

## Л и т е р а т у р а

1. Коваленко А.Д. "Введение в термоупругость", М., Машгиз, 1970.

### В.И. Тугов, В.А. Гринберг, А.П. Михалевич РАСЧЕТ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ПЛОСКОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ОТЛИВКИ

Проектирование технологии непрерывного литья невозможно без теоретического анализа процесса, который предполагает установление взаимосвязи между технологическими параметрами процесса, термофизическими свойствами материала отливки и условиями ее охлаждения.

Рассмотрим решение этой задачи для бесконечной пластины при граничных условиях третьего рода.

Выделим в процессе затвердевания промежуток времени и запишем для него условие теплового равновесия системы жидкий металл - затвердевшая часть отливки - окружающая среда в виде

$$dQ_{ж} + dQ_{Т} + dQ_{к} = 0, \quad (1)$$

где  $dQ_{ж}$  - изменение теплосодержания жидкой фазы за время  $dt$ ;  $dQ_{Т}$  - изменение теплосодержания затвердевшей отливки за время  $dt$ ;  $dQ_{к}$  - количество тепла, отведенное в окружающую среду за время  $dt$ .

В формуле (1) теплота перегрева включена в теплосодержание жидкого металла. Учет теплоты перегрева производится следующим образом. Задаваясь временем снятия теплоты перегрева  $t_{п}$ , меньшим полного времени затвердевания отливки  $t_{з}$ , вводим понятие интенсивности выделения теплоты перегрева  $i_{пер}$ :

$$i_{пер} = \frac{dQ_{пер}}{dV}, \quad (2)$$

где  $Q_{пер}$  - теплота перегрева, снятая при затвердевании металла объемом  $V$

При формировании отливки теплота перегрева отводится неравномерно, большая ее часть снимается в начальный период. В первом приближении можно принять, что  $i_{\text{пер}}$  линейно зависит от  $V$  в пределах  $t_{\text{п}}$ .

Используя понятие  $i_{\text{пер}}$  с подстановкой значений  $dQ_{\text{м}}$ ,  $dQ_{\text{Т}}$  и  $dQ_{\text{к}}$  в уравнение (1), после его решения и преобразования в критериальную форму получим:

$$F_{\text{о}} - F_{\text{о}_0} = A_1 (\delta - \delta_0) + A_2 (\delta^2 - \delta_0^2) + A_3 (\delta^3 - \delta_0^3) + A_4 \ln \frac{1 + \frac{\delta \text{Bi}}{n}}{1 + \frac{\delta_0 \text{Bi}}{n}}, \quad (3)$$

где  $A_1 = \frac{1}{\text{Bi}} \left( L + \frac{2L_{\text{пер}}}{\delta_{\text{п}}} + \frac{1}{n+1} \right)$ ;

$$A_2 = \frac{1}{2n} \left( L + \frac{2L_{\text{пер}}}{\delta_{\text{п}}} + \frac{1}{n+1} \right) - \frac{L_{\text{пер}}}{\text{Bi} \delta_{\text{п}}^2} ;$$

$$A_3 = -\frac{2}{3} \frac{L_{\text{пер}}}{\delta_{\text{п}}^2} ; A_4 = -\frac{n}{n+1} \frac{1}{\text{Bi}^2} ;$$

$$L = \frac{r_{\text{эф}}}{c \sqrt{\text{кр}}} ; L_{\text{пер}} = \frac{r_{\text{пер}}}{c \sqrt{\text{кр}}} ;$$

$r_{\text{эф}}$  - эффективная удельная теплота кристаллизации, учитывающая аккумулированную теплоту, выделяющуюся в интервале кристаллизации;  $r_{\text{пер}}$  - удельная теплота перегрева;  $c$  - удельная теплоемкость металла;  $\sqrt{\text{кр}}$  - избыточная по отношению к температуре охлаждающей среды температура кристаллизации;  $n$  - показатель степени параболы, описывающей распределение температуры в отливке.

Формула (3) может быть использована для поэтапного расчета процесса затвердевания при условии, что интенсивность

охлаждения принимается постоянной на каждом из этапов. Точность расчетов тем выше, чем более дробно по этапам расчленяется процесс, однако при этом резко увеличивается трудоемкость расчета. Поэтому представляет интерес построение номограмм с их последующим применением для графоаналитического расчета процесса затвердевания. Построение номограмм осуществлялось с помощью ЭВМ "Минск - 22".

Результаты расчета использованы при проектировании линии горизонтального непрерывного литья чугуна на Руставском заводе "Центролит".

Л.Е. Ровин, А.П. Михалевич, К.Гершниц

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ДОЖИГАНИЯ ВАГРАНОЧНЫХ ГАЗОВ

Процесс дожигания газов в трубе вагранки зависит от ряда факторов: температуры, состава и запыленности газов на выходе из слоя шихты, скорости (удельного расхода) и масштаба турбулентности потока, интенсивности отвода тепла через открытое завалочное окно, частоты и способа завалки шихты, диаметра и высоты трубы, а также коэффициента разбавления газов за счет подсоса. В ходе плавки параметры ваграночных газов колеблются в широких пределах, поэтому без учета кинетических характеристик горения любые схемы расчета, используемые в печной теплотехнике, дают искаженные результаты, описывающие реальные процессы весьма приближенно.

Задачей исследования явилось отыскание принципиально возможных уровней процесса, определение количественного влияния на устойчивость режима горения каждого из перечисленных выше факторов, а затем разработка рекомендаций по расчету и проектированию узлов дожигания. Использование для этой цели лабораторных моделей затруднительно из-за сильного влияния масштабного фактора и большого числа переменных.

В связи с этим была сделана попытка математического моделирования процесса горения газов в трубе вагранки с использованием ЭВМ "Минск-82". Рассчитывались два варианта процесса: адиабатический и при сложном теплообмене с отводом тепла излучением и конвекцией. Первый соответствует работе закрытым завалочным окном, когда потерей тепла через футерованные стенки можно пренебречь.