УДК 530700

М.Н.БОГАТЫРЁВА
Санкт-Петербургский государственный горный институт
(*технический университет*)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ АГРЕГАТЕ (ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В НЕПОДВИЖНОМ СЛОЕ)

Проводятся исследования по комплексной реконструкции плавильного цеха комбината Печенганикель, направленные на повышение эффективности технологического процесса плавки и извлечения цветных металлов и решения остро стоящих экологических проблем.

Currently research activities are carried out aiming at complex reconstruction of the smelter shop of the Pechenganickel mining-and-processing integrated works. The research seeks to increase efficiency of the smelting process technology, extraction of nonferrous metals and offer solutions to urgent environmental problems.

Для решения проблемы повышения эффективности технологического процесса плавки и извлечения цветных металлов предполагается организация процесса брикетирования медно-никелевого концентрата, включающая операции подготовки концентрата, смешения со связующим, стадии брикетирования и сушки брикетов с направлением в руднотермическую печь или печь Ванюкова.

Подвергаемый тепловой обработке слой кусковых материалов в зависимости от скорости движения частиц подразделяют на плотный и псевдоожиженный*.

Классическим примером рассмотрения теплообмена в неподвижном плотном слое является задача Шумана, решение которой в наиболее удобной форме может быть представлено следующими соотношениями:

$$\theta_{\text{м}} = e^{-Y}\int_0^Z e^{-\varepsilon} I_0(2\sqrt{Y\varepsilon})\,d\varepsilon; \qquad (1)$$

$$\theta_{\text{г}} = 1 - e^{-Z}\int_0^Y e^{-\varepsilon} I_0(2\sqrt{Z\varepsilon})\,d\varepsilon; \qquad (2)$$

где $I_0(X)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка от мнимого аргумента.

По характеру изменения $I_0(X)$ напоминает экспоненту, т.е. неограниченно возрастает при $X \to \infty$, причем $I_0(0) = 1$.

Анализ уравнений (1), (2) показывает, что температура слоя и газа меняется по высоте слоя и во времени и зависит от размера частиц, порозности слоя, теплофизических параметров и скорости движения газа.

В металлургии наиболее часто встречается перекрестная схема движения материалов и газов. Для решения данной задачи используются уравнения (1) и (2). При противоточной схеме движения материалов слоя и газа используют понятие теплоемкости потока

$$W_j = G_j C_j = V_j C_{j,V}, \qquad (3)$$

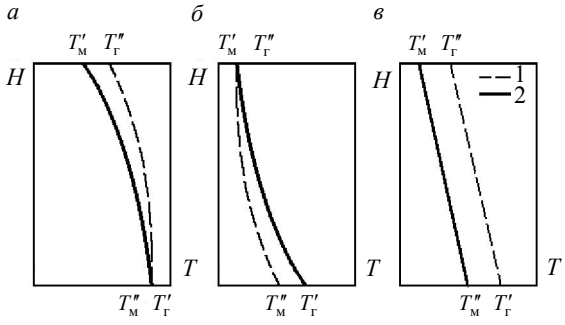


Рис.1. Изменение температур газа (1) и материала (2) по высоте слоя H при противоточном движении сред: *а* – $W_{\text{г}} > W_{\text{м}}$; *б* – $W_{\text{г}} < W_{\text{м}}$; *в* – $W_{\text{г}} = W_{\text{м}}$

* *Телегин А.С.* Термодинамика и тепломассоперенос / А.С.Телегин, В.С.Швыдкий, Ю.Г.Ярошенко. М.: Металлургия, 1980. 264 с.

