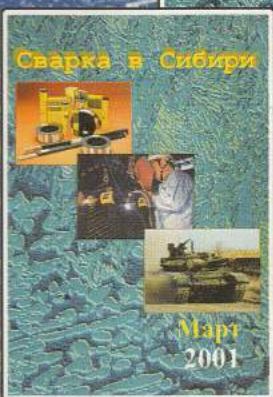
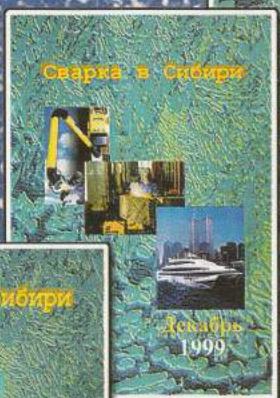
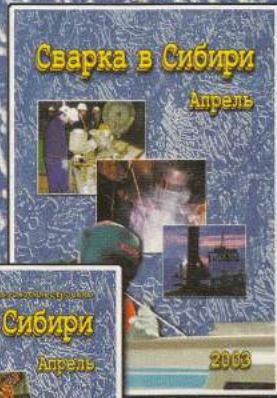
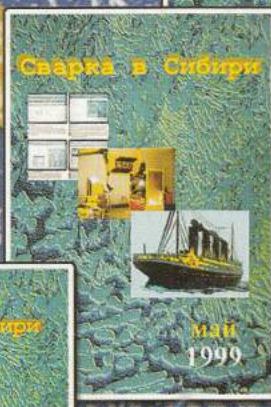


Сварка в Сибири

5 лет



Ноябрь
2003

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА

К локальным энергетическим параметрам сварочных источников тепла – электрической дуги, потока плазмы, электронного и лазерного луча – относятся, прежде всего, концентрация ввода тепла, а также, распределение по пятну нагрева теплового потока и плотности тока.

Определение этих характеристик возможно различными методами. Это может быть: фотографирование и спектрографирование сварочного источника тепла, анализ электроэрозионных отпечатков на электродах, индукционный метод для оценки плотности переменного тока в дуге, предложенный И.Д. Кулагиным и А.В. Николаевым метод измерения градиента потенциала электрического поля в тонкой пластиине-электроде [1]. Для определения плотности тока в

