XXIX Неделя науки СПбГТУ. Материалы межвузовской научной конференции. Ч.III: С.141-142, 2001.

УДК 621.791

А.С. Ильин (4 курс, каф. ТиТС), В.А. Кархин, д.т.н. проф.

ВОПРОСЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ ПРИ СВАРКЕ

В сварочной практике часто возникают следующие задачи:

♦ найти такие параметры режима сварки, которые приводят к желаемым результатам (размерам шва, свойствам металла ЗТВ и т.п.);

♦ по экспериментальным данным (например, измеренной форме шва и сварочной ванны) восстановить параметры режима сварки (например, мощность теплового источника, ее распределение по толщине пластины, скорость сварки и т.п.).

Эти задачи относятся к классу обратных задач, когда по заданным следствиям изучаются причины.

Обратные задачи относятся к некорректно поставленным задачам (в математическом смысле), в которых нарушается одно из трех условий [1]: решение существует; оно единственно; решение устойчиво при малых вариациях входного параметра, т.е. достаточно малым изменениям параметра (например, измеренной температуры) отвечают сколь угодно малые изменения решения (например, вводимой энергии).

Методы решения обратных задач теплопроводности (ОЗТ) интенсивно разрабатываются в последние десятилетия [1...3] и с начала 90-х годов находят применение в сварке [4, 5 и др.].

Цель настоящего исследования — разработка метода решения ОЗТ применительно к различным источникам теплоты и различным телам.

За критерий точности решения ОЗТ примем следующую сумму взвешенных квадратов отклонений рассчитанных значений от заданных (функцию цели):

$$S_R(\mathbf{p}) = \sum_{j=1}^{J} w_j^f [f_j^m - f_j(\mathbf{p})]^2 + \sum_{k=1}^{K} w_k^p [p_k^0 - p_k]^2 + w^Q [Q^m - Q(\mathbf{p})]^2 +$$

$$+ w_0 \sum_{n=1}^{N} [p_n]^2 + w_1 \sum_{n=1}^{N-1} [p_{n+1} - p_n]^2 + w_2 \sum_{n=1}^{N-2} [p_{n+2} - 2p_{n+1} - p_n]^2, \qquad (1)$$

где J- количество точек измерений, K - количество искомых параметров N - количество неизвестных значений плотности мощности линейного источника, $N \le K$. Поясним физический смысл приведенной функции S_R вектора искомых параметров $\boldsymbol{p}$, $\boldsymbol{p} = \{p_1, p_2, \ldots p_K\}$. Искомый параметр p_k может быть плотностью мощности на определенной глубине, скоростью сварки ν, координатой оси источника относительно начала системы координат x_0 и т.д. (размерности параметров могут быть любыми). В формуле (1) первыми N искомыми параметрами p_n взяты неизвестные значения плотности мощности линейного источника в отдельных точках на глубине z_n. f_j^m и f_i - соответственно заданная и расчетная характеристика температурного поля (температура T, максимальная температура T_{max}, скорость охлаждения, время пребывания металла в заданном температурном интервале и т.п.) в j-ой точке. p_k^0 -заданное априори значение k-го параметра. Q^m *и* Q - соответственно заданное и расчетное значение вводимой (эффективной) мощности. Весовые коэффициенты w_j^f и w^Q рекомендуется принимать обратно пропорциональными дисперсии ошибки (квадрату средней квадратичной ошибки) измерения f_j^m и Q^m [3], а весовой коэффициент w_k^p - обратно пропорционально квадрату интервала, в пределах которого допускается изменение параметра p_k относительно заданного значения p_k^0 [2]. Параметры регуляризации нулевого (w_0), первого (w_1) и второго (w_2) порядка позволяют предписывать вид функции распределения мощности по толщине *p(z)* [2]. Увеличением коэффициента w_0 можно уменьшить максимальные значения оцениваемых величин p_n; увеличением w_1 можно уменьшить первые производные функции мощности *p(z)* и приблизить все значения p_n к постоянному значению; увеличением w_2 можно уменьшить вторые производные функции *p(z)* и приблизить ее к прямой линии. При нулевом значении коэффициента w_0 ,w_1 или w_2 соответствующее ограничение на вид функции *p(z)* отменяется. Если неизвестна вводимая мощность Q^m, то принимается $w^Q = 0$. Таким образом, функция цели S_R (1) позволяет гибко учитывать предварительное знание физического объекта.

Неизвестные параметры $p_1, p_2,...p_K$ найдем, минимизируя функцию цели S_R (1) по каждому параметру p_l $(l =1,...,K)$. Полученное уравнение является нелинейным. Соответствующую систему нелинейных уравнений можно решить одним из методов итераций. Итерационный процесс повторяется, пока приращение параметров $\Delta\boldsymbol{p}$ или функция цели S_R (1) не окажутся меньше допустимых значений.

Отметим, что любая информация о свойствах металла шва и ЗТВ может быть использована при решении ОЗТ, если известна зависимость этих свойств от характеристик термического цикла сварки. Для этого экспериментальные значения этих свойств f^m (например, твердость, величина зерна, ориентация дендритов, распределение металлографических структур) вместе с весовыми коэффициентами w^f следует ввести в функцию цели S_R (1), а при расчете функции f пользоваться необходимыми термическими характеристиками (например, максимальной температурой, скоростью охлаждения, временем нагрева выше заданной температурой, продолжительностью пребывания в заданном температурном интервале).

Выводы. Предложен метод решения обратной задачи теплопроводности для определения параметров режима сварки по заданным характеристикам сварного шва. За целевую функцию взята сумма взвешенных квадратов разностей рассчитанных и заданных характеристик температурного поля (температуры, максимальной температуры, скорости охлаждения и т.п.) и значений исходных параметров, а также членов регуляризации нулевого, первого и второго порядков.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тихонов А.Н., Кальнер В.Д., Гласко В.Б. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении. М.: Машиностроение, 1990. 263 с.

2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288с.

3. Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент-Клэр Ч. Некорректные обратные задачи теплопроводности. М.: Мир, 1989. 310с.

4. Beck J.V. Inverse problems in heat transfer with application to solidification and welding. Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes V, Ed. by M. Rappaz, M.R. Ozgu and K.W. Mahin. The Minerals, Metals and Materials Society, 1991, pp. 503-514.

5. Zabaras N. Inverse modeling of solidification and welding processes. Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes V, Ed. by M. Rappaz, M.R. Ozgu and K.W. Mahin. The Minerals, Metals and Materials Society, 1991, pp. 523-530.