

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ РАЗЛИЧНОЙ МАРКИ СТАЛИ

Гинкул С.И., Туяхов А.И., Сибирцева Ю.С. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (062) 3341804; E-mail: stervoza7@gmail.com

Abstract: In the heating furnace to heat the methodological party metal of various sizes. In this case, the furnace may be of various grades of steel billets and different sizes (thickness, width). The heating of billets of different parties requires a change in temperature along the length of the furnace. A mathematical model that allows us to calculate the temperature regime along the length of the furnace for the billet of various steel grades. After filling in the blanks of the working space of the furnace of one party is counting on the heating time zones.

Key words: Methodical stove, slyab, temperature, design, tuning – up, differential equalization, heat conductivity.

В методической печи заготовки в методической и сварочной зонах лежат на глиссажных трубах. Нагрев заготовок производится с двух сторон при их непрерывном расположении в печи.[1] Для расчёта температурного поля по толщине заготовки во времени можно воспользоваться дифференциальным уравнением теплопроводности для одномерного температурного поля:

$$c(t)\rho(t)\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial x}\right), \quad (1)$$

где $\lambda(t)$, $c(t)$, $\rho(t)$ – соответственно коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$; теплоёмкость, $\frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$; плотность металла, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Для получения однозначного решения дифференциального уравнения (1) необходимо задать условия однозначности:

- начальные условия:

$$\text{при } \tau = 0 \quad t = f(x) \quad (2)$$

- граничные условия:

$$\text{при } x=0 \quad q = \alpha_{\text{изл}}^{\text{в}}(t_{\text{гв}} - t_{\text{пв}}); \quad \text{при } x=l_x \quad q = \alpha_{\text{изл}}^{\text{н}}(t_{\text{гн}} - t_{\text{пн}}), \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{изл}}^{\text{в}}$, $\alpha_{\text{изл}}^{\text{н}}$ - коэффициенты теплоотдачи излучением в верхней и нижней зонах печи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$.

$t_{\text{гв}}$, $t_{\text{гн}}$ - температура газов в верхних и нижних зонах, °С;

$t_{\text{пв}}$, $t_{\text{пн}}$ - температура поверхности металла в верхних и нижних зонах, °С.

В томильной зоне металл, движущийся по монолитному поду, нагревается при постоянной температуре поверхности $t_{\text{пк}}$, равной конечной температуре поверхности металла.

Дифференциальное уравнение (1) с начальными (2) и граничными (3) условиями решалось конечно – разностным методом с использованием метода прогонки.

На основе разработанной программы были произведены расчеты нагрева стальных заготовок различной толщины применительно к трёхзонной методической печи прокатного цеха ОАО «Донецксталь-МЗ» для случая одновременного нахождения в рабочем пространстве заготовок различного поперечного сечения. Предположим, что в печи нагревается заготовка толщиной S_1 , а через какое - то время в печь подаются заготовки меньшей толщины S_2 . Если нагрев осуществлять по режиму заготовки S_1 , то

заготовки толщиной S_2 будут перегреваться, а при использовании режима заготовки S_2 , то заготовки толщиной S_1 , будут недогреваться.

Для исключения возникновения термических напряжений принято, что температура начала пластической деформации в металле составляет $t_{пл}=550^{\circ}\text{C}$, а температура поверхности в конце сварочной зоны $t_{пк}=1250^{\circ}\text{C}$.

Методическая зона – зона постепенного нагрева металла, поэтому в конце методической зоны металл должен быть пластичным.

Результаты моделирования нагрева заготовок толщиной 0,21 м и 0,18 м приведены на рисунке 1.

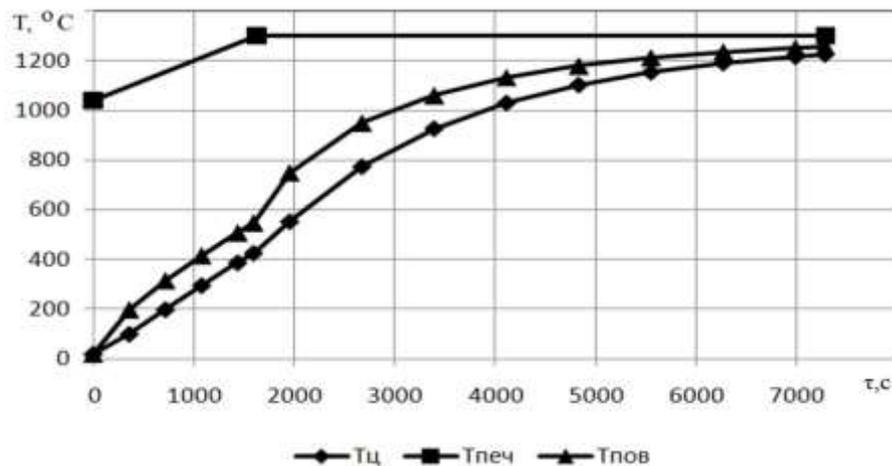


Рис.1 Изменение температуры поверхности заготовки $S=0,21$ м и $S=0,18$ м в процессе нагрева

