

# Особенности металлургических процессов при сварке

При сварке плавлением под воздействием теплоты электрической дуги происходит образование сварочной ванны.

**Сварочная ванна** – это небольшой объем перегретого выше температуры плавления расплавленного металла, находящегося в контакте:

- сверху – с газовой атмосферой дуги;
- снизу – с твердым холодным основным металлом.

Сварочная ванна образуется в результате расплавления и перемешивания основного и электродного (или присадочного) металлов.

Химический состав сварочной ванны определяется химическим составом основного металла и химическим составом электродной проволоки.

Конечный состав шва формируется после протекания металлургических процессов в сварочной ванне в результате ее контакта с выделяющимися газами, шлаком и воздухом.

Металлургические процессы в сварочной ванне соответствуют закономерностям металлургии, но имеют свои особенности:

- 1 Высокая температура процесса (температура столба дуги составляет около 6000 °С), которая обуславливает:
  - Высокую скорость протекания физико-химических процессов, происходящих при расплавлении металла.
  - Оно вызывает также диссоциацию (распад молекул кислорода, азота и паров воды в объеме дуги). В атомарном состоянии распавшиеся молекулы обладают высокой химической активностью и интенсивно взаимодействуют с расплавленным металлом шва.
  - Высокая температура способствует выгоранию примесей, тем самым изменяет химический состав свариваемого металла.
- 2 Небольшой объем ванны расплавленного металла (при ручной сварке – 0,5...1,5 см<sup>3</sup>) не дает полностью завершиться реакции взаимодействия между жидким металлом, газами и расплавленным шлаком
- 3 Большие скорости нагрева и охлаждения. Они значительно ускоряют процесс кристаллизации шва, приводят к образованию закалочных структур, трещин и других дефектов.
- 4 Отвод теплоты из сварочной ванны в основной металл. В околошовном металле происходит изменение структуры металла, которое приводит к ослаблению шва.
- 5 Взаимодействие расплавленного металла с газами (кислород, азот, водород) и шлаками в зоне дуги.

При неправильном ведении процесса сварки водород образует пары в шве, кислород и азот ухудшают механические свойства металла.

Кислород попадает в зону сварки из окружающего воздуха, из влаги кромок свариваемого металла, из влаги флюсов, обмазки электродов, а также из самих материалов обмазки и флюсов (в них кислород находится в связанном состоянии в виде оксидов марганца и кремния).

Дополнительный источник кислорода и водорода — это **ржавчина, загрязнения и конденсирования влаги** на поверхностях проволоки и свариваемого металла.

# Основные реакции в зоне сварки

Рассмотрим взаимодействие расплавленного металла с газовой средой, и взаимодействие металла и шлака.

## 1 Взаимодействие расплавленного металла с кислородом, азотом, водородом

Взаимодействие металла с кислородом – это окисление.

Процесс нежелательный, но неизбежный.

Окисление может идти по двум направлениям:

- окисление основы сплава,
- окисление примесей содержащихся в стали.

### 1.1 Окисление основы сплава.

В случае со сталями – это окисление железа с образованием его оксидов.

В зоне дуги молекулярный кислород распадается с образованием атомарного кислорода. Диоксид диссоциирует с образованием углерода (образуется при распаде в дуге покрытий и флюса).

Кислород образует с железом три оксида:

- $\text{FeO}$  – закись железа (оксид двухвалентного железа);
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – оксид трехвалентного железа;
- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ,  $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  – оксид железа со слабыми кислотными свойствами.

При охлаждении стали оксиды выпадают из раствора в шлак, но при высоких скоростях охлаждения часть оксидов застревает в растворе, образуя шлаковые прослойки между зернами металла.

## 1.2 Окисление полезных примесей содержащихся в стали.

Это кремний, марганец, титан, хром, углерод и д.р.

Образуются оксиды этих металлов, которые не растворяются в железе. Они как бы «вынимаются» из состава стали и переходят в шлак.

Оксид углерода  $\text{CO}_2$  выделяется в атмосферу.

### Взаимодействие расплавленного металла с азотом.

Азот попадает в зону сварки из окружающего воздуха. В зоне сварки находится в молекулярном ( $\text{N}_2$ ) и атомарном ( $\text{N}$ ) состояниях и растворяется в металле шва.

При содержании азота свыше предела растворимости образуются химические соединения – нитриды.

Это нитриты: железа –  $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$ ;

марганца –  $\text{MnN}$ ;

кремния –  $\text{SiN}$ .

В легированных сталях – это нитриды легирующих элементов.

Азот является вредной примесью стали, т.к. снижает ее пластичность и вязкость (хотя и повышает твердость и прочность).

## Взаимодействие металла с водородом.

Водород в процессе сварки образуется во время диссоциации водяных паров при высокой температуре дуги. Водяные пары находятся во влаге покрытия электрода, во флюсе, в ржавчине и окружающем воздухе.

