Раздел 6. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ.

6.6. Строение сварного соединения.

Этапы образования сварного соединения. Процесс образования сварного соединения начинается с нагрева и расплавления основного и электродного металлов. Однако, хотя расплавление и сопровождается газовыделением, этот этап процесса сварки не оказывает существенного влияния на свойства металла шва.

Следующий этап сварочного процесса отличается от предыдущего тем, что металл шва, пребывая в расплав$ ленном состоянии, изменяет химический состав за счет выгорания некоторых элементов соединения железа с кислородом и азотом и за счет растворения газов.

Последний этап процесса сварки – кристаллизация металла, которая определяет его строение и структуру. Скорость охлаждения сплава неодинакова по сечению шва. В результате структура металла получается неравномерной.

Структура наплавленного металла отличается от структуры обычного стального литья более мелким дендритным строением. Это объясняется тем, что в отличие от литья металл при сварке расплавляется в небольшом объеме и затем быстро кристаллизуется при большой скорости теплопередачи (охлаждения) в основной металл.

Термический цикл сварки. Теплота, выделяемая при сварке, распространяется вследствие теплопроводности из шва в основной металл. В каждой точке околошовной зоны температура вначале возрастает, достигая максимума, а затем снижается. Изменение температуры металла во время сварки называется ***термическим циклом сварки***. Чем ближе точка расположена к границе сплавления, тем быстрее происходит нагрев металла и тем выше в ней максимальная температура. Поэтому структура и свойства основного металла в различных участках сварного соединения различны.

Свойства участков зоны термического влияния. Сварное соединение, выполненное дуговой сваркой, состоит из металла шва, зоны сплавления, представляющей собой переход от металла шва к нерасплавившемуся металлу, и из зоны термического влияния.

Зона термического влияния (ЗТВ) – участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке. Протяженность ЗТВ зависит от способа сварки, ее режима, химического состава свариваемого и присадочного металлов, физических свойств свариваемых металлов и др. Увеличение силы сварочного тока, снижение скорости сварки вызывают рост ширины зоны

термического влияния. На рис. 6.3. приведены поперечное сечение стыкового сварного соединения при однослойной сварке низкоуглеродистой стали, кривая распределения температур по поверхности сварного соединения в момент, когда металл шва находится в расплавленном состоянии, и структуры различных участков ЗТВ после сварки, образованные в результате воздействия термического цикла сварки.

