

УДК:621.771.25

Шубин И.Г., Некрасов С.В., Акманова З.С.

ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПИСАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРОКАТКИ НА СОРТОВОМ СТАНЕ

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»*

В сложившихся условиях развития экономики перед металлургическими предприятиями с особой остротой стоят проблемы повышения конкурентоспособности проката на внутреннем и внешнем рынках при его производстве за счет снижения энергетических и материальных затрат. Постоянно растущие требования потребителей к качеству производимой продукции заставляют искать пути его повышения, совершенствовать режимы обработки, устанавливать новое оборудование с использованием моделей, учитывающих специфические особенности материалов, технологий и оборудования. Моделирование процессов с учетом изменений структуры оборудования и свойств материала позволяет находить новые технологические решения.

Одной из важнейших технических характеристик работы прокатного стана, во многом определяющей условия реализации процесса прокатки является температурный режим прокатки.

Правильно выбранный температурный режим позволяет улучшить деформационные условия прокатки, получить заданный комплекс физико-механических свойств, а так же оптимизировать энергетические затраты процесса.

Снижение затрат времени и ресурсов на выбор предпочтительного температурного режима возможно при наличии или создании модели адекватно отражающей реальный процесс прокатки.

Вопросам моделирования температурного режима прокатки посвящены ряд работ [1-4], в которых показано влияние различных технологических факторов на изменение температуры раската непосредственно в потоке стана. Анализ существующих методик расчета температурного режима сортовых станов позволяет сделать вывод о том, что на сегодняшний день математический аппарат, который используется для решения указанной задачи, можно свести к некоторым общим основным положениям.

Тепловые воздействия на металл при прокатке в потоке стана периодически повторяются в виде интенсивного охлаждения поверхностных слоев раската при контакте с валками и воздействия жидкости охлаждающей валки с одновременным нагревом ее за счет выделения внутренней теплоты деформации, теплоты внешнего трения и экзотермических реакций окисления, а также в виде охлаждения раската на воздухе при его движении между группами клетей и в межклетьевых промежутках.

В связи с этим, в предлагаемой модели расчета температурного режима прокатки суммарный тепловой баланс полосы складывается из следующих составляющих:

- приток тепла за счет работы затрачиваемой на пластическую деформацию металла, тепловыделения на контакте металла валками в связи с преодолением сил трения, а также увеличение температуры поверхности раската за счет увеличения сопротивления металла деформации;

- потери тепла в окружающее пространство за счет излучения, отдача тепла омываемому полюсу воздуху за счет конвекции, охлаждение прокатываемого металла за счет попадания на его поверхность охлаждающей валки жидкости и отдача тепла через теплопроводность при соприкосновении с валками.

Составляющие теплового баланса, определяющие приток тепла, обеспечивают практически мгновенный прирост температуры в очаге деформации по всему поперечному сечению раската. Вместе с тем, составляющие теплового баланса, определяющие потери тепла,

регламентируют падение температуры на поверхности раската в течение времени движения раската через весь стан [5]. Кроме того, учитывая то, что раскат при прокатке в калибре деформируется не равномерно по ширине сечения, то изменение температуры соответственно происходит также неравномерно.

Охлаждение полосы на воздухе между группами клетей и в межклетевых промежутках определяется известными законами теплового излучения и конвекции [6]. Особенность непрерывных мелкосортных и проволочных станов такова, что при прокатке в чистовых группах клетей роль конвекции значительно возрастает в следствии высокой скорости движения и небольших поперечных размеров раската. В процессе теплообмена, протекающего при охлаждении раската при движении его в потоке стана, а также после чистовой клетки на отводящем рольганге в линии ускоренного охлаждения, имеет место изменение величин теплофизических коэффициентов. Данные изменения зависят от выбора граничных условий на поверхности раската и определяются скоростью движения охлаждающей жидкости и воздуха, а также наличием на поверхности теплоизоляционных составляющих (окалина, «паровая рубашка» и т.д.).

Для решения задачи описания теплового состояния раската рассматривали математическую модель процессов её нагрева-охлаждения. Решение указанной задачи с выбранным видом граничных и начальных условий было реализовано численным методом на основе уравнения теплопроводности (1) [6] с использованием ЭВМ.

$$c_i(T_i)r_i(T_i)\frac{\partial T_i(x,y,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(I_i(T_i)\frac{\partial T_i(x,y,t)}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(I_i(T_i)\frac{\partial T_i(x,y,t)}{\partial y}\right) \quad (1)$$

Используя конечно-разностную схему в декартовой системе координат, получили

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_{i,j}^{k+1} - T_{i,j}^k}{\Delta t}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(I_i \frac{\partial T}{\partial x} \right) &= \frac{\partial I_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + I_i \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \\ &= \frac{I_{i+1,j}^k - I_{i,j}^k}{\Delta x} \cdot \frac{T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k}{\Delta x} + I_{i,j}^k \frac{T_{i-1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i+1,j}^k}{\Delta x^2}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left(I_i \frac{\partial T}{\partial y} \right) &= \frac{\partial I_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + I_i \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \\ &= \frac{I_{i+1,j}^k - I_{i,j}^k}{\Delta y} \cdot \frac{T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k}{\Delta y} + I_{i,j}^k \frac{T_{i-1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i+1,j}^k}{\Delta y^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Шаблон схемы представлен на рисунке 1.

