

**Варуха Евгений Николаевич**

д-р техн. наук, научный консультант

ООО «Инвертор»

г. Ростов-на-Дону, Ростовская область

## **РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ НЕОБХОДИМЫЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПОДОГРЕВ ПРОВОЛОКИ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ**

*Аннотация:* на основе учета мощностей различных источников нагрева получено аналитическое выражение, связывающее величину тока предварительного подогрева, пропускаемого между дополнительным и сварочным токоподводящими наконечниками через непрерывно подаваемую в зону сварки проволоку, с определяющими параметрами процесса. Установлено, что величина тока предварительного подогрева нелинейным образом зависит от диаметра, скорости подачи проволоки и ее вылета между наконечниками, от теплофизических характеристик материала проволоки и от величины необходимой температуры подогрева. Установленная закономерность может быть использована для выбора конструктивного исполнения сварочной горелки и параметров подогревающего источника тока, что обеспечит технологически необходимую величину температуры сварочной проволоки при ее предварительном подогреве проходящим током.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, подогрев сварочной проволоки, аналитический расчет, расчет тока подогрева, граница диапазона температур, предварительный подогрев проволоки.

При дуговой сварке под флюсом и в защитных газах для повышения производительности процесса наплавки рекомендуется осуществлять предварительный подогрев сварочной проволоки (рис. 1) путем пропускания тока от отдельного источника тока  $I_n$  на участке проволоки  $L$ , расположенном до сварочного токоподводящего наконечника [3].

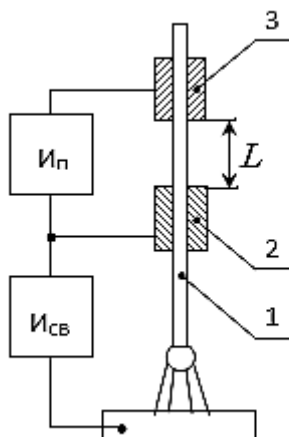


Рис. 1. Схема предварительного подогрева проволоки в процессе сварки.

1 – сварочная проволока; 2 – сварочный токоподводящий наконечник;  
 3 – дополнительный токоподводящий наконечник;  $I_{св}$  – сварочный источник  
 питания дуги;  $I_{п}$  – подогревающий источник тока

Однако до настоящего времени не существовало достаточно простого способа определения тока предварительного подогрева в зависимости от величины необходимой температуры предварительного подогрева и других определяющих параметров процесса. С этой целью в настоящей работе рассмотрим и опишем мощности источников нагрева, обеспечивающих предварительный подогрев сварочной проволоки в процессе сварки, и установим их связь с величиной тока предварительного подогрева.

Баланс мощностей в участке проволоки  $L$  между дополнительным и сварочным токоподводящими наконечниками может быть представлен в следующем виде:

$$\mathcal{V}\gamma_{ср}F_{э}H_{п} = q_{м1} + q_{дж} + q_{м2}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{V}$  и  $F_{э}$  – скорость подачи и площадь поперечного сечения сварочной проволоки, м/ч и м<sup>2</sup>, соответственно;  $\gamma_{ср}$  – средняя плотность металла проволоки в интервале от температуры окружающей среды  $T_0$  до температуры предварительного подогрева  $T_{п}$ , кг/м<sup>3</sup>;  $H_{п}$  – энтальпия металла сварочной проволоки при температуре предварительного подогрева  $T_{п}$ , Дж/кг;  $q_{м1}$  – мощность, переданная в

проволаку от токоподводящего перехода «дополнительный наконечник – проволака», равная  $I_{\Pi} \cdot U_{\text{M}}(T_0)$ , Вт;  $q_{\text{дж}}$  – мощность, выделяющаяся в участке проволаки  $\ell$  от проходящего по ней тока предварительного подогрева  $I_{\Pi}$ , Вт;  $q_{\text{M2}}$  – мощность, переданная в проволаку от токоподводящего перехода «сварочный наконечник – проволака», равная  $I_{\Pi} \cdot U_{\text{M}}(T_{\Pi})$ , Вт;  $U_{\text{M}}(T_0)$  и  $U_{\text{M}}(T_{\Pi})$  – части падения напряжения в контактных переходах «токоподводящий наконечник – проволака» и «дополнительный наконечник – проволака», определяющие мощности  $q_{\text{M1}}$  и  $q_{\text{M2}}$  при температуре окружающей среды  $T_0$  и температуре предварительного подогрева  $T_{\Pi}$ , соответственно.

