

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ СВАРОЧНОЙ ДУГИ ПРИ МНОГОДУГОВОЙ СВАРКЕ

А.М. Уланов, М.А. Иванов

Разработана новая математическая модель для расчета температуры каждой дуги при многодуговой сварке на основании закона сохранения энергии. Она интегрирована в предыдущие модели по расчету режима многодуговой сварки. Выполнен проверочный расчет для трехдуговой сварки.

Ключевые слова: сварка, температура сварки, дуга, многодуговая сварка.

Расчетами температуры сварочной дуги занимались многие исследователи [1]. Их подходы основаны на расчете теплосодержания сварочной капли для однодуговой сварки.

В данной работе предлагается развитие системы расчета температуры сварочной дуги для многодуговой сварки, независимо от количества дуг. В основу расчета положен принцип сохранения энергии. Вся энергия от источника питания расходуется на нагрев сварочной проволоки, ее переход в жидкое состояние и на перегрев выше температуры ликвидус. Для упрощения расчета различные потери тепла не учитывались. При необходимости их можно ввести в исходные уравнения.

Таким образом, необходимо составить энергетический баланс плавления сварочного электрода. Мощность, расходуемая на перегрев расплавленного металла ($W_{\text{перегрев}}$), находится по выражению

$$W_{\text{перегрев}} = W_{\text{ист}} - W_{\text{тв}} - W_{\text{скр}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{ист}}$ – мощность на одной конкретной сварочной дуге от источника питания при многодуговой сварке, которая зависит от режима сварки, Вт; $W_{\text{тв}}$ – мощность, расходуемая на нагрев металла до температуры плавления, Вт; $W_{\text{скр}}$ – мощность, расходуемая на скрытую теплоту плавления, Вт.

Для упрощения расчетов принимаем коэффициент теплоемкости постоянным во всем интервале температур, так как нахождение этого коэффициента в высокотемпературной зоне проблематично.

Мощность, расходуемую на перегрев металла сверх температуры плавления, найдем по формуле

$$W_{\text{перегрев}} = \frac{(T_{\text{св}} - T_{\text{пл}}) M_{\text{ме}} C}{\tau_{\text{св}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{св}}$, $T_{\text{пл}}$ – температуры процесса сварки и плавления металла соответственно, °С; $M_{\text{ме}}$ – масса расплавленного металла, кг; C – коэффициент теплоемкости металла сварочной проволоки, Дж/кг·°С; $\tau_{\text{св}}$ – продолжительность сварки, с.

Мощность источника питания находится:

$$W_{\text{ист}} = I_{\text{св}} U_{\text{св}} \eta, \quad (3)$$

где $I_{\text{св}}$ – сварочный ток, А; $U_{\text{св}}$ – напряжение на дуге, В; η – КПД процесса сварки.

Мощность, расходуемую на нагрев металла до температуры плавления, найдем по формуле

$$W_{\text{тв}} = \frac{(T_{\text{пл}} - T_0) M_{\text{ме}} C}{\tau_{\text{св}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{пл}}$, T_0 – температура плавления и начальная температура сварочной проволоки, °С.

Мощность, расходуемую на скрытую теплоту плавления, найдем по формуле

$$W_{\text{скр}} = \frac{Q_{\text{скр}} M_{\text{ме}}}{\tau_{\text{св}}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{скр}}$ – скрытая теплота превращения, Дж/кг.

Подставив в выражение (1) формулы (2)–(5), получим

$$\begin{aligned} \frac{(T_{\text{св}} - T_{\text{пл}}) M_{\text{ме}} C}{\tau_{\text{св}}} = \\ = I_{\text{св}} U_{\text{св}} \eta - \frac{(T_{\text{пл}} - T_0) M_{\text{ме}} C}{\tau_{\text{св}}} - \frac{Q_{\text{скр}} M_{\text{ме}}}{\tau_{\text{св}}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Решив уравнение (6) для температуры сварки, получим

$$T_{\text{св}} = T_0 + \frac{I_{\text{св}} U_{\text{св}} \eta \tau_{\text{св}}}{M_{\text{ме}} C} - \frac{Q_{\text{скр}}}{C}. \quad (7)$$

При расчетах температур сварочных дуг удобно использовать погонную энергию сварки. Для этого воспользуемся формулой расчета погонной энергии сварки [1]:

$$Q_{\text{пог}} = \frac{I_{\text{св}} U_{\text{св}} \eta}{V_{\text{св}}}, \quad (8)$$

где $V_{\text{св}}$ – скорость сварки, м/с.

Выражая мощность, получим

$$I_{\text{св}} U_{\text{св}} \eta = Q_{\text{пог}} V_{\text{св}}. \quad (9)$$

Далее найдем массу металла по выражению

$$M_{\text{ме}} = \rho V_{\text{св}}^{\text{пров}} = \frac{\rho \pi d_{\text{пр}}^2 V_{\text{пл}} \tau_{\text{св}}}{4}, \quad (10)$$

где ρ – плотность сварочной проволоки, кг/м³; $V_{\text{св}}^{\text{пров}}$ – объем расплавленной сварочной проволоки.

ки, м³; $d_{пр}$ – диаметр сварочной проволоки, м;

$V_{пп}$ – скорость подачи проволоки, м/с.

