



ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

(Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» // В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.;
Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. Шк., 1988. – 559 с.)

Автор: д. т. н. Лузан С.О.

**Лекция 14. Характеристика
металлургических процессов при
сварке плавлением
(тема «Металлургические процессы при
сварке плавлением»)**

План лекции

- 1. Типы сварочных ванн**
- 2. Перенос электродного металла в сварочную ванну**
- 3. Энергия Гиббса и учение о равновесии
в гомогенных системах**

1. Типы сварочных ванн

Различают сварочные ванны двух типов:

- 1) образующиеся при естественном охлаждении и формировании шва;
- 2) образующиеся при использовании искусственного охлаждения и принудительного формирования шва.

На рис. 1 показана ванна 1-го типа для ручной и автоматической дуговой сварки под флюсом.

При ручной дуговой сварке шов 1 формируется из расплавленного металла 2. И шов, и металл находятся под слоем шлака.

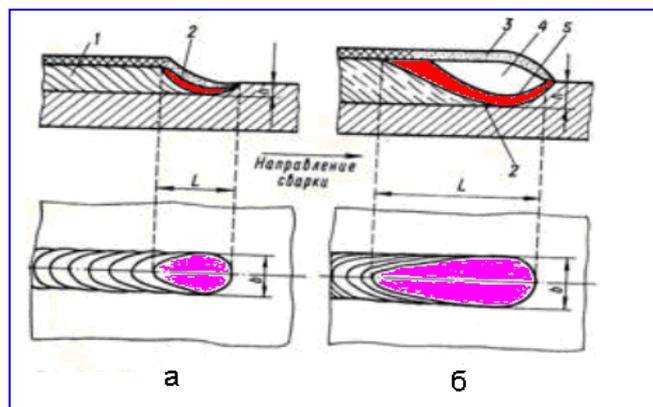


Рис. 1 – Сварочная ванна

При автоматической сварке дуга и ванна закрыты слоем флюса. Расплавленный слой флюса 3 образует полость – пузырь, охватывающий зону 4 сварки.

Для сварочной ванны этого типа характерны эллипсоидные очертания с различной степенью вытянутости вдоль продольной оси. Стенки ванны образует твердый оплавленный основной металл. Расплавленный металл 2, находящийся в начальный период ее существования, частично оттеснен от передней ее стенки к задней, вследствие чего образуется углубление, называемое кратером 5.

1. Типы сварочных ванн

Сварочная ванна 2-го типа

Сварочная ванна второго типа образуется при электрошлаковой сварке с принудительным формированием шва. Такая ванна заключена между свариваемыми кромками основного металла и охлаждающими стенками медных ползунов. Искусственное охлаждение ванны придает чашеобразную симметричную форму и весьма существенно влияет на процессы первичной кристаллизации жидкого металла. В отличие от ванны первого типа, здесь верхняя часть ванны в процессе ее перемещения все время находится в жидком состоянии, что создает благоприятные условия для более полного удаления из металла шлаковых включений и газов.

Ее отличительные особенности:

1. Ванна имеет значительно больший объем и, следовательно, металл дольше находится в расплавленном состоянии.
2. Температура ванны в различных ее участках почти одинакова и близка к температуре плавления металла.
3. Поверхность ванны полностью изолирована от контакта с газовой фазой, так как над ванной распложен значительный слой жидкого шлака.

2. Перенос электродного металла в сварочную ванну

Характер переноса существенно влияет на степень развития физико-химических процессов при взаимодействии металлической, шлаковой и газовой фаз, а также на устойчивость самого процесса сварки.

Через газовую среду электродный металл переносится в виде капель разного размера – диаметром от 6 – 7 мм до тысячных долей мм, а также в виде паров. Главные формы переноса: крупно- и мелкокапельный с короткими замыканиями дугового промежутка, капельный без короткого замыкания, струйный.

2. Перенос электродного металла в сварочную ванну

Процесс крупнокапельного переноса в общем случае включает следующие моменты:

- а, б – образование капли на торце электрода;
- в – появление шейки на стыке жидкого металла с твердым металлом электрода;
- г – замыкание капель дугового промежутка;
- д – разрыв образованного мостика и возникновение дуги.

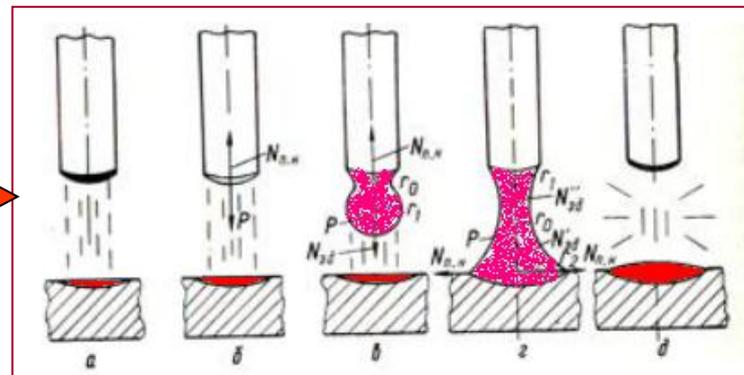


Рис. 2 – Схема образования капли и переноса ее в сварочную ванну.

