УДК621.791-52:378

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБЪЕМА КАПЛИ РАСПЛАВЛЕННОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ММА

Ильященко Д.П.

Юргинский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Юрга, e-mail: mita8@rambler.ru

В статье приведены результаты теоретических исследований технологических особенностей каплепереноссса при ручной дуговой сварки покрытыми электродами (ММА) от источников питания обеспечивающих различное энергетическое воздействие (инверторный источник, диодный выпрямитель). Приведена математическая формула позволяющая определить размера переносимых капель электродного металла от время пребывания капли на торце электрода, что позволяющая спрогнозировать коэффициент перехода легирующих элементов с покрытого электрода в наплавленный металл.

Ключевые слова: дуговая сварка, тип источника питания, объем капли, покрытые электроды

METHOD OF CALCULATION OF VOLUME OF THE DROP OF THE MELTED ELECTRODE MMA METAL

Ilyaschenko D.P.

Yurginskiy Technological Institute (branch) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «The National Research Tomsk Polytechnic University», Yurga, e-mail: mita8@rambler.ru

The article presents the results of theoretical studies of technological features kapleperenosssa for manual arc welding with coated electrodes (MMA) of power supply for the impact of different energy (power inverter, diode rectifier). The mathematical formula allows to determine the size of the portable electrode metal droplets from the droplet residence time at the end of the electrode, which allows to predict the transition coefficient of alloying elements with coated electrode in the weld metal.

Keywords: arc welding power supply type, drop size, coated electrodes

Практически все мировые лидеры в области сварочного производства (Lincoln Electric, ESAB, KEMPPI и др.) ориентированы преимущественно на разработку и производства инверторных сварочных источников питания для ручной дуговой сварке [1].

Анализ осциллограмм процесса сварки от инвертора и диодного выпрямителя (рисунок) показывает [2] различие энергетических параметров процесса сварки во время образования и переноса капли электродного металла. При сварке от инвертора значения тока $I_{мах\ к.з.}$ и $I_{мин}$ изменяется 90…140 А, а при сварке диодным выпрямителем – 80…160 А, при $I_{раб}$ 100 А. Следовательно, изменяется тепловложение в каплю электродного металла, а значит и размер переносимых капель электродного металла.

Расчет теплосодержания капель электродного металла при использовании источников питания с различными энергетическими характеристиками показал [3], что применение инверторных источников питания позволяет снизить перегрев капель электродного металла на 15-37 % по сравнению с диодным выпрямителем.

Теоретическое исследование

Расчетная формула объема переносимых капель электродного металла при сварке источниками питания с различной энергетической составляющей позволит спрогнозировать коэффициент перехода легирующих элементов с покрытого электрода в наплавленный металл, оценить процент перехода этих элементов в шлаковую и газовую составляющую, т.к. химические реакции при сварке почти полностью заканчиваются на стадии образования капли [4].

При изучении переноса электродного металла принимают следующие допущения [5]: столб дуги неподвижен и соостен с электродом, а капля металла имеет форму сегмента или шара. Приняв, что капля на торце электрода имеет форму шарового сегмента с основанием равным сечению электрода, массу капли можно определить по формуле [5]:

$$m = \frac{\pi\gamma}{3}\left[2R^3 + \left(2R^2 + r_0^2\right)\sqrt{R^2 - r_0^2}\right]\cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где m – масса капли, г;

γ – плотность жидкого металла, г/мм^3;

R – радиус кривизны поверхности капли, мм

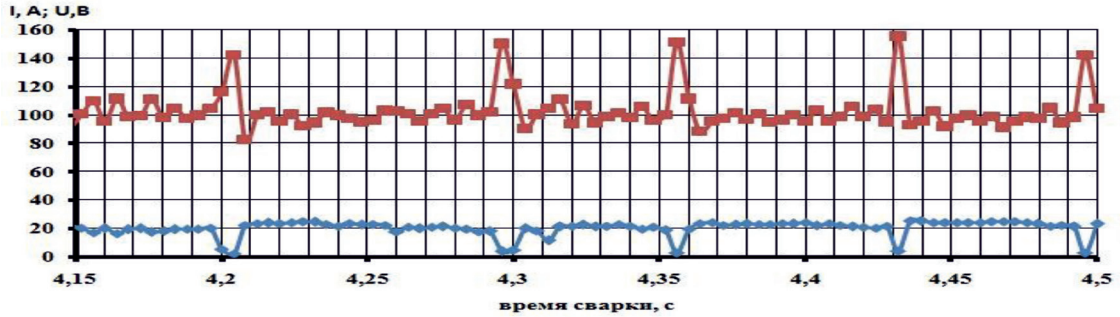
r_0 – радиус электродного стержня, мм

С другой стороны, массу переходящих капель с короткими замыканиями [6] можно найти:

