

ДВИЖЕНИЕ ДУГИ В УЗКОМ ЗАЗОРЕ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ НЕПОДВИЖНЫМ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

И. В. Зуев, В. Ф. Кубарев, В. О. Бушма, Р. В. Родякина

Московский энергетический институт — Технический университет, Москва, Россия

Даны некоторые численные оценки явлений, происходящих при ДС НПЭ. Получено кинематическое соотношение, позволяющее определить скорость движения дуги на практике. Приведены рекомендации по выбору источников питания для данного вида сварки.

Для сварки по всей поверхности стыка изделий, имеющих большую площадь поперечного сечения, в Московском энергетическом институте был предложен высокоэффективный способ дуговой сварки неподвижным плавящимся электродом (ДС НПЭ) [1—3], представляющий собой саморегулируемый электродуговой переплав.

Дуговая сварка НПЭ реализуется [2] по схеме, приведенной на рис. 1. Плавящийся электрод 1 в виде пластины требуемой толщины с нанесенным слоем диэлектрического покрытия помещают в зазор между соединяемыми поверхностями деталей 2, 3. Электрическую дугу 5 зажигают между нижней поверхностью электрода и деталями, подключенными к разным полюсам источника питания. Расплавленный металл с электрода переносится вниз, образуя жидкую ванну, удерживаемую от вытекания из стыка с помощью подкладки 4 либо за счет сил поверхностного натяжения. По мере расплавления электрода происходит движение дуги в плоскости ZX электрода. В зависимости от соотношения размеров изделия характер движения дуги изменяется.

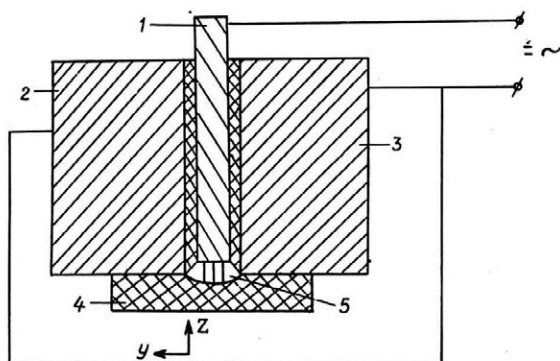


Рис. 1. Схема ДС НПЭ

Для построения математических моделей процесса необходимо сделать некоторые численные оценки явлений, происходящих при ДС НПЭ. На основании скоростной киносъемки можно заключить, что дуга движется относительно фронта плавления электрода, с которого происходит массоперенос расплава в сварочную ванну. Зная плотность тока в активном пятне j_a (справочные данные), можно оценить площадь активного пятна $S_a = \frac{I_g}{j_a}$, где I_g — ток сварки. Имеет место неравенст-

во $S_3 > S_a$, где S_3 — площадь поверхности фронта плавления, определяемая экспериментально. Это подтверждает, что дуга при горении должна двигаться относительно фронта плавления электрода. Скоростная киносъемка (500 кадр./с) показывает, что движение дуги по фронту плавления носит практически непрерывный периодический характер и отличается значительной неравномерностью. Так, для электрода шириной $b = 50$ мм период движения дуги вдоль фронта плавления в процессе сварки изменяется в диапазоне $2 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-2}$ с.

Оценим среднюю скорость перемещения дуги $\vec{v}_{отн}$ относительно фронта плавления для установившегося режима сварки по форме фронта плавления электрода (рис. 2). Для процесса в целом можно записать

$$v_{св} = \frac{l}{t_{св}},$$

где l — длина электрода;
 $v_{св}$ — скорость сварки.

Форма фронта плавления определяется условиями теплообмена, размерами электрода и режимов сварки. Относительно изделия (относительно системы координат XY) фронт плавления движется со скоростью сварки $v_{св}$.

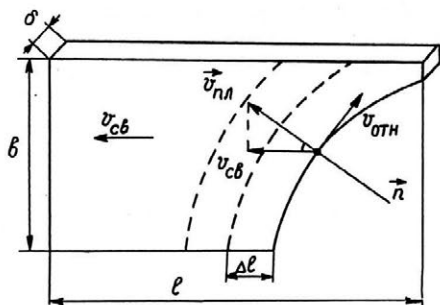


Рис. 2. Фронт плавления электрода

Пусть Δl — толщина одного слоя металла, расплавляемого дугой за один период T (время прохода снизу вверх и обратно). По физическому смыслу процесса плавления скорость плавления $\vec{v}_{пл}$ перпендикулярна фронту плавления. Ее величина равна скорости перемещения фронта плавления относительно системы XY в направлении нормали \vec{n} к фронту плавления

$$v_{пл} = \frac{\Delta l}{T}.$$

В направлении оси X составляющая этой скорости численно равняется скорости сварки $v_{св}$, т. е.:

$$v_{св} = v_{пл} \cos \alpha = \frac{\Delta l}{T} \cos \alpha,$$

где α — угол между нормалью к фронту плавления и скоростью сварки.

