

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСОМ КАПЛИ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С КОРОТКИМИ ЗАМЫКАНИЯМИ ДУГОВОГО ПРОМЕЖУТКА

С. И. ПОЛОСКОВ, канд. техн. наук, Ю. С. ИЩЕНКО, канд. техн. наук,
В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, О. Б. ГЕЦКИН, инж.

Сварка плавящимся электродом является наиболее распространенным способом дуговой сварки из-за простоты осуществления процесса. В то же время этот процесс наименее управляем с точки зрения стабильности проплавления металла (корня шва), разбрызгивания и формирования наплавочных проходов. В связи с этим исследователи наибольшее внимание уделяют изучению теплофизических характеристик дуги, стабильности процесса сварки, переносу электродного металла и управлению им, разработке новых конструкций источников питания, токоподвода, подающих механизмов, трактов и т. д.

В основу принципов управляемого переноса электродного металла в сварочную ванну положено принудительное изменение величины и времени приложения сил, определяющих процессы образования и перехода в сварочную ванну капли электродного металла.

Эффективное управление переносом электродного металла позволяет улучшить формирование швов, снизить разбрызгивание при сварке, упростить ведение процесса во всех пространственных положениях (особенно в вертикальном и потолочном), повысить производительность труда за счет расширения диапазонов сварочного тока, допустимых для данных параметров электродной проволоки.

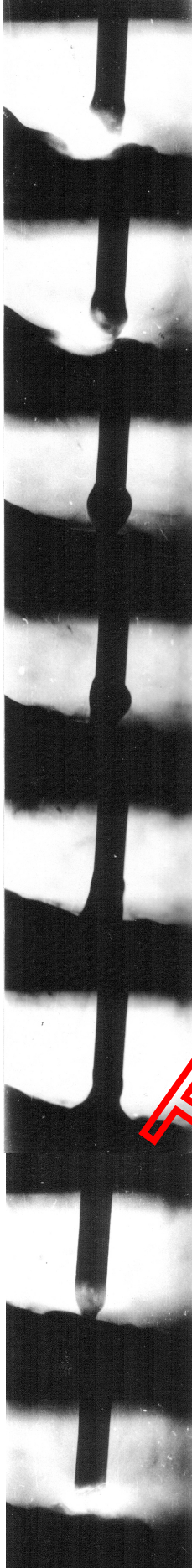
В настоящее время интенсивно развиваются следующие принципиально разные направления управлением массопереноса электродного металла в сварочную ванну: механическим воздействием на электродную проволоку с целью придания ей продольных импульсов при подаче в зону горения дуги [1, 2], импульсное изменение характеристик источника сварочного тока [3,4],

силовое воздействие потока газа на перенос капли непосредственно в зоне горения дуги [5] и использование защитной атмосферы дуги с активирующими веществами.

В данной работе рассмотрены вопросы оптимизации управления массопереносом капель и определены параметры воздействия при сварке короткими замыканиями при высокочастотных импульсных воздействиях от инверторного источника сварочного тока. При этом время воздействия импульса на несколько порядков меньше временного интервала 1 с.

Процесс сварки исследовали с помощью осциллографа с одновременной скоростной киносъемкой перехода капли в сварочную ванну. Использовали экспериментальный инверторный источник ДС-ДАУ [6], позволяющий кратковременно изменять угол наклона вольтамперных характеристик, а также значений параметров импульсов тока (частоты, мощности, времени воздействия) в широких пределах.

Из известных приемов управления переносом капли большинство исследователей [3, 4] отдают предпочтение следующему способу, состоящему из трех стадий: снижения (отключения) тока в момент касания каплей поверхности ванны; подачи импульса тока необходимой длительности через определенное время после касания и увеличения тока после разрыва перемишки. Если первая и третья стадии управления переносом определяются изменением рабочего напряжения в момент касания и разрыва перемишки, то вторая стадия не имеет четкого сигнала. Известно, что подачу импульса необходимо производить после образования самого узкого места (по диаметру) в системе "проволока - капля - ванна" района "проволока - капля" с тем, чтобы пинч-эффект способствовал разрушению перемишки и переходу капли в ванну. Анализ кинограмм скоростной киносъемки процесса сварки с короткими замыканиями дугового промежутка показал, что время деформации капли (рис. 1) до образования перемишки определяется не только ее объемом V_K (и режимом), но и наличием или отсутствием тока в момент касания каплей поверхности сварочной ванны.



При этом для переноса каплей оптимального размера используется импульсный ввод энергии на стадии короткого замыкания дугового промежутка каплями электродного металла.

