

## ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА СВАРОЧНОЙ ВАННЫ ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ

А.Г. Крампит, к.т.н., доцент, А.В. Дмитриева, студент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Вопросы формирования сварного соединения тесно связаны с необходимостью изучения процессов движения расплавленного металла в сварочной ванне. Исследователи, занимающиеся вопросами формирования сварного шва, предлагают различные модели поведения жидкого металла в сварочной ванне [1–4]. Быстрое протекание процессов, высокая температура и значительное излучение при сварке обуславливают сложность, а порой и невозможность прямого изучения реальных процессов без дополнительного исследовательского оборудования. Изменение поверхности сварочной ванны, на основе которой можно судить о схеме движения жидкого металла, можно исследовать по кинограммам скоростной киносъемки [5]. Проблемы изучения формирования сварного шва не потеряли своей актуальности и в настоящее время [6,7].

На основе анализа кинограмм процесса импульсно-дуговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом показаны исследования по движениям поверхности сварочной ванны. Для выявления особенностей движения жидкого металла сварочной ванны при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе плавящимся электродом были рассмотрены в совокупности процессы плавления электродного металла, переноса капли в сварочную ванну и поведение расплава сварочной ванны (рис. 1).

Во время паузы сварочный ток находится в пределах 10-50 А, поэтому на поверхность сварочной ванны воздействует сварочная дуга, площадь и сила давления которой не велики. В результате поверхность сварочной ванны имеет небольшое углубление под дугой. При нарастании сварочного тока столб дуги расширяется. Перенос капель расплавленного электродного металла с торца электрода в сварочную ванну осуществляется при наложении на дугу мощных импульсов тока, во время которых происходит расширение столба дуги. Это вызывает появление осевой составляющей электродинамической силы, которая, втягивая каплю с торца электрода в сварочную дугу, способствует отрыву капли и соосному переходу ее в сварочную ванну.

С увеличением сварочного тока возрастает воздействие сварочной дуги на поверхность сварочной ванны. Жидкий металл сварочной ванны, вытесняясь из-под дуги, начинает движение в хвостовую часть ванны. В переднюю часть сварочной ванны поток расплавленного металла или значительно снижается, или совсем прекращается. При небольших размерах головной части расширяющийся столб дуги захватывает почти всю фронтальную часть сварочной ванны. Столб дуги расширяется, и происходит его углубление в сварочную ванну. Центр капли практически не перемещается. Дуга при расширении захватывает нижнюю часть капли. При этом длина дуги в верхней части изменяется на 1-2мм или  $\frac{1}{2}$  диаметра капли электродного металла. Далее капля немного деформируется, отгесняясь вверх по электроду.

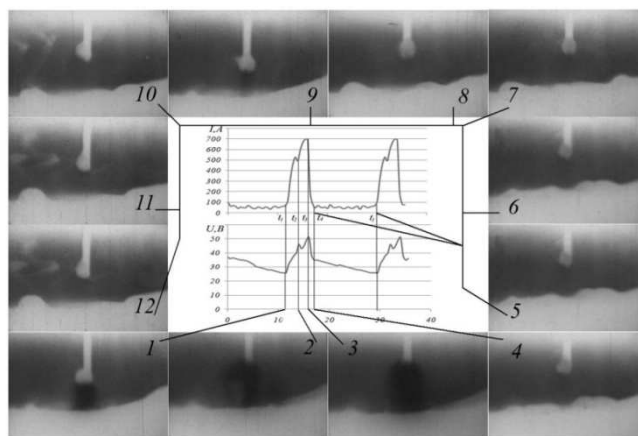


Рис. 1. Осциллограмма и кинограммы процесса плавления, переноса электродного металла и движения жидкого металла сварочной ванны при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе в нижнем положении (скорость съемки 2980 кадр/сек):

$t_1$  – начало импульса;  $t_2$  – момент отрыва капли электродного металла;

$t_3$  – касание капли сварочной ванны;  $t_4$  – начало паузы

График перемещения точек поверхности сварочной ванны относительно начальных координат с течением времени в импульсе (на интервале времени  $t_1-t_2$ ) приведен на рисунке 2.

