

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА НАГРЕВА СЛЯБА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Поливанчук А.С., студент; Василец С.В., к.т.н.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

Выполнено математическое моделирование процесса нагрева заготовок в проходной методической печи при прямоточной и противоточной схемах движения дымовых газов. Обоснованная математическая модель позволяет установить оптимальное время нагрева материала в каждой из зон методической печи с требуемыми параметрами (скорость нагрева, перепад температуры по толщине заготовок) в условиях неритмичной работы стана.

Термическая обработка слэбов 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, 2]. Актуальность исследования процесса нагрева заготовок определяется необходимостью минимизации брака готовой продукции и уменьшения его себестоимости (путем снижения затрат на топливо).

Целью работы является определение зависимости изменения температуры слэба в МП от времени $T_M(t)$, перепада температур по толщине заготовки (температура центра $T_{\psi}(t)$ и поверхности $T_{нов}(t)$), а также рассмотрение влияния режима нагрева (прямоток, противоток) на время нагрева заготовок t_k . Моделирование осуществляется при допущении об отсутствии тепловыделения в слое и материале, а также потерь энергии в окружающую среду [3].

Тепловые балансы по металлу и по газу имеют вид:

$$\frac{dT_M}{dt} = \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_M} \cdot (T_{\partial} - T_M), \quad (1)$$

$$-\frac{dT_{\partial}}{dt} = \pm W \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_M} \cdot (T_{\partial} - T_M), \quad (2)$$

где $W = \Pi \cdot c_m / (B_\partial \cdot c_\partial)$ - отношение водяных чисел, a , k_1 - коэффициенты теплоотдачи и материальной нагрузки, Π , B_∂ - секундный расход материала и газа; c_m , c_∂ - теплоемкость материала и газа.

Из выражения (1) получим:

$$T_\partial = T_m + \frac{m \cdot S \cdot r \cdot c_m}{a \cdot k_1} \cdot \frac{dT_m}{dt}, \quad (3)$$

продифференцируем выражение (3):

$$\frac{dT_\partial}{dt} = \frac{dT_m}{dt} + \frac{m \cdot S \cdot r \cdot c_m}{a \cdot k_1} \cdot \frac{d^2T_m}{dt^2}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (2) получим следующую зависимость:

$$\frac{m \cdot S \cdot r \cdot c_m}{a \cdot k_1} \cdot \frac{d^2T_m}{dt^2} = -\frac{dT_m}{dt} \cdot (1 \pm W). \quad (5)$$

Для упрощения формы записи выражения (5) введем новую переменную:

$$u = \frac{dT_m}{dt}, \quad (6)$$

перепишем выражение (5) в следующем виде:

$$\frac{du}{u} = -\frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_m} \cdot (1 \pm W) \cdot dt. \quad (7)$$

Для прямо- и противотока $W \neq 1$, тогда выражение (7) запишем в виде:

$$\frac{du}{u} = -(1 \pm W) \cdot \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_m} \cdot dt. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) получим:

$$\ln(u) = -(1 \pm W) \cdot \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_m} \cdot t + \ln(A_2), \quad (9)$$

$$u = \frac{dT_m}{dt} = A_2 \cdot \exp\left[-(1 \pm W) \cdot \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_m} \cdot t\right]. \quad (10)$$

Используя начальные условия, определяем постоянную интегрирования A_2 :

$$A_2 = \left. \frac{dT_m}{dt} \right|_{t=0} = \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_m} \cdot (T_{\partial 0} - T_0) \quad (11)$$

можем переписать выражение (10) в следующем виде:

$$\frac{dT_m}{dt} = \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_m} \cdot (T_{\partial 0} - T_0) \cdot \exp\left[-(1 \pm W) \cdot \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_m} \cdot t\right]. \quad (12)$$

Решением данного уравнения является выражение (13):

$$T_M = T_0 + \frac{(T_{\partial 0} - T_0)}{1 \pm W} \cdot \left\{ 1 - \exp \left[- (1 \pm W) \cdot \frac{a \cdot k_1}{m \cdot S \cdot r \cdot c_M} \cdot t \right] \right\}. \quad (13)$$

Температуры центра и поверхности материала получим из следующих зависимостей [2, 3].

$$T_M = T_{\text{ц}} + \Delta T / k_3 = T_{\text{нов}} - (k_3 - 1) \Delta T / k_3, \quad (14)$$

где $\Delta T = q_{\text{нов}} \cdot S / (k_2 \cdot l)$, тепловой поток - $q_{\text{нов}} = a(T_{\partial} - T_{\text{с}}) / m$.