пятне нагрева дуги можно использовать, так называемый,

точечный зонд, встроенный в имитатор изделия и электри-

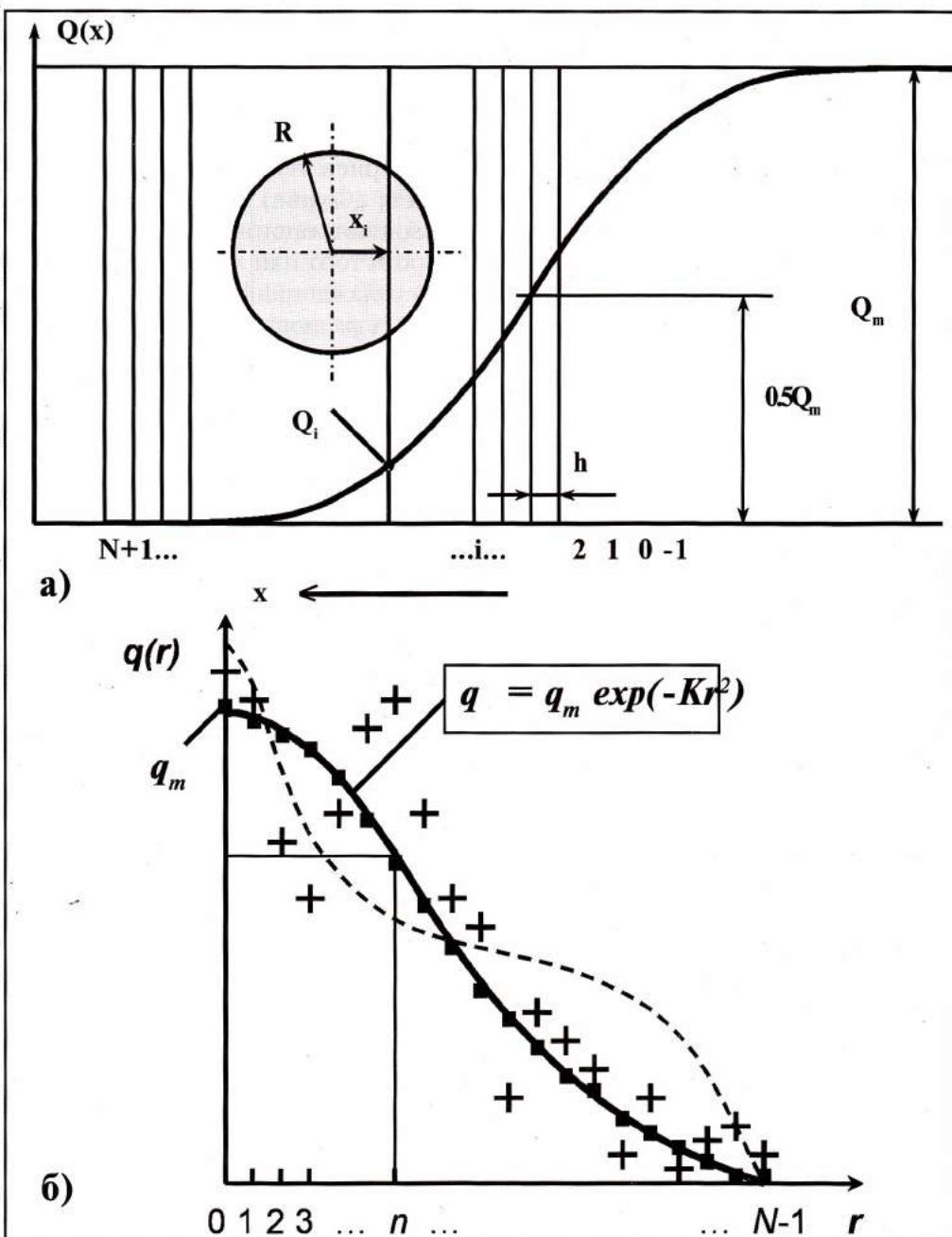


Рис. 1. Опытные кривые (а) и расчетные функции радиального распределения (б): (+) – без сглаживания, остальное со сглаживанием опытных данных; (—) – произвольная кривая $Q(x)$ и ее пересчет в $q(r)$.

чески изолированный от него [2]. В работе [3] использовались плоскостные зонды из вольфрама, служащие анодом дуги; при этом был рассчитан диаметр активного пятна дуги и средняя плотность тока по пятну. Полученную при плоскостном зондировании кривую изменения тока можно использовать для расчета радиального распределения плотности тока $j(r)$ [2, 4]. Если плоскостные зонды выполнить в виде проточных водяных калориметров, то это позволяет определить также плотность теплового потока по радиусу пятна нагрева сварочного источника тепла $q(r)$.

Одновременная регистрация в опытах плотности тока и теплового потока в активном пятне дуги или электронного луча наиболее полно характеризует картину энергетических процессов на границе источник тепла – изделие. Этот метод основан на измерении разности температур ΔT_e потока воды на выходе и на входе в калориметр, нагреваемый дугой:

$$Q = G_b \overline{c_b} \Delta T_e$$

где G_b – массовый расход воды; C_b – средняя удельная теплоемкость воды в интервале температур, определяемом ΔT_e .

Расчеты и опыты показывают, что проточные медные калориметры обычно могут нормально работать в стационарном режиме при плотностях теплового потока до 50–55 Вт/м².