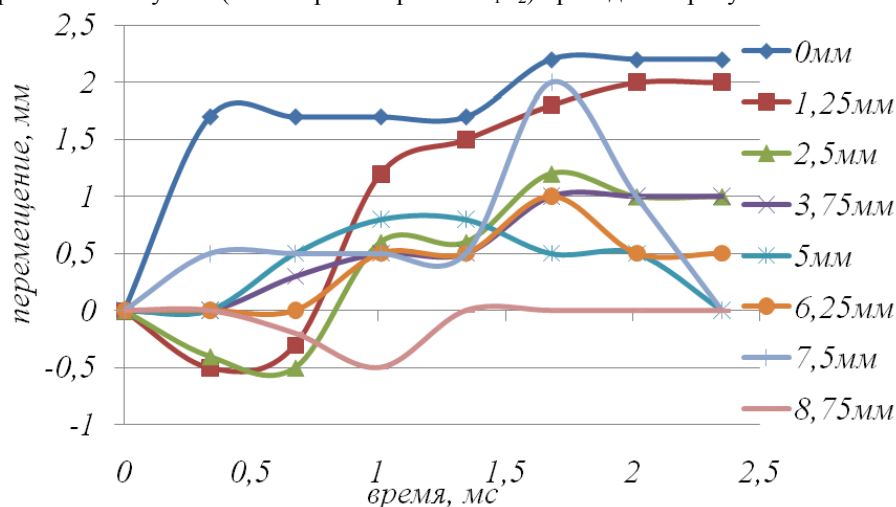


Рис. 2. Перемещение поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат

Из-под дуги движется волна в хвостовую часть, наибольший подъем который (до 0,6 мм) наблюдается на расстоянии от электрода 1,25 мм и 2,5 мм. По мере удаления волны в хвостовую часть скорость движения замедляется. С нарастанием импульса и появлением волны из-под дуги возникает подъем сварочной ванны в хвостовой части на протяженности 8,75 мм от центра через 1 мс. Наибольшее углубление (видимое) наблюдается под дугой. По мере увеличения силы тока и соответственно диаметра столба дуги жидкий металл вытесняется в головную и хвостовую части, и через 1 мс наибольший подъем наблюдается на расстоянии 1,25 мм. Чем дальше от электрода, тем в большей степени проявится углубление после прохождения волны и возврата её в исходное положение.

В головной части сварочной ванны наблюдается также движение поверхности, которое представлено графически на рисунке 3.

Наибольший подъем в головной части наблюдается на расстоянии 2,5 мм от электрода. Перемещение поверхности под дугой и на расстоянии 1,25 мм в головной части практически идентичны движению на данном расстоянии в хвостовой части. При дальнейшем удалении от электрода до начала головной части сварочной ванны наблюдаются колебания поверхности примерно одинаковой частоты и амплитуды с небольшим усилением к фронтальной части сварочной ванны. Через 1 мс видно уменьшение уровня сварочной ванны, синхронное с частотой колебания сварочной ванны в головной части.

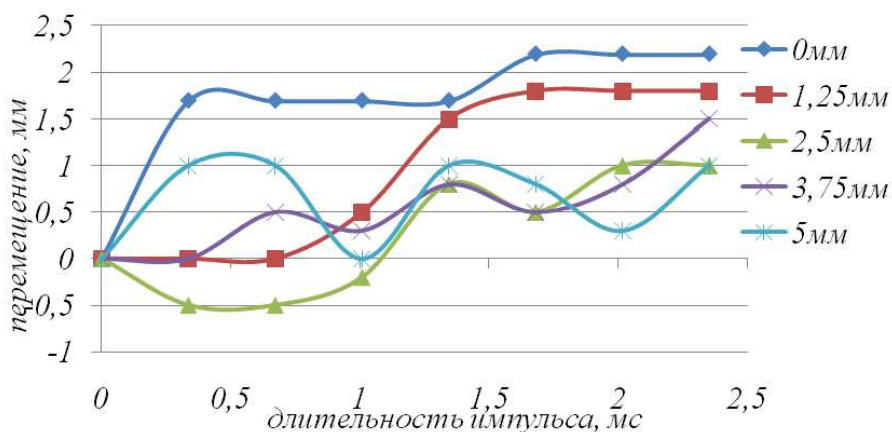


Рис. 3. Перемещение поверхности сварочной ванны в головной части относительно начальных координат

Момент времени  $t_2$  (см. рис. 1.), т.е. момент отрыва капли характеризуется всплеском напряжения на дуговом промежутке. Дуга скачкообразно удлиняется. При этом хорошо видна перемычка жидкого металла между каплей и торцом электрода, а также дуга, охватывающая эту перемычку. На интервале переноса «капли» в сварочную ванну она сильно деформирована и вытянута в направлении ванны, поэтому правильнее будет сказать перенос электродного металла. Скорость перехода электродного металла составляет примерно 3 м/с. Длина «капли» (электродного металла) превышает видимую часть дуги, находящуюся над краем сварочной ванны.

