

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.

Размеры анодного пятна, расположенного на капле электродного металла, практически не зависят от состава среды защитного газа. В результате в зоне перехода анодного пятна в столб дуги наблюдается уменьшение площади поперечного сечения столба дуги в сравнении с анодным пятном. Это вызывает изменение направления действия электродинамической силы (ее направление - от меньшего сечения к большему). Капля электродного металла приподнимается над поверхностью сварочной ванны и оттесняется на боковую поверхность электрода. Наложение в этот момент импульсов сварочного тока приводит к тому, что капля отрывается, но ее перенос наблюдается не в столбе сварочной дуги, а на его периферии. Под действием плазменных потоков капля закручивается и выбрасывается за пределы сварочной ванны.

Исследования показали, что наложение импульса необходимо начинать на еще не сформированную каплю электродного металла. Ток на интервале паузы необходимо снижать до 30-40А. В результате снижения сварочного тока уменьшается действие комплекса сил со стороны дуги, и как следствие, капля электродного металла выравнивается на торце электрода.

Для вывода условий отрыва капли принимаем, что на момент начала импульса капля электродного металла расположена соосно на торце электрода. Для отрыва капли электродного металла, и получения направленного переноса ее в сварочную ванну выделяем два условия:

1. Действие электродинамической силы ( $F_{эд}$ ) в зоне перехода электрод-капля (соответственно твердая фаза - жидкая фаза) превосходило действие силы поверхностного натяжения ( $F_{пн}$ ), направленную по поверхности капли к границе твердая жидкая фаза. Первое условие можно записать следующими уравнениями:

$$F_{пн} - F_m \leq F_{эд} \text{ - в нижнем положении (рис. 1) и}$$
$$F_{пн} + F_m \leq F_{эд} \text{ - в потолочном положении.}$$

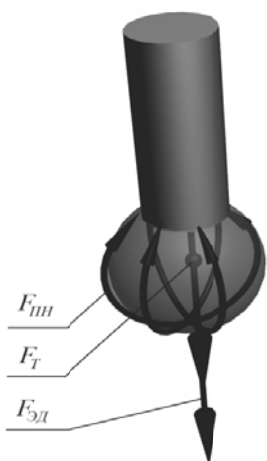


Рис. 1. Схема комплекса сил, действующих на каплю:  $F_{пн}$  – сила поверхностного натяжения;  $F_T$  – сила тяжести капли электродного металла;  $F_{эд}$  – электродинамическая сила

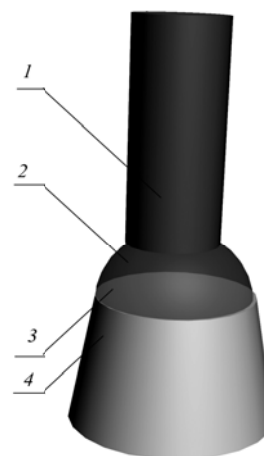


Рис. 2. Схема охвата столбом дуги капли электродного металла на интервале импульса (см. 2 условие): 1 – электрод; 2 – капля электродного металла; 3 – анодное пятно; 4 – столб дуги

2. Капля электродного металла должна захватываться столбом дуги (рис. 2), т.е. площадь анодного пятна ( $S_{ан}$ ) должна быть больше 1/2 площади капли ( $S_к$ ).

Второе условие можно записать уравнением:

$$1/2 \cdot S_к \leq S_{ан}.$$

Были произведены расчеты амплитудного значения сварочного тока для диаметра проволоки  $d_{эл}=1,2$ мм при скорости подачи электродной проволоки  $V_{под}=650$  м/ч и частоте накладываемых импульсов  $f_{и}$  в пределах от 30 до 100Гц. Полученные значения амплитуды импульса  $I_{и}$  для первого условия находятся в диапазоне от 120 до 380А, а для второго условия - в диапазоне от 120 до 260 А.

Для подтверждения теоретических расчетов были проведены экспериментальные исследования на режимах сварки, представленных выше. На лабораторном комплексе для автоматической сварки в среде углекислого газа, при использовании кинопроектора КПП-2, скоростной кинокамеры

СКС-1М с максимальной скоростью съемки до 5000 кадров/сек, шлейфового осциллографа Н-145, светолучевого осциллографа С8-13, схем синхронизации и управления была проведена скоростная киносъемка процесса плавления и переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе длинной дугой. Исследования проводились по следующей методике: на пластины (Ст3, размер 300x150x10мм) наплавляли валики проволокой Св-08Г2С  $\varnothing=1,2$  мм. Режимы сварки поддерживались постоянными расход: углекислого газа  $Q_{зг}=15$ л/мин, вылет электрода  $L_{эл}=16$ мм, скорость сварки  $V_{св}=20$ м/ч, скорость подачи электродной проволоки  $V_{под}=650$ м/ч.

Опытами было установлено, что при импульсно-дуговой сварке горение дуги стабильно. Наиболее характерный процесс переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе длинной дугой показан на рисунке 3.

