УДК 669.33:681.51.003.8

И.А.КИРПИЧЕНКОВ
Норильский государственный индустриальный институт

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ В ПЕЧИ ВАНЮКОВА С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СУММЫ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрены пути повышения извлечения суммы цветных металлов в штейн в процессе плавки сульфидного сырья в печи Ванюкова. Выполнен анализ плавки с учетом особенностей технологии Надеждинского металлургического завода: большого содержания сульфидов меди и никеля в шихте. Такой состав шихты приводит к недопустимым потерям цветных металлов при использовании обычных способов регулирования плавки.

В процессе анализа выявлены источники химических и механических потерь цветных металлов. Предложен способ снижения химических потерь цветных металлов со шлаком путем контроля и оптимального регулирования содержания диоксида серы в отходящих газах. Управляющей переменной в контуре регулирования диоксида серы выбрано соотношение между расходом кислорода и природного газа.

The work is devoted to the increase of non-ferrous metals extraction in stein by smelting in the Vanukov's furnace. The smelting analysis was made with features of technology of Nadezdinsky Metallurgical Plant, because raw material is rich in non-ferrous metals. Such raw material is connected with great losses of non-ferrous metals if one uses usual ways of regulated smelting.

During the analysis the sources of chemical and mechanical losses of non-ferrous metals are revealed. The way of reduction of chemical losses of non-ferrous metals with slag is offered by the control and optimum regulation of the sulfur dioxide content in departing gases. The main variable in a contour of sulfur dioxide regulation is chosen as a ratio between the charges of oxygen and natural gas.

Главным качественным показателем плавки медного никельсодержащего сырья в печи Ванюкова (ПВ) является содержание меди и никеля в штейне. Содержание цветных металлов и железа в шлаке напрямую зависит от коэффициента избытка кислорода α и температуры расплава. Потери цветных металлов со шлаками складываются из механических и химических потерь [1].

Механические потери зависят от температуры расплава, характеризующей температурный режим плавки. По температуре судят о полноте протекания химических реакций в ванне, а также о качестве продуктов плавки. Снижение температуры ниже 1250 °С приводит к увеличению вязкости расплава и выделению накопившегося в шлаке магнетита в самостоятельную фазу; при этом происходит обогащение шлака цветными металлами.

В настоящее время температура расплава в ПВ не контролируется из-за технических сложностей установки соответствующих датчиков. Технологический персонал регулирует температуру расплава, ориентируясь по собственному опыту на температуру воды на сливе кессонов. Трубки проходят в теле кессонов, которые находятся в непосредственном контакте с расплавом, поэтому изменение температуры расплава вызывает соответствующее изменение передачи тепла от расплава к кессонам через небольшой промежуток времени. Так как расход воды через трубки поддерживается постоянным, то температура воды на сливе кессонов является показателем,

по которому можно судить о влиянии некоторых факторов на изменение температуры расплава в ПВ.

Оптимальные температуры ведения процесса для штейна 1250-1280 °С, для шлака 1280-1330 °С.

Анализ плавки в печи Ванюкова показал, что на температурный режим в печи влияют следующие основные факторы:

- загрузка шихтовых материалов (изменение загрузки приводит практически к моментальному изменению температуры);
- расход кислородовоздушной смеси (КВС), так как кислород, содержащийся в КВС, участвует в химических реакциях с выделением тепла;
- расход кислорода.

Рассмотрим известные способы регулирования температуры расплава:

- изменением загрузки шихтовых материалов при неизменном дутье [2, 3];
- изменением количества кислорода, подаваемого в печь в единицу времени (в пределах допустимого интервала) [2].

В первом случае температуру штейна регулируют изменением расхода концентрата при постоянном дутье. Опыт работы показал, что в данном случае необходимо контролировать давление КВС и давление природного газа, подаваемых в печь, так как при неоправданном увеличении количества подаваемой шихты возможно быстрое охлаждение расплава и увеличение его вязкости, что практически моментально отразится на давлении газов, подаваемых в печь. Данный способ регулирования температуры экономически не выгоден, потому что не обеспечивает стабильной производительности печи.

Второй способ регулирования температуры нежелательно использовать, так как чрезмерно большая подача кислорода может привести к переокислению расплава и его выбросу, а это, в свою очередь, приведет к остановке печи.

Химические потери цветных металлов зависят от коэффициента α. Эти потери технологическим персоналом не контролируются, поэтому предлагается автоматически контролировать и оптимально регулировать извлечение цветных металлов в штейн.

Практика показала, что работа печи Ванюкова в устойчивом режиме возможна при содержании железа в шлаке не более 40 %. Чрезмерно высокий коэффициент избытка кислорода (более 0,95) приводит к увеличению содержания железа в шлаке, образованию фаялита и выделению накопившегося в шлаке магнетита в самостоятельную фазу, и, в конечном итоге, к увеличению вязкости расплава. Опытным путем получена зависимость между коэффициентом избытка кислорода α и вязкостью расплава η (рис.1).

Увеличение вязкости расплава вызывает обогащение шлака цветными металлами, т.е. увеличение доли механических потерь цветных металлов. Снижение коэффициента избытка кислорода ниже 0,7 переводит печь в режим оплавления настылей, что не соответствует нормальному режиму работы печи и увеличивает температуру отходящих газов. При $\alpha = 1$ атмосфера в печи нейтральная или слабо окислительная, поэтому непосредственное окисление сульфидов металлов и металлической меди в процессе плавки незначительно.

