

УДК 537.523.5:621.791.75

ОЦЕНКА ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ СТОЛБОМ  
СВАРОЧНОЙ ДУГИ И ОБРАЗЦОМ, ВНЕСЕННЫМ В СТОЛБВ. В. ГЛУЩЕНКО, А. И. ЛЯПИН  
Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Теплообмен плазмы с помещенным в нее телом часто описывается дифференциальными уравнениями гидродинамики. При этом особое внимание уделяется коэффициенту теплоотдачи плазмы, который имеет практическое значение. Применение указанных уравнений к положительному столбу сварочной электрической дуги имеет свои особенности. Температура плазмы, особенно в центральной части столба, составляет порядка  $10^4$  град. При такой температуре, например, критерий Рейнольдса равен нулю, что ограничивает дальнейшие вычисления. Поэтому при расчетах коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от критериальных уравнений, вытекающих из преобразований дифференциальных уравнений гидродинамики, в рассматриваемом случае приходится отказаться.

В работе ограничимся расчетом минимального количества энергии, необходимого для нагревания образца до определенной температуры с учетом максимальных потерь в области нагрева.

Для обеспечения макроскопического динамического нагрева образца, внесенного в положительный столб сварочной дуги, без включения его в электрическую цепь необходимо стационарное выполнение равенства

$$\delta Q_1 = \delta Q_2, \quad (1)$$

где  $Q_1$  – количество энергии, необходимое для нагревания образца до определенной температуры;  $Q_2$  – количество энергии, поступающей на образец.

В случае плавления образца величина  $Q_1$  определяется известным выражением

$$\delta Q_1 = dm \cdot (c \cdot (T_w - T) + \lambda), \quad (2)$$

где  $dm$  – масса элемента образца;  $c$ ,  $T_w$ ,  $T$ ,  $\lambda$  – удельная теплоемкость, температура плавления, начальная температура и удельная теплота плавления образца соответственно.

Полагая, что приток энергии к образцу из плазмы положительного столба происходит за счет принудительной конвекции и с учетом того, что по мере нагревания образца он может терять энергию за счет излучения, величину  $Q_2$  можно описать следующим соотношением:

$$\delta Q_2 = dS \cdot d\tau \cdot (\alpha \cdot (T_{nl} - T_w) - \sigma \cdot T_w^4), \quad (3)$$

где  $dS$  – элемент площади контакта образца с плазмой положительного столба;  $d\tau$  – время взаимодействия;  $\alpha$  – коэффициент принудительного конвекционного теплообмена;  $T_{nl}$  – температура плазмы в области контакта с образцом.

В частном случае образца цилиндрической формы величины  $dS$ ,  $dm$  и  $d\tau$  можно выразить через характеристики образца и положительного столба:

$$dm = \rho \cdot dV = \frac{\rho \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot dx; \quad (4)$$

$$dS = \pi \cdot d \cdot dx; \quad (5)$$

$$d\tau = \frac{dq}{I} = \frac{\rho_0 \cdot dV}{I} = \frac{\rho_0 \cdot S \cdot \lambda_0}{j \cdot S} = \frac{\rho_0 \cdot \lambda_0}{j}, \quad (6)$$

где  $\rho$ ,  $d$ ,  $dx$  – плотность материала, диаметр и высота элемента образца;  $\rho_0$  – объемная плотность зарядов одного знака в плазме;  $\lambda_0$  – средняя длина свободного пробега ионов в плазме;  $j$  – плотность разрядного тока.

Подстановка (2)–(6) в (1) и решение полученного равенства относительно коэффициента  $\alpha$  приводит к следующему выражению:

$$\alpha = \frac{\rho \cdot d \cdot (c \cdot T_w + \lambda)}{4 \cdot \rho_0 \cdot \lambda_0} \cdot j + \sigma \cdot T_w^4. \quad (7)$$

По (7) были проведены расчеты значения  $\alpha$  для сварочной дуги постоянного тока длиной 5...7 мм, свободно горящей между вольфрамовыми электродом диаметром 2 мм и пластиной, в воздухе при нормальном давлении. Вычисления проводились для оси столба. Расчеты показали, что даже при температуре столба, равной  $T_c = 2 \cdot 10^4$  К не может произойти расплавление вольфрамового образца, внесенного в положительный столб и не включенного в цепь разряда. Это означает, что объемной плотности энергии плазмы в положительном столбе при выбранном режиме дуги недостаточно, чтобы за счет принудительной конвекции нагреть образец до температуры плавления.