

УДК 621.791.75.01:537.523

Управление первоначальным зажиганием дуги при сварке в защитных газах

Е. Н. Варуха

(Донской государственный технический университет),

М. Х. Сундетов

(Астраханский государственный университет),

И. С. Морозкин

(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Предложен способ управления первоначальным зажиганием сварочной дуги в защитных газах, основанный на ограничении тока короткого замыкания после нагрева проходящим током металла вылета проволоки до пластического состояния на время подхода места перегорания вылета на расстояние от изделия, не превышающее разрывную длину дуги. Экспериментально исследованы и аналитически определены зависимости, описывающие условия, необходимые и достаточные для надёжного установления процесса сварки после первого касания проволоки с изделием.

Ключевые слова: управление первоначальным зажиганием дуги, сварка в защитных газах, сварочные проволоки разных марок.

Введение. В соответствии с классификацией способов контактного первоначального зажигания дуги при сварке в защитных газах проволоками малого диаметра [1] одним из перспективных способов управления процессом является ограничение тока первоначального короткого замыкания на время, достаточное для перемещения места перегорания проволоки к поверхности изделия на расстояние, не превышающее разрывную длину дуги при заданных установках напряжения [2]. Несмотря на очевидные достоинства такого способа, он может не вполне отвечать предъявляемым к нему требованиям.

Так, время короткого замыкания при ограничении тока сильно затягивается по сравнению с естественным процессом. Кроме того, из-за неуправляемого искривления проволоки на вылете место её перегорания может располагаться то ближе, то дальше от поверхности изделия, что не обеспечивает 100 % установления процесса сварки после начального короткого замыкания проволоки с изделием. И, что особо неприемлемо, возможна полная потеря управляемости процессом при проскальзывании подающих роликов по проволоке при длительном её контакте с изделием.

Для устранения этих несовершенств в настоящей работе предложен новый подход к управлению процессом первоначального зажигания дуги, основанный на ранее не изученных особенностях нагрева вылета при первом коротком замыкании проволоки с изделием. Эти особенности выявляются при детальном рассмотрении изменения тока короткого замыкания $I_{кз}$ в процессе естественного короткого замыкания (рис. 1), в которых можно выделить две отчётливые фазы процесса.

Фазы процесса. Первая фаза длительностью t_n наблюдается от начала короткого замыкания и до достижения током $I_{кз}$ своего максимального значения I_{yn} . Проволока в этой фазе остаётся неподвижной на вылете, поскольку, несмотря на нагрев проволоки проходящим током, она ещё продолжает сохранять свои упругие свойства. При этом продолжающаяся подача проволоки подающими роликами приводит к искривлению проволоки внутри ствола горелки или в канале направляющего шланга.

Вторая фаза длительностью $t = (t_{кз} - t_n)$ наступает в тот момент, когда металл вылета проволоки под действием нагрева проходящим током теряет свои упругие свойства, и проволока,

изгибаясь на вылете, начинает ускоренно выдвигаться из токоподводящего наконечника, выбирая образовавшийся в 1-й фазе изгиб проволоки в стволе горелки. В результате увеличения длины выдвигавшейся проволоки на вылете и продолжающегося её нагрева проходящим током возрастает сопротивление на промежутке между токоподводящим наконечником и изделием, ток короткого замыкания в этой фазе снижается. Заканчивается 2-я фаза короткого замыкания перегоранием проволоки по элементу ограниченной длины Δx [1], который в 1-й фазе процесса находился в месте неподвижного токоподводящего контакта с наконечником горелки (рис. 2).