На стабильность процесса (каждая капля переходит в ванну при первом касании), прежде всего, влияет площадь соприкосновения капли с поверхностью ванны. При малой площади касания сила от пинч-эффекта (при наличии тока в момент касания) действует быстрее, чем нарастает сила от поверхностной энергии (поверхностного натяжения) - одной из главных сил в процессе поглощения капли сварочной ванной [3]. Увеличение сил поверхностного натяжения способствует отрыву капли электродного металла, но препятствует поглощению ее сварочной ванной. Поэтому силы поверхностного натяжения при сварке с управляемым тепломассопереносом могут изменять течение процесса сварки с КЗ. Экспериментально установлено, что чем меньше объем капли V_K , тем меньше время необходимо для сужения капли до оптимальных размеров с образованием перемычки в районе "провода - капля". При наличии тока в момент касания время сужения возрастает. Поэтому время начала подачи импульса t_H тока (или время задержки подачи импульса с момента касания каплей поверхности ванны) необходимо задавать в зависимости от объема каждой капли электродного металла.

Рис. 1. Кинограмма образования и перехода капли в сварочную ванну: горение дуги, образование капли, касание поверхности ванны, образование устойчивой перемычки, переход в ванну (3600 кадров/с)

Экспериментально установлено, что чем меньше V_K (рис. 2, кривые 1, 2), тем меньшее время необходимо для сужения капли до оптимальных размеров с образованием перемычки в районе "провода - капля".

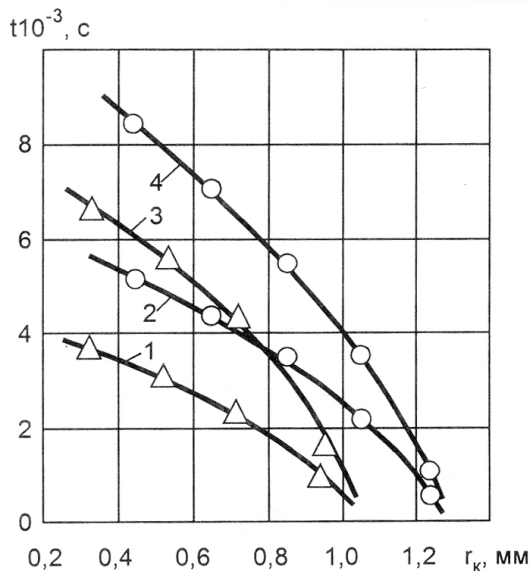


Рис. 2. Зависимость изменения радиуса капли r_k в районе образующейся перемычки от времени при отсутствии тока в момент касания (1, 2) и касании капли под током (3, 4):
(диаметр проволоки 1,6 мм; Δ , \circ - объем капли 3,6 и 8,2 мм)

При наличии тока в момент касания время сужения возрастает (см. рис. 2). Как видно, время до необходимого сужения при отсутствии тока в момент касания для капли объемом 3,6 и 8,2 мм составляет соответственно 0,002 и 0,004 с, а при касании капли под током - соответственно 0,004 и 0,006 с. Поэтому оптимальным было бы время начала подачи импульса t_H (или время задержки подачи импульса с момента касания капель поверхности ванны) задавать в зависимости от объема каждой капли.

Согласно данным работы [7], время горения дуги при сварке на одном режиме, определяющее объем капли, различно. За 1 с зафиксировали 14 актов горения длительностью 20-25 мс, шесть - длительностью 40-45 мс и 10 - длительностью от 5 до 65 мс. При оценке объема каждой капли и, соответственно, времени начала подачи импульса установили, что для управления массопереносом требуется быстродействующий современный источник питания с компьютерной системой управления. Работы в этом направлении в настоящее время ведут фирмы Kemppi (Финляндия), ESAB (Швеция), Selco (Италия), Lincoln Electric (США).

С учетом современного уровня управления технологическими процессами более приемлемым является зависимость времени начала подачи импульса тока после касания капель поверхности сварочной ванны и энергии дополнительного импульса тока от режима сварки. Эта дополнительная энергия (ДЭ) воздействует не на каждую каплю, а только на большую часть капель оптимального объема, образующихся в данном временном интервале, или на капли, размеры которых отличаются от размеров капель оптимального ряда. Корректировка t_H (увеличение времени до подачи импульса) позволит дополнительно расширить диапазон объемов капель:

