

Е.С. ГОЛУБЦОВА, д-р техн. наук (БНТУ),
 Н.Б. КАЛЕДИНА (БГТУ),
 Н.Б. БАЗЫЛЕВ, канд. физ.-мат. наук
 (ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси)

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА СВОЙСТВА
 НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ И УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ
 ПОСЛЕ СВАРКИ. СООБЩЕНИЕ 1. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА
 ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ
 СОЕДИНЕНИЙ**

В качестве защитных газов при дуговой сварке плавлением ТИГ и МИГ/МАГ применяют инертные газы (Ar, He), активные газы (CO₂, N₂) либо смеси этих газов (Ar + He, Ar + N₂, Ar + H₂, Ar + CO₂). Выбор газа осуществляют исходя из способа сварки, свойств свариваемого металла, а также требований к сварным соединениям. Состав защитного газа является наиболее важным фактором, влияющим на образование брызг. Использование чистого CO₂ в качестве защитного газа приводит к образованию большого количества брызг (результат нестабильности дуги). К тому же увеличивается количество исходных дефектов в металле шва, что неблагоприятно сказывается на качественных характеристиках и механических свойствах сварных соединений [1, 2].

Очевидно, что чем больше размер брызг, тем большее количество теплоты они содержат и чем больше содержание CO₂ в смеси с аргоном, тем больше брызг в процессе МАГ-сварки.

В таблице 1 показано, как доля брызг с диаметром более 0,8 мм увеличивается с ростом процента CO₂ в смеси с аргоном.

Таблица 1 – Количество крупных брызг в зависимости от содержания CO₂ в аргоне

Содержание CO ₂ в аргоне % (x)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Количество брызг > 0,8 мм % (y)	25,9	40	56,4	56,5	63,5	61,1	68,2	75,2	78	80

Зависимость количества брызг $> 0,8$ мм (y) от содержания CO_2 %, (x) попытаемся представить в виде функции

$$y = a_1 u^2 + b_1 u + c_1, \quad (1)$$

где $u = \frac{x - \bar{x}}{h}$: \bar{x} – среднее значение количества брызг в %; h – шаг, равный 10 %.

Для получения зависимости (1) воспользуемся методикой работы [3].

Коэффициенты уравнения (1) рассчитаем по формулам: (при четном числе данных N)

$$a_1 = \frac{1}{12H_2} [3\sum_{k=1}^N y_k (2k - N - 1)^2 - (N^2 - 1)\sum_{k=1}^N y_k]; \quad (2)$$

$$b_1 = \frac{1}{2H_1} \sum_{k=1}^N y_k (2k - N - 1); \quad (3)$$

$$c_1 = \bar{y} - \frac{H_1}{N} a_1. \quad (4)$$

Значения H_1 и H_2 можно, в свою очередь, рассчитать по формулам:

$$H_1 = \frac{N(N^2 - 1)}{12}; \quad (5)$$

$$H_2 = \frac{N(N^2 - 1)(N^4 - 4)}{180}, \quad (6)$$

$$N = 2M; M = 5.$$

Значения H_1 и H_2 можно также найти в таблице X при $N = 10$ [3]. В конкретном случае при $N = 10$ $2H_1(N) = 165$; $12H_2(N) = 6336$.

Для упрощения расчетов коэффициентов a_1 , b_1 и c_1 представим таблицу 1 в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета коэффициентов a_1 , b_1 и c_1

k	$x_1, \%$	$y_1, \%$	$l = 2k - 8$	yl	yl^2
1	10	25,9	-9	-223,1	2097,9
2	20	40,0	-7	-280	1960,0
3	30	56,4	-5	-282	1410,0
4	40	56,5	-3	-169,5	508,5
5	50	63,5	-1	-63,5	63,5
6	60	61,1	1	+61,1	61,1
7	70	68,2	3	+204,6	613,8
8	80	75,2	5	+376	1280,0
9	90	78,0	7	+546	3827,0
10	100	80,0	9	+720	6480,0
$N = 10$	550	604,8	-	879,6	18896,8

В результате $a_1 = -0,563$, $b_1 = 5,33$, $c_1 = 64,63$.