Компьютерная модель процесса нагрева стали в проходной методической печи для проточного и противоточного движения заготовок представлена на рисунке 1. Моделирование проводилось для следующих параметров: марка стали 20ХМЛ; $T_0 = 293$ К; $T_{\partial 0} = 1550$ К; $T_{\text{м.к.}} = 1473$ К; $r = 7800$ кг/м³; $c_M = 0,7$ кДж/(кг·К); $a = 406$ Вт/(м²·К); $k_1 = 1$; $m = 1,6$; $l = 45$ Вт·К/м; $\Pi = 100$ т/ч; $B_{\partial} = 0,43$ м³/с; $c_{\partial} = 2,134$ кДж/(кг·К); $S = 0,1$ м; $a = 406$ Вт/(м²·К); $k_1 = 1$; $\Pi = 100$ т/ч; $c_M = 0,7$ кДж/(кг·К); $B_{\partial} = 0,43$ м³/с; $c_{\partial} = 2,134$ кДж/(кг·К). Результаты моделирования (рисунок 2) приведены в таблице 1.

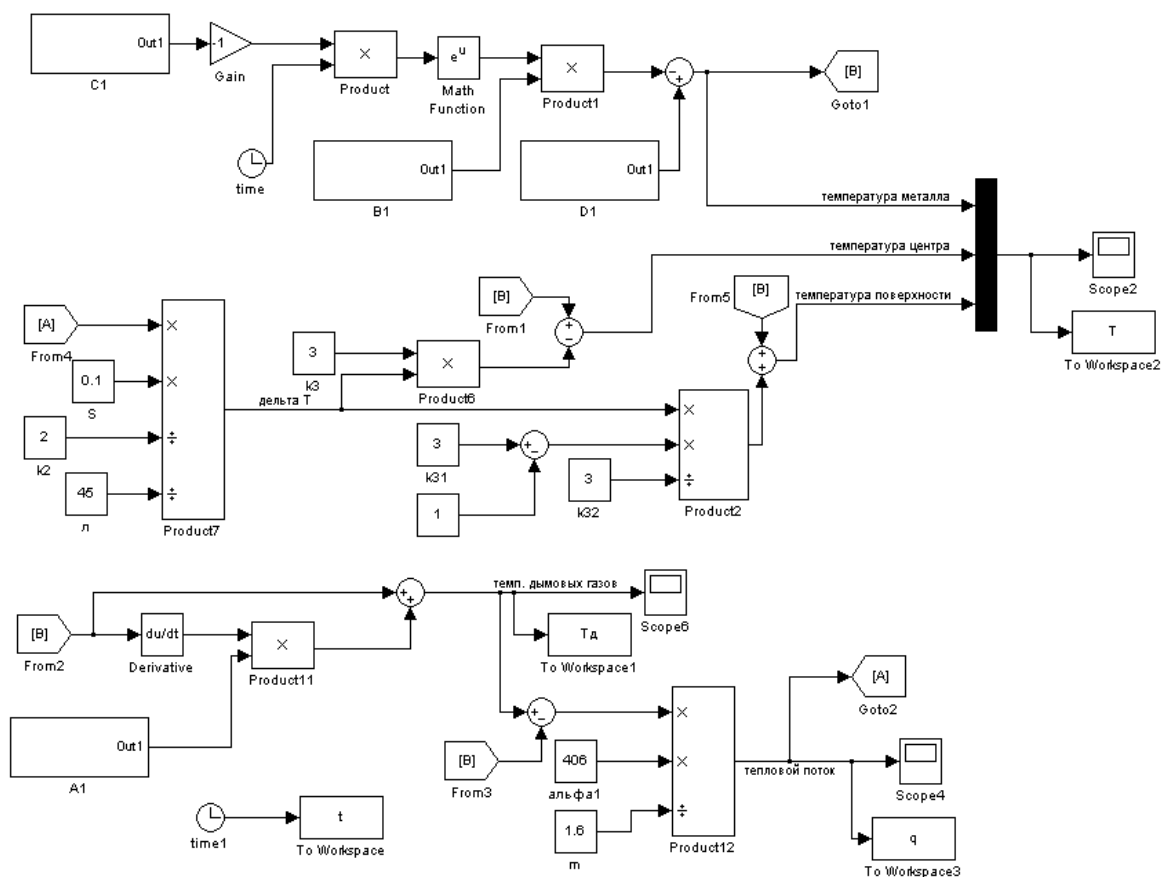


Рисунок 1 – Компьютерная модель процесса нагрева стали в проходной методической печи

