

УДК 658.5.011.56

А.Л. Становский, д-р техн. наук, профессор,
Е.Г. Трофименко, инженер

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ

О.Л. Становський, О.Г. Трофименко.
Проектування параметрів несиметричної теплової обробки. Розглянуто режими нагріву напівобмеженого тіла крапковим джерелом тепла, який рухається по його поверхні. Досліджено термічні умови, що виникають при такому нагріві плоского об'єкту, та принципи побудови моделі. Визначені параметри прогріву об'єкту до заданої температури.

A.L. Stanovsky, E.G. Trofimenko. Designing of parameters of asymmetrical heat treatment. Investigation is given to conditions of heating of a semi-limited body by a point source of heat moving over its surface. Researches were carried out into thermal conditions brought about during such heating of a flat object and principles of model construction. Determined are parameters of object heat-up to preset temperature.

При нагреве полуограниченного тела движущимся по его поверхности точечным источником тепла в начальный период тепловой режим системы является неустойчившимся иррегулярным, т. е. сложным относительно времени и координат и существенно зависящим от начального распределения температуры [1]. После урегулирования режим переходит в квазиустойчившееся состояние, которое характеризуется следующим соотношением:

$$\dot{\Theta} = \frac{1}{2\pi} \exp \left[-\frac{U\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{2a} (1 - \cos \varphi) \right] \frac{q}{\lambda \sqrt{\delta^2 + y^2 + z^2}}, \quad (1)$$

где T — текущая температура в точке тела с координатами $\{x, y, z\}$, причем начало координат помещено в точку подвода тепла, а скорость перемещения источника U совпадает по направлению с осью x ;

a — коэффициент температуропроводности тела;

λ — коэффициент теплопроводности тела;

q — мощность (интенсивность) непрерывного точечного источника тепла;

φ — угол между радиус-вектором r и осью x ;

r — вектор, соединяющий начало координат с точкой $\{x, y, z\}$.

Выражение (1) применимо при достаточно большом пути движения источника тепла, когда начальным иррегулярным участком можно пренебречь. На практике, однако, чаще встречается ситуация, когда путь прямолинейного движения не только недостаточно велик, но и само движение многократно прерывается для изменения прямолинейной траектории, например, как это делается при телевизионной развертке (рис. 1). При этом иррегулярный режим, если и успевает возникнуть, разрушается при каждом изменении. Это первая проблема, возникающая при попытке проанализировать исходную задачу.

Вторая проблема заключается в том, что при рабочем «проходе» источника тепла (траектория 1 — 5) тепловой поток от него достигает конкретных точек в объеме тела неоднократно. Практически это означает то, что начальные распределения тепла в теле (начальные условия) для моментов начала каждой из траекторий не совпадают.

Для устранения перечисленных проблем исходили из следующих принципов [1] и допущений.

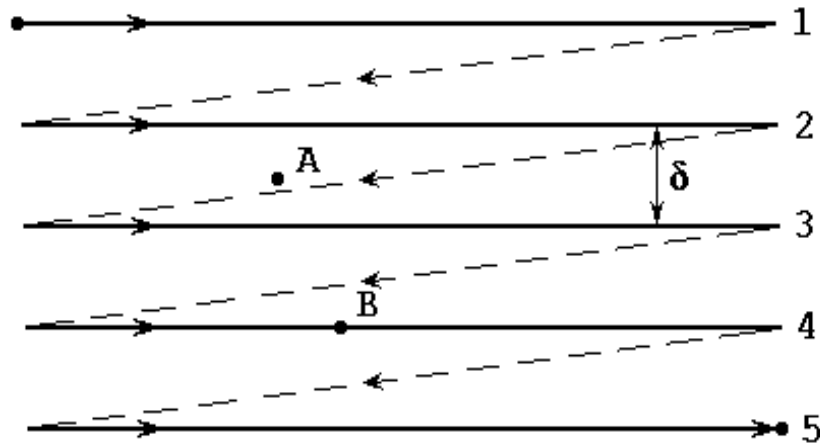


Рис. 1. Телевизионная развертка

Принцип взаимности. Если источник тепла, находящийся в точке В (рис. 1) вызывает в точке А изменение температуры $\Delta T=f(x)$, то при перемещении источника в точку А в точке В будет иметь место то же самое изменение температуры ΔT .

Принцип суперпозиции. Если действие отдельных источников тепла, расположенных на границе тела или внутри него, не зависит друг от друга, то можно рассматривать действие каждого источника отдельно, а конечный тепловой эффект находить, складывая алгебраически действия всех источников.

Скорость перемещения источника тепла выбирали такой, чтобы коэффициент иррегулярности температурного поля не превышал 12 %. При этом иррегулярностью теплового режима пренебрегали.

Учет температурной зависимости коэффициентов тепло- и температуропроводности материала нагреваемого тела выполняли после каждой временной итерации расчетов путем замены соответствующих значений λ и a в формуле (1).

Теплоотдачей от поверхности полуограниченного тела в окружающую среду пренебрегали.