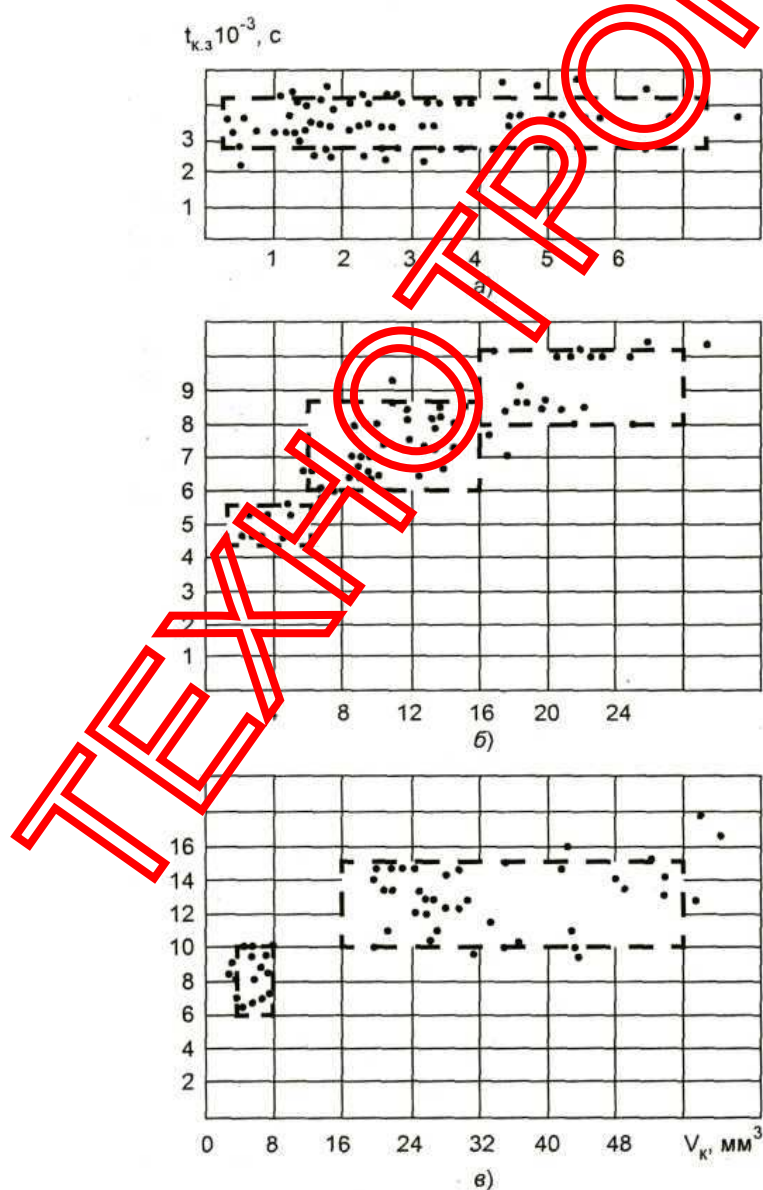


Рис. 3. Зависимость времени короткого замыкания от объема капли при диаметре плавящегося электрода 1,05 (а), 1,55 (б) и 1,85 (в) мм (проволока 04Х19Н11МЗТ, защитный газ - аргон, источник ДС-САУ)

Параметры дополнительных импульсов (мощность, временные характеристики) должны изменяться по определенной программе, обеспечивающей не только равенство скоростей подачи электродной проволоки и интегральной скорости ее плавления, но и оптимальный массоперенос в сварочную ванну. Параметры дополнительных импульсов (мощность, временные характеристики) должны изменяться по определенной программе, обеспечивающей не только равенство скоростей подачи электродной проволоки и интегральной скорости ее плавления, но и оптимальный массоперенос в сварочную ванну.

Проанализировав экспериментальные данные зависимости времени короткого замыкания $f_{к.з}$ (касания капель ванны при наличии перемычки) от V_K для различных диаметров проволоки (рис. 3), установили следующее:

- для $d_{\text{Э}} = 1,05$ мм независимо от режимов сварки (и объемов капель) $t_{к.з} = 0,0030-0,004$ с;
- для $d_{\text{Э}} = 1,55$ мм при $f_{к.з}$, равном 0,004-0,0055, 0,006-0,0085 и 0,008-0,01 с, V_K равен 2-6, 6-16 и более 16 мм соответственно;
- для $d_{\text{Э}} = 1,85$ мм при $f_{к.з}$, равном 0,006-0,01 и 0,01-0,016 с, V_K равен 4-8 и более 16 мм³ соответственно.

С учетом данных касающихся деформации капли при переходе в ванну (см. рис. 1), и временных диапазонов короткого замыкания для капель различного объема определили оптимальный период времени начала действия импульса тока (см. таблицу), а также запас времени до разрыва (разрушения) перемычки и перехода капли в ванну

Увеличение $D_{\text{Э}}$ свыше определенного значения практически не влияет на изменение (уменьшение) $f_{к.з}$. Имеется также предел дополнительной энергии, выше которого обеспечивается перенос капли при одном и том же t (рис. 4).