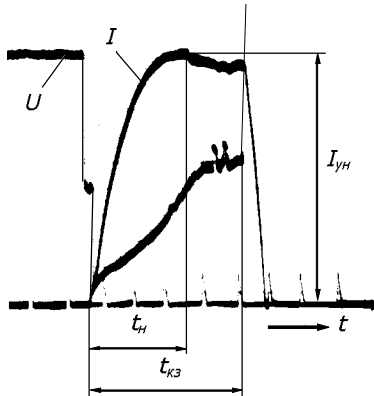


Рис. 1. Осциллограмма тока I и напряжения U при первоначальном коротком замыкании

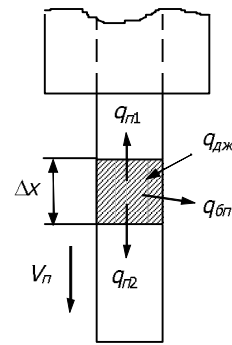


Рис. 2. Схема нагрева и потерь тепла в элементе вылета Δx при выдвигании проволоки из наконечника при коротком замыкании

Способ управления первоначальным зажиганием дуги. Основываясь на установленном явлении, стало возможным реализовать способ управления процессом, который свободен от выше перечисленных недостатков. Заключается он в том, что сразу по достижении током короткого замыкания величины I_{yn} следует провести ограничение тока короткого замыкания до величины I_0 на время t_0 (рис. 3), за которое можно было бы приблизить элемент Δx к изделию на расстояние, не превышающее разрывную длину дуги при напряжении сварки.

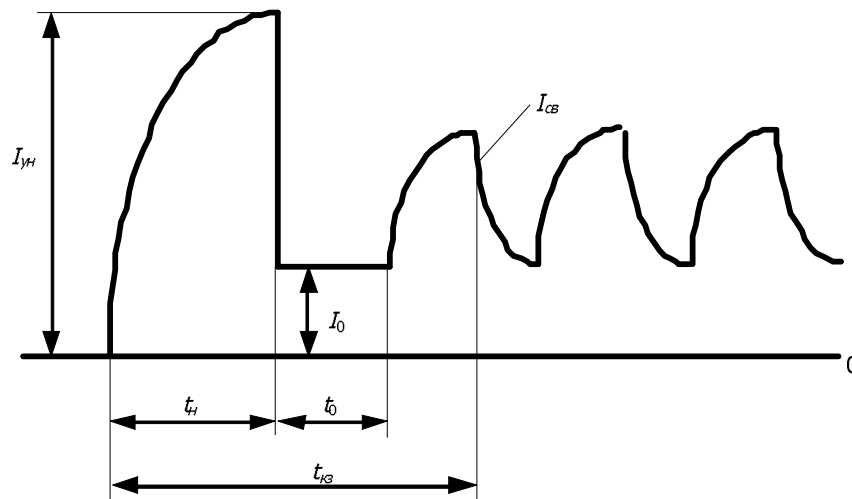


Рис. 3. Схема ускоренного способа зажигания дуги с ограничением тока короткого замыкания: I_0 и t_0 — ток и время ограничения; I_{yn} — максимальное значение тока короткого замыкания перед началом ограничения тока

Если затем, по истечении времени t_0 , снять ограничение тока короткого замыкания, то после перегорания проволоки по элементу Δx сразу же установится процесс сварки.

Исследование условий зажигания дуги и их аналитическое описание. Очевидно, что время ограничения тока короткого замыкания t_0 задаётся следующим неравенством:

$$\frac{h}{V_n} - t_n \geq t_0 \geq \frac{h - \ell_p}{V_n} - t_n, \quad (1)$$

где h и V_n — вылет и скорость подачи сварочной проволоки, в м и м/с соответственно. Величина разрывной длины дуги ℓ_p принималась по расчётным данным работы [2].

Расчёт t_0 возможен, если будет известно время неподвижности электрода на вылете t_n при коротком замыкании. Для его определения были рассмотрены закономерности нагрева вылета электрода в 1-й фазе короткого замыкания.

