

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ СЛИТКА

Лебедев К.А., магистрант; Лебедев А.Н. доц., к.т.н.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Кукуй К.А., к.т.н.

(НПО «Доникс», г. Донецк, Украина)

В новых экономических условиях на первый план выходят вопросы экономии энергии и ресурсосбережения в промышленности. Особое значение приобретают вопросы снижения затрат при производстве продукции в черной металлургии, которая характеризуется высокой энерго- и материалоемкостью. При этом необходимо отметить, что затратные показатели черной металлургии Украины в разы превышают аналогичные величины наиболее развитых стран. Это обстоятельство снижает конкурентоспособность украинской металлопродукции на мировых рынках.

Основные направления повышения конкурентоспособности заключаются в разработке системы мер снижения себестоимости при неизменно высоком качестве продукции.

Одной из наиболее энерго- и материалозатратных стадий производства металлического проката, вносящих весомый вклад в себестоимость продукции, является тепловая подготовка металла к прокатке.

Одним из мероприятий, позволяющих снизить расход топлива, уменьшить потери металла от окисления и повысить качество нагрева является усовершенствование системы контрольно-измерительных приборов и разработка автоматизированной системы управления (АСУ) нагревом металла.

В основе АСУ должны быть положены не только алгоритмы контроля и управления, но и математические модели кристаллизации, охлаждения и нагрева, позволяющие в режиме реального времени (*Real-time*) осуществлять необходимые расчеты теплового состояния металла и режимов нагрева в зависимости от конкретных производственных условий, что максимально исключит влияние субъективного фактора и квалификации персонала на работу нагревательного устройства.

Определение теплового состояния металла состоит в решении основного дифференциального уравнения теплопроводности для процессов кристаллизации и последующего нагрева слитка:

$$C_m \cdot \rho_m \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_m \cdot \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda_m \cdot \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_m \cdot \frac{\partial T}{\partial z}) + \rho_m \cdot L_{cr} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial \tau},$$

где λ_m – коэффициент теплопроводности металла, Вт/(м·К);

C_m – теплоемкость металла, Дж/(кг·К);

ρ_m – плотность металла, кг/м³;

$L_{\text{кр}}$ – скрытая теплота кристаллизации, Дж/кг;

φ – относительное количество твердой фазы.

Решения дифференциального уравнения с граничными условиями, описывающими взаимодействие слитка с окружающей средой при охлаждении и с печной атмосферой при нагреве (граничные условия 3-го рода), а в случае специальных режимов нагрева, и с учетом комплекса ограничений, осуществляется по неявной конечно-разностной схеме. За начальные условия при расчете нагрева принимается объемное распределение температуры в слитке в момент посада, полученное в результате моделирования процессов кристаллизации и охлаждения путем решения того же уравнения.

В результате моделирования установлено, что при длительности охлаждения $\tau_{\text{охл}} = 3$ часа, последующий нагрев до готовности составит 2 часа, конечная температура поверхности слитка будет равна 1293°C, центра – 1272°C, расчетный расход топлива на нагрев – 312 м³/т. При уменьшении длительности охлаждения до 2,5 часов, время нагрева составит уже 1 час, температуры поверхности и центра слитка соответственно будут равны 1295°C и 1296°C, расход топлива – 142 м³/т. Таким образом, математическое моделирование по приведенным алгоритмам в условиях ритмичной работы оборудования и с учетом конкретных производственных условий металлургического предприятия позволяет повысить производительность прокатных станов, снизить удельный расход топлива и потери металла от окисления в окалину.

Следует отметить, что данная модель нагрева будет работать в режиме реального времени с определенным, установленным разработчиком, периодом вычисления. Это означает, что весь цикл нагрева будет условно разбит на периоды. Определение теплового состояния металлического слитка будет производиться не на весь нагрев, а лишь на расчетный период. Обновленные данные от термопары, установленной в рабочем пространстве, о температуре в контрольной точке, о расходах газа и воздуха по показаниям расходомеров газового и воздушного тракта, передаваемые в виде аналогового сигнала, используются для периодического расчета. В результате моделирования формируется прогноз изменения температуры наиболее представительных точек в объеме слитка. При следующем опросе датчиков происходит новый вычислительный цикл, для которого начальными данными о распределении температурного поля слитка будет конечный массив температуры из предыдущего расчета. Таким образом, будет сведена к минимуму ошибка, связанная с непостоянством расхода энергоносителя по причине колебаний его температуры и давления.

Данное предложение не является революционным, т.к. на многих передовых заводах за рубежом и в странах СНГ уже работают системы, построенные по аналогичной идеологии, и которые показали эффективность такого подхода к решению проблем энерго- и ресурсосбережения. Примером использования прогрессивных технологий в Украине является находящаяся в эксплуатации на комбинате «Запорожсталь» многоуровневая система управления нагревом слитков в отделении нагревательных колодцев (ОНК) обжимного цеха, разработанная специалистами НПО «Доникс».