С уменьшением же $D_{\text{Э}}$ необходимое для перехода капли t_R должно быть существенно больше. Чем позже начнет действовать дополнительная энергия

от импульса сварочного тока, тем больше при одном и том же ее значении должно быть t (см. рис. 4, кривые 1-3).

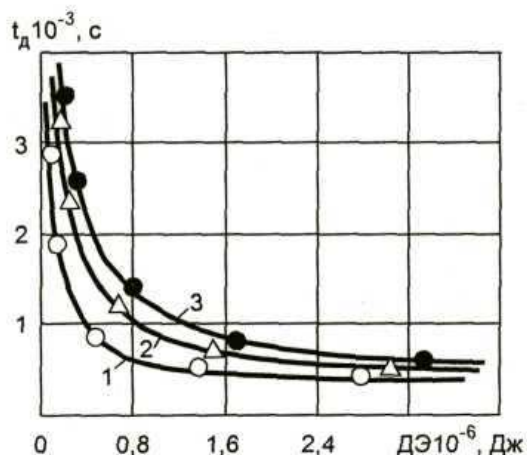


Рис. 4. Зависимость ДЭ, необходимой для переноса капли, от времени ее действия ($d_3 = 2\text{ мм}$, $V_K = 11\text{ мм}^3$, касание при отсутствии тока):

1 - 3 - t_H равно соответственно 0,0019, 0,0026 и 0,0037 с

Дополнительным критерием оценки d_3 и t является необходимость создания запаса времени от окончания действия дополнительной энергии (импульса тока) до окончания короткого замыкания с тем, чтобы исключить динамическое воздействие на ванну и разбрызгивание при разрыве перемычки.

Исходя из этих предпосылок оценили t и в зависимости от диапазона $t_{K.3}$ - запас времени до разрыва перемычки (см. таблицу 1).

Временные характеристики массопереноса

Табл. 1

d_3 , мм	Временные характеристики массопереноса, с			V_K , мм ³
	Время задержки подачи импульса тока t_H	Время действия импульса t_d	Запас времени до разрыва перемычки t_3	
1,05	0,0015	0,001	0,0005—0,0015	0,5—5
1,55	0,0015	0,001	0,0015—0,0030	2—6
	0,0025	0,0015	0,002—0,0045	6—16
	0,004	0,002	0,002—0,004	16—28
1,85	0,003	0,002	0,001—0,005	4—8
	0,006	0,002	0,002—0,008	16

Полученные данные позволяют не только провести сравнительную оценку эффективности различных способов принудительного массопереноса капли, но и могут быть использованы при отработке диагностических признаков системы управления "источник питания-дуга-изделие", а также формировании требований к источнику питания сварочной дуги при сварке плавящимся электродом.

Выводы

1. Определены временные характеристики управления переносом капли электродного металла при сварке короткими замыканиями за счет подачи импульса тока.
2. Воздействие дополнительной энергии от импульса сварочного тока уменьшает время короткого замыкания.

Список литературы

1. *Управление процессом дуговой сварки путем программирования скорости подачи электродной проволоки* / Б. Е. Патон, Н. М. Воропай, В. Н. Бучинский и др. // Автоматическая сварка. -1977. - № 1. - С. 1-5, 15.
2. *Реальные возможности безредукторных механизмов импульсной подачи электродной проволоки* / В. А. Лебедев, С. П. Ковешников, Б. Г. Светников, С. И. Полосков // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерная техника и технология. - 1989, Вып. 4. - С. 46-48.
3. *Патон Б. Е., Шейко П. П., Пашуля М. П.* Автоматическое управление переносом металла при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. -1971. - № 9. - С. 1-5.
4. *Ищенко Ю. С., Тушева Н. В.* Модель расчета перехода капли в ванну при коротком замыкании // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерная техника и технология. - 1990, Вып. 5. - С. 8-14.
5. *Тарасов Н. М., Тулин В. М.* Управление переносом электродного металла кратковременным повышением скорости истечения защитного газа // Сварочное производство. – 1982. - № 8. - С. 23-25.
6. *Гецкин О. В., Яров В. М.* Опыт создания высокоэффективного сварочного оборудования в НПП "Технотрон" // Сварочное производство. – 2000. - № 5. - С. 28-32.
7. *Gupta S., Gupta P., Rehfeld D.* Process stability and spatter generation during dip tranfer in MAG-welding // Welding Review. - 1988. - №11. - P. 232-241.