся, склонных к образованию пористости, закалочных структур, трещин и других дефектов.

# Основные реакции в зоне сварки, характерные для стали

При сварке стали важно получение расплавленного металла, по возможности свободного от примесей кислорода, азота, водорода и серы (O, N, H, S) .

**Кислород** является наиболее **вредной примесью**, так как окисляет расплавленный металл, образуя химические соединения — окислы.

Если окислы растворимы в жидком металле, то они поглощаются последним, образуя с ним при затвердевании твердый раствор. Нерастворимые окислы выделяются из затвердевшего металла, переходя в шлак. Часть нерастворимых окислов остается в металле шва в виде включений шарообразной формы (так называемых глобул) или, располагаясь по границам зерен, нарушает сцепление их между собой.

С железом кислород образует три окисла:

закись железа по реакции  $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{FeO}$ ;

окись железа по реакции  $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4$ ;

вакись-окись железа по реакции  $2\text{Fe} + 1,5\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

При окислении сначала образуется закись железа, которая в дальнейшем при соответствующих условиях (температуре, соотношении кислорода и железа в сварочной ванне) может переходить в окись и закись-окись железа. При окислении железа в процессе сварки основную роль играет закись железа, так как только она способна растворяться в жидком металле.

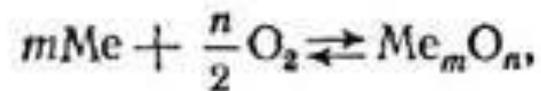
Кислород легко соединяется также с углеродом (С), марганцем (Mn), кремнием (Si) и др. элементами, входящими в состав свариваемого металла, электродов, электродных покрытий и флюсов, образуя соответствующие окислы этих элементов.

Окисление элементов при сварке может происходить или в зоне сварочной дуги или при взаимодействии их с закисью железа (FeO) в ванне расплавленного

Присутствие кислорода в металле шва в виде твердого раствора или включений окислов, в первую очередь сказывается на ухудшении механических свойств наплавленного металла: понижаются пределы прочности и текучести, относительное удлинение, ударная вязкость. Кроме того, кислород вредно влияет и на другие свойства металла — снижает стойкость его против коррозии, повышает склонность к старению, делает металл хладноломким и красноломким.

Защита Me от окисления кислородом окружающей среды достигается, во-первых, созданием вокруг расплавленного металла защитной среды из газов и шлаков. Однако полностью защитить металл от окисления не удастся. Поэтому вторым средством для решения указанной задачи является удаление кислорода из наплавленного металла с помощью химических элементов, обладающих большим сродством к кислороду, чем железо, и образующих окислы, менее растворимые в жидком металле, чем  $\text{FeO}$ . Этот процесс называется раскислением и играет очень важную роль при сварке, так как обеспечивает получение чистого, высококачественного металла шва.

Реакции окисления и раскисления обусловлены одним и тем же химическим процессом, но протекающим лишь в противоположных направлениях. Этот процесс можно выразить следующей общей формулой:



где  $m$  — число молекул металла (Me) или другого элемента, участвующего в реакции с кислородом;  
 $n$  — число молекул кислорода ( $\text{O}_2$ ), пошедшего на окисление или содержавшегося в окисле.

При определенных соотношениях металла и кислорода вся система может находиться в состоянии химического равновесия при данной температуре и давлении, т. е. процессы окисления или восстановления протекать не будут. Тогда в данном объеме вещества будут находиться как чистый металл, так и его окисел. Такое состояние характеризуется некоторой величиной, называемой константой равновесия  $K$ .

$$K = \frac{[\%Me]^m [O_2]^{\frac{n}{2}}}{[\%Me_mO_n]}$$

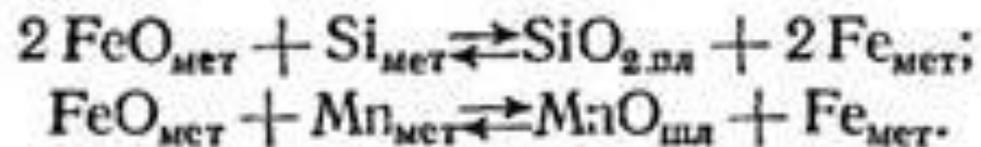
Числитель представляет собой произведение концентраций веществ (весовые проценты), вступающих в реакцию, а знаменатель — концентрацию продуктов реакции. Для каждого вещества значения  $K$ , соответствующие **равновесному** состоянию системы при различных давлениях и температурах, определены опытным путем и даются в виде таблиц или графиков. Чем больше **действительная величина  $K$**  отличается от **равновесной**, вычисленной для той же температуры и давления, тем больше будет скорость реакции. Если отношение концентраций веществ в правой части формулы больше равновесного значения  $K$ , то реакция пойдет вправо и произойдет окисление элемента  $Me$ . При обратном соотношении процесс идет влево и