Для нагрева заготовок толщиной $S=0,21$ м необходим такой режим: на входе в методическую зону температура дымовых газов равняется $t_r=1060^{\circ}\text{C}$, по всей длине сварочной зоны температура газов $t_r=1300^{\circ}\text{C}$. Такой режим обеспечивает получить температуру поверхности заготовки в конце методической зоны $t_{п}=553^{\circ}\text{C}$, а в конце сварочной зоны температура поверхности $t_{пк}=1251^{\circ}\text{C}$, что соответствует технологии нагрева. Нагрев заготовок толщиной $S=0,18$ м при таком же режиме приводит к перегреву заготовок. Температура поверхности заготовок в конце сварочной зоны $t_{пк}=1272^{\circ}\text{C}$ против заданной $t_{пк}=1250^{\circ}\text{C}$. Это связано с тем, что следующая за предыдущей партией заготовок греется по режиму предыдущей партии. При одной сварочной зоне при прохождении примерно половины длины сварочной зоны, уменьшая расход газа, можно добиться, что на части длины сварочной зоны температура газов будет уменьшаться. Нагрев заготовок предыдущей партии толщиной $S=0,21$ м будет выполняться по заданному режиму, а следующей партии по переходному режиму.

Температура на половине длины сварочной зоне меняется от температуры $t_{св}=1240^{\circ}\text{C}$ в начале до $t_{св}=1300^{\circ}\text{C}$ от середины сварочной зоны до конца сварочной зоны. На рисунке 2 приведен такой переходный режим.

Заготовка толщиной $S=0,18$ м в конце сварочной зоны имеет $t_{пк}=1268^{\circ}\text{C}$. При наличии двух сварочных зон температуру газов в каждой зоне можно регулировать таким образом, чтобы в конце второй сварочной зоны получить требуемое качество нагрева. На рисунке 3 приведены результаты моделирования нагрева заготовок. В случае, когда заготовки предыдущей партии достигнут начала второй сварочной зоны, в первой сварочной зоне меняется температурный режим. В рассматриваемом примере температура в первой сварочной зоне снизилась с $t_r=1300^{\circ}\text{C}$ до $t_r=1240^{\circ}\text{C}$. Температура поверхности в конце нагрева получилась равной $t_{пк}=1263^{\circ}\text{C}$.

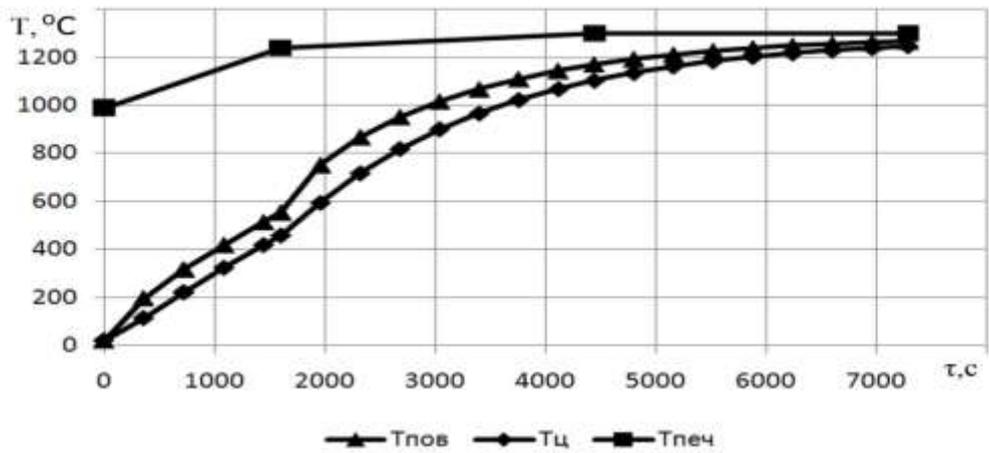


Рис.2 Изменение температуры поверхности и середины заготовки $S=0,18$ м в процессе нагрева