При нагреве проходящим током неподвижного вылета проволоки h за время t_n происходит приращение энтальпии электродного металла на величину ΔH_B (Дж/кг), что может быть записано в виде:

$$\gamma F_\Delta h \Delta H_B = \frac{h}{F_\Delta} \int_0^{t_n} I_{\kappa\Delta}^2(t) \cdot \rho(t) \cdot dt, \quad (2)$$

где F_Δ — площадь поперечного сечения электрода, м²; γ — плотность электродного металла, кг/м³; $\rho(t)$ — текущее значение удельного сопротивления металла вылета неподвижного электрода при коротком замыкании, Ом·м; $I_{\kappa\Delta}(t)$ — текущее значение тока короткого замыкания, А.

Выразим интеграл выражения (2) в следующем виде:

$$\int_0^{t_n} I_{\kappa\Delta}^2(t) \cdot \rho(t) \cdot dt = I_{yn}^2 \cdot \rho'_\phi \cdot t_n, \quad (3)$$

где ρ'_ϕ — фиктивное постоянное удельное сопротивление элемента Δx за время t_n , которое могло бы быть, если бы ток короткого замыкания был постоянным, равным I_{yn} .

Решая совместно уравнения (2) и (3) относительно t_n получаем:

$$t_n = \gamma (F_\Delta / I_{yn})^2 \Delta H_B / \rho'_\phi. \quad (4)$$

Для вычисления t_n по уравнению (4) необходимо знать величину отношения $\Delta H_B / \rho'_\phi$. С целью определения этого отношения были проведены опыты по сварке током обратной полярности проволоками Св-08, Св-08Г2С, Св-06Х19Н9Т и Св-БрКМЦ3-1 различного диаметра. Исследования проводились в диапазоне скоростей подачи проволоки 100—500 м/ч и вылетов 15—40 мм. Для сварки использовали преобразователь ПСГ-500 с жёсткой вольт-амперной характеристикой. Регулировка тока короткого замыкания осуществлялась с помощью переменного резистора, включённого последовательно в сварочную цепь. Процесс первоначального зажигания дуги регистрировался с помощью скоростной киносъёмки (кинокамера СКС-1М) и синхронного осциллографирования (осциллограф Н-115). По полученным осциллограммам измерялись длительность t_n и ток I_{yn} первоначального короткого замыкания (рис. 4).

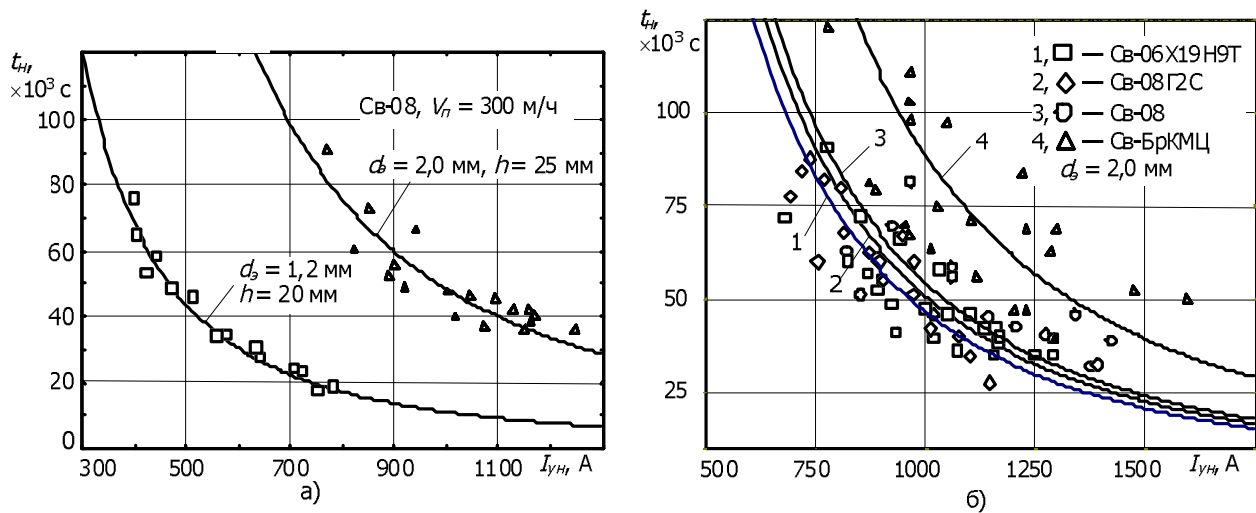
Обработка экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов (по программе Statistika) показала, что отношение $\Delta H_B / \rho'_\phi$ является практически постоянной величиной, которая не зависит от тока процесса, скорости подачи, вылета и диаметра проволоки, а определяется исключительно свойствами металла сварочной проволоки (табл. 1).