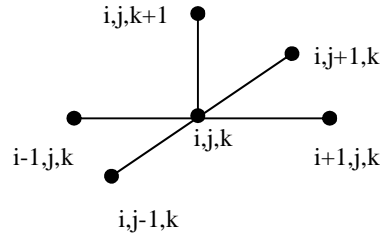


Рис. 1 Шаблон явной конечно-разностной схемы для решения уравнения теплопроводности

Начальное условие запишем в виде

$$T_{i,j}^0 = f(i, j, 0).$$

Тогда после упрощения решение уравнения (1) примет вид

$$\begin{aligned} T_{i,j}^{k+1} &= \frac{\Delta t}{c_{i,j}^k r_{i,j}^k} \cdot \left[\frac{I_{i+1,j}^k (T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) + I_{i,j}^k (T_{i-1,j}^k - T_{i,j}^k)}{\Delta x^2} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{I_{i,j+1}^k (T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k) + I_{i,j}^k (T_{i,j-1}^k - T_{i,j}^k)}{\Delta y^2} \right] + T_{i,j}^k. \end{aligned} \quad (5)$$

В плоскости поперечного сечения заготовки введем сеточную функцию $T(i,j,k)$ со значениями температуры в каждой точке. Требуется при известных значениях сеточной функции на k -ом слое найти значение на $k+1$ -м слое. Выполним замену частных производных конечными разностями для ближайших слоев по формулам. Тогда граничные условия примут вид

$$\begin{aligned} T_{0,j}^{k+1} &= T_{1,j}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot a_M^{k+1}}{l(T_{0,j}^{k+1})} (T_{1,j}^{k+1} - U_M^{k+1}); \quad T_{n,j}^{k+1} = T_{n-1,j}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot a_M^{k+1}}{l(T_{n,j}^{k+1})} (T_{n-1,j}^{k+1} - U_M^{k+1}); \\ T_{i,0}^{k+1} &= T_{i,1}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot a_M^{k+1}}{l(T_{i,0}^{k+1})} (T_{i,1}^{k+1} - U_y^{k+1}); \quad T_{i,n}^{k+1} = T_{i,n-1}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot a_M^{k+1}}{l(T_{i,n}^{k+1})} (T_{i,n-1}^{k+1} - U_y^{k+1}). \end{aligned} \quad (6)$$

Решение по приведенной разностной задаче будет сходиться к истинным значениям при выполнении условия:

$$\Delta t < \left(\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2} \right) \quad (7)$$

На основе разработанной математической модели и её алгоритма расчета создан программный продукт по расчету температурного режима прокатки на сортовом стане.

В качестве среды реализации рассматриваемой модели была выбрана среда программирования Borland C++ Builder 6.0, так как она содержит развитую инструментальную среду, имеет возможность взаимодействия с большинством программных продуктов, соответствующих современным технологиям, а компилятор генерирует высокоэффективный код. В программе используются подходы объектно-ориентированного программирования и модульного построения программ.

Реализованная по указанной методике предлагаемая модель расчета температурного режима прокатки обладает определенной универсальностью, и может быть использована как при разработке новых процессов сортовой прокатки, так и при анализе работы и совершенствовании технологии на действующем производстве. Адекватность расчетных данных, с учетом особенностей технологического процесса и оборудования каждого конкретного стана, достигается путем выбора формул расчета статей теплового баланса, обеспечивающих требуемое отклонение относительно экспериментальных данных.

Библиографический список

1. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л. Температурный режим широкополосных станов горячей прокатки. – М.: Металлургия. 1974. – 175 с.
2. Осадчий В.А., Герман О.Ю. Моделирование процесса сортовой прокатки с использованием информационных технологий // Известия вузов. Черная металлургия. 2001. №7. С.39-42.

3. Жучков С.М., Лохматов А.П., Кулаков Л.В., Сивак Э.В. Деформационное тепловыделение в очаге деформации рабочей клетки прокатного стана // Известия вузов. Черная металлургия. 2001. №5. С.23-29.

4. Железнов Ю.Д., Цифринович Б.А. К вопросу о тепловом балансе полосы в непрерывном стане горячей прокатки // Известия вузов. Черная металлургия. 1968. №. С.105-110.

5. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки. А.А. Горбанев, С.М. Жучков, В.В. Филиппов и др. – Мн.: Выш. шк., 2003. 287с.

6. Теплотехнический справочник. Т. 1/Под ред. В.И. Пренева, П.Д. Лебедева. М.: Энергия. 1975. 743 с.