Скорость подачи проволоки определяется из [1]:

$$V_{пп} = \frac{V_{св} F_{нап}^д}{\frac{\pi}{4} d_{пр}^2}, \quad (11)$$

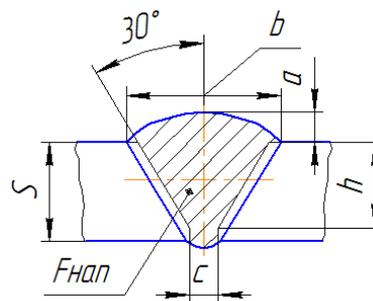
где $F_{нап}^д = \frac{F_{нап}}{n}$ – площадь наплавки металла от одной дуги, м³; $F_{нап}$ – площадь наплавленного металла, м²; n – количество сварочных дуг, шт.

Подставляя выражения (9)–(11) в (7), после преобразования получим

$$T_{перегрев}^{свар} = T_0 + \frac{Q_{пог}}{\rho F_{нап}^д C} - \frac{Q_{скр}}{C}. \quad (12)$$

Проведем расчет температуры сварочных дуг в зависимости от режима трехдуговой сварки.

Заданная геометрия разделки сварного соединения С17 под флюсом, выполненного по ГОСТ 16037–80, приведена на рисунке и в табл. 1. Для данной разделки проведен расчет режимов сварки по методике [2] (табл. 2). Принят диаметр сварочной проволоки 4 мм. Зная площадь наплавленного металла и режим сварки, представляется возможность провести расчет температуры каждой дуги (табл. 3).



Расчетная схема определения площади наплавленного металла

Таким образом, на основании положений теории сварочных процессов была разработана математическая модель для расчета температуры каждой из дуг многодуговой сварки. Представлен проверочный расчет для трехдуговой сварки. Хорошо видно, что несмотря на разную геометрию сварного шва, режимы сварки, температура дуг находится в пределах погрешности вычислений. Это говорит о высокой точности полученной математической модели, нет перекосов ни в сторону неоправданного роста температуры, ни ее снижения. Однако необходимо иметь в виду, что в реальный процесс сварки обязательно входят различные потери энергии, подробному изучению которых необходимо посвятить отдельную статью.

Геометрические параметры сварного соединения из рис. 1

Таблица 1

№ сварного соединения	s , мм	a , мм	b , мм	c , мм	h , мм
1	7	3	15	2	6
2	7	1	12	1,5	5,5
3	12	4	22	3	11
4	12	1	18	2	10,5

Параметры режима сварки (ток, напряжение, скорость сварки)

Таблица 2

№ сварного соединения	$I_{св1}$, А	$U_{св1}$, В	$I_{св2}$, А	$U_{св2}$, В	$I_{св3}$, А	$U_{св3}$, В	$V_{св}$, см/с
1	658	32,2	592	32	533	31,8	3,5
2	407	27,1	366	27,1	330	26,9	3,5
3	936	37,7	843	37,5	759	37,2	2,3
4	643	31,9	579	31,7	521	31,5	2,3

Температура на дуге

Таблица 3

№ сварного соединения	Температура 1-й дуги, °С	Температура 2-й дуги, °С	Температура 3-й дуги, °С	$F_{нап}$, см ²
1	4777	4229	3742	0,649
2	4760	4240	3753	0,339
3	4770	4232	3737	1,647
4	4778	4233	3743	0,956

Литература

1. Рыкалин, Н.Н. *Расчеты тепловых процессов при сварке* / Н.Н. Рыкалин. – М.: Машигиз, 1951. – 296 с.
2. Иванов, М.А. *Теоретический подход к рас-*

чету режима трехдуговой сварки под флюсом стыкового соединения деталей тележки рельсового транспорта / М.А. Иванов, А.М. Уланов, Ю.В. Безганс // *Вестник ЮУрГУ. Сер. «Металлургия»*. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 146–149.

Уланов Алексей Михайлович, аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); uam87@yandex.ru.

Иванов Михаил Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); ivanovma@susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 3 марта 2014 г.

Bulletin of the South Ural State University
Series “Metallurgy”
2014, vol. 14, no. 1, pp. 93–95

CALCULATION OF THE WELDING ARC TEMPERATURE IN MULTIARC WELDING

A.M. Ulanov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
uam87@yandex.ru,

M.A. Ivanov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
ivanovma@susu.ac.ru

A new mathematical model to calculate the temperature of each welding arc in a multiarc welding has been worked out using the law of conservation of energy. The model is integrated into the previously developed ones simulated for the calculation of multiarc welding. It was validated by test calculations made for the three-arc welding.

Keywords: welding, welding temperature, welding arc, multiarc welding.

References

1. Rykalin N.N. *Raschety teplovykh protsessov pri svarke* [Calculations of Thermal Processes in Welding]. Moscow, Mashgiz Publ., 1951. 296 p.
2. Ivanov M.A., Ulanov A.M., Bezgans Yu.V. [Theoretical Approach to the Calculation of Three-Arc Submerged Arc Welding Mode of Butt Joints of Rail Transport Trolley Parts]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 146–149. (in Russ.)

Received 3 March 2014