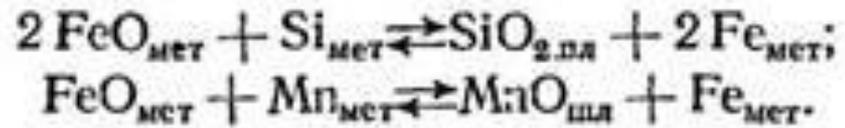
Если взаимодействовать с кислородом могут несколько элементов, то в первую очередь окислению подвергаются те элементы, которые обладают наибольшим химическим сродством к кислороду. По мере окисления этих элементов концентрация их в зоне реакции уменьшается и скорость окисления замедляется; тогда начинают более интенсивно окисляться другие элементы, обладающие меньшим сродством к кислороду. Постепенно процесс окисления охватывает все новые и новые элементы и протекает до тех пор, пока концентрация всех элементов в жидком металле не будет соответствовать, равновесной. То же имеет место и при обратном процессе—раскислении.

Если элементы, наиболее часто применяемые в качестве раскислителей при сварке, расположить по признаку уменьшения их химической активности к кислороду, то получим следующий ряд: **Al** (обладает

Эти элементы (Al, Ti, V, Si, C, Mn, Cr) поступают в сварочную ванну из присадочного металла, покрытия электрода или флюса и вступают в химическое взаимодействие с окислами металла. В качестве веществ, содержащих раскислители, применяют ферросплавы — ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.

Ферросплавы вводятся в состав электродного покрытия или флюса и при их расплавлении почти полностью переходят в шлак. При этом входящие в них элементы окисляются, отнимая кислород у окислов железа. Вновь образовавшиеся окислы элементов — раскислителей в большей своей части остаются в шлаках, покрывающих металл шва, и после сварки удаляются вместе



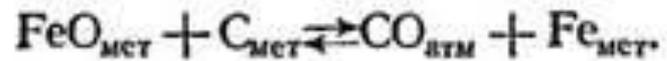


Образующиеся при этом окись кремния и закись марганца плохо растворимы в жидком металле и переходят в шлак. Закиси железа и марганца по своим химическим свойствам являются основаниями и могут вступать в реакцию с кислотными окислами, образуя соединения типа  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ;  $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$  (силикаты) и  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$  (титанаты). Эти соединения почти не растворимы в жидком металле и полностью остаются в слое шлака.

Окислы по своим химическим свойствам могут быть **кислые** и **основные**. К кислым окислам относятся окись кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и двуокись титана ( $\text{TiO}_2$ ). К основным окислам относятся окись кальция ( $\text{CaO}$ ), закись железа ( $\text{FeO}$ ), закись марганца ( $\text{MnO}$ ), окись натрия ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), окись калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) и окись магния ( $\text{MgO}$ ).

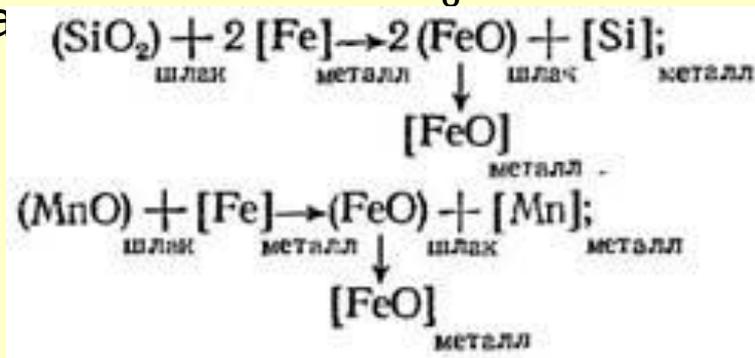
Если в шлаках, образующихся при сварке, преобладают кислые окислы, то такие шлаки, а также образующие их покрытия и флюсы называются **кислыми**. Преобладание в шлаке основных окислов, наоборот, придает ему химические свойства основания. Соответственно, электродные покрытия и флюсы, дающие основные шлаки, называются **основными**.

При сварке электродами с кислыми покрытиями процесс раскисления протекает также за счет углерода, содержащегося в металле сварочной ванны и ферросплавах, вводимых в покрытие обычно в виде ферромарганца.



Реакция раскисления углеродом протекает. Образовавшаяся газообразная окись углерода (CO) не растворяется в жидком металле и выделяется из него в атмосферу, что вызывает сильное кипение сварочной ванны.