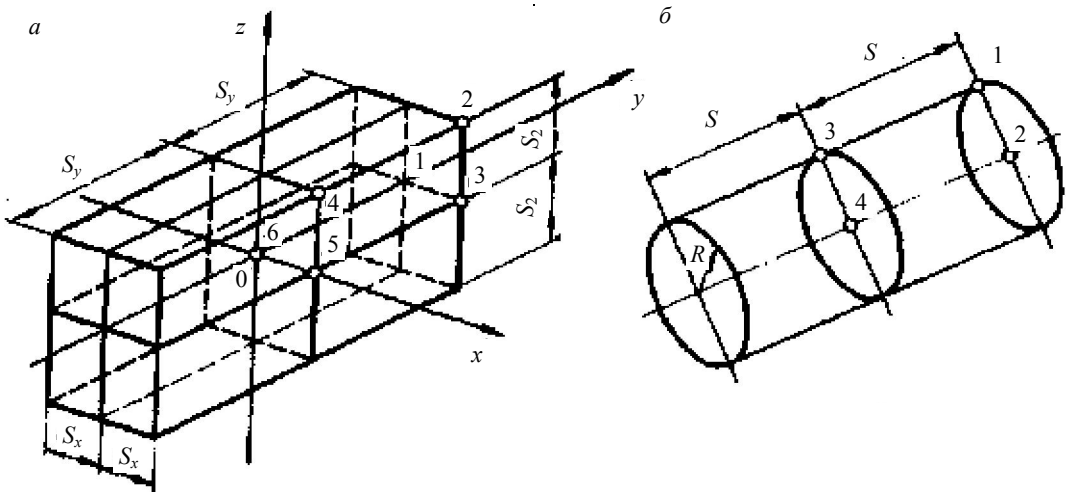


Рис.2. Схема для определения температурных полей в параллелепипеде (*а*) и коротком цилиндре (*б*)

где G_j, V_j – массовый и объемный расходы, кг/с и м^3/с; C_j, $C_{j,V}$ – удельные массовая и объемная теплоемкости, Дж/(кг·К) и Дж/(м^3·К).

Для случая $W_г > W_м$ решение имеет вид

$$T_м = T'_г\left\{1 - \exp\left[-\frac{\alpha_v S}{W_м}\left(1 - \frac{W_м}{W_г}\right)y\right]\right\}. \qquad (4)$$

Распределение температуры газа и материала по высоте слоя для случая $W_г > W_м$ представлено на рис.1, *а*. Нагрев шихты происходит неравномерно и в нижней части слоя теплообмен практически отсутствует (холостая высота).

Для случая $W_г < W_м$ решение уравнения имеет вид:
для материала

$$T_м = T'_м + (T_г - T''_г)(W_г / W_м); \qquad (5)$$

для газа

$$\frac{T'_г - T_г}{T'_г - T'_м} = 1 - \exp\left[-\frac{\alpha_v S}{W_г}\left(1 - \frac{W_г}{W_м}\right)y\right]. \qquad (6)$$

Распределение температуры газа и материала по высоте слоя при $W_г < W_м$ представлено на рис.1, *б*. Анализ формул (5) и (6) показал: чем меньше отношение $W_г / W_м$, тем больше недогрев шихты.

В случае $W_м = W_г$ линии распределения температур материала и газа по высоте слоя параллельны (рис.1, в). Для данного случая получены следующие соотношения для температур газа и материала:

$$T_м = T'_м + (T''_г - T'_м)(\alpha_v S / W_м)y, \qquad (7)$$

$$T_г = T''_г + (T''_г - T'_м)(\alpha_v S / W_м)y. \qquad 8)$$

Из формул (7), (8) следует, что температуры газа и шихты меняются по высоте слоя линейно, причем угол наклона зависит от коэффициента теплообмена a_v и $W_м$.

Для решения общей задачи нагрева кусков слоя необходимо решить задачу нагрева потоком горячего газа для отдельных кусков. Классический способ связан с рассмотрением нагрева тел, имеющих бесконечно большую длину (стенка или цилиндр). Относительные температуры отдельных точек этих тел равны произведению относительных температур пластин или цилиндра и пластины.

Для параллелепипеда (рис.2, *а*) решение можно записать в виде:

$$\theta(x, y, z, \tau) = \theta(x, \tau)\theta(y, \tau)\theta(z, \tau), \qquad (9)$$

а для короткого цилиндра (рис.2, б):

$$\theta(r, z, \tau) = \theta(r, \tau)\theta(z, \tau). \qquad (10)$$

Реальный слой обычно состоял из отдельных кусков. Для определения условия

нагрева кусков идеальной формы в виде короткого цилиндра был использован программный комплекс Thermal Explosion.

Для решения задачи нагрева в данной программе задаются формой образца, физическими свойствами (температурой, теплопроводностью и плотностью), граничными условиями 1-3 рода.

Были проведены расчеты для короткого цилиндра для граничных условий 1-3 рода.

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что тела являются термически тонкими. Нагрев брикетов осуществляется достаточно быстро. Форма кусков, из которых состоит слой, заметно не влияет на процесс нагрева.

Научный руководитель д.т.н. проф. *И.Н.Белоглазов*