Графики перемещения точек поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат на интервале отрыва капли  $t_2$ - $t_3$  представлены на рисунке 4.

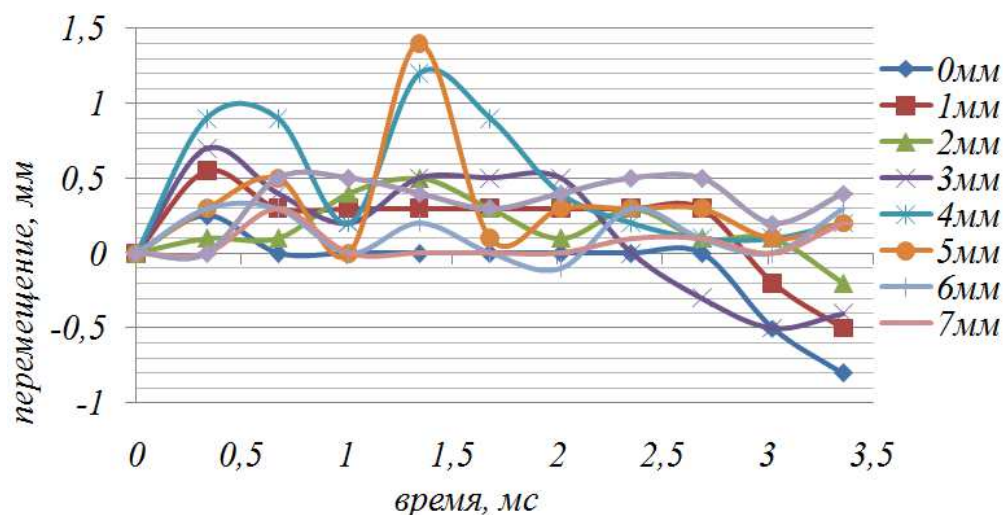


Рис. 4. Перемещение поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат

Наибольшее перемещение наблюдается на расстоянии от 3мм до 5мм от электрода. После времени 1,5 мс видно повышение уровня жидкого металла сварочной ванны, вследствие контакта капли электродного металла с поверхностью сварочной ванны. После времени 2,5 мс происходит повышение общего уровня сварочной ванны, связанное с уменьшением сварочного тока (на спаде импульса). Движение металла в головной части представлено графически на рисунке 5. Перемещение точек поверхности сварочной ванны не велико и не превышает в среднем 0,5 мм.

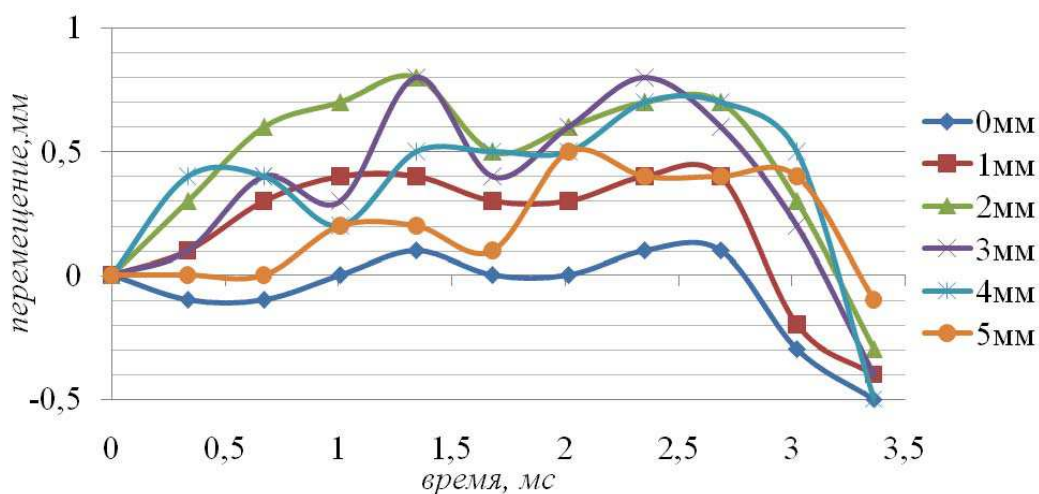


Рис. 5. Перемещение поверхности сварочной ванны в головной части относительно начальных координат на интервале  $t_3$ - $t_4$