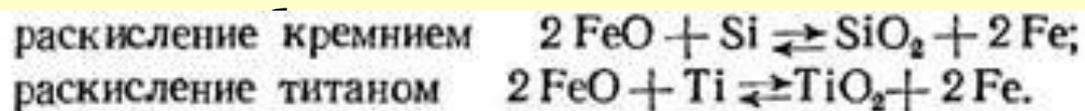
При высоких температурах сварочной ванны, содержащиеся в шлаках окись кремния  $\text{SiO}_2$  и закись марганца  $\text{MnO}$  вступают в реакцию с железом сварочной ванны. Эти реакции протекают на границе раздела жидкого шлака и жидкого металла.



Образующаяся закись железа  $\text{FeO}$  растворяется в жидком металле. При последующем остывании металла шва находящаяся в нем закись железа вступает в реакцию с другими элементами, содержащимися в расплавленном металле, такими, как Si, Cr, Mn, образуя чистое железо и окислы этих элементов, которые могут оставаться в металле шва.

Поэтому при сварке сталей, содержащих повышенное количество кремния, хрома и марганца, не рекомендуется пользоваться покрытиями или флюсами с высоким содержанием окислов кремния и марганца, так как при этом увеличивается содержание кислорода в металле шва, снижающего его ударную вязкость.

Основные электродные покрытия и флюсы дают и основные шлаки, содержащие преимущественно окись кальция (CaO), которая не отнимает кислород от окислов металлов. Поэтому в покрытия основного типа для раскисления наплавленного металла вводятся ферросплавы, ферросилиций или ферротитан. В электродных покрытиях этого типа основными реакциями ра



Эти реакции протекают без газообразования и сварочная ванна остается спокойной. Поэтому покрытия основного характера называют также спокойными. Основные электродные покрытия дают наплавленный металл с высокими механическими свойствами.

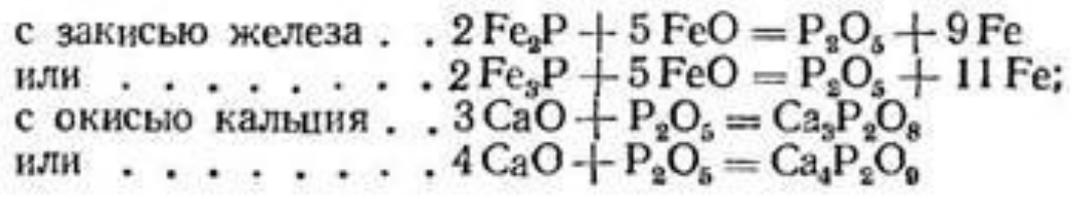
**Алюминий** обладает большим сродством к кислороду. Однако окись алюминия не растворима в жидком металле и медленно переходит в шлак. Кроме того, алюминий способствует окислению углерода, что вызывает пористость шва. По этим причинам алюминий как раскислитель при сварке стали почти не применяется.

**Азот** поглощается расплавленным металлом из окружающего воздуха. Под действием высоких температур сварочной дуги азот частично переходит в атомарное состояние и растворяется в жидком металле. В процессе охлаждения азот выделяется из раствора и, взаимодействуя с металлом и его окислами, образует химические соединения, называемые нитридами —  $\text{Fe}_2\text{N}$ ;  $\text{Fe}_4\text{N}$ ;  $\text{MnN}$ ;  $\text{SiN}$ . Нитриды в стали повышают ее прочность и твердость, но сильно уменьшают пластичность. Поэтому азот является вредной примесью в наплавленном металле. При сварке непокрытыми электродами содержание азота в металле шва может достигать 0,12—0,2%. С увеличением тока содержание азота в наплавленном металле уменьшается. Увеличение содержания углерода и особенно марганца в присадочной проволоке или покрытии электрода значительно снижает содержание азота в наплавленном металле.

**Сера** является вредной примесью в стали. Она образует сернистое железо (сульфид железа FeS), которое имеет температуру плавления 1193°, т. е. более низкую, чем сталь. Поэтому при кристаллизации стали сернистое железо остается еще в жидком виде в прослойках между кристаллами сплава и является одной из причин образования горячих трещин при сварке. Серу удаляют введением марганца, который образует с ней химическое соединение — сернистый марганец (MnS). Сернистый марганец не растворяется в жидком металле и полностью переходит в шлак.

Удалению серы способствует также окись кальция.

Присутствие **фосфора** вызывает неоднородность металла шва, рост зерен и снижение пластичности, особенно при низких температурах (хладноломкость). Он присутствует в металле шва в виде фосфидов железа: Fe<sub>3</sub>P и Fe<sub>2</sub>P. Удаление фосфора происходит при



Получаемые соединения фосфора переходят в шлак. Основные шлаки лучше удаляют фосфор из металла, чем кислые.