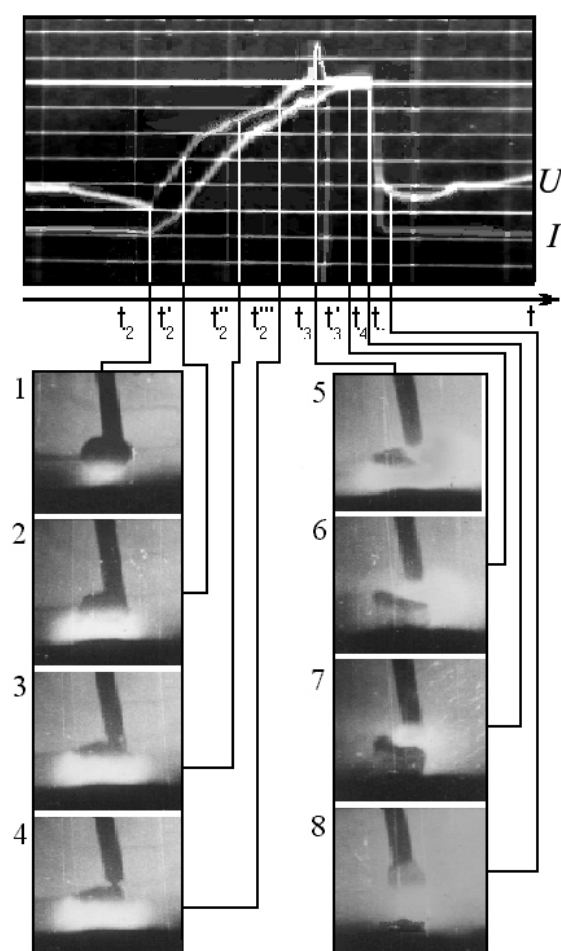


Рис. 3. Осциллограмма и кинограмма процесса импульсно-дуговой сварки:

$I_{и}=600$ А; средний ток  $I_{ср}=140$ А;  $f_{и}=60$ Гц;  
длительность накладываемых импульсов  $\tau_{и}=4,5$ мс;  
значение тока дежурной дуги  $I_{дд}=30$ А  
(1кл – 100А; 7,2В; отметчик времени 1кл – 2мс)

$I$  – сварочный ток;  $U$  – напряжение дуги;  $t$  – время импульса

Таким образом, представленные теоретические условия отрыва капли электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе подтверждены экспериментальным способом.

**Выводы:**

1. Теоретически определены и практически подтверждены условия для отрыва капли электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе.
2. Экспериментальные исследования показали, что применение импульсно-дуговой сварки в углекислом газе позволило осуществить управляемый перенос электродного металла.

Литература.

1. 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.
2. Chinakhov D.A. Calculation of gas-dynamic impact of the active shielding gas on the electrode metal drop in gas jet shielded welding // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 188-194.
3. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. Процесс сварки с комбинированной двухслойной защитой // Ремонт восстановление и модернизация. – 2011. – №2. – С. 16-18.
4. Сидоренко П. Ю., Рыжов Р. Н. Использование импульсных электромагнитных воздействий для управления процессом переноса электродного металла при дуговой сварке // Автоматическая сварка. – 2010. – №6. – С. 52-53.
5. Chang Yunlong, Che Xiaoping, He Youyou, Ni Guangxu. Influence of longitudinal magnetic field on metal transfer in MIG arc welding // China Weld. – 2008. Vol. 17, № 2. – P. 27-31.
6. Лебедев В. А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки. // Сварочное производство. – 2007. – №11. – С. 26-30.
7. Pavlov N.V., Kryukov A.V., Zernin E.A. Distribution of temperature fields in welding in a gas mixture with pulsed electrode wire feed // Welding International. – 2012. – Vol. 26, Issue 6. – P. 483-484.
8. Крюков А. В., Павлов Н. В., Зеленковский А. А. Особенности сварки с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. – 2013. – №5. – С. 37-39.
9. Новиков О. М., Радько Э. П., Иванов Е.Н. Разработка новой технологии дуговой сварки в защитных газах на основе применения пульсации газовых потоков и потенциалов ионизации
10. Тазетдинов Р. Г., Новиков О. М., Персидский А. С. Дуговая сварка в защитных газах с попеременной импульсной подачей разнородных газов // Сварочное производство. – 2012. – №1. – С. 38-42.
11. Дюргеров Н. Г., Сагиров Д. Х. Определение свойств дуги при импульсных процессах сварки // Сварочное производство. – 2004. – №4. – С. 14-18.
12. Патон Б. Е., Шейко П. П., Жерносеков А. М. Стабилизация процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом // Автоматическая сварка. – 2003. – №8. – С. 3-6.
13. Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. Исследование процесса переноса электродного металла при импульсном питании сварочной дуги // Технология металлов. – 2005. – №7. – С. 18-21.
14. Krampit A. Welding with double modulation of the main welding parameters // Welding International. – 2012. – Vol. 26, Issue 11. – P. 867-869.
15. Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Анализ свойств защитных сред при сварке плавящимся электродом. // Сварка в Сибири. – №2. – 2005г.– С. 63-65.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПРОВОЛОКИ ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ  
СВАРКЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

*А.Г. Крампит, к.т.н., доцент, М.А. Крампит, студент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

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

*E-mail: savage\_jawa@mail.ru*

**Введение**

Одной из значимых проблем механизированной сварки в среде CO<sub>2</sub> является большие потери металла на угар и разбрызгивание, что так же повышает трудоемкость дальнейшей механической обработки [1]. Импульсно-дуговая сварка позволяет снизить разбрызгивание и получить более качественные сварные соединения [2].

За последнее десятилетие появилось большое количество импульсных процессов, позволяющих повысить скорость сварки, увеличить глубину проплавления, снизить тепловложение в основной металл [3]. Также появилась возможность перейти к струйному переносу на более низких значениях тока. Но до сих пор есть проблема высоких энергопотерь из-за наличия балластного сопротивления.

**Основная часть.**

Устройство для импульсно-дуговой сварки должно обеспечивать чередование тока импульса и тока паузы. Одним из устройств для реализации импульсно-дуговой сварки является модулятор, по-