2. Перенос электродного металла в сварочную ванну

В период формирования капли на нее действуют несколько сил:

Сила тяжести P способствует отрыву капль при сварке в нижнем положении и противодействует отрыву при потолочной сварке.

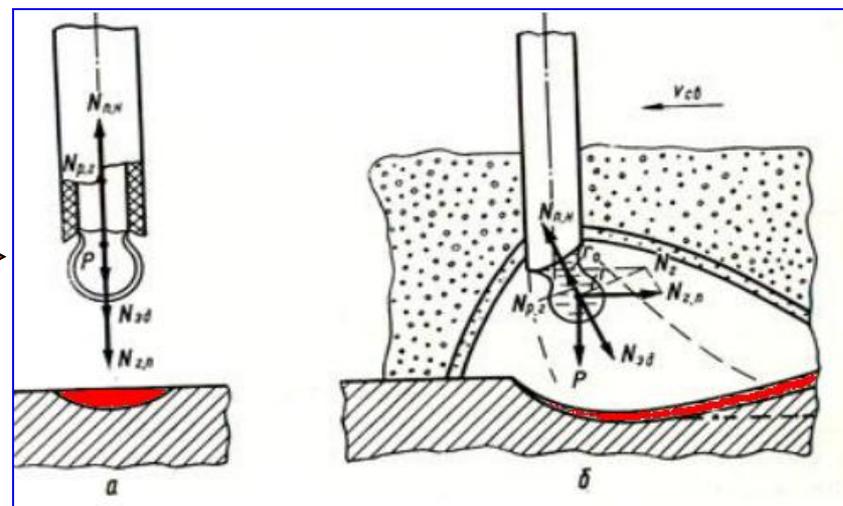


Рис. 3 – Схема действия сил на формирующую каплю.

Электродинамические силы $N_{эд}$ являются результатом наличия вокруг электрода при протекании по нему тока магнитного поля, оказывающего сжимающее действие на электрод (пинч-эффект). В результате появляется дополнительная продольная сила $N_{доп}$, направленная от меньшего сечения капли радиусом r_0 , к большему с радиусом r_1

Результирующая электродинамическая сила, направленная вдоль оси электрода в сторону ванны:

$$N_{эд} = 1,02 \cdot 10^{-5} I^2 \ln(r_1/r_0) \text{ дин.}$$

При замыкании капель дугового промежутка, когда напряжение падает, а ток резко возрастает, эта сила также интенсивно увеличивается, но оказывается направленной от центра мостика вверх и вниз. Действующая вниз сила будет больше силы, направленной вверх, так как поверхность ванны значительно больше, чем поверхность электрода. Поэтому электродинамическая сила действует в направлении отрыва капли, вытягивает ее и заставляет перемещаться вдоль оси дуги в сварочную ванну.

Сила поверхностного натяжения $N_{п.н}$ в процессе формирования капли удерживает ее на торце электрода. При замыкании капель дугового промежутка поверхностное натяжение металла ванны втягивает каплю и тем способствует отрыву ее от торца.

При сварке толстопокрытыми электродами к главным силам добавляется сила $N_{г.п}$ давления газового потока и сила реакции газов $N_{р.г.}$, выделяющихся из капли. При этом плавление обмазки несколько отстает от плавления стержня и на торце электрода появляется своеобразная «трубка» или «kozyрек». Выделяющиеся газы (CO_2 , H_2 , CO , O_2 и др.) нагреваются, расширяются и устремляются в виде прямолинейного потока к сварочной ванне. Так как газовый поток симметричен относительно столба дуги, капля формируется в центре торцевой поверхности электрода.

При автоматической сварке под флюсом на каплю действуют те же с **3, 6** но несколько меняется направление и величина некоторых из них (рис. 4.2,б).

2. Перенос электродного металла в сварочную ванну

Главной силой, удерживающей каплю на электроде, является сила поверхностного натяжения. Удельное поверхностное натяжение для различных металлов различно и зависит от их природы. Некоторые вещества, такие как углекислые соли щелочных щелочноземельных металлов, свободный кислород и др. обладают способностью заполнять свободные связи на поверхности жидкости и тем самым уменьшать силы поверхностного натяжения. С увеличением температуры расплавленного металла поверхностное натяжение также несколько снижается.

Увеличение сварочного тока значительно влияет на силы отрыва:

1. Растут электродинамические силы $N_{эд}$;
2. Увеличивается сила $N_{г.п.}$ давления газовых потоков;
3. Нарастают процессы газообразования в капле и испарения.