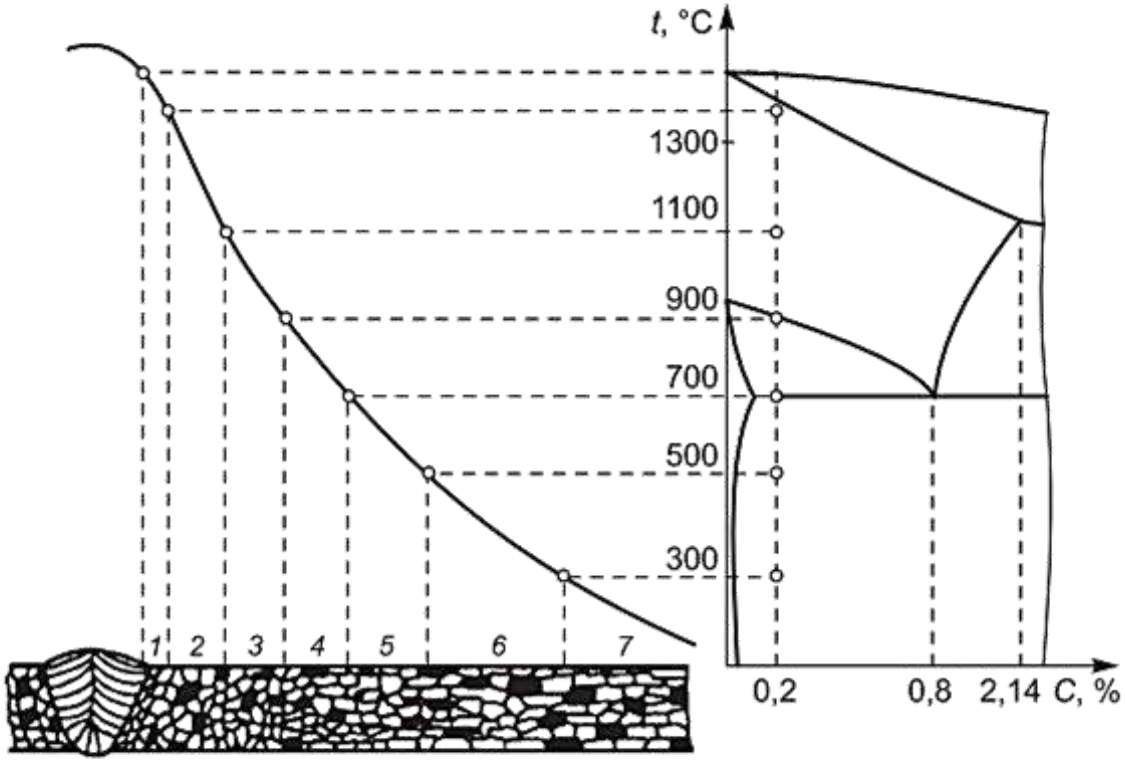

Рис. 6.3. **Схема строения зоны термического влияния сварного соединения при дуговой сварке низкоуглеродистой стали**

ЗТВ имеет несколько структурных участков, отличающихся формой и строением зерна в зависимости от температуры нагрева.

На участке сварного шва металл находится в расплав$ ленном состоянии и, затвердевая, образует сварной шов, имеющий литую структуру из столбчатых кристаллов. Столбчатая структура металла шва является неблагоприятной, так как снижает пластичность металла.

Участок неполного расплавления 1 – переходный от наплавленного металла к основному. На этом участке образуется соединение и проходит граница сплавления. Он представляет собой очень узкую область (0,1–0,4 мм) основного металла, нагретого ниже линии ликвидуса (1539 °С), но выше линии солидуса (примерно 1500 °С), т.е. до частичного оплавления зерен металла. Здесь наблюдается значительный рост зерен, скопление примесей, потому этот участок обычно является наиболее слабым местом сварного соединения, обладает пониженными прочностью и пластичностью.

Участок перегрева 2 – область основного металла, нагреваемого до температуры 1100–1500 °С. Металл при сварочном нагреве претерпевает аллотропическое превращение из α- в γ- железо. Он нагревается до высоких температур, что вызывает перегрев и рост аустенитного зерна. В процессе остывания вторичная структура определяется составом металла и термическим циклом сварки. Металл отличается крупнозернистой структурой и пониженными механическими свойствами (пластичностью и ударной вязкостью). Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерно и шире зона перегрева. Ширина этого участка 1–2 мм.

Участок нормализации 3 – область металла, нагреваемого до температуры 900–1100 °С. Металл обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлаждении образуется мелкозернистая вторичная структура в результате перекристаллизации без перегрева. Ширина его в зависимости от способа и режима сварки составляет 0,5–1,5 мм.

Нормализация – термическая обработка, при которой сталь нагревают до температуры выше критической точки Ас3 (выше 900 °С), а затем охлаждают на воздухе с целью получения тонкопластинчатой перлитной структуры.

Участок неполной перекристаллизации 4 – зона металла, нагреваемого при сварке до температуры 725– 900 °С. Неполная перекристаллизация обусловлена недостаточными временем и температурой нагрева, структура этого участка состоит из мелких перекристаллизовавшихся и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Металл обладает более низкими механическими свойствами, чем на участке нормализации. Ширина этого участка 0,5–1,2 мм.