Водород (в молекулярном и атомарном состоянии) растворяется в железе. Растворимость зависит от температуры металла. При температуре 2400 °С насыщение металла водородом достигает максимума (43 см<sup>3</sup> на 100 г металла).

При высоких скоростях охлаждения водород не успевает полностью выделиться из металла и образует пористость металла шва и мелкие трещины в структуре металла, что редко снижает пластичность металла.

Кроме этого водород может образовать гидриды с некоторыми элементами из структуры металла: Ti, V, Nb.

*Для получения сварного шва высокого качества расплавленный металл сварочной ванны необходимо защищать.*

### **Способы защиты сварочной ванны:**

- Создание защиты дуги и ванны. Это покрытие электродов, флюсы, защитные газы, вакуум.
- Тщательная очистка свариваемой поверхности, проволока.
- Прокалка сварочных материалов и осушка защитных газов.
- Введение в состав сварочных материалов элементов – расширителей, которые могут связывать кислород, попавший в сварочную ванну с образованием не растворимых оксидов (для стали Mn, Si, Ti).
- Применение сварочных материалов с повышенным содержанием легкоокисляющихся элементов с учетом их выгорания при сварке.

## • ***II Взаимодействие расплавленного металла и шлака***

- Оно определяется составом шлака.
- Шлаки образуются в результате расплавления электродов или флюсов. Они состоят из смеси оксидов, фторидов, хлоридов различных элементов и чистых металлов.

В результате взаимодействия со шлаком происходит:

- Раскисление металла сварочной ванны.
- Удаление вредных примесей, путем связывания их в нерастворимые соединения и вывода их в шлак.
- Легирование шва для восполнения выгоревших при сварке элементов металла или придания шву специальных свойств.

Легирующие элементы это: Si, Mn, Cr, Mo, W, Ti вводят в состав электродных материалов, покрытий, флюсов в чистом виде или в виде химических соединений.

Во флюсе – это ферросплавы (ферросилиций, ферромарганец, феррохром, феррованадий и т.д.). Все три процесса носят положительный характер.

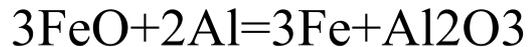
## Раскисление

Жидкий металл сварочной ванны раскисляют вводя в него элементы, имеющие большое сродство к кислороду: Al, Ti, Si, C, Mn.

Эти элементы вводят в сварочную ванну либо в виде электродной проволоки (или присадочного металла) либо электродного покрытия, либо флюса.

- Алюминий

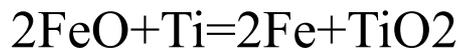
Раскисление протекает по реакции:



Где  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – тугоплавкий оксид, придающий стали склонность к образованию трещин. Поэтому алюминий как раскислитель применяется редко.

- Титан

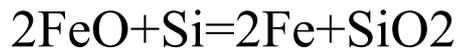
Раскисление титаном протекает по реакции:



Титан является активным раскислителем, т.к. кроме оксида  $\text{TiO}_2$  образует нитриды  $\text{TiN}$ , снижая содержание азота в металле.

- **Кремний**

Раскисление кремнием происходит по реакции:



Кроме того, протекает реакция образования силикатов:



где  $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  силикат оксида железа.

Силикаты не растворяются в железе и выходят в шлак.

- **Углерод**

Раскисление углеродом происходит по реакции:



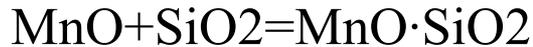
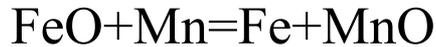
где  $\text{CO}$  – оксид углерода (моноокись углерода) не растворяется в стали и выделяется в виде пузырьков

При больших скоростях охлаждения  $\text{CO}$  не успевает выделиться из металла шва и образует в нем газовые поры.

Для предупреждения пористости в сварочную ванну вводят кремний в большом количестве, чтобы подавить раскисляющее действие углерода.

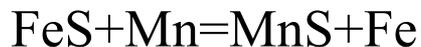
- **Марганец**

Самый распространенный раскислитель. Раскисление проходит по реакции:



Оксид марганца взаимодействует с оксидом кремния и образует нерастворимый в стали силикат марганца.

Кроме этого марганец способствует удалению серы из стали по реакции:



где MnS – сернистый марганец. Не растворяется в стали и выходит в шлак.

Вывод: металлургический процесс при сварке характеризуется тремя отрицательными процессами:

- Выгорание элементов из металла сварочной ванны.
- Насыщение расплавленного металла газами: водорода и азота.
- Окисление металла шва.

И двумя положительными процессами:

- Раскисление алюминия, титана, кремния, углерода, марганца.
- Легирование металла шва этими элементами.