Установлено значительное влияние на размер переносимых капель плотности тока в электроде. При некотором его значении, называемом критическом, капельная форма переноса переходит в струйный. Подобная форма переноса наблюдается в аргоне и его смеси с кислородом. Переход от капельного переноса к струйному объясняется увеличением диаметра столба дуги, когда активное пятно охватывает боковую поверхность электрода. Тогда конец электрода заостряется, капля вытягивается в конус и возникает струйный перенос.

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Энтропия как термодинамическая функция может указывать своим изменением направление самопроизвольно протекающих процессов, а также стремление системы к состоянию равновесия:



$$ds \rightarrow 0; s \rightarrow s_{\max} \text{ при } U = \text{const}, v = \text{const}$$

где U - внутренняя энергия системы; v - объем

Для физико-химических процессов условие постоянства внутренней энергии очень неудобно, так как при химических реакциях или фазовых превращениях она неизбежно изменяется.

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Большинство металлургических процессов совершаются при постоянном давлении и температуре, поэтому для исследования условий равновесия металлургических реакций будем использовать функцию G — энергию Гиббса, которую сам автор назвал термодинамическим потенциалом (1):

$$\begin{aligned} G &= U - Ts + pV; \\ dG &= dU - Tds - sdT + pdv + vdp \end{aligned} \quad (1)$$

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Так как $Tds = dQ = dU - pdv$, подставляя это значение, получим

$$dG = -sdT + vdp \quad (2)$$

Следовательно, для обратимого процесса при условии $T = const$ и $p = const$

$$dG \rightarrow 0; G \rightarrow G_{\min} \quad (3)$$

Стремление энергии Гиббса G к минимальному значению (условие экстремума) указывает на приближение системы к равновесию при постоянной температуре и постоянном давлении, т. е. в условиях, приемлемых для исследования металлургических процессов.

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Для обратимого процесса или равновесия значения частных производных будут:

$$\left. \begin{aligned} dG &= -s dT + v dp; \\ \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p &= -s; \quad \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T = v. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Таким образом, энергия Гиббса может быть рассчитана на 1 моль вещества, так же как и энтропия, так как v представляет собой молярный объем при данных условиях.

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Энергия Гиббса системы, состоящей из многих компонентов, будет зависеть от их концентрации или активности, а также от возможного взаимодействия между ними. Полный дифференциал энергии Гиббса в этом случае будет:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p dT + \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T dp + \left(\frac{\partial G}{\partial n_1} \right) dn_1 + \left(\frac{\partial G}{\partial n_2} \right) dn_2 + \dots, \quad (5)$$

где n_1 , n_2 и т. д. — числа молей компонентов в системе.

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Если положить значение частной производной $(\partial G/\partial n_i)=\mu_i$, то получим новую функцию — химический потенциал, зависящий от p и T , а также от состава системы или активной концентрации данного компонента.

В этом случае условие равновесия можно записать так:

$$\sum_{i=1}^k \mu_i dn_i = 0 \quad (6)$$

или, вводя коэффициенты уравнения химической реакции,

$$\sum_{i=1}^k \mu_i \nu_i = 0 \quad (7)$$

Таким образом, условие обратимого равновесия должно соответствовать и постоянному составу системы, в которой все изменения должны быть взаимно компенсированы.

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Соотношения рассмотренных функций для термодинамических систем удобно представить в виде следующей схемы, предложенной В. А. Киреевым:



Энтальпия или энергосодержание H		
Внутренняя энергия U		pV
Ts	Свободная энергия F	pV
Ts	Энергия Гиббса G	

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ГИББСА И УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ

Обычно энергию Гиббса выражаем сокращенно:

$$G = H - Ts,$$

так как $U+pv$ представляет собой уже известную функцию — энтальпию H (см. схему на слайде 16).

Для чистых веществ энергия Гиббса будет равна $G = H - Ts$, и величины, входящие в это уравнение, можно считать известными. Используя эти данные, можно вести расчет фазовых превращений, так как энергии Гиббса для условия равновесия должны быть равны между собой, а разность между ними обращается в нуль:

$$\Delta G = -G_1 + G_2 = 0$$

3. Энергия Гиббса и учение о равновесии в гомогенных системах

Расчет химических равновесий в гомогенной среде

Гомогенной называется система, в которой отсутствуют границы раздела, делящие ее на отдельные части, и частицы всех веществ, составляющих эту систему, находятся в одинаковых условиях теплового движения. Такие системы представляют собой, например, газовые смеси или растворы.

Общее условие равновесия — равенство нулю изменения энергии Гиббса:



$$dG=0; \Delta G = 0.$$

Задание для самостоятельного изучения:

Стандартное изменение энергии Гиббса

Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» // В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.;
Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. Шк., 1988. – (С. 272-273 с.)





Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лузан Сергей Алексеевич

E-mail: khadi.luzan@gmail.com

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Тел. 097-174-19-15