В диапазоне температур  $0^{\circ}\text{C} \leq T_{\Pi} < 450^{\circ}\text{C}$  зависимость  $U_{\text{M}}(T_{\Pi})$  от  $T_{\Pi}$  описывается следующим полиномом [1]:

$$U_{\text{M}} = 0,3016 - 3,897 \cdot 10^{-5} T_{\Pi} - 1,404 \cdot 10^{-6} T_{\Pi}^2, \quad (2)$$

и при  $T_{\Pi} \geq 450^{\circ}\text{C}$  –  $U_{\text{M}}(T_{\Pi}) = 0$ .

В свою очередь, мощность  $q_{\text{дж}}$  и энтальпия  $H_{\Pi}$  равны:

$$q_{\text{дж}} = I_{\Pi}^2 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot L / F_{\text{э}}, \quad (3)$$

$$H_{\Pi} = c_{\text{ср}} \cdot T_{\Pi}, \quad (4)$$

где  $c_{\text{ср}}$  и  $\rho_{\text{ср}}$  – средняя удельная теплоемкость и среднее удельное сопротивление металла проволаки в интервале от  $T_0$  до  $T_{\Pi}$ , Дж/(кг·°C) и Ом·м соответственно.

Решая совместно (1), (3) и (4), получаем формулу для расчета тока подогрева во всем возможном диапазоне температур предварительного подогрева:

$$I_{\Pi} = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot \frac{(U_{\text{M}}(T_0) + U_{\text{M}}(T_{\Pi}))}{2L\rho_{\text{ср}}} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{4\gamma_{\text{ср}}L\rho_{\text{ср}}c_{\text{ср}}V \cdot T_{\Pi}}{(U_{\text{M}}(T_0) + U_{\text{M}}(T_{\Pi}))^2}} \right). \quad (5)$$

Первым слагаемым в подкоренном выражении (5) можно пренебречь, т. к. оно на 2–3 порядка меньше второго. Тогда выражение (5) упрощается до вида:

$$I_{\Pi} = \kappa d_3^2 \sqrt{\frac{V \cdot T_{\Pi}}{L}}, \quad (6)$$

где коэффициент «к» равен:  $\kappa = \frac{\pi}{4} \left( \sqrt{\frac{\gamma_{\text{ср}} \cdot c_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ср}}}} - \frac{(U_{\text{M}}(T_0) + U_{\text{M}}(T_{\Pi}))}{2\rho_{\text{ср}}} \sqrt{\frac{1}{LV \cdot T_{\Pi}}} \right)$ . (7)

Для расчета  $\gamma_{cp}$ ,  $\rho_{cp}$  и  $c_{cp}$  были использованы данные температурных зависимостей этих характеристик для материала, аналогичного по химсоставу сварочной проволоке Св-08Г2С, приведенные в работе [2]. После обработки этих данных методом наименьших квадратов установлено, что для интервала температур от 0°С до 600°С температурные зависимости  $\rho_{cp}$  и комплекса теплофизических характеристик, входящего в (7), имеют вид:

$$\rho_{cp} = 10^{-10} \cdot \{3106 + 4,874T_{II} + 1,149 \cdot 10^{-6}T_{II}^2\}, \quad (8)$$

$$\frac{\gamma \cdot c_{cp}}{\rho_{cp}} = 10^{10} \cdot \{872,8 + 1,03T_{II} - 3,77 \cdot 10^{-4}T_{II}^2\}^{-1}, \quad (9)$$

с соответствующими коэффициентами корреляции  $R=0,99989$  и  $R=0,99957$ .