Исключая скорость сварки, получаем толщину слоя Δl , расплавляемого за один период колебания дуги

$$\Delta l = \frac{lT}{t_{св} \cos \alpha}, \quad (1)$$

где $t_{св}$ — время сварки всего образца.

Элементарный объем, расплавляемый за один период дуги, составляет

$$\Delta V = S_{отн} b = \Delta l \delta b.$$

Зная длину оплаваемого дугой фронта S и период дуги T , можно найти среднюю относительную скорость дуги при движении по оплаваемому фронту

$$v_{\text{отн}} = \frac{2S}{T}.$$

Учитывая, что

$$\Delta V = \Delta l \delta b = \Delta l \delta \frac{v_{\text{отн}} T}{2} \cos \alpha$$

и представляя массу электрода в виде

$$m_{\text{эл}} = \rho \cdot l \cdot \delta \cdot b,$$

где ρ — плотность;

l — длина;

δ — толщина;

b — высота,

или в виде

$$m_{\text{эл}} = \rho \Delta V N = \rho \Delta l \delta \cdot \frac{v_{\text{отн}} T}{2} \cos \alpha N,$$

где N — число проходов дуги,

получим, подставляя значение из (1):

$$\rho l \delta b = \rho \Delta l \delta \frac{v_{\text{отн}} T}{2} \cos \alpha N,$$

$$\text{откуда } v_{\text{отн}} = \frac{2lb}{\Delta l T \cos \alpha N} = \frac{2b}{T}.$$

Таким образом, мы получили кинематическое отношение, позволяющее определить скорость дуги на практике, зная ширину электрода b и период осцилляций дуги T . Период колебаний T можно определить, используя паз небольшой ширины и глубины на поверхности свариваемого изделия. При этом дуга, проходя по месту паза, увеличивает свою длину, что отражается на увеличении напряжения, фиксируемого с помощью осциллографа. Период T зависит от геометрических размеров электрода, состава покрытия, теплофизических свойств свариваемых материалов, режима сварки. Для используемых образцов из низколегированной стали $b = 50$ мм,

$$T \cong \frac{1}{75} \text{ с}, l = 140 \text{ мм}, t_{\text{св}} = 17 \text{ с}, v_{\text{отн}} \cong 7,5 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{св}} = \frac{l}{t_{\text{св}}} = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

Можно записать $v_{\text{отн}} \gg v_{\text{св}}$, т. е. скорость движения дуги много больше скорости сварки. Значительная скорость дуги относительно фронта плавления накладывает дополнительные требования на источник питания для ДС НПЭ. Рассмотрим это.

Как известно, напряжение на дуге определяется соотношением

$$U_{\text{д}} = U_{\text{к}} + U_{\text{а}} + U_{\text{с}},$$

где $U_{\text{к}}$, $U_{\text{а}}$, $U_{\text{с}}$ — соответственно падения напряжения на катодной, анодной областях и столбе.

В мощных дугах высокого давления (типа сварочных) имеет место сравнительно низкое анодное напряжение порядка нескольких вольт [4]. Если в первом приближении принять, что падение напряжения на катодной области заключено в интер-

вале $\frac{U_d}{3} < U_k < \frac{U_d}{2}$, то для элементарного акта плавления электрода пластины можно записать соотношение

$$U_k I_d \Delta t = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (2)$$

где Δt — время, в течение которого происходят нагрев и расплавление некоторой массы электрода Δm и переход активного пятна по фронту плавления электрода;

Q_1 — энергия, затраченная источником питания на нагрев массы Δm до температуры плавления;

Q_2 — энергия, необходимая для плавления массы Δm ;

Q_3 — потери источника на теплопроводность.

Каждую из определенных величин можно записать:

$$\Delta m = \rho \Delta V,$$

где ρ — плотность материала электрода;

ΔV — объем, расплавляемый за элементарный акт плавления.

$$\Delta V = S_a \Delta l,$$

где S_a — площадь активного пятна;

Δl — толщина слоя металла, расплавляемого дугой за время Δt .

$$Q_1 \approx c \Delta m T_{пл},$$

где c — объемная теплоемкость материала электрода;

$T_{пл}$ — температура плавления материала электрода.

$$Q_2 \approx \Delta H \Delta m,$$

где ΔH — скрытая теплота плавления электрода.

$$Q_3 \approx \lambda \frac{T_{пл}}{\Delta l} \Delta t S_a,$$

где λ — коэффициент теплопроводности электрода.