На интервале паузы жидкий металл из хвостовой части обратной волной возвращается под дугу, часть металла под действием сил инерции перемещается в головную часть, где количество расплавленного металла возрастает до максимального значения. Горб, образованный в головной части спадает. Одновременно с этим происходит колебание с большей частотой (примерно в 3 раза) в хвостовой части. Перемещение точек поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат на интервале паузы представлено на рисунке 6.

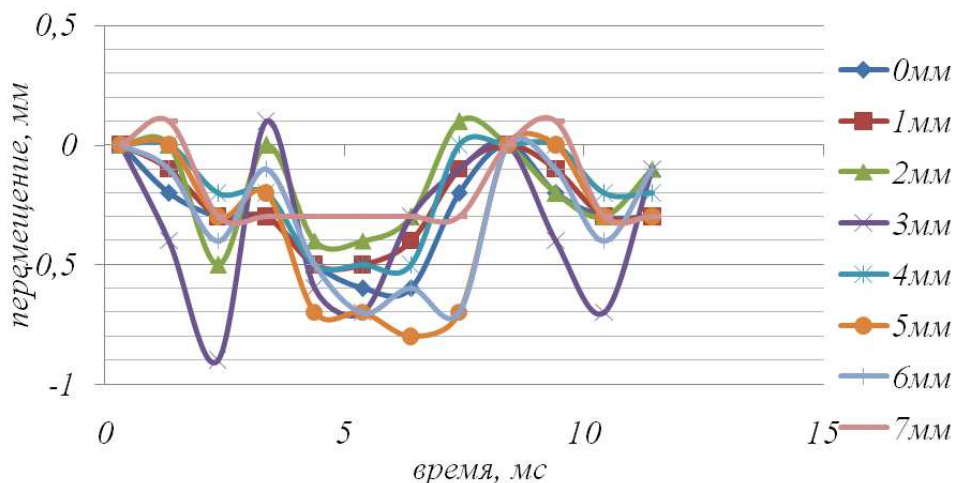


Рис. 6. Перемещение поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат на интервале времени  $t_4-t_1$

Движение металла в хвостовой части носит периодический характер, совпадающий по времени с началом колебаний. Суммарное перемещение точки относительно начальной координаты не превышает 1 мм. Наибольшее колебание наблюдается на расстоянии от 3 мм до 5 мм, что соответствует центру хвостовой части сварочной ванны в паузе. Большая периодичность движения жидкого металла вызвана меньшим углом фронта кристаллизации и большей протяженностью хвостовой части.

Перемещение точек поверхности сварочной ванны в головной части относительно начальных координат на интервале паузы представлено на рисунке 7.

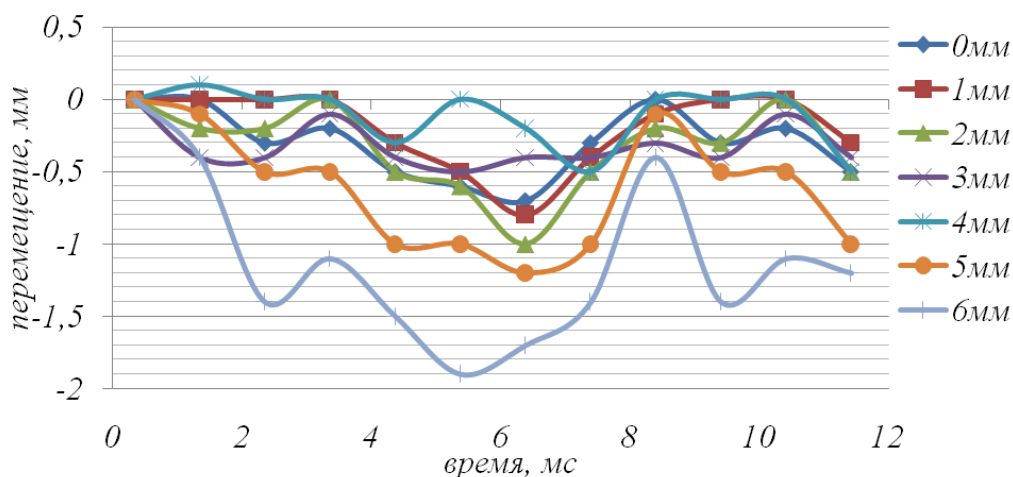


Рис. 7. Перемещение поверхности сварочной ванны в головной части относительно начальных координат на интервале времени  $t_4-t_1$