Расчёт времени t_n по формуле (4) с использованием значений, приведённых в табл. 1, показывает, что с увеличением I_{yn} и диаметра проволоки время неподвижности проволоки на вылете t_n уменьшается (рис. 4, а). Причём для материалов проволоки, имеющих меньшее удельное сопротивление, график функции $t_n = f(I_{yn})$ при одинаковых токах I_{yn} смещается в область больших значений времени t_n (рис. 4, б).

Таблица 1

Расчётные значения отношения $\Delta H_e / \rho'_\phi$, полученные при обработке экспериментальных данных

Марка сварочной проволоки	$\Delta H_e / \rho'_\phi \cdot 10^{12} \text{ A}^2 \cdot \text{с} / (\text{кг} \cdot \text{м})$
Св-БрКМц 3-1	1,22
Св-08	0,75
Св-08Г2С	0,68
Св-06Х19Н9Т	0,68

Рис. 4. Изменение времени t_H неподвижности проволоки на вылете при коротком замыкании от величины тока $I_{\text{ли}}$: а — для разных диаметров d_s ; б — для разных материалов проволоки. Точки — экспериментальные данные

Очевидно, что ток ограничения I_0 должен принимать значения в пределах, задаваемых неравенством $0 \leq I_0 \leq I_{0\text{max}}$.

Максимальный ток ограничения $I_{0\text{max}}$ должен соответствовать предельному значению времени ограничения $I_{0\text{min}}$, определяемому следующим уравнением:

$$t_{0\text{min}} = \frac{h - \ell_p}{V_n} - t_H. \quad (5)$$

А при $I_0 = 0$ время ограничения должно задаваться левой частью неравенства (1).

Значение $I_{0\text{max}}$ может быть получено из условия, что нагрев участка вылета Δx проходящим током при его перемещении на вылете обеспечивает повышение температуры этого участка от температуры T_H , которую он приобрёл в неподвижном контакте с токоподводящим наконечником, до температуры плавления $T_{\text{пл}}$. Это условие может быть записано в виде:

$$V_n \gamma F_\Sigma (H_{\text{пл}} - H_H) = V_n \cdot \rho' \cdot F_\Sigma^{-1} I_{0\text{max}}^2 \cdot t_{0\text{max}} - q'_n, \quad (6)$$

где H_H — энтальпия металла элемента Δx , при его выходе из токоподводящего наконечника, Дж/кг; $q'_n = q_{n1} + q_{n2}$ — суммарные потери мощности из элемента Δx в прилегающие к нему с обеих сторон менее нагретые участки вылета проволоки за время t_0 , Вт; ρ' — среднее удельное сопротивление нагретого металла вылета проволоки в интервале температур $T_H - T_{\text{пл}}$, Ом·м.

Энтальпия металла участка Δx в начале его выдвижения из токоподводящего наконечника складывается из энтальпии H_H , обусловленной процессом теплопередачи в проволоку от контакт-

ного перехода, и энтальпии H_{873} от нагрева металла до температуры 600 °С (873 К), при которой сталь теряет упругие свойства [3], т. е.

$$H_n = H_m + H_{873}. \quad (7)$$

Энтальпию H_m можно выразить в виде:

$$H_m = \frac{q_m - q_n}{\gamma F_3 V_n \cdot \Delta x} \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где q_m — мощность, поступившая в элемент Δx от контактного перехода с токоподводящим накопником за время t_{m1} Вт; q_n — суммарные потери мощности из элемента Δx за счёт теплопроводности за время t_{m1} Вт.

