

ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В ДСП

Бакун С.В. (МЧМ-08вм)¹

По ходу плавки в ДСП сталевару необходимо получить к моменту выпуска определенную температуру (не ниже заданной) и определенное содержание углерода и фосфора в металле (не выше заданных).

Поэтому сделав замер температуры и получив химанализ пробы металла, сталевар должен определить, сколько нужно ввести электроэнергии, кислорода и извести для одновременного завершения нагрева и рафинирования металла. Преждевременный нагрев приводит к перерасходу электроэнергии и ухудшению дефосфорации, преждевременное обезуглероживание – к невозможности нагреть и перемешать металл и, как следствие, к перерасходу электроэнергии. Для расчета количества энергии, которую необходимо ввести для нагрева металла от первого замера до заданной, необходим алгоритм, позволяющий прогнозировать зависимость изменения температуры металла от всех технологических параметров плавки. К сожалению, строгий расчет теплового баланса весьма громоздок и требует большого количества дополнительной информации, которая отсутствует на реальном производстве.

Обычно в основе большинства систем прогноза температуры лежит допущение, что изменение температуры металла ΔT прямо пропорционально удельному количеству введенной суммарной энергии ΔE с некоторым коэффициентом k ($^{\circ}\text{C}/[\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}]$), зависящим от текущей температуры металла и, иногда, от средневзвешенного вида металлолома («хороший» лом требует меньше тепла на расплавление и нагрев, «плохой» – больше).

Зависимость указанного коэффициента от температуры обычно объясняется зависимостью тепловых потерь теплопроводностью и излучением от температуры – чем выше температура металла, тем больше потери, и меньше нагрев металла на единицу введенной энергии.

Для численного анализа в качестве исходных данных были использованы показатели работы ДСП-1 электросталеплавильного комплекса ОАО «Электросталь» (г. Курахово), которая была сдана в эксплуатацию в середине 2008 года (изготовитель – фирма STB, Италия). Система управления, реализованная на указанной печи, имеет упрощенный модуль прогноза температуры металла, с коэффициентами, приведенными в табл. 1.

Табл. 1. Зависимость коэффициента нагрева металла от текущей температуры.

T, $^{\circ}\text{C}$	1535	1550	1565	1580	1595	1610	1625	1640	1655	1680
k, $^{\circ}\text{C}/[\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}]$	0,5	0,5	0,5	0,8	1,2	1,6	1,7	1,8	2	2,2

¹ Руководитель к.т.н. каф. электрометаллургии Храпко С.А.

Аппроксимировав указанные точки прямой линией получим, что

$$k = 0,0137 \cdot T_{cp} - 20,741, \quad (1)$$

т.е. скорость нагрева металла растет с повышением температуры. На первый взгляд результат кажется невозможным.

Для проверки было проанализировано изменение температуры между двумя замера на 1730 плавках (всего 3470 экспериментальных точек). В результате получили следующее уравнение регрессии :

$$k = 0,0135 \cdot T_{cp} - 20,30 \quad R = 0,304, R^2 = 0,0925 . \quad (2)$$

Возьмём в качестве аргумента начальную и конечную температуры, в этом случае уравнения регрессии принимают вид:

$$k = 10,20 - 0,0059 \cdot T_1 \quad (R=0,14, R^2 = 0,0191), \quad (3)$$

$$k = -31,85 + 0,0206 \cdot T_2 \quad (R=0,59, R^2 = 0,3496). \quad (4)$$

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что положительное влияние температуры на нагрев металла объясняется следующим. Обычно сталевар делает замер температуры после ввода определенного удельного количества энергии (на тонну лома) в печь, соответствующего полному расплавлению металлозавалки. Если при этом получена низкая температура, то это как правило связано с неполным расплавлением лома в результате неправильной информации о массе лома, простоя печи перед данной плавкой, неэффективной работы горелок или неэффективного электрического режима и т.д. В результате вводимое в дальнейшем тепло расходуется прежде всего на доплавление лома, а не на нагрев жидкой ванны, что сильно снижает коэффициент нагрева металла. Наоборот, более высокая температура при замере говорит о полном расплавлении металлозавалки, при этом все введенное тепло расходуется только на нагрев ванны и дает более высокий коэффициент нагрева металла.

Кроме того использование «средней» (T_{cp}) и конечной (T_2) температуры для статобработки данных и последующего использования в модуле прогноза температуры абсолютно не корректно – после первого замера мы не знаем, какой будет следующий замер, и использовать можно лишь имеющуюся величину первого замера (т.е. T_1).

Необходима дополнительная информация, характеризующая состояние сталеплавильной ванны. Например: о полноте расплавления завалки можно судить по количеству энергии, введенной в печь к моменту первого замера температуры. Кроме того необходимо учесть, что тепловые потери растут с увеличением времени между замерами, т.е. интервал времени между замерами также должен быть включен в модель. Обработка данных в этом случае дает следующий результат:

$$\Delta T = (17,47 - 0,0124 \cdot T_1 + 0,0085 \cdot E_1) \cdot \Delta E - 1,886 \cdot \Delta \tau_{12} \quad (R=0,61, R^2=0,37). \quad (5)$$

Следует отметить, что был использован практически «сырой» массив исходных данных, т.е. не производились ни фильтрация недостоверных замеров, ни отсеивание плавков после длительных простоев и т.д. Кроме того, в

упрощенной модели не учитывалось влияние отдаваемых шлакообразующих и моментов их отдачи (например, непосредственно перед замером).

Тем не менее, знаки и величины полученных коэффициентов не противоречат теоретическим положениям и практике сталеварения. Чем больше температура металла, тем меньше тепловой эффект от введенной энергии, что объясняется существенным повышением потерь излучением и теплопроводностью. Чем больше величина введенной энергии к моменту первого замера, тем меньше осталось в ванне нерасплавленного лома, тем лучше прогрета футеровка, что приводит к повышению коэффициента использования тепла непосредственно на нагрев жидкой ванны. И наконец, время между замерами увеличивает потери тепла – падение температуры металла при простое составляет около 2°C за минуту, что по порядку величины соответствует реальным данным.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет ориентировочно оценить ожидаемую скорость нагрева металла в ДСП и с приемлемой точностью прогнозировать текущую температуру сталеплавильной ванны.