

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА НАГРЕВА МЕТАЛЛА С ПОМОЩЬЮ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ MICROSOFT VISUAL STUDIO

Поливанчук А.С., студент; Василец С.В., к.т.н.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Нагрев металла – это один из важнейших этапов в производстве проката металлургической отрасли. Термическая обработка слябов перед прокаткой или ковкой в проходных методических печах (МП) выполняется с целью доведения материала до требуемой температуры на поверхности и по сечению заготовки при соблюдении технологического режима нагрева, придания материалу необходимых пластических и технологических свойств [1].

Температурный режим в зонах горения методической печи зависит от многих факторов: от конструкции методической печи, кладки, количества и расположения горелок, также от толщины заготовок, марки стали, температуры металла на выходе из печи и др. В ряде случаев температура в топочной зоне методической нагревательной печи составляет (1260–1280) °С. Температура заготовок в процессе нагрева колеблется от 1180 °С до 1230 °С в зависимости от марки стали. Минимальная продолжительность нагрева составляет в среднем 2 часа [2].

Качественный нагрев металла характеризуется следующими показателями: 1. Температура поверхности заготовки, в среднем по ее длине на выходе из печи соответствует заданному значению с точностью ± (10–15) °С. 2. Заготовки должны быть прогреты в достаточной мере, так чтобы перепады температур по толщине заготовок не превышали допустимых значений, величина которых составляет (10–20) °С, а в местах соприкосновения заготовок с донными трубами (30–50) °С. 3. Перепады температуры по длине заготовок соответствуют принятой технологии прокатки.

Данные требования существенно влияют на процесс нагрева и как следствие на прокат заготовок. Главным параметром который требуется корректировать в данном случае является время нахождения заготовок в МП, с целью выравнивания температур по сечению заготовки. Увеличение времени нагрева приводит к повышению расхода газо-воздушной смеси, как следствие – увеличение общей себестоимости конечного продукта, а также снижению продуктивности комплекса «МП – прокатный стан» в целом. В следствие чего появляется необходимость моделирования переходного процесса нагрева металла в проходной МП [3].

Целью работы является моделирование переходного процесса нагрева МП для трех величин от времени: $T_M(t)$ – температура металла, температуры центра $T_U(t)$ и поверхности $T_{нов}(t)$ заготовки.

Тепловой баланс по металлу и по газу соответственно имеет вид:

$$\frac{dT_M}{dt} = \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot (T_\partial - T_M); \tag{1}$$

$$\frac{dT_\partial}{dt} = \pm W \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot (T_\partial - T_M), \tag{2}$$

где $W = (P \cdot c_m) / (B_\partial \cdot r_2 \cdot c_\partial)$ – отношение водяных чисел, α – коэффициент теплоотдачи; k_1 – коэффициент материальной нагрузки; r_2 – плотность метана при начальных условиях; P – секундный расход материала; c_m – теплоемкость материала; B_∂ – секундный расход газа; $c_\partial = 2134$ – теплоемкость газа.

Объединим балансы по металлу и по газу в общую систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{dT_M}{dt} = \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot (T_\partial - T_M), \\ \frac{dT_\partial}{dt} = \pm W \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot (T_\partial - T_M). \end{cases} \tag{3}$$

После преобразования получим следующее выражение

$$\begin{cases} \frac{dT_M}{dt} = -\frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot T_M + \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot T_\partial, \\ \frac{dT_\partial}{dt} = \pm W \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot T_M \pm W \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M} \cdot T_\partial. \end{cases} \tag{4}$$

Произведем замену в выражении (4):

$$a_1 = -\frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M}; b_1 = \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M};$$

$$a_2 = \pm W \cdot \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M}; b_2 = \pm W \cdot \frac{\alpha \cdot k_1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c_M};$$

Получим:

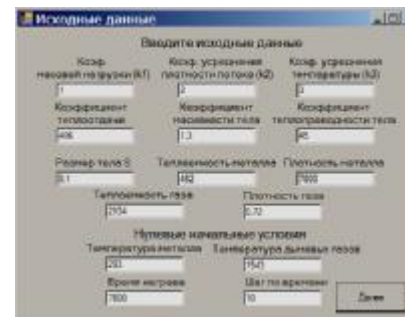


Рисунок 1 – Окно для ввода исходных данных

$$\begin{cases} \frac{dT_M}{dt} = a_1 \cdot T_M + b_1 \cdot T_\partial, \\ \frac{dT_\partial}{dt} = a_2 \cdot T_M + b_2 \cdot T_\partial. \end{cases} \tag{5}$$