**Водород** является вредной примесью в стали. При температуре дуги водород диссоциирует на атомы и, находясь в атомарном состоянии, способен хорошо растворяться в наплавленном металле.

При остывании и затвердевании металла атомы водорода вновь соединяются в молекулы, которые собираются в отдельных местах шва, образуя газовые пузырьки. Водород не всегда успевает полностью выделиться из металла и вызывает появление в нем пористости и мелких трещин, так называемых **флокенов**. Сталь с флокенами является хрупкой, в изломе флокены имеют вид светлых пятен и не выявляются обычно применяемыми методами контроля качества швов без разрушения.

Источником насыщения металла водородом является влага, содержащаяся в электродном покрытии, флюсах и окружающем воздухе или находящаяся на поверхности свариваемого металла в виде воды, снега, инея. Кроме того, водород содержится в ржавчине.

Наименее металл насыщается водородом при сварке на постоянном токе обратной полярности, наиболее — при сварке на переменном токе.

Чтобы предотвратить насыщение металла водородом при сварке стали необходимо следующее:

1. Обеспечить минимальное содержание влаги в покрытии и флюсах, в окружающей шов атмосфере и на кромках металла.
2. Использовать проволоку без ржавчины и удалять ее с кромок свариваемого металла.
3. Стараться не применять многопроходных швов при автоматической сварке под флюсом, так как при наложении последующих слоев водород насыщает нижележащие слои в момент их расплавления.

## СТРОЕНИЕ СВАРНОГО ШВА

Наиболее широкое применение в сварных конструкциях имеет малоуглеродистая сталь. Рассмотрим вопрос о строении сварного шва на примере сварки малоуглеродистой стали.

Основной металл при процессе сварки нагревается и частично расплавляется, подвергаясь действию высокой температуры сварочной дуги или сварочного пламени. Чем выше температура нагрева, тем большие изменения будет претерпевать металл. В той зоне основного металла, где температура нагрева углеродистой стали не превышает  $720^{\circ}$ , металл сохраняет те же свойства, которыми он обладал до сварки.

Наплавленный металл получается за счет расплавления присадочного, или электродного металла и частичного смешивания его с основным металлом. При ручной дуговой сварке стали в наплавленный металл за счет расплавления свариваемых кромок добавляется до 10% основного металла; при сварке под флюсом проволокой диаметром 4—5 мм эта добавка основного металла составляет до 50% и более.

Наплавленный металл по составу, строению и свойствам отличается как от присадочного (электродного), так и от основного металла.

Образование первых кристаллов начинается в жидком металле у поверхностей охлаждения и вокруг так называемых центров кристаллизации, образующихся в процессе затвердевания сварочной ванны. Из этих начальных центров образуются зерна металла за счет присоединения новых кристаллов. Чем быстрее охлаждение металла, тем больше образуется центров кристаллизации и тем мельче будут зерна. При медленном охлаждении в процессе затвердевания металл приобретает крупнозернистое строение.

Находящиеся в жидком металле примеси и загрязнения (окислы, шлаки и др.) имеют более низкую температуру затвердевания, чем металл, и при застывании располагаются по границам зерен металла, ухудшая их сцепление между собой. Это снижает прочность и пластичность наплавленного металла. Чем чище наплавленный металл, тем выше его механические свойства.

При автоматической сварке под флюсом получается более глубокое проплавление кромок основного металла, чем при ручной сварке, и он имеет зерна разветвленной формы, напоминающие ветвь дерева. Зерна такой формы называются дендритами (от греческого слова дендрон — дерево) или столбчатыми и характерны для образовавшегося при застывании жидкого литого металла.

Таким образом, зерна наплавленного металла по своей форме и расположению будут иными, чем зерна основного металла, которые всегда вытянуты в направлении прокатки. Если жидкий наплавленный металл или соседний с ним участок основного металла был очень сильно перегрет, то при охлаждении его зерна принимают игольчатую форму и пересекаются друг с другом в разных направлениях, образуя так называемую видманштеттову структуру. Перегретый металл обладает меньшей прочностью и является более хрупким.