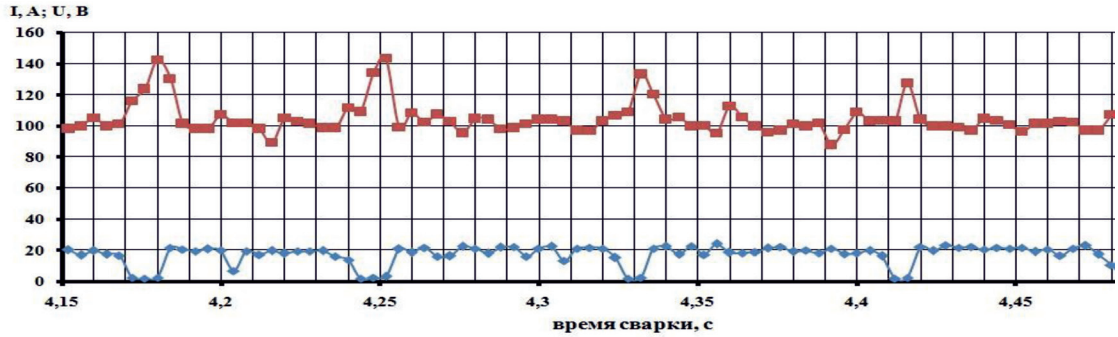
$$m = a \cdot \tau_{к.з.}^3, \quad (2)$$

где $\tau_{к.з.}$ – время пребывания капли на торце электрода, *с*.

a – коэффициент 0,33·10^{-4} г/с^3.



а)



б)

Рисунок Осциллограммы процесса сварки (электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм): а – ВД-306; б – Nebula-315

Из формул 1–2 и используя формулу Кардано [7], радиус кривизны поверхности электродной капли можно найти по формуле [8]:

$$R = \sqrt[3]{-\frac{1}{27}\left(\frac{-\pi\cdot\gamma\cdot r_0^2}{4a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}\right)^3 + \left(\frac{-3a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}{8\cdot\pi\cdot\gamma} + \frac{\pi\cdot\gamma\cdot r_0^2}{24a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}\right) - \sqrt{-\frac{2}{27}\left(\frac{-\pi\cdot\gamma\cdot r_0^3}{4a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}\right)^3 + \left(\frac{-3a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}{8\cdot\pi\cdot\gamma} + \frac{\pi\cdot\gamma\cdot r_0^2}{24a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}\right)\cdot\frac{1}{4} - \frac{1}{27^2}\cdot\left(\frac{-\pi\cdot\gamma\cdot r_0^2}{4a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}\right)^6}} + \frac{\pi\cdot\gamma\cdot r_0^2}{12a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}, \quad (2.8)$$

Формулу 2.8 можно упростить

$$R = \left(\sqrt[3]{\frac{-1}{27}\cdot c^3 + \left(b - \frac{c}{6}\right)} - \sqrt{\frac{2c^3}{27} + \frac{1}{4}\cdot\left(2b - \frac{c}{3}\right)}\right) - \frac{c}{3}, \quad (3)$$

где $c = \frac{-\pi\cdot\gamma\cdot r_0^2}{4a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}$; в $= \frac{-3a\cdot\tau_{к.з}^3\cdot 10^3}{8\cdot\pi\cdot\gamma}$.

Таким образом, формула 3 показывает, что чем больше короткое замыкание, тем больше радиус капли переносимого электродного металла.

Объем капли имеющей форму шарового сегмента с основанием равным сечению электрода можно определить по формуле [8]:

$$V = \left[2R^3 + \left(2R^2 + r_0^2\right)\sqrt{R^2 - r_0^2}\right]\cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

Расчетные данные массы переносимых капель и удельной поверхности

Источник питания	Ср. значения	$\tau_{к.з.}$, 10^{-3} с	Масса капли m,г	Радиус капли R, мм	Объем капли V, мм^3
Инвертор	I = 100А; U = 22В	10…14	0,33…0,90 / 0,615	2,16…3,02 / 2,59	19,6…54,9 / 375,5
	I = 125А; U = 24В	7…9	0,11…..0,24 / 0,175	1,5…1,9 / 1,7	67…145 / 106
Диодный выпрямитель	I = 100А; U = 22В	8…12	0,168…0,57 / 0,369	1,72…2,89 / 2,305	101…346 / 223
	I = 125А; U = 24В	6…8	0,07……0,16 / 0,115	1,29…1,7 / 1,495	35…101 / 68

Выводы

В результате теоретического исследование, была выведена математическая формула, позволяющая определять объем переносимых капель электродного металла при использовании источников питания с различными энергетическими характеристиками.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ No. 15-38-50600.

Список литературы

1. Il'yashchenko D.P., Chinakhov D.A., Gotovshchik Yu.M. Calculation of the Heat Content of the Electrode Metal Droplet Wshen Applying Power Supplies for Manual Arc Welding With Different Volt-Ampere Characteristic // Applied Mechanics and Materials Vol. 756 (2015). P. 101–104.

2. Ильященко Д.П., Чинахов Д.А. Влияние типа источника питания на тепло- и массоперенос при ручной дуговой сварке // Сварка и диагностика. – 2010. – № 6. – С. 26–29.

3. Ильященко Д.П. Методика расчета теплосодержания капли расплавленного электродного металла в зависимости от энергетических параметров источников питания РДС // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014 – № 3. – С. 126–129.

4. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико – химические закономерности. «Машиностроение». – 1973. – 448 с.

5. Корицкий Г.Г, Походня И.К. О некоторых силах, действующих на каплю электродного металла при сварке // Автоматическая сварка. – 1971. – № 3 – С. 11–14.

6. Макаренко В.Д. Расчет кинетических характеристик электродных капель при их переходе через дуговой промежуток в процессе сварки покрытыми электродами / Макаренко В.Д., Шатило С.П. / Сварочное производство. – 1999. – № 12. – С. 6–10.

7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968. – С. 47.

8. Ильященко Д.П., Павлов Н.В. Программа для ЭВМ «Расчет тепловложения в каплю электродного металла при РДС». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2015615010 06 мая 2015 г.