Подставив в (2), получим:

$$\Delta t \approx \frac{\Delta m (c T_{пл} + \Delta H)}{U_k I_d - \lambda S_a \frac{T_{пл}}{\Delta l}} = \frac{\rho S_a \Delta l (c T_{пл} + \Delta H)}{U_k I_d - \lambda S_a \frac{T_{пл}}{\Delta l}}.$$

Если рассмотреть стандартный режим $U_g = 30$ В, $I_g = 550$ А, используя экспериментальные данные $S_a \sim 6$ мм², $\Delta l \sim 0,1$ мм, а также справочные данные для ΔH , $T_{пл}$, c , λ , ρ , получим для элементарного акта плавления соотношение: $8 \cdot 10^{-4}$ с < $\Delta t < 1,3 \cdot 10^{-3}$ с. (Следует заметить, что расчет выполнен без учета потерь на испарение материала электрода.)

Известно, что сварочные выпрямители обладают рядом преимуществ по сравнению с электромашинными преобразователями и считаются более перспективным типом источников питания [5]. Как правило, в современных источниках для сварки используются выпрямленные (трех- или шестифазные) напряжения и токи. При этом для уменьшения пульсаций напряжения и тока применяют сглаживающий дроссель. При сварке на больших токах ($I \geq 500$ А) величина пульсаций тока превышает 20 % от полной амплитуды (пульсация измеряется по двойной амплитуде от пика до пика). Для традиционных видов сварки (РДС, АДСФ) такая величина пульсаций существенного влияния на качество сварных соединений не оказывает, так как скорость движения дуги регулируется в зависимости от условий сварки и

требований к качеству сварных соединений. Поэтому величина пульсаций не оговаривается в паспортах и ТУ на сварочные источники. Дуговая сварка неподвижным плавящимся электродом существенно отличается от традиционных видов сварки. Как было показано, скорость движения дуги при ДС НПЭ значительна. В связи с этим возникают новые требования, предъявляемые к современным сварочным источникам для ДС НПЭ, в частности, требование к величине пульсаций сварочного тока и напряжению.

Рассмотрим два случая:

а) $\Delta t \geq T_p$, где T_p — период пульсаций мгновенной мощности. Очевидно, что при таком соотношении пульсации мгновенной мощности не оказывают влияния на скорость оплавления изолированного электрода, т. к. при осреднении получается одинаковая энергия для каждого элементарного акта плавления;

б) $\Delta t < T_p$ (при шестифазном выпрямлении $T_p = 3,3 \cdot 10^{-3}$ с). Это соответствует нашему случаю.

При таком соотношении на время пульсации происходит остановка движения дуги, и электрод-лента плавится неравномерно, что подтверждают скоростная съемка и форма оплавления электрода.

Перенос металла в сварочную ванну происходит также неравномерно. В этом случае пульсации мощности можно рассматривать как источник, возмущающий нормальный процесс сварки, что, при определенных условиях, может служить одной из причин возникновения сварочных дефектов (пор).

На основании вышесказанного, для ДС НПЭ необходимо использовать источники с низким уровнем пульсаций мгновенной мощности, что существенно улучшит качество сварных соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зув И. В. и др. Сварка металлов объемной дугой. Кинетика процесса // Сб. науч. тр. МЭИ. Высокоэффективные технологии обработки материалов в энергетике.-М.: Моск. энерг. ин-т. 1989. № 207. С. 5—9.
2. Артеменко А. И., Зув И. В., Селищев С. В. и др. Самоподдерживающийся электродуговой переплав металлов // ДАН СССР. 1989. Т. 309. № 6. С. 1368—1371.
3. Зув И. В., Трофимов А. Д., Эстрова Е. Н. Сварка плавлением по способу МЭИ // Сварочное производство. 1988. № 8. С. 48.
4. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга.— М.: Машиностроение, 1970. С. 334.
5. Потатьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом.— М.: Машиностроение, 1974. С. 239.

THE MOVEMENT OF ELECTRIC ARC IN A NARROW CLEARANCE IN THE PROCESS OF ARC WELDING OF METALS BY MEANS OF STATIONARY MELTABLE ELECTRODE

I. V. Zuev, V. F. Kubarev, V. O. Bushma, R. V. Rodyakina

Moscow Power Engineering Institute — Technical University, Russia

The high effective method of arc welding by means of stationary meltable electrode was worked out in Moscow Power Engineering Institute. This method is self-regulating electrical arc melting process and it is used for welding of the details with large area of cross-section along the whole surface of the joint. In this article some numerical estimations of the phenomena, taking place during the process of arc welding, were made. The kinematical correlation, which allowed to estimate the speed of arc's movement practically, was received. There were made some recommendations on tension source's selection for this type of welding.