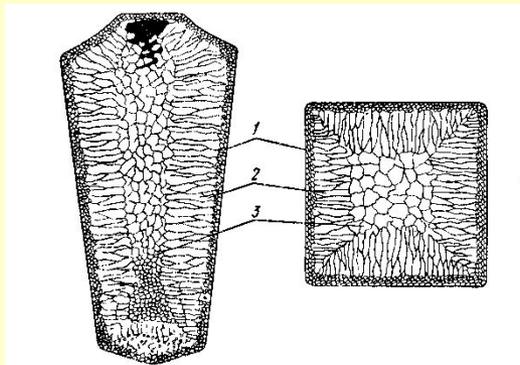
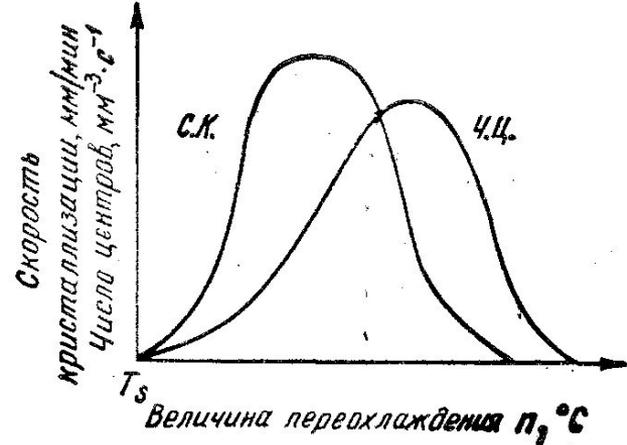
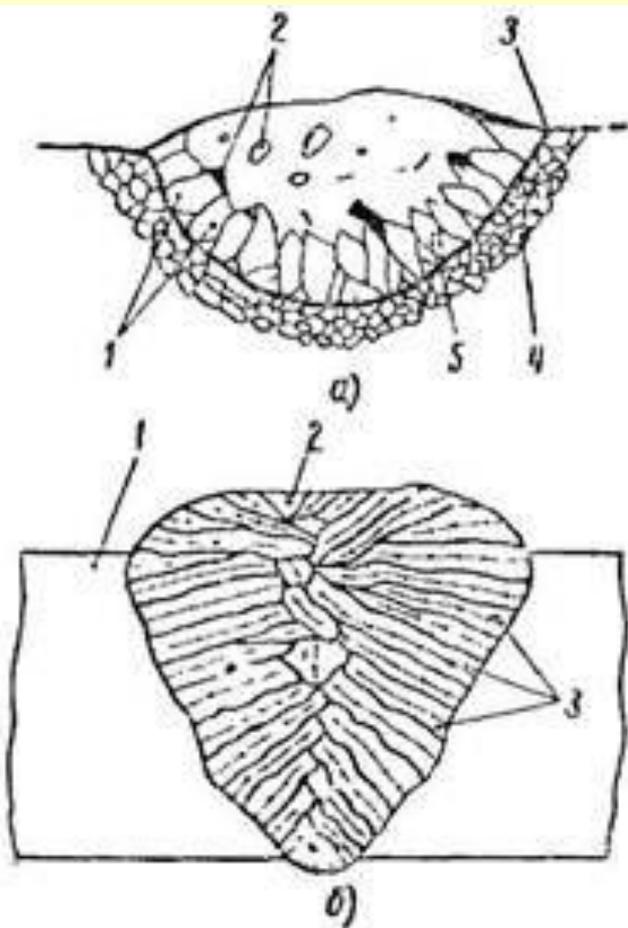


Схема строения металла сварного шва:

а) - схема кристаллизации металла в сварочной ванне при ручной сварке покрытыми электродами: 1 - кристаллы, обладающие большой скоростью роста, 2 - неметаллические включения(шлаки), 3 - линия расплавления, 4 - кристаллы, обладающие малой скоростью роста;

б) – схема столбчатой (дендритной) структуры металла сварного шва при автоматической сварке

под флюсом: 1- основной металл, 2- металл шва, 3- зерна металла шва (дендриты).



Строение зоны влияния при ручной дуговой сварке малоуглеродистой стали схематически показано на рисунке (см. следующий слайд). Рядом с наплавленным металлом расположена зона сплавления, с которой граничит участок перегрева. Здесь основной металл уже не нагревается до температуры плавления, хотя температура нагрева его достаточно высока и лежит в пределах  $1100\text{—}1500^\circ$ , что вызывает значительный рост зерен металла на данном участке, и почти всегда сопровождается образованием зерен игольчатой (видманштеттовой) структуры. Эта часть шва обычно является наиболее слабым местом и здесь металл будет обладать наибольшей хрупкостью, хотя и не будет влиять существенно на прочность сварного соединения в целом, за исключением тех случаев, когда перегрев значителен.

По мере удаления от оси шва температура нагрева снижается. В пределах температур  $900\text{—}1100^\circ$  находится участок нормализации, характеризующийся наиболее мелкозернистым строением, так как здесь температура нагрева лишь незначительно превышает критическую температуру.

Следующий участок, лежащий в пределах температур  $720\text{—}900^\circ$ , подвержен лишь частичному изменению структуры основного металла и потому называется участком неполной перекристаллизации. В нем имеются наряду с отдельными довольно крупными зернами скопления мелких зерен. В этой части металла подведенного количества тепла уже недостаточно для измельчения всех зерен.