Участок рекристаллизации 5 – область металла, нагреваемого до температуры 450–725 °С. Если сталь перед сваркой была подвергнута холодной деформации (прокатке, ковке, штамповке), в результате которых часть зерен основного металла сплющилась и вытянулась, а часть раздробилась, то на этом участке развиваются процессы рекристаллизации, приводящие к росту зерна, огрублению структуры и, как следствие, к разупрочнению. Ширина участка 0,5–1,0 мм.

Рекристаллизация – изменение микроструктуры деформированного металла, нагретого выше определенной температуры, при которой искаженная вследствие пластической деформации кристаллическая структура вещества пере$ ходит в ненапряженную. Температура рекристаллизации для чистых металлов составляет около 0,35 абсолютной температуры их плавления.

Участок старения 6, нагреваемый до температуры 200–450 °С, является зоной перехода от ЗТВ к основному металлу. При этой температуре появляются синие цвета побежалости на поверхности металла. Спустя некоторое время могут происходить процессы старения (изменения свойств

металла) в связи с выпадением карбидов железа и нитридов. Этот участок не имеет заметных структурных превращений, однако при сварке низкоуглеродистой стали, содержащей повышенный процент газов (кислорода, азота, водорода), наблюдается выделение их в структурную решетку металла. Это повышает прочность, но снижает пластичность и вязкость металла, поэтому механические свойства металла этой зоны ухудшаются. Если металл перед сваркой был отожжен, то существенных изменений на участках старения 6 и основного металла 7 не происходит.

Ширина зоны термического влияния зависит от толщины свариваемого металла, вида сварки и ее режимов. При ручной дуговой сварке она составляет обычно 3– 6 мм, при сварке в СО2 – 2–4 мм, при сварке под флюсом средних толщин – около 5 мм, при газовой сварке – до 25 мм. В случае газовой сварки ширина ЗТВ велика вследствие большой зоны разогрева основного металла.

Структура металла. Структурные изменения металла в зоне термического влияния зависят от состава свариваемого (основного) металла. Так, например, в сплавах на основе меди и алюминия наблюдаются укрупнение зерен и утолщение их границ; в хромоникелевых сталях – образование карбидов (химическое соединение хрома с углеродом) у границ зерен и другие изменения. При сварке легированных сталей металл в зоне термического влияния изменяется существенно. Он становится неоднородным по структуре и свойствам.

При охлаждении и затвердевании расплавленного металла его *объем уменьшается*. Это явление *называют усадкой*. Оно приводит к изменению геометрических размеров изделий, образованию усадочных раковин, появлению напряжений и трещин в металле.

В зависимости от величины кристаллов различают м*елкозернистую и крупнозернистую структуры*. По форме кристаллов – равноосную (зернистую) и неравноосную структуры. Разновидностью литой неравноосной структуры является *столбчатая дендритная структура*. Последняя в случае, когда она распространяется по всему сечению детали или рассматриваемого участка, называется *транскристаллической*.

В процессе первичной или вторичной кристаллизации в условиях медленного охлаждения формируется равновесная структура; при больших скоростях охлаждения и направленном отводе теплоты – неравновесная структура.

Отдельные структурные составляющие металла, образующиеся в результате взаимодействия его компонентов друг с другом, могут представлять собой твердые растворы, химические соединения или механические смеси фаз. Например, различают следующие основные структурные составляющие стали: аустенит, феррит, мартенсит (твердые

растворы), цементит (химическое соединение Fe_3C), перлит (механическая смесь феррита и цементита).

Структурные превращения – процессы изменения структуры металла, происходящие вследствие того, что при изменении условий, например температуры, одно структурное состояние металла становится менее устойчивым, чем другое. Различают *диффузионные превращения*, когда имеет место изменение химического состава в отдельных микрообъемах металла, обусловленное диффузией, и *бездиффузионные превращения*, происходящие без изменения химического состава и заключающиеся только в перестройке кристаллической решетки.

Структурные превращения, происходящие *при постоянной температуре*, называются *изотермическими,* а превращения, развивающиеся *при изменении температуры, – анизотермическими.*