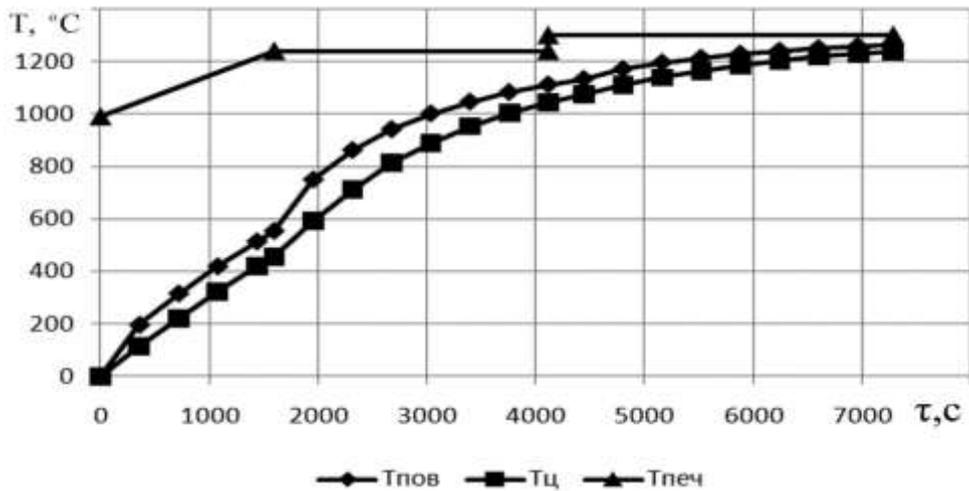


Рис.3 Изменение температуры поверхности заготовки $S=0.18$ м в процессе нагрева

В этом случае когда заготовки $0,18$ м достигнут начала второй сварочной зоны мы в первой сварочной зоне снизим подачу газа тем самым уменьшим температуру до 1240°C . После полного заполнения сварочной зоны этими заготовками и переход их в томильную зону, промежуточный режим заменяется на рабочий режим согласно заводской технологии для данного размера заготовки и соответствующей марки стали. При помощи всех этих действий на выходе мы получим заготовки приближенные к оптимальным параметрам ($t_{\text{п}}=1263^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ц}}=1240^{\circ}\text{C}$). Этот вариант самый оптимальный из тех которые были представлены ранее, так как на выходе получаем температуры более приближенные к оптимальным.[2]

Изменение режима нагрева металла может происходить и в случае нагрева заготовок металла одной толщины, но разной марки. С этой целью рассмотрен нагрев заготовок толщиной $S=0.21$ м при разных значениях коэффициента теплопроводности $\lambda_1=20 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ и $\lambda_2=40 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$. В таблице приведены результаты моделирования таких заготовок.

Таблица. Результаты моделирования нагрева заготовок при различных значениях коэффициента теплопроводности.

Коэффициент теплопроводности материала заготовок $\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$	Температура печи, °С			Температура заготовки, °С			
	Методическая зона		Сварочная зона	Конец методической зоны		Конец сварочной зоны	
	Начало	Конец	Конец	Пов-ти	Серед.	Пов-ти	Серед.
20	809	1305	1305	555	316	1246	1185
40	1060	1295	1295	545	410	1249	1226

Температура газов в начале методической зоны для заготовок с коэффициентом теплопроводности $\lambda=20 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ меньше, чем для заготовок с коэффициентом теплопроводности $\lambda=40 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$.

При меньшем коэффициенте теплопроводности тепло во внутрь тела отводится меньше, чем при большем. В связи с этим при меньшем коэффициенте теплопроводности температура поверхности растет быстрее. Это приводит к тому, что температура поверхности, соответствующая температуре начала пластической деформации будет достигнута при меньшей температуре газов, нежели при большем коэффициенте теплопроводности. Перепад температур по сечению заготовки при меньшем коэффициенте теплопроводности будет большим. В конце методической зоны перепад температур по сечению тела при коэффициенте теплопроводности $\lambda=20 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ равняется $\Delta t_1=239^\circ\text{C}$, а при $\lambda=40 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ $\Delta t_2=135^\circ\text{C}$. При таких перепадах температур по толщине заготовки необходимо температуру начала пластической деформации определить по среднемассовой температуре по сечению. В конце нагрева получено требуемое качество нагрева: температура поверхности удовлетворяет заданной и перепад температур $\Delta t_1=61^\circ\text{C}$ и $\Delta t_2=23^\circ\text{C}$.

Таким образом приведенный алгоритм позволяет моделировать режимы нагрева металла в методических печах при различной конструкции печи и нагреве различных партий металла как по сортаменту так и различной марки стали.

Список литературы: 1. Ткаченко В.Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов/ В.Н. Ткаченко. – К.: Наукова думка, 2008.- 243с. 2. Казанцев Е.И. Применение ЭВМ для расчета нагрева металла в методической печи/ Е.И. Казанцев, С.И. Гинкул, В.В. Антонов, Н.В. Гончаров// Сталь. – 1973.- №1 – с.77-79. 3. Матрюков Б.С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей/ Б.С. Матрюков. – М.: Металлургия, 1986, - т.2. – 376с.