Для упрощения расчётов примем $q'_n = 0$. Тогда, решая совместно уравнения (6) и (8) относительно $I_{0\max}$, получаем:

$$I_{0\max} \cong F_3 \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\rho'} \left(H_{m1} - H_{873} - \frac{q_m - q_n}{\gamma F_3 V_n \cdot \Delta x} \cdot 10^{-3} \right) \left(\frac{h - \ell_p}{V_n} - t_{m1} \right)^{-1}}. \quad (9)$$

Значения γ и H_{m1} для электродов разного химического состава были приняты по данным работы [4]. Расчёт значений ρ' и H_{873} по данным работы [5] показывает, что для стальных электродов ρ' изменяется незначительно (от $118 \cdot 10^{-8}$ до $120 \cdot 10^{-8}$ Ом·м) и может быть принята постоянной, равной $120 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а энтальпии H_{873} имеют значения, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Значения энтальпии металла проволок различных марок при температуре 873 К

Марка сварочной проволоки	H_{873} , кДж/кг
Св-08	352
Св-08Г2С	348
Св-06Х19Н9Т	318

Практическая реализация способа управления процессом. Осциллограммы процесса, иллюстрирующие разработанный способ первоначального зажигания дуги при условии $I_0 \leq I_{0\max}$ и $I_0 = 0$, приведены на рис. 5, а, б.

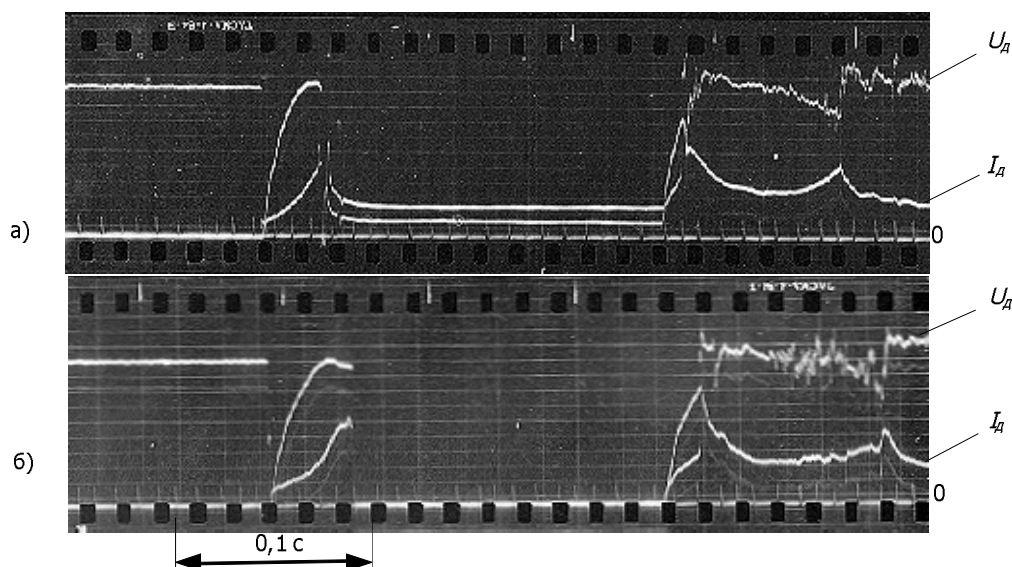


Рис. 5. Осциллограммы процесса ускоренного зажигания дуги с ограничением тока короткого замыкания:
а — $0 \leq I_0 \leq I_{0\max}$; б — $I_0 = 0$

Изучение кинограмм рассматриваемого процесса позволило установить, что отличительной особенностью предложенного способа является перемещение элемента Δx по прямой между токоподводящим наконечником и изделием, поскольку проволока на участке, расположенном выше этого элемента, не успевает нагреться током ограничения I_0 до пластического состояния. По этой причине обеспечивается строгая повторяемость условий подхода места перегорания на вылете проволоки к поверхности изделия. Кроме того, время разогрева вылета проволоки до пластического состояния $t_{\text{н}}$ в предлагаемом способе на порядок меньше, чем в ранее предложенном способе с ограничением тока короткого замыкания [2]. В результате проскальзывание подающих роликов по проволоке в процессе короткого замыкания становится практически невозможным, что обеспечивает надёжное установление процесса сварки после первого касания проволоки с изделием.