К преимуществам метода плоскостного зондирования проточными калориметрическими зондами, которые служат одним из электродов сварочной дуги, относятся:

а) измерение плотности

тока $j(r)$ непосредственно в активном пятне дуги;

б) создание условий, наиболее полно соответствующих процессам реальной теплопередачи от дуги к поверхности изделия (в отличие, например, от линейного калориметра, измеряющего тепловой поток практически в столбе дуги на некотором расстоянии от поверхности изделия);

с) наименьшее искажение истинной картины распределения $q(r)$ и $j(r)$, т.к. геометрические размеры диэлектрического зазора между плоскостными зондами могут быть выполнены существенно меньшими, чем размеры линейного или точечного зонда.

Термоэлектрический изолятор между водоохлаждающими зондами (слюда, керамика) обеспечивает зазор шириной порядка 0.2 мм. ЭДС с хромель-копелевых термопар, включенных по дифференциальной схеме, и напряжение со стандартного шунта подается на вход электронных потенциометров.

Полученные из опыта данные, характеризующие рост эффективной тепловой мощности $Q(x)$ и тока $I(x)$, обозначим через некоторую функцию $Q(x)$, как это показано на рис. 1.

К сожалению, метод плоскостного зондирования требует сравнительно сложной обработки опытных данных, приводящей к увеличе-

Q(x) в $q(r)$ позволяет получить результаты при любой наперед неизвестной функции радиального распределения $q(r)$ (рис. 1).

Многочисленные исследования показали, что с высокой достоверностью можно аппроксимировать функции радиального распределения $q(r)$ сварочных источников тепла законом нормального распределения Гаусса:

$$q = q_m \exp(-Kr^2),$$

где q_m – максимальная плотность теплового потока в центре пятна нагрева; K – коэффициент сосредоточенности, равный

$$K = 1/R_e^2,$$

где R_e – эффективный радиус пятна нагрева.

При гауссовом распределении плотности теплового потока $q(r)$ методика расчета локальных параметров сварочных источников тепла может быть существенно упрощена без потери точности.

Интегральное значение $Q(x)$ на сегменте плоскостного зонда (рис. 2) можно найти из выражения:

Таблица 1

$Q(x)/Q_m$ %	$q(r)/q_m$ %	R_e
0.65	5	$R_e = \frac{x}{1,73}$
1.6	10	$R_e = \frac{x}{1,52}$
4.0	20	$R_e = \frac{x}{1,27}$
14.0	50	$R_e = \frac{x}{0,83}$
25.4	75	$R_e = \frac{x}{0,54}$

$$Q(x) = 2 \int_x^R q(r) r \cdot \cdot \cdot \arccos(x/r) dr$$

где R — радиус, соответствующий отношению $q/q_m = 0.001$.

Разделив левую и правую часть вышеприведенного выражения на Q_m , и принимая во внимание, что $Q_m = q_m \pi R^2$, получим:

$$\frac{Q(x)}{Q_m} = \frac{2}{\pi} \int_x^R \frac{q(r)}{q_m} \frac{r}{R^2} \cdot$$

$$\cdot \arccos(x/r) dr$$

Примем для удобства $K = 1$, что соответствует $R_s = 1$ (это никак не повлияет на окончательный результат). Тогда:

$$\frac{Q(x)}{Q_m} = \frac{2}{\pi} \int_x^R \frac{q(r)}{q_m} r \cdot \cdot \cdot \arccos(x/r) dr$$

Из выражения $q = q_m \exp(-Kr^2)$ для $r = R$ имеем:

$$\frac{q}{q_m} = \exp(-KR^2) = 0.001$$

т.к. $K = 1$ то:

$$-R^2 = \ln 0.001 = -6.9,$$

откуда $R = 2.63$, аналогично для других значений q/q_m определяем соответствующие им радиусы: $r_{0.05} = 1.73$; $r_{0.04} = 1.79$; $r_{0.03} = 1.87$; $r_{0.02} = 1.98$; $r_{0.01} = 2.15$.