Наибольшее перемещение наблюдается возле фронта головной части сварочной ванны. Амплитуда колебаний достигает в видимой части 2 мм. Следует отметить, что при 2 мс и 8 мс направления движения поверхности в головной и хвостовой частях совпадают.

В паузе после возвращения жидкого металла из хвостовой части колебания поверхности направляются от краев к центру и затем – обратно.

#### **Вывод**

Жидкий металл сварочной ванны при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе плавящимся электродом совершает колебательные движения. Частота колебаний ванны зависит от частоты накладываемых импульсов, а амплитуда колебания – от длительности и амплитуды импульса. Поведение ванны носит более определенный характер, а именно жидкий металл совершает замкнутое вращательное движение, которое можно описать следующим образом:

- из-под столба дуги вдоль плоскости кристаллизации (вдоль фронта кристаллизации) (по дну сварочной ванны) перемешиваясь с основным металлом и кристаллизуясь (отдельным слоем), часть металла возвращается по поверхности сварочной ванны;

-вдоль зоны расплавления и возвращаясь под столб дуги;

- во время действия импульса из-под дуги на кромки и в паузе обратно под столб дуги.

Литература.

1. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение. 1989. – 264 с.
2. Акулов А.И., Чернышов Г.Г., Доронин Ю.В., Сас А.В., Чернов А.В. Влияние гидродинамических явлений в сварочной ванне на формирование стыковых швов при сварке плавящимся электродом. // Известие Вузов. М.:Машиностроение – 1978. – №7. – С.135-140.
3. Размышляев А.Д. Исследование потоков жидкого металла в ванне при дуговой сварке. // Сварочное производство. – 1985. – №10. – С. 34-35.
4. Столбов В.И. Сварочная ванна: Монография. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 147 с.
5. Knyaz'kov A.F., Krampit A.G., Krampit N.Yu. Controlling the droplet transfer process in CO<sub>2</sub> welding with a long arc // Welding International. – 2008. – Vol. 8. – P.534-536.
6. Kuznetsov M.A., Zhuravkov S.P., Zernin E.A., Kolmogorov D.E., Yavorovskiy N.A Influence of nanostructured powder modifiers on the structure of a welding bead // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 872. – P. 118-122.
7. Kuznetsov M.A., Zernin E.A., Danilov V.I., Karzev D.S. Application of nanostructured powders to control characteristics of electrode metal transfer and the process of weld structurization // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 199-203.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДНОГО ЗНАЧЕНИЯ СВАРОЧНОГО ТОКА ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ**

*Н.Ю. Крампит, к.т.н., доцент, М.А. Крампит, студент, Н.В. Связина, студент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

В настоящее время для управления процессом плавления и переноса электродного металла при сварке в защитных газах применяют два метода: пассивный и активный. Для пассивного управления процессом каплепереноса электродного металла применяют следующие способы: активацию электродной проволоки, внесение в зону сварки нанокомпонентов [1], применение смеси газов [2,3]. Для активного управления процессом каплепереноса электродного металла при сварке в защитных газах применяют различные способы управления, а именно, наложение внешнего магнитного поля [4,5], программирование скорости подачи электрода [6-8], импульсная подача газа(ов) [9,10], импульсное изменение тока [11-13], комбинированные способы [14].

Импульсно-дуговая сварка с управляемым переносом электродного металла характеризуется большим числом параметров режима, чем сварка стационарной дугой. Первостепенное значение для принудительного переноса имеют амплитуда, длительность и частота следования импульсов тока, изменяющихся в определенном диапазоне. Поэтому выбор оптимальных значений, указанных параметров, очень важен для разработки оборудования и технологии сварки.

На основе анализа условий для получения направленного переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке проведен расчет амплитудного значения сварочного тока.

В работе [15] на основе анализа теплофизических свойств защитных газов сделан вывод, что поперечные размеры столба дуги, горящей в углекислом газе меньше, чем у столба дуги в аргоне.