Уравнение (1) запишем в виде

$$y = -0,563u^2 + 5,33u + 64,63. \quad (7)$$

Проверка адекватности этого уравнения подтвердила эту гипотезу, т.к. дисперсия адекватности

$$S_{ay}^2 = \frac{\sum_{k=1}^N (y_u - y_p)^2}{N - m}, \quad (8)$$

где m – число значимых коэффициентов уравнения (7), а y_p – расчетное значение y в n -й строке оказалась равной

$$S_{ay}^2 = \frac{146,329}{10 - 3} = 20,904,$$

критерий Фишера $F = \frac{S_{ay}^2}{S_y^2} = \frac{20,904}{9,145} = 2,286 < F_{кр} = 3,4$ при

$\alpha = 0,05$; $f_1 = 7$; $f_2 = 9$; $S_y^2 = (3,024)^2 = 9,145$, где S_y^2 – дисперсия опытов, S_y – ошибка опытов (5 % от \bar{y}).

Напомним, $u = \frac{x - \bar{x}}{h} = \frac{x - 55}{10} = 0,1x - 5,5$.

Пользуясь уравнением (7), можно рассчитать значение y при любой доле CO_2 (%).

По данным таблицы 1 можно представить зависимость между y (% размера брызг) и x (долей CO_2 , %) в виде линейного уравнения

$$y = a + bx, \quad (9)$$

т.е. в виде линейной корреляции между y и x .

Для этого по формуле рассчитаем коэффициент парной корреляции r_{xy}

$$r_{xy} = \frac{\sum_i^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_i^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (10)$$

где \bar{x} и \bar{y} – среднее значение доли CO_2 и количества крупных брызг (%). Он оказался равным $r_{xy} = 0,9455 > r_{xy} = 0,7079$ даже при $\alpha = 0,01; f = N = 10$.

Коэффициент уравнения (9) a и b рассчитали по формулам:

$$b = \frac{\sum_i^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_i^N (x_i - \bar{x})^2} = 0,53, \quad (11)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 31,14. \quad (12)$$

Следовательно, выражение (9) можно представить в виде

$$y = 31,14 + 0,53x. \quad (13)$$

Это уравнение также адекватно, т.к. дисперсия адекватности $S_{ay}^2 = \frac{309,339}{10 - 2} = 38,042$, а $F = \frac{38,042}{9,145} = 4,16 < F_{кр} = 5,5$ при $\alpha = 0,01; f_1 = 8$ и $f_2 = 9$.

Еще более точную зависимость между y и x в данном случае можно представить в виде

$$y = 9,886x^{0,463}. \quad (14)$$

Здесь $S_{ay}^2 = \frac{137,8807}{10 - 2} = 17,2$, а $F = \frac{17,2}{9,145} = 1,825 < F_{кр} = 3,1$ при

$\alpha = 0,05; f_1 = 8; f_2 = 9$.

Графическое представление полученных моделей (13) и (14) приведено на рисунке 1.

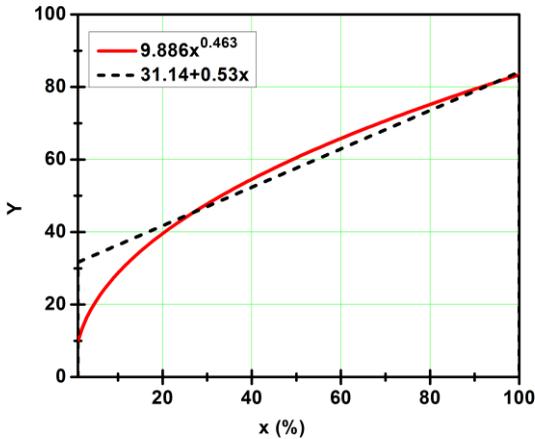


Рисунок 1 – Графическое представление моделей (13) и (14)

Список литературы

- 1. Дмитрик, В.В.** К образованию брызг расплавленного металла при дуговой сварке в среде углекислого газа / В.В. Дмитрик, А.В. Глушко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – № 12 (94). – 2011. – С. 43–49.
- 2. Сливинский, А.А.** Теплофизические особенности импульсной дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах (обзор) / А.А. Сливинский, Л.А. Жданов, В.В. Коротенко // Автоматическая сварка. – № 11. – 2015. – С. 32–38.
- 3. Румшицкий, Л.З.** Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное пособие / Л.З. Румшицкий. – М: Наука, 1971. – 192 с.