Участок $R-x$ разделим на пять зон, тогда:

$$dr = (R-x)/5 = (2.63-1.73)/5 = 0.18.$$

Численно интегрируя от x до R по формуле трапеций, получим:

$$\frac{Q(x)}{Q_m} (\text{npru } r = 1.73) = \frac{2}{\pi} \cdot 0.045 \cdot 1.73 \cdot \cdot \cdot \arccos(1.73/1.73) \cdot 0.18 = 0$$

аналогично для других значений r :

$$\frac{Q(x)}{Q_m} (\text{npru } r = 1.79) =$$

$$= 0.0019$$

$$\frac{Q(x)}{Q_m} (\text{npru } r = 1.87) =$$

$$= 0.0021$$

$$\frac{Q(x)}{Q_m} (\text{npru } r = 1.98) =$$

$$= 0.0017$$

$$\frac{Q(x)}{Q_m} (\text{npru } r = 2.15) = 0.0008$$

Таким образом, в результате интегрирования получаем

$$\frac{Q(x)}{Q_m} = 0.0065$$

$q/q_m = 0.05$ для принятого значения $R_s = 1$ соответствует $x = r_{0.05} = 1.73$.

Т.к. $x = r_{0.05} = 1.73$ соответствует $q/q_m = 0.05$, то

$$\frac{q}{q_m} = \exp(-Kr_{0.05}^2) = 0.05$$

$$K = \sqrt{\frac{(-\ln 0.05)}{r_{0.05}^2}} = 1;$$

$$R_s = \frac{1}{\sqrt{K}} = 1$$

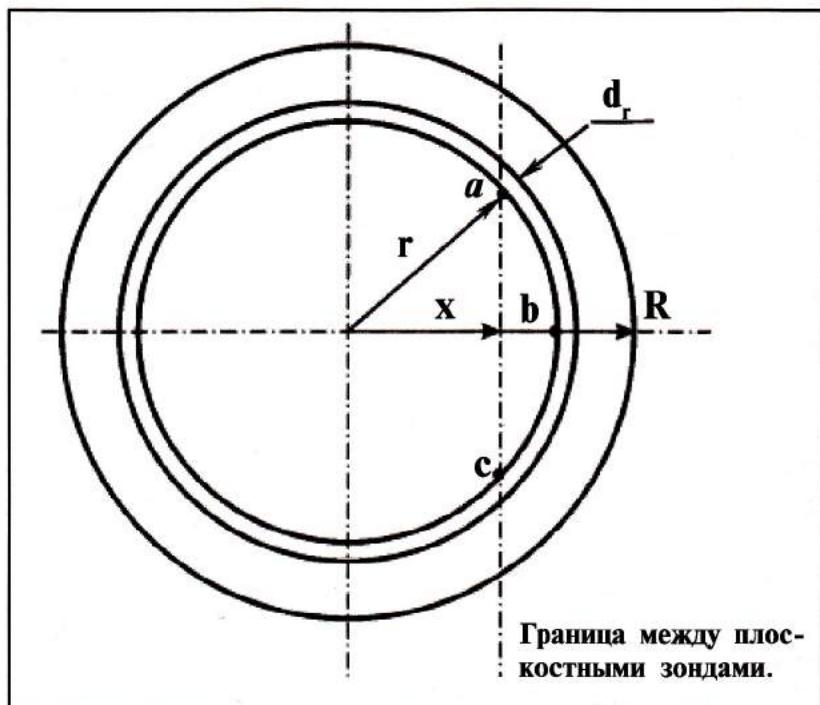


Рис. 2. Схема расчета $Q(x)$ при гауссовом распределении $q(r)$ плотности теплового потока.

