

УДК 621.791.94.001.57

Е.Г. Трофименко, инженер

Е.В. Шалабин, инженер

В.В. Дубовой, инженер

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ СКАНИРУЮЩЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА

*О.Г. Трофименко, Є.В. Шалабін, В.В. Дубо-  
вой.* Оптимізація параметрів теплової обробки  
при скануючому переміщенні точкового джере-  
ла тепла. Задача теплової обробки розвиненої по-  
верхні за допомогою точкового джерела тепла по-  
дана як оптимізаційна. Наведено цільову функцію  
оптимізації та алгоритм розв'язання такої задачі.

*E.G. Trofimenko, E.V. Shalabin, V.V. Dubovoy.*  
**Thermal processing parameters optimisation un-  
der condition of pointwised heat source.** The prob-  
lem of developed surface thermal processing by the  
mean of pointwised heat source is considered herewith  
as this one of optimisation. A target oriented function  
of optimisation and problem solution algorithm are  
given.

Многие технические приложения предусматривают нагрев поверхностного слоя обрабатываемого изделия на некоторую технологически обоснованную глубину. При развитой поверхности объекта ее одновременный нагрев становится невозможным или технико-экономически неоправданным. В этом случае прибегают к неодновременному нагреву, например, с помощью перемещающегося вдоль поверхности точечного источника тепла [1]. Такая замена допустима, если целью нагрева является хотя бы однократный нагрев каждого элементарного объема обрабатываемого объекта не менее, чем до заданной температуры или выдержка в нагретом состоянии в течение заданного промежутка времени в заданном интервале температур, например, для прохождения химических или фазовых превращений.

Математическое моделирование такого нагрева весьма затруднено, так как при сложной траектории движения источника тепла квазиустановившийся режим нагрева, если и возникает, то существует непродолжительное время — до первого изменения скорости перемещения источника по величине или направлению [2, 3].

Рассмотрим математическое моделирование нагрева как оптимизационную задачу, приняв в качестве целевой функции энергетические затраты на тепловую обработку, а целью оптимизации — минимизацию этих затрат. Так, например, при термической обработке с помощью газопламенной горелки к энергетическим затратам может быть отнесен суммарный расход горючего газа на весь цикл нагрева, при инфракрасной или индукционной обработке — суммарный расход электроэнергии и т.п. Таким образом, задача заключается в поиске таких параметров обработки (мощность нагревателя, расстояние от него до обрабатываемой поверхности, параметров его перемещения вдоль поверхности и др.), которые не выходили бы за технически обоснованные допустимые границы своих значений, обеспечивая при этом минимальные энергетические затраты на обработку изделия.

Разобьем подлежащий термической обработке фрагмент объекта на элементарные объемы  $\Delta x \Delta y \Delta z$  в декартовой системе координат, полагая температуру внутри каждого такого элементарного объема зависящей только от времени  $T_{ijk} = T_{ijk}(\tau)$ , где  $i, j, k$  — адрес элемента по  $x, y$  и  $z$ , соответственно. Пусть объем считается прошедшим обработку, если было выполнено одно из следующих возможных условий, выбор которого зависит от целей нагрева:

— температура элементарного объема хотя бы один раз во время обработки достигала заданного значения  $T_{обр}$

$$T_{\max\ ijk}(\tau) \geq T_{обр}; \quad (1)$$

— температура элементарного объема хотя бы один раз во время обработки находилась заданное время  $\tau_{обр}$  в заданном интервале  $(T_{\max}; T_{\min})$

$$T_{\min} \leq T_{ijk}(\tau) \leq T_{\max} \quad \forall \tau \leq \tau_{обр} \quad (2)$$

— элементарный объем в течение всего цикла обработки изделия повысил суммарное теплосодержание на заданную величину  $\Delta Q$

$$\int_0^{\tau} [q_{ex}(\tau) + q_{ист}(\tau) - q_{вых}(\tau)] d\tau \geq \Delta Q, \quad (3)$$

где  $q_{вх}(\tau)$  — тепловой поток внутрь элементарного объема;

$q_{ист}(\tau)$  — удельная тепловая производительность внутреннего источника тепла, например, при индукционном нагреве;

$q_{вых}(\tau)$  — тепловой поток из элементарного объема.

Таким образом, алгоритм решения задачи оптимизации следующий:

— создается трехмерный массив, количество элементов в котором соответствует количеству элементарных объемов в нагреваемом объекте;

— каждому элементу массива ставится в соответствие два атрибута: температура  $T_v$  на текущей временной итерации и некоторый параметр булевого типа (параметр обработки), принимающий значение 0, если одно из установленных условий завершения обработки (1), (2) или (3) еще не выполнено, и значение 1, в случае, если одно из этих условий выполнено;

— принимается, что исходная температура  $T_{ijko}$  всех элементарных объемов равна температуре окружающей среды;

— выбирается точка начала обработки и устанавливаются начальные (для первой временной итерации) ее параметры;

— выполняется теплофизический расчет температуры в элементарных объемах к концу временной итерации. Соответствующие значения температур  $T_{ijkl}$  присваиваются элементам массива;

— по (1), (2) или (3) проверяется значение параметра обработки для каждого элемента. Те элементы, у которых параметр обработки принял значение 1, из дальнейшего рассмотрения исключаются;

— выбирается оптимальный режим обработки для следующей временной итерации. Оптимальным считается режим, при котором параметр обработки для соседнего с первоначальным элементом объекта принимает значение 1 с минимальными энергетическими затратами;

— предыдущие три шага повторяются до тех пор, пока для всех элементов объекта параметр обработки не примет значение 1.

Практическая реализация приведенного алгоритма может быть осуществлена в автоматическом режиме с помощью промышленной робототехнической системы, позволяющей после каждой временной итерации программно корректировать траекторию перемещения источника тепла и его интенсивность [4, 5].

## Литература

1. Дубовой В.В., Трофименко Е.Г., Яценко Т.П. Моделирование несимметричного нагрева анизотропных сред // Труды Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 1997. — Вып. 1. — С. 274 — 277.
2. Становский А.Л., Трофименко Е.Г. Проектирование параметров несимметричной тепловой обработки // Труды Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 1997. — Вып. 1. — С. 271 — 273.
3. Становский А.Л., Трофименко Е.Г., Шалабин Е.В. Расчет температурных полей при несимметричном нагреве // Материалы III семинара "Моделирование в прикладных научных исследованиях". — Одесса: ОГПУ, 1997. — С. 84 — 87.
4. Управляющие системы промышленных роботов / Ю.Д. Андрианов, Л.Я. Глейзер, М.Б. Игнатъев и др. — М.: Машиностроение, 1984.
5. Промышленные роботы: Конструирование, управление, эксплуатация / В.И. Костюк, А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский и др. — К.: Выща шк., 1985.