Участок, соответствующий нагреву от  $500$  до  $720^\circ$ , называется участком рекристаллизации; в нем структура стали не изменяется, а происходит лишь восстановление прежней формы и размеров зерен, разрушенных и деформированных при прокатке металла. При дальнейшем понижении температуры от  $500^\circ$  и ниже уже нельзя заметить признаков теплового воздействия на основной металл.

Наибольшей прочностью и пластичностью металл сварного соединения будет обладать на участке нормализации.

Наименьшую величину зона термического влияния имеет при дуговой сварке тонкопокрытыми электродами и при сварке под слоем флюса. При ручной дуговой сварке электродами с толстым покрытием зона влияния несколько больше и достигает  $5\text{—}6$  мм.

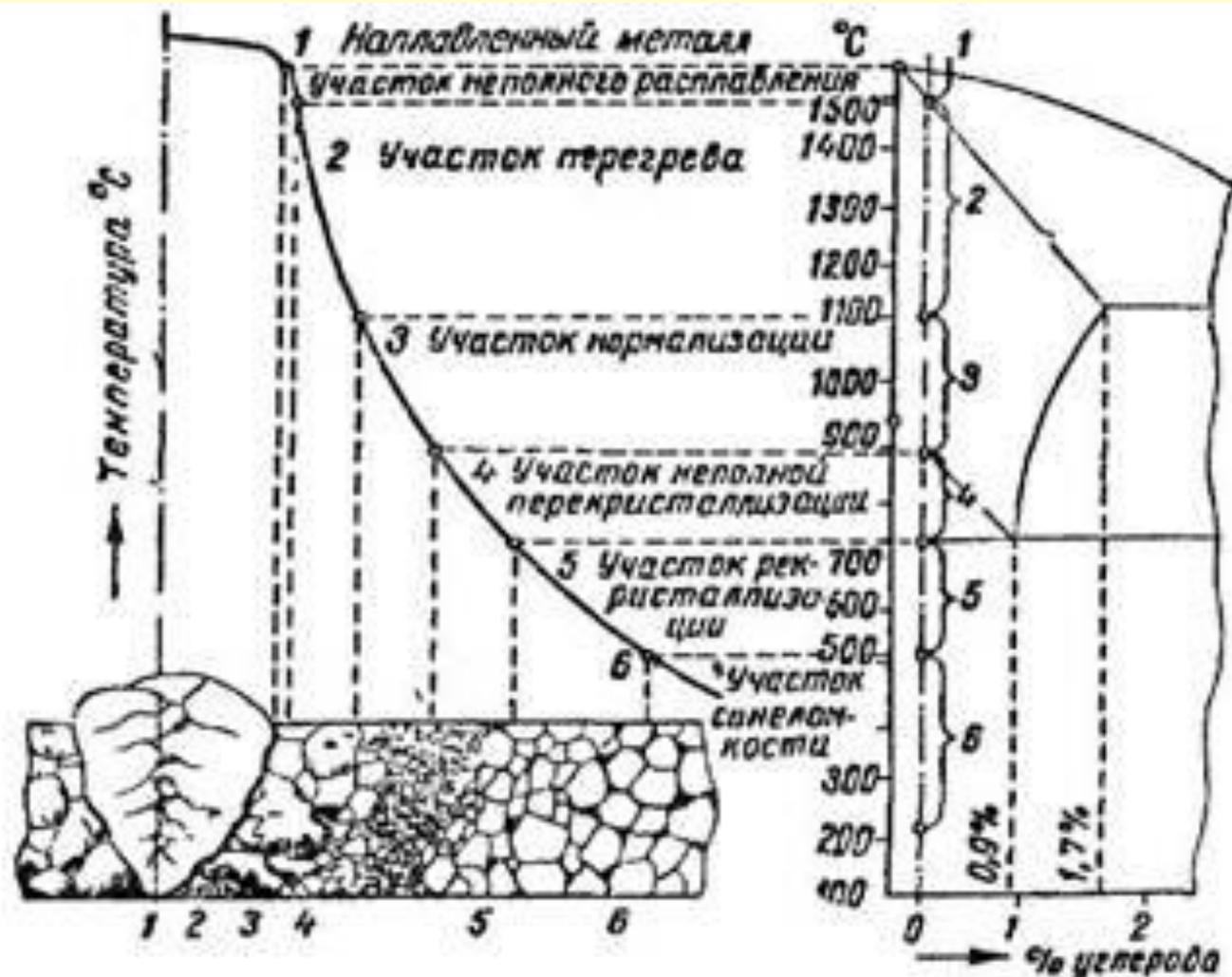


Рис. 27. Схема строения зоны влияния при ручной дуговой сварке малоуглеродистой стали. Цифрами 1, 2, 3, 4, 5 и 6 обозначены одни и те же участки на разрезе металла шва, кривой и шкале температуры на диаграмме