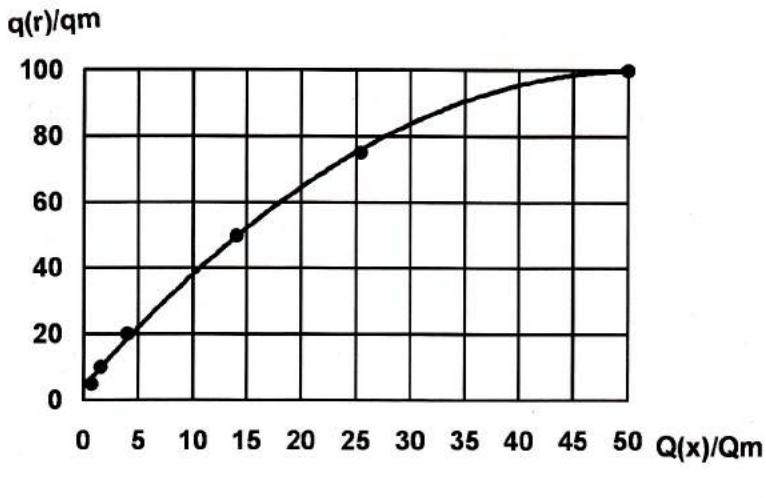


Рис. 3. Связь экспериментальных данных $Q(x)/Q_m$ и относительной плотности теплового потока $q(r)/q_m$.

Мы получили значение $R_s = 1$ принятное нами ранее.

Таким образом, полученному из экспериментов значению $Q(x)/Q_m = 0.65\%$ и принятому $R_s = 1$ соответствует значение $x = r_{0.05} = 1.73$. Следовательно, для вычисления неизвестного эффективного радиуса R_s , полученное из эксперимента значение x , соответствующее $Q(x)/Q_m = 0.65\%$, необходимо разделить на коэффициент 1.73:

$$R_s = \frac{x}{1.73}$$

Если взять $x = r_{0.10}$, соответствующее $q/q_m = 0.10$ и провести аналогичные вычисления, получим: $Q(x)/Q_m = 0.016$.

Таким образом, полученному из экспериментов значению $Q(x)/Q_m = 1.6\%$ соответствует значение $x = r_{0.10} = 1.52$.

Следовательно, для вычисления неизвестного эффективного радиуса R_s , полученное из эксперимента значение x , соответствующее $Q(x)/Q_m = 1.6\%$, необходимо разделить на коэффициент 1.52:

$$R_s = \frac{x}{1.52}$$

Другим значениям $Q(x)/Q_m$ будут соответствовать другие отношения $q(r)/q_m$ (см. таблицу 1 и рис. 3)

Выводы:

1. Отечественные и зарубежные исследования показали, что сварочные источники тепла могут быть адекватно аппроксимированы законом нормального распределения Гаусса. Это дает возможность применить простую и надежную инженерную методику обработки данных плос-

костного зондирования сварочных источников тепла, основанную на использовании относительных значений $Q(x)/Q_m$ и $q(r)/q_m$.

2. Проверка разработанной методики показала ее соответствие результатам численного расчета функций радиального распределения использующего всю экспериментальную кривую $Q(x)$. Предлагаемая методика фактически может использовать одно значение $Q(x)/Q_m$, что существенно упрощает обработку данных плоскостного зондирования при высокой точности.

Список литературы:

- Кулагин И.Д., Николаев А.В. Особенности воздействия дуги постоянного тока в газах на поверхность электродов. В сб. Вопросы дуговой сварки в защитных газах. ЦПНТОМП. М. 1957.
- Шоек П.А. Исследование баланса энергии на аноде сильноточных дуг, горящих в атмосфере аргона. В сб. Современные проблемы теплообмена. Энергия. М.-Л. 1966.
- Eichhorn F., Metzler J. Schweißen und Schneiden, 22, 7, 1970, pp. 282-284.
- Nestor O.H., Olsen H.N. SIAM Review, 2, 3, July, 1960, pp. 200-207.
- Соснин Н.А. Исследование регулирования технологических характеристик плазменной сварочной дуги. Диссерт. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. ЛПИ. Л. 1974.

**Подписной индекс по Иркутской области
журнала «Сварка в Сибири»: 73681**