

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ

Скоробогатова И.В., студентка; Гавриленко Б.В., доцент, к.т.н.

(Донецкий Национальный Технический Университет, г. Донецк, Украина)

Нагрев заготовки под обработку давлением происходит в методической нагревательной печи (МНП). Одной из важных зон в МНП является томильная зона, температурный режим в которой влияет на качество листового проката. В АСУ МНП назначение модели нагрева состоит в обеспечении системы информацией о температуре заготовок в текущий момент и о возможной траектории нагрева – в зависимости от условий нагрева.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$q_{нов} \cdot F_m \cdot d\tau = M \cdot c \cdot dT_m. \quad (1)$$

В соответствии с (1):

$$\frac{dT_m}{d\tau} = \frac{q_{нов} \cdot F_m}{M \cdot c} = \frac{q_{нов} \cdot k_1}{S \cdot \rho \cdot c}, \quad (2)$$

где $c, \text{кДж/кг} \cdot \text{К}$ – средняя теплоемкость углеродистых сталей; $S, \text{м}$ – толщина слитка, k_1 – коэффициент материальной нагрузки; $q, \text{Вт/м}^2$ – плотность теплового потока; α – коэффициент теплоотдачи; $\rho, \text{кг/м}^3$ – плотность стали.

Преобразуем (2):

$$\int_0^{\tau} \frac{q_{нов} \cdot k_1}{S \cdot \rho \cdot c} d\tau = \int_0^T T_m, \quad (3)$$

Закон изменения температуры во времени при $q = \text{const}$ (граничные условия II рода) имеет вид:

$$T_m(\tau) = T_0 + \frac{q_{нов} \cdot k_1}{S \cdot \rho \cdot c} \cdot \tau_1, \quad (4)$$

$$T_y(\tau) = T_0 + \frac{q_{нов} \cdot k_1}{S \cdot \rho \cdot c} \cdot \tau_1 - \frac{1}{k_3} \cdot \frac{q_{нов} \cdot S}{k_2 \cdot \lambda}, \quad (5)$$

$$T_{нов}(\tau) = T_0 + \frac{q_{нов} \cdot k_1}{S \cdot \rho \cdot c} \cdot \tau_1 + \frac{(k_3 - 1)}{k_3} \cdot \frac{q_{нов} \cdot S}{k_2 \cdot \lambda}. \quad (6)$$

где k_2 – коэффициент усреднения тепловых потоков; k_3 – коэффициент усреднения температур; $\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$ – коэффициент теплопроводности; Bi –

критерий, характеризующее массивность тела; m - коэффициент массивности тела; T_m, K – среднemasсовая температура заготовки; $T_{нов}, K$ – температура поверхности заготовки; $T_{ц}, K$ – температура центра заготовки.

Уравнение нагрева массивных тел имеет вид:

$$q = \frac{\alpha}{m} \cdot (T_{\delta} - T_m), \quad (7)$$

Преобразуем (7) и получим уравнение нагрева при $T_{\delta} = const$ (ГУ III рода):

$$T_m(\tau) = T_{\delta} - (T_{\delta} - T_0) \exp\left(-\frac{\alpha \cdot k1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c} \cdot \tau\right), \quad (9)$$

$$T_{нов}(\tau) = T_{\delta} - \frac{1}{m} \cdot (T_{\delta} - T_0) \exp\left(-\frac{\alpha \cdot k1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c}\right), \quad (10)$$

$$T_{ц}(\tau) = T_{\delta} - \frac{1}{m} \cdot \left(1 + \frac{Bi}{k2}\right) \cdot (T_{\delta} - T_0) \exp\left(-\frac{\alpha \cdot k1}{m \cdot S \cdot \rho \cdot c}\right), \quad (11)$$

где T_{δ}, K – температура дымовых газов.

Результаты моделирования представлены в среде *MathCad 2001* (рис. 1).

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: tp – температура поверхности заготовки, °C; tcp – среднemasсовая температура заготовки, °C; $tcentr$ – температура центра заготовки, °C; $tstove$ – температура печи, °C; τ , мин – время нагрева.

Установлено, что при нагреве одним из требований к качеству металла является получение минимального конечного перепада температур по сечению заготовки в диапазоне $max(tp - tcentr) = 91,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате моделирования была получена модель рационального нагрева заготовки (рис. 2) с $max_{rac}(tp - tcentr) = 19,94 \text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет увеличения теплового потока, уменьшения разницы теплосодержания в начале и конце нагрева, увеличение температуры дымовых газов в сварочной зоне, т. е. предотвращения возникновения термических напряжений внутри заготовки, а также повышения производительности печи.