В результате расчета получали координаты эквипотенциальных поверхностей в глубине полуограниченного тела, которые в процессе тепловой обработки хотя бы на кратчайшее время прогревались до заданной температуры T_{\max} . Естественно, что при описанном методе обработки форма этих поверхностей существенно отличалась от

плоскости. Мерой этого отличия было избрано среднее арифметическое отклонение поверхности R_S от заданного номинального положения условной плоскости площадью S :

$$R_S = \frac{1}{S} \iint_S |z(x, y)| \, dx dy. \quad (2)$$

Выражение (2) является трехмерной версией известного соотношения для расчета шероховатости поверхности [2].

Функция $z(x, y)$, входящая в подынтегральное выражение в (2), однозначно определяется из (1), если положить $T=T_{\max}$. Тогда выражение (1) сводится к виду:

$$\frac{2\pi T_{\max} \lambda}{q} \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \exp \left[-\frac{U(1 - \cos \varphi)}{2a} \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right]. \quad (3)$$

Полагая

$$\begin{aligned} A &= \frac{2\pi T_{\max} \lambda}{q}, \\ B &= \exp \left[-\frac{U(1 - \cos \varphi)}{2a} \right], \end{aligned} \quad (4)$$

получим:

$$A \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = B \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (5)$$

Из выражения (5) получить зависимость $z(x, y)$ в явном виде невозможно. Поэтому полагали также:

$$P = \left| \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right|. \quad (6)$$

Тогда:

$$Ap = B^p. \quad (7)$$

Для вычисления величины p_1 графическим методом для любой точки $\{x, y, z\}$, координаты проекции которой на плоскость xOy суть $\{x_1, y_1\}$, значение z_1 таким образом, чтобы предельная температура в ней за весь период обработки равнялась заданному значению T_{\max} . Для этого строили зависимости $l=Ap_1$ и $l=B^{p_1}$ и определяли абсциссу точек их пересечения (рис. 2).

Здесь возможны три случая. Первый случай (1, рис. 2) соответствует относительно большим значениям угла α , а следовательно и значениям A ($A=tg\alpha$) и T_{\max} (см. (4)). Так как в этом случае уравнение (3) при выбранных значениях x_1 и y_1 имеет два корня z_1' и z_1'' , соответствующих p_1 и p_3 , заданная температура достигается в исследуемой точке дважды — при нагреве и охлаждении.

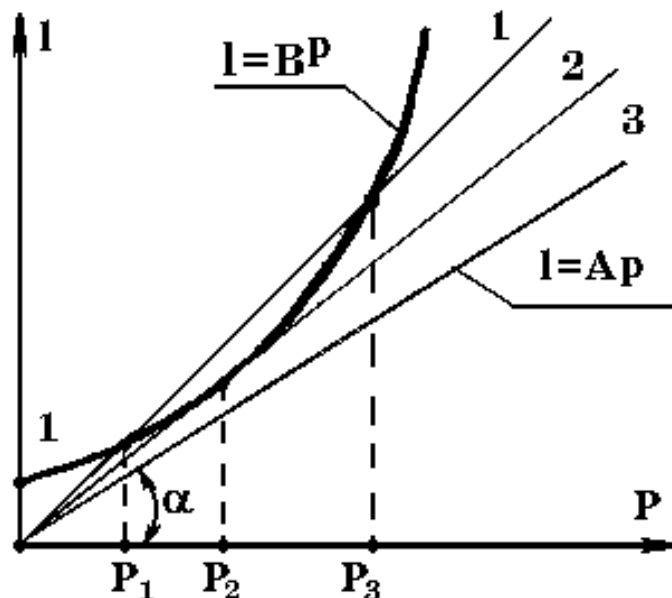


Рис. 2. Вычисление величины p графическим способом.

Во втором случае (2, рис. 2) точка p_2 соответствует единственному решению.

Отсутствие пересечения кривых на рисунке 2 в третьем случае свидетельствует о том, что в точке $\{x_1, y_1, z_1\}$ при заданных свойствах материала, составляющего прогреваемое тело, начальных и граничных условиях температура T_{\max} не достигается.

Подбор заключался в определении такой температуры T_{\max} , которая соответствует второму случаю.

Следует отметить, что в соответствии с выбранной расчетной схемой, поверхность S лежит в плоскости, параллельной плоскости xu (границы полуограниченного тела), а ось z направлена перпендикулярно к ней.

Целевой функцией проектирования параметров тепловой обработки является минимизация R_S или удовлетворение требования $R_S \leq R$, где R — заранее заданное небольшое число. Управляемые параметры, непосредственно влияющие на R_S , — скорость и траектория перемещения точки подвода тепла, расстояние между соседними «дорожками» δ , а также мощность источника тепла q .

Тепловая обработка подобного вида встречается в машиностроении (термообработка металлов и сплавов), строительстве, легкой промышленности. Полученные зависимости легко «встраиваются» в САПР объектов перечисленных отраслей.

Литература.

1. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. — Л.: Энергия, 1976.
2. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: Машиностроение, 1979.