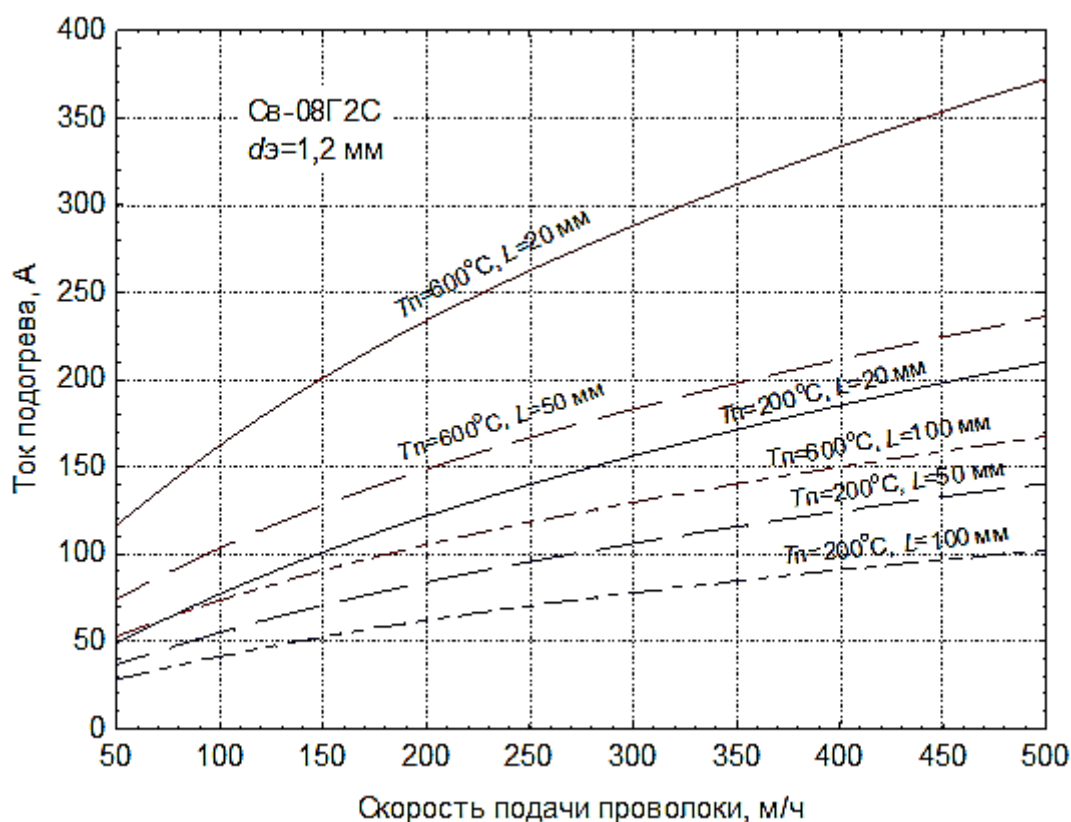


Рис. 2. Зависимость тока подогрева  $I_{II}$  от скорости подачи проволоки  $V$  для различных температур подогрева  $T_{II}$  и расстояний  $L$

Температура 600°С была выбрана в качестве максимальной температуры предварительного подогрева  $T_{II}$  в связи с тем, что при этой температуре металл проволоки теряет упругие свойства [4] и проталкивание проволоки через канал

сварочного токоподводящего наконечника становится практически невозможным, т.к. проволока сминается и застревает в нем.

Расчеты по (6) показывают, рис.2, что зависимость  $I_{\text{п}}$  от параметров процесса носит нелинейный характер. С ростом скорости подачи проволоки и уменьшением расстояния между дополнительным и сварочным наконечниками величина тока подогрева увеличивается. Меньшей температуре предварительного подогрева соответствует меньшая величина  $I_{\text{п}}$ .

Полученная зависимость (6) позволяет определять расстояние разнесения дополнительного и сварочного наконечника в стволе сварочной горелки, обеспечивающее как можно меньшую величину тока предварительного подогрева при заданных параметрах режима сварки, и по этой величине подобрать наиболее экономичный подогревающий источник тока.

### *Список литературы*

1. Варуха Е.Н. Расчет скорости плавления предварительно нагретого электрода при сварке в углекислом газе [Текст] // Сварочное производство. – 2012. – №2. – С. 3–8.
2. Казанцев Е.И. Промышленные печи [Текст]: Справочное руководство для расчетов и проектирования. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
3. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением [Текст] / Под ред. акад. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
4. Трочун И.П. Внутренние усилия и деформации при сварке [Текст]. – М.: Машгиз, 1964. – 248 с.