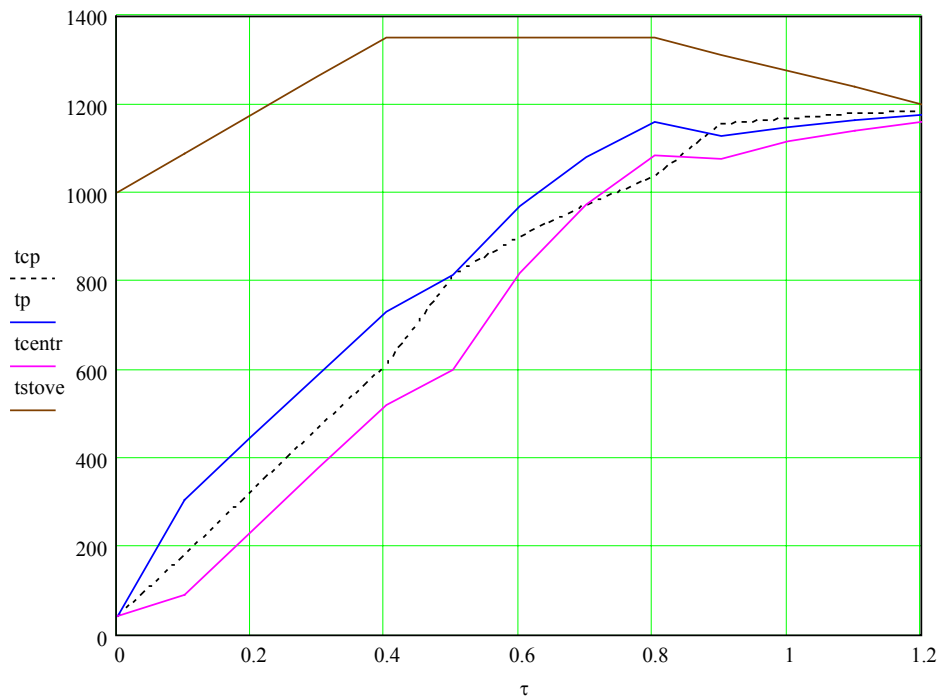


Рисунок 1 – Модель нагрева заготовки

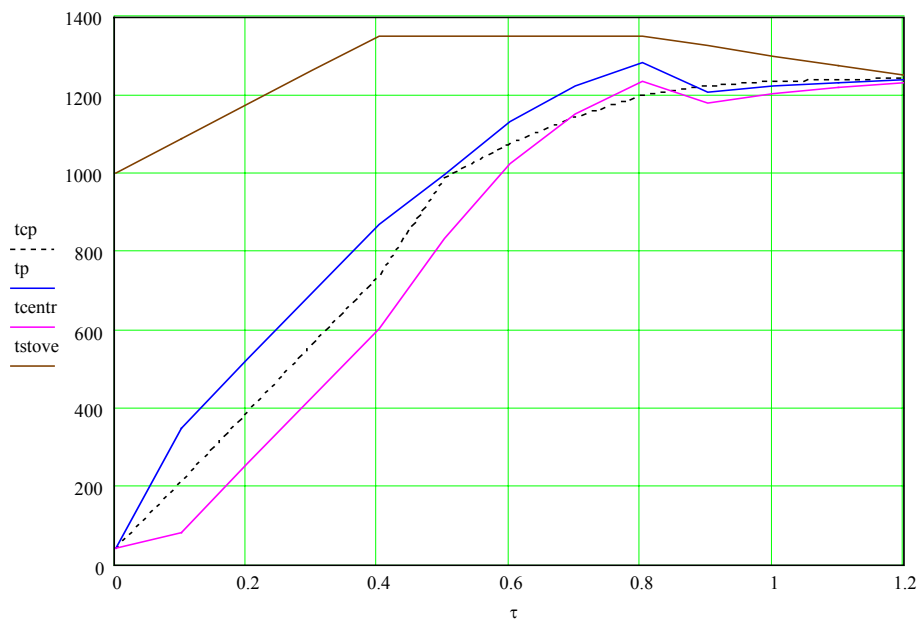


Рисунок 2 – Модель рационального нагрева заготовки

Перечень ссылок

1. Буглак Л.И. Автоматизация методических печей. – М.: Metallurgy, 1981. – 196 с.
2. Полухин П.И. Прокатное производство. – М.: Metallurgy, 1982. – 696 с.