

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В АСУ ТП АГРЕГАТА КОВШ-ПЕЧЬ

Бабаенко Д.А., магистрант; Симкин А.И., к.т.н., доц.

(Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина)

Установка «ковш-печь» (далее - УКП) предназначена для внепечной обработки стали в сталеплавильном цехе. Агрегат выступает в качестве буфера между процессом выплавки и разливки, в котором в жестко допустимых пределах можно регулировать температуру и химический состав стали.

Основная цель АСУТП УКП – обеспечение максимальной производительности агрегата при минимальных затратах ресурсов, повышение качества выходного продукта и улучшение условий труда персонала.

В структуре АСУТП УКП можно выделить следующие основные системы:

- система управления продувкой металла инертным газом;
- система управления электродами (перемещение электродов, управление печным трансформатором, управление процессом «зажигания дуги»);
- система дозирования сыпучих материалов (бункерная эстакада и комплекс конвейерных лент);
- система подачи проволоки (трайбаппараты);
- система охлаждения агрегата;
- система управления фурмой;
- система управления вдуванием поршково-газовой смеси;
- система управления копьём отбора температуры и пробы.

К дополнительным подсистемам следует отнести систему подачи смазки, гидравлическую подсистему и систему управления сталеvoзaми.

Работа отдельных подсистем осуществляется как с пульта управления, так и с главного пульта управления (удаленный режим). В свою очередь, удаленный режим включает в себя работу различных подсистем как в ручном, так и в автоматическом режиме работы.

При рассмотрении УКП как математического объекта, его работа делится на следующие подсистемы:

- модель расчета подачи легирующих;
- модель теплового режима УКП;
- модель перемешивания металла;
- модель расчета атмосферы над поверхностью металла.

Данные модели работают не изолированно, а взаимодействуют друг с другом. Основной режим работы – режим советчика (выдает технологу рекомендации по проведению плавки, прогнозируя возможный результат).

Модель расчета подачи легирующих предназначена для определения количества материалов, необходимых для доведения стали до заданного химического состава. Входными параметрами модели являются:

- целевая марка стали;
- текущий химический состав (поступает из лаборатории);
- сортамент легирующих материалов и их химический состав;
- текущая и максимально допустимая масса расплава;

- способы ввода веществ.

Для упрощения модели не учитываем влияние футеровки и порядок введения материалов. Кроме того, считаем, что, во-первых, состав расплава одинаковый по всему объему печи, и, во-вторых, температура одинаковая во всем пространстве печи.

В результате проводимых расчетов модель выдает следующие данные:

- масса легирующих, которые необходимо отгрузить;
- прогнозируемый химический состав стали;
- поправка на температуру, измененную в результате отгрузки.

Модель теплового режима У КП предназначена для определения оптимального времени нагрева металла для достижения целевого значения. Основные факторы, влияющие на тепловые процессы печи следующие:

- нагрев электрической дугой;
- теплообмен с окружающей средой;
- легирование стали;
- продувка инертным газом.

Теплообмен с окружающей средой происходит через поверхность шлакового слоя и стенки и днище ковша. Теплоотдача через слой огнеупоров осуществляется посредством конвекции и излучения.

Через стенки и днище печи, наблюдается нестационарная теплопередача:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где U – температура в точке с координатой x во время τ ;

a – коэффициент температуропроводности.

Краевые условия устанавливают распределение температуры в теле в определенный момент времени, например в нулевой момент. Они характеризуют тепловые условия на поверхности тела, которые должны быть известны в любой момент времени.

Конвективная теплоотдача при условии, что скорость потока воздуха ниже 5 м/с:

$$\alpha_{\text{конв}} = 16.7 + 4.19V_B, \quad (2)$$

где V_B – скорость обдувающих потоков воздуха;

$\alpha_{\text{конв}}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи излучением:

$$\alpha_{\text{изл}} = C_{\text{пр}} \frac{\left(\frac{T_{\text{пов}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ср}}}{100}\right)^4}{T_{\text{пов}} - T_{\text{ср}}} \left(\frac{Bm}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right), \quad (3)$$

где $C_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент излучения, Вт/(м²*К⁴);

$T_{\text{пов}}$ и $T_{\text{ср}}$ – температуры, соответственно, поверхности стенки ковша и окружающей среды.

Потери тепла через поверхность шлака происходят за счет теплопередачи через слой шлака и теплоотдачу посредством излучения (конвекцией, в данном случае, можно пренебречь в связи с ее малой долей вносимых изменений). Значительная доля тепла уносится также отходящими газами.

Тепловые процессы при легировании стали зависят от типа реакций, происходящих в пространстве печи. При присадке легирующих материалов учитываются следующие изменения энтальпии стали, отнесенные к единице массы:

- нагрев и плавление присадок, происходящие с затратой тепла ΔH_n ;
- разложение интерметаллических соединений, происходящее с подводом тепла ΔH_p ;
- поглощение ($\Delta H_m > 0$) или выделение ($\Delta H_m < 0$) тепла при смешении расплавленной присадки с жидкой сталью;
- окисление присадки содержащимся в стали кислородом, с выделением тепла реакции ΔH_v .

Изменение температуры стали в результате присадки:

$$\Delta U = \frac{x(\Delta H^H + \Delta H^P + \Delta H^M + \Delta H^B)}{100 * c}, \quad (4)$$

где c – удельная теплоемкость стали,

x – процентное содержание сплава, введенного в сталь.

Наиболее значительное влияние на температурные процессы в У КП оказывает нагрев стали электродами, который протекает следующим образом: электрическая дуга, возникающая между металлом и погруженными в шлак электродами, нагревает слой шлака. В результате интенсивного перемешивания расплава инертным газом весь объем стали соприкасается со слоем шлака, что ускоряет процесс теплопередачи и усредняет температуру стали.

При продувке стали инертными газами тепло расходуется на нагрев самого газа. Т.о., можно сказать, что количество потерь тепла равно разностной энергии входящего и выходящего газового потоков. Теплота, затрачиваемая на нагрев инертного газа, определяется по формуле:

$$Q_2 = V_2 \int_{T_{нач}}^{T_{кон}} C_2(T) dT, \quad (5)$$

где V_2 – объем продуваемого в единицу времени газа, м³/с;

$T_{нач}$ и $T_{кон}$ – начальная и конечная температуры газов соответственно;

C_2 – объёмная теплоёмкость газа, Дж/м³.

Модель теплового режима У КП использует следующие входные параметры:

- целевая температура;
- присаживаемые легирующие (количество и химический состав);
- параметры продувки;
- текущая масса расплава.

В результате расчетов, модель предоставляет данные:

- текущая температура стали;
- тепловой баланс ковш-печи;
- прогнозируемое необходимое время нагрева металла.

Модель расчета атмосферы над поверхностью металла служит для введения поправки на расход инертного газа, предназначенного для продувки, с целью недопущения попадания воздуха в пространство между шлаком и сводом ковш-печи. Т.к. в процессе эксплуатации ковшей их поверхность становится неровной – изменяется количество неконтролируемого выхода отходящих газов. Данная задача решается использованием адаптивной модели, которая вводит поправку на количество отходящих газов, основываясь на плотности прилегания свода к ковшу.