Вследствие нестабильности химического состава и давления газовых компонентов дутья коэффициент избытка кислорода изменяется. Соответственно атмосфера в печи становится окислительной или восстановительной. В такой атмосфере равновесие химических реакций смещается, образуются устойчивые химические соединения, которые препятствуют извлечению цветных металлов, что увеличивает долю химических

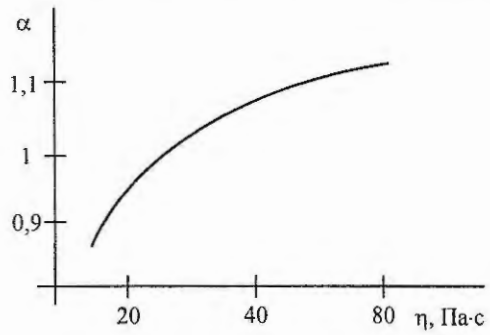


Рис.1. Зависимость между коэффициентом избытка кислорода и вязкостью расплава

потерь цветных металлов. Химический состав шлака определяет такие его физические свойства, как плотность, вязкость и поверхностное натяжение, а также способность растворять магнетит и цветные металлы.

О возможности протекания реакций в прямом или обратном направлении можно судить по изменению энергии Гиббса ΔG. Если $\Delta G < 0$, то реакция протекает в прямом направлении; если $\Delta G = 0$, то реакция находится в равновесии и скорости прямой и обратной реакций равны; если $\Delta G > 0$, то реакция невозможна. При α, близком или большем единицы, возможно окисление сульфидов и металлической меди по реакции

$$MeS + O_2 = MeO + SO_2,$$

где Me = {Fe, Cu_2, Ni}.

Коэффициент избытка кислорода контролируют косвенным способом. Его рассчитывают по формуле

$$\alpha = \frac{0{,}21\,F_в + F_1 q}{2F_2},$$

где $F_в$ – объемный расход подаваемого на плавку воздуха, приведенный к нормальным условиям, м^3/ч; F_1 – объемный расход подаваемого на плавку кислорода, приведенный к нормальным условиям, м^3/ч; q – объемная доля кислорода в технологическом кислороде; F_2 – объемный расход подаваемого на плавку природного газа, приведенный к нормальным условиям, м^3/ч.

Так как коэффициент избытка кислорода определяют по текущим расходам кислорода, воздуха, газа и содержанию кислорода в технологическом кислороде, возможны следующие способы регулирования коэффициента α:

- изменением расхода природного газа;
- изменением расхода воздуха;
- изменением расхода кислорода.

Величина q не регулируется, так как технологический кислород подается с кислородной станции, но может сильно изменяться при нестабильной работе станции. Расход воздуха изменяется в малых пределах и не влияет существенно на α.

Таким образом, на извлечение суммы цветных металлов влияют расходы кислорода (обогащение КВС) и природного газа.

Содержание SO_2 в отходящих газах характеризует атмосферу в печи, по которой можно судить об извлечении цветных металлов в штейн. Обогащение КВС кислородом способствует возникновению окислительной атмосферы в печи и увеличению содержания SO_2 в отходящих газах. При этом большая часть железа переходит в шлак, а цветные металлы – в штейн. При снижении количества кислорода в КВС атмосфера в печи становится восстановительной, штейн обогащается железом, а доля цветных металлов в нем уменьшается, а в шлаке увеличивается. Увеличение расхода природного газа ведет к возникновению восстановительной атмосферы в печи и уменьшению содержания SO_2 в отходящих газах.

Построенные графики парной корреляции между содержанием SO_2 в отходящих газах и обогащением кислородовоздушной смеси и содержанием SO_2 в отходящих газах и расходом природного газа показывают наличие пропорциональной зависимости между содержанием SO_2 в отходящих газах и обогащением КВС, а также между содержанием SO_2 в отходящих газах и расходом природного газа. Поэтому обогащение кислородовоздушной смеси и расход природного газа являются значащими факторами. Анализ показал, что значащим фактором также является температура воды на сливе кессонов, однако регулирование данного параметра не представляется возможным. Таким образом, в модели процесса (рис.2)

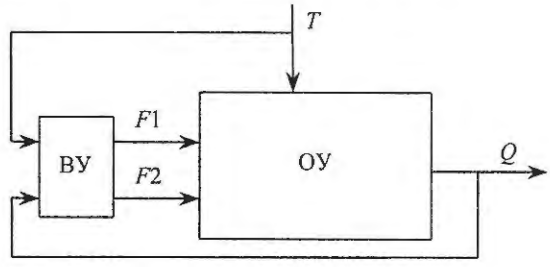


Рис.2. Структурная схема объекта управления

за управляемую переменную принимается содержание SO_2 в отходящих газах Q, за управляющие воздействия – расход кислорода $F1$ (ведущий фактор) и расход природного газа $F2$ (ведомый фактор). Их значения рассчитываются на верхнем уровне (ВУ). Возмущающим воздействием является температура воды на сливе кессонов T.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ванюков А.В.* Плавка в жидкой ванне / А.В.Ванюков, В.П.Быстров, А.Д.Васкевич. М.: Металлургия, 1988. 208 с.

2. Опыт применения регулирующего микропроцессорного контроллера Ремиконт в управлении ПВ / В.Я.Алексеева, Е.Я.Серебряная, Л.И.Шварцер, В.А.Рыбалкин // Цветные металлы. 1990. № 8. С.111-113.

3. *Фукс Б.Я.* Система автоматического управления загрузки шихты в агрегаты Ванюкова / Б.Я.Фукс, А.М.Трубняков // Цветные металлы. 1992. № 1. С.25-26.

Научный руководитель к.т.н. доц. *И.Н.Семенова*