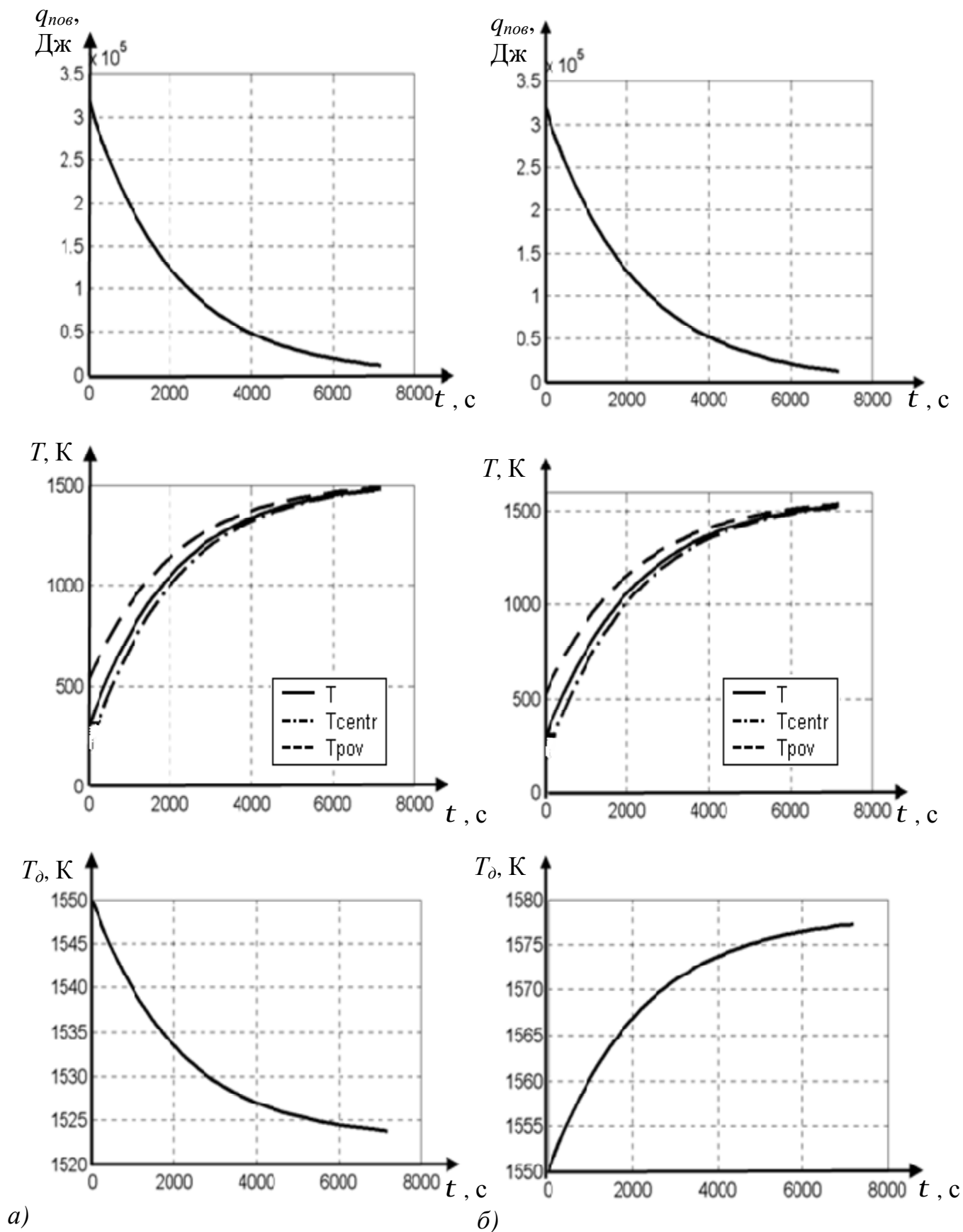


Рисунок 2 - Графики зависимостей $T(t)$, $T_d(t)$ и $q_{нов}(t)$ при нагреве заготовок в прямотоке (а) и противотоке (б).

Таблица 1 – Результаты моделирования процесса нагрева материала в проходной методической печи.

Движение дымовых газов	прямоточное	противоточное
Минимальное время нагрева, с	6750	5505
Перепад температур между $T_{м.к.}$ и $T_{нов.}$, К	10	19
Перепад температур по толщине заготовки, К	14	29
Температура T_{∂} в начале нагрева, К	1550	1500
Температура T_{∂} в конце нагрева, К	1524	1575

Таким образом, обоснованная модель позволяет теоретически установить оптимальное время нагрева материала в каждой из зон методической печи, с требуемыми параметрами (скорость нагрева, перепад температуры по толщине заготовок) в условиях неритмичной работы стана, что обуславливает различную производительность МП. Нагрев заготовок в противотоке позволяет увеличить скорость нагрева материала по сравнению с нагревом в прямотоке и тем самым увеличить производительность печи, но при этом нарушается требование о перепаде температуры по толщине заготовки, что при прокатке может привести к появлению брака материала. В ходе дальнейших исследований целесообразно обосновать оптимальный режим нагрева, при котором время нахождения заготовок в печи будет минимальным при соблюдении температурного режима и низком выходе брака готовой продукции.

Список источников

1. 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. 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. 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.