## Тема 4. Понятие о свариваемости

Процесс сварки представляет собой сочетание нескольких, одновременно протекающих процессов, которые определяют качество получаемого сварного соединения. К этим процессам относятся: тепловое воздействие на металл околошовных участков; процесс плавления; металлургические процессы; кристаллизация металла шва и процесс взаимной кристаллизации металлов. Протекание этих процессов определяется в основном свойствами свариваемых металлов. Однако такие факторы, как слишком высокая температура, очень большие скорости охлаждения, необоснованный выбор присадочного металла и режима сварки, могут значительно снизить качество сварного соединения. При разнородных металлах процесс взаимной кристаллизации может не произойти, вследствие чего сварка таких металлов не может быть осуществлена.

Свариваемостью называется свойство металлов или сочетание свойств металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Большое влияние на свариваемость металлов и сплавов оказывает их химический состав. Это особенно наглядно видно на примере железоуглеродистых сплавов. Свариваемость углеродистой стали изменяется в зависимости от содержания основных примесей.

**Углерод** является наиболее важным элементом в составе стали, определяющим почти все основные свойства стали в процессе обработки, в том числе и свариваемость. Низкоуглеродистые стали ( $C < 0,25 \%$ ) и среднеуглеродистые стали ( $C < 0,35 \%$ ) свариваются хорошо. Стали, содержащие  $C > 0,35 \%$ , свариваются хуже. С увеличением содержания углерода свариваемость стали ухудшается. В околошовных зонах появляются закалочные структуры и трещины, а шов получается пористым. Поэтому для получения качественного сварного соединения возникает необходимость применять различные технологические приемы.

**Марганца** в стали содержится обычно  $0,3...0,8 \%$ , что не затрудняет сварку стали. При повышенном содержании марганца ( $1,8...2,5 \%$ ) прочность, твердость и закаливаемость стали возрастают, и это способствует образованию трещин. При сварке высокомарганцовистых сталей ( $11...16 \%$  Mn) происходит выгорание марганца, поэтому предпринимаются меры по его восполнению через электродное покрытие, флюсы и др.

**Кремний** содержится в обычной углеродистой стали в пределах  $0,02...0,3 \%$  и существенного влияния на свариваемость не оказывает. При повышенном содержании ( $0,8...1,5 \%$ ) кремний затрудняет сварку, так как придает стали жидкотекучесть и образует тугоплавкие оксиды и шлаки.

**Сера** является самой вредной примесью стали. Содержание серы в стали допускается не более  $0,05 \%$ . Сера образует в металле сернистое железо, которое имеет более низкую температуру плавления, чем сталь, и плохо растворяется в расплавленной стали. При кристаллизации стали сернистое железо располагается между кристаллами металла шва и способствует образованию горячих трещин.

**Фосфор** является также вредной примесью стали. Содержание фосфора в стали доходит до  $0,05 \%$ . Фосфор ухудшает свариваемость стали, так как образует хрупкое фосфористое железо, придает стали хладноломкость.

Свариваемость стали принято оценивать по следующим показателям:

- склонность металла шва к образованию горячих и холодных трещин;
- склонность к изменению структуры в околошовной зоне и к образованию закалочных структур;
- физико-механические качества сварочного соединения;
- соответствие специальных свойств сварного соединения техническим условиям (жаропрочность, износостойкость и др.).

Для определения свариваемости применяют два основных метода, разработанных МГТУ им. Баумана (валиковая проба) и Кировским заводом (г.Санкт-Петербург). По первому методу производят широкое исследование свариваемости стали. Для этого изготавливают образцы, на которые наплавляются по одному валику. Наплавку производят при различной погонной энергии в пределах  $419 \cdot 10^3 \dots 838 \cdot 10^4$  Дж/м. Обработанные и протравленные образцы подвергают макро- и микроисследованиям, а затем механическим испытаниям на загиб и ударную вязкость. Результаты исследования позволяют не только оценить свариваемость стали, но и установить оптимальные режимы сварки.

Методом Кировского завода исследование проводят на образцах из толстолистовой стали. Пластины размером 130x130 мм имеют в середине выточку диаметром 80 мм. При этом оставшиеся донышки у выточек должны иметь толщину 2, 4 и 6 мм. В выточку по диаметру наплавляют валик и в процессе наплавки пластину охлаждают с наружной стороны проточной водой или струей воздуха.