Представим данную систему в матричной форме:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} T_M \\ T_\partial \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_M \\ T_\partial \end{bmatrix}, \tag{6}$$

Полагая $\bar{Y} = \begin{bmatrix} T_M \\ T_\partial \end{bmatrix}$, $\bar{A} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix}$,

получим дифференциальное уравнение:

$$d\bar{Y} / dt = \bar{A} \cdot \bar{Y} = f(\bar{Y}). \tag{7}$$

Дифференциальное уравнение (7) решим численным способом с помощью метода Рунге – Кутты четвертого порядка:

$$\bar{Y}_{n+1} = \bar{Y}_n + (\bar{K}_1 + 2 \cdot \bar{K}_2 + 2 \cdot \bar{K}_3 + \bar{K}_4) / 6, \tag{8}$$

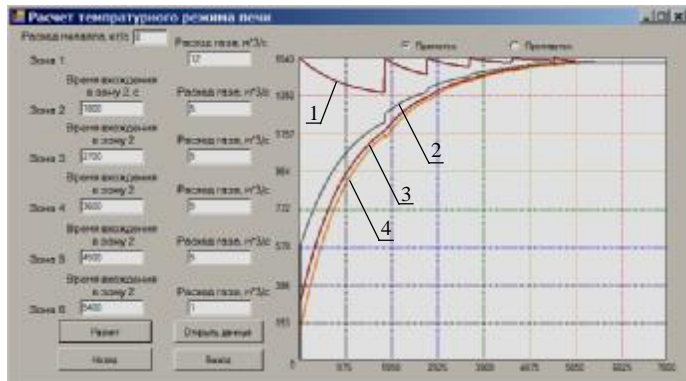


Рисунок 2 – Окно расчета температурного режима печи

где $\bar{K}_1 = h \cdot \bar{A} \cdot \bar{Y}_n$; $\bar{K}_2 = h \cdot \bar{A} \cdot (\bar{Y}_n + 0,5 \cdot \bar{K}_1)$; $\bar{K}_3 = h \cdot \bar{A} \cdot (\bar{Y}_n + 0,5 \cdot \bar{K}_2)$; $\bar{K}_4 = h \cdot \bar{A} \cdot (\bar{Y}_n + \bar{K}_3)$; h - шаг сетки. Начальные условия имеют вид $\bar{Y}_0 = [T_{m0} \quad T_{d0}]^T$.

Данная математическая модель реализована в виде прикладной программы с использованием среды разработки Microsoft Visual Studio, что позволило провести моделирование переходного процесса нагрева металла в шестизонной противоточной методической печи №1 листопрокатного цеха ЗАО «Донецксталь». Окно для ввода исходных данных представлено на рис. 1, а окно расчета температурного режима печи для шести зон – на рис. 2. Кривая 1 на полученных диаграммах отвечает температуре T_d дымовых газов, которая увеличивается при движении заготовок по зонам, причем поскольку рассматривается прямоточный режим, то в каждой из зон T_d снижается экспоненциально, стремясь к нарастающей средней температуре металла (кривая 3). Кроме того, с использованием известных зависимостей (1) определены кривые изменения температуры центра (кривая 4) и поверхности металла (кривая 2). Результаты расчета могут быть сохранены в текстовом файле.

Также в данной программе возможно моделирование переходного процесса как для прямоточного движения дымовых газов, так и противоточного, что позволяет проследить разницу по времени нагрева металла до требуемой температуры на поверхности и по сечению заготовки, для двух схем движения дымовых газов.

Перечень ссылок

1. М.П. Ревун Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки в металлургии: [учебн. пос.] / М.П. Ревун, Б.Б. Потапов, В.М. Ольшанский, А.В.Бородулин. – Запорожье: ЗГИА. – 2002. - 443 с.
2. Кравцов А.Ф. Расчет автоматических систем контроля и регулирования металлургических процессов / Кравцов А.Ф., Зайцева Е.В., Чуйко Ю.Н. – К., Донецк: Вища школа. – 1981. – 320 с.
3. Кривандин В.А Металлургическая теплотехника в двух томах. 2. Конструкция и работа печей: Учебник для вузов./ Кривандин В.А., Неведомская И.Н., Кабахидзе В.В. и др. – М.: Металлургия, 1986. – 592 с.