Заключение. Предложенный способ управления первоначальным зажиганием сварочной дуги в защитных газах обеспечивает повышение надёжности и ускорение установления процесса сварки проволоками различного химического состава диаметром не более 2,5 мм и может найти применение в схемах управления сварочными автоматами и сварочными роботами.

Библиографический список

1. Варуха, Е. Н. Классификация способов контактного зажигания дуги при сварке проволоками малого диаметра / Е. Н. Варуха // Сварочное производство. — 2007. — № 3. — С. 15—19.
2. Варуха, Е. Н. Установление процесса сварки с ограничением тока при первоначальном коротком замыкании сварочной проволоки с изделием / Е. Н. Варуха // Сварка и диагностика. — 2008. — № 2. — С. 7—13.
3. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике: Справочник / под ред. Б. Е. Неймарк. — Москва: Ленинград: Энергия, 1967. — 471 с.
4. Походня, И. К. Теплосодержание капель электродного металла при дуговой сварке в защитных газах / И. К. Походня, А. М. Суптель // Автоматическая сварка. — 1967. — № 2. — С. 13—18.
5. Сварка и свариваемые материалы. В 3-х т. Т. 1: Свариваемость материалов. Справ. изд. / под ред. Э. Л. Макарова. — Москва: Металлургия, 1991. — 528 с.

Материал поступил в редакцию 05.12.2011.

References

1. Varuxa, E. N. Klassifikaciya sposobov kontaktnogo zazhiganiya dugi pri svarke provolokami malogo diametra / E. N. Varuxa // Svarochnoe proizvodstvo. — 2007. — # 3. — S. 15—19. — In Russian.
2. Varuxa, E. N. Ustanovlenie processa svarki s ogranicheniem toka pri pervonachal`nom korotkom zamy`kanii svarochnoj provoloki s izdeliem / E. N. Varuxa // Svarka i diagnostika. — 2008. — # 2. — S. 7—13. — In Russian.
3. Fizicheskie svojstva stalej i splavov, primenyaemy`x v e`nergetike: Spravochnik / pod red. B. E. Nejmark. — Moskva: Leningrad: E`nergiya, 1967. — 471 s. — In Russian.
4. Poxodnya, I. K. Teplosoderzhanie kapel` e`lektrodnogo metalla pri dugovoj svarke v zashhitny`x gazax / I. K. Poxodnya, A. M. Suptel` // Avtomaticheskaya svarka. — 1967. — # 2. — S. 13—18. — In Russian.
5. Svarka i svarivaemy`e materialy`. V 3-x t. T. 1: Svarivaemost` materialov. Sprav. izd. / pod red. E`. L. Makarova. — Moskva: Metallurgiya, 1991. — 528 s. — In Russian.

INITIAL ARC IGNITION CONTROL IN GAS-SHIELDED WELDING

E. N. Varukha

(Don State Technical University),

M. K. Sundetov

(Astrakhan State University),

I. S. Morozkin

(Rostov State Transport University)

The control method of the initial arc ignition in the gas-shielded welding is offered. It is based on the short-circuit current limitation after heating the wire stick-out with the metal passing current to the plastic state for the time of the wire burnout approach point at the stick-out-to-work distance not exceeding the arc breaking length. The dependences describing the conditions necessary and sufficient for the reliable establishment of the welding process after the first wire-work contact are experimentally investigated and analytically determined.

Keywords: control of initial arc ignition, gas-shielded welding, hybrid filler wire.