По этому методу стали считаются сваривающимися хорошо, если трещины отсутствуют;

удовлетворительно, если трещины образуются при охлаждении водой, но отсутствуют при охлаждении воздухом;

ограниченно, если сталь для предупреждения образования трещин требует предварительного подогрева до 100...150 °С и охлаждения на воздухе.

Плохо сваривающиеся стали требуют предварительного подогрева до 300 °С и выше.

Углеродистые стали по свариваемости можно условно подразделить на следующие группы: хорошо сваривающиеся стали — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 (ГОСТ 380—71); 08, 10, 15, 20, 25 (ГОСТ 1050—88); удовлетворительно сваривающиеся стали — Ст5 (ГОСТ 380—71); 30, 35 (ГОСТ 1050—88); ограниченно сваривающиеся стали — Ст6, Ст7 (ГОСТ 380—71); 40, 45, 50 (ГОСТ 1050—88); плохо сваривающиеся стали — 60Г, 65Г, 70Г, 70, 75, 80, 85 (ГОСТ 1050—88).

В сварных строительных конструкциях используются главным образом стали первой группы. Стали Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5 применяют при изготовлении различных строительных конструкций, арматуры железобетонных изделий, горячекатаных и сварных труб с прямым и спиральным швами. Из сталей Ст3 изготовляют бункера, резервуары, газгольдеры, подкрановые балки, конструкции доменного комплекса, балки различных перекрытий. Стали 10, 15, 20 и 25 используют для производства горячекатаных труб. Эти стали хорошо поддаются сварке и образуют сварной шов без хрупких структур и пористости.

# Выбор режимов сварки

Под режимом сварки понимают совокупность условий, создающих устойчивое протекание процесса сварки.

Параметры режима сварки подразделяют на основные и дополнительные.

К основным параметрам режима сварки при ручной сварке относят величину, род и полярность тока, диаметр электрода, напряжение, скорость сварки и величину поперечного колебания конца электрода,

а дополнительным - величину вылета электрода, состав и толщину покрытия электрода, начальную температуру основного металла, положение электрода в пространстве (вертикальное, наклонное) и положение изделия в процессе сварки.

Глубина провара и ширина шва зависят от всех основных параметров режима сварки.

Увеличение сварочного тока вызывает при неизменной скорости рост глубины проплавления (провара), что объясняется изменением величины погонной энергии (теплоты, приходящейся на единицу длины шва) и частично изменением давления, оказываемого столбом дуги на поверхность сварочной ванны.

Род и полярность тока также влияют на форму и размеры шва. При сварке постоянным током обратной полярности, глубина провара на 40-50% больше; чем при сварке постоянным током прямой полярности, что объясняется различным количеством теплоты, выделяющейся на аноде и катоде. При сварке переменным током глубина провара на 15-20% меньше, чем при сварке постоянным током обратной полярности.

Напряжение при ручной дуговой сварке на глубину провара оказывает незначительное влияние, которым можно пренебречь. Ширина шва связана с напряжением на электродах прямой зависимостью, при увеличении напряжения ширина шва увеличивается. Величина поперечного колебания электрода позволяет существенно изменять глубину провара и ширину шва.

### **Выбор диаметра электрода**

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, положения, в котором выполняется сварка, а также в зависимости от характера соединения и формы подготовленных кромок под сварку. Экспериментально установлена следующая зависимость:

Толщина свариваемого Ме	1,5	2	3	4-5	6-8	9-12	13-15	16-20
Диаметр электрода,мм	1,6	2	3	3-4	4	4-5	5	5 и более

Для сварки в нижнем положении при выборе диаметра электрода можно руководствоваться приведенной выше зависимостью. При выполнении сварных швов в вертикальном и потолочном положениях применяют электроды диаметром 3-4 мм. Если имеется разделка кромок, то корневой слой шва выполняется электродами диаметром 2-4 мм.

**Выбор силы сварочного тока.** Для сварки в нижнем положении силу сварочного тока подбирают по формуле  $I=K \cdot d$ , где  $I$  - сила сварочного тока, А;  $K$  - коэффициент, А/мм;  $d$  - диаметр электрода, мм.

При сварке в вертикальном положении в вышеприведенную формулу вводится коэффициент 0,9, учитывающий снижение силы сварочного тока  $I=0,9 \cdot K \cdot d$ .

При сварке в потолочном положении в связи с трудностью формирования шва вводят коэффициент 0,8 для получения меньшего объема расплавленного металла сварочной ванны, что способствует быстрой кристаллизации металла и нормальному формированию сварного шва в потолочном положении  $I=0,8 \cdot K \cdot d$ . Коэффициент  $K$  выбирают в зависимости от диаметра электрода:

Диаметр электрода, мм	1-2	3-4	5-6
К, А/мм	25-30	35-40	40-60

**Спасибо за внимание!**