УДК 681.51.513:669.24.001

И.В.ПЬЯНКИН
Норильский государственный индустриальный институт

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ КИСЛОРОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ И ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПЕЧЬ ВЗВЕШЕННОЙ ПЛАВКИ

Описана цель и оптимальный режим процесса взвешенной плавки при работе на никелевом сырье, указаны последствия отклонений от данного режима. Произведен анализ качества управления печью взвешенной плавки (ПВП), в результате которого показана необходимость разработки системы автоматического управления ПВП. Сформулирована постановка задачи и указан критерий оптимального управления. Отмечена важность поддержания кислородного коэффициента и теплового баланса реакционной шахты путем управления расходами технического кислорода и природного газа. Проанализированы последствия завышения и занижения кислородного коэффициента. Предложена двухуровневая система автоматического управления подачей кислородовоздушной смеси и природного газа в ПВП и указана ее структурная схема. Приведен алгоритм ее работы.

The purpose and optimum mode of process of weighed smelting is described at work on nickel raw materials, consequences of deviations from the given mode are specified. There is made the analysis of monitoring quality of the weighed smelting furnace (WSF) in the result of which the necessity of the automatic control system engineering of WSF is shown. Statement of a task is formulated and the criterion of optimum control is specified. Importance of maintenance of oxygen factor and thermal balance of reactionary mine is marked, by charge monitoring of technical oxygen and natural gas. Consequences of overloading and underloading of oxygen factor are analysed. The two-level system of automatic control by submission of a oxygen-air mixture and natural gas in WSF is offered and its block diagram is specified. The algorithm of its work is given.

Целью процесса плавки во взвешенном состоянии является извлечение никеля и меди в штейн с минимальными потерями цветных металлов со шлаком.

Исследование работы печи взвешенной плавки показало, что оптимальным режимом плавки (с минимальными экономическими потерями) при работе на никелевом сырье является плавка на штейн с содержанием 40-45 % по сумме никеля и меди, при этом содержание цветных металлов в шлаке будет минимальным (0,77-0,95 %).

Распределение ценных компонентов (никеля и меди) между штейном и шлаком характеризует коэффициент распределения, имеющий нелинейную зависимость от содержания никеля и меди в штейне:

$$K_{\text{р}} = Q_1 / Q_2 ,$$

где Q_1 и Q_2 – суммарное содержание никеля и меди соответственно в штейне и в шлаке, %.

Поэтому при плавке на более богатый штейн (суммарное содержание никеля и меди свыше 50 %) резко увеличивается содержание цветных металлов в шлаке, т.е. имеют место большие потери цветных металлов с отвальными шлаками обеднительной электроплавки. Плавка на более бедный штейн (суммарное содержание никеля и меди до 40 %) не позволяет вести процесс в режиме, близком к автогенному, за счет тепла, выделяющегося при окислении сульфидов проплавляемого концентрата. Это обстоятельство определяет энергетические затраты на восполнение дефицита тепла и стабилизацию температурного режима в реакционной шахте и отстойной зоне печи путем сжигания природного газа.

Санкт-Петербург. 2003

В течение месяца проводилось наблюдение за качеством управления ПВП и собирался статистический материал при каждом сливе штейна и шлака, т.е. дискретность съема информации колебалась около 4 ч.

Анализ показал, что химический состав штейна по сумме никеля и меди значительно превышает 40-45 %, т.е. содержание никеля и меди в штейне не поддерживается на оптимальном уровне (рис.1, *а*), что, в свою очередь, приводит к скачкообразному увеличению никеля и меди в шлаке по отношению к 0,77-0,95 % (рис.1, *б*). Все это доказывает необходимость разработки САУ ПВП, постановку задачи которой можно сформулировать следующим образом: поддерживать оптимальный химический состав штейна по сумме никеля и меди, что обеспечивается целевой функцией

$$I = \sum_{n=1}^{N} (Q_{1\text{опт}}(n) - Q_{1\text{факт}}(n))^2 \to \min ,$$

где I – функционал; N – количество сливов штейна; n – дискретный интервал времени; $Q_{1\text{опт}}(n)$ – оптимальный химический состав штейна по сумме никеля и меди; $Q_{1\text{факт}}(n)$ – фактический химический состав штейна по сумме никеля и меди.

Для получения штейна оптимального состава по сумме никеля и меди необходимо поддерживать кислородный коэффициент и тепловой баланс реакционной шахты.

Протекание реакций в плавильной зоне печи характеризует кислородный коэффициент

$$K = F_1 / F_2 ,$$

где F_1 – расход «чистого» кислорода, нм^3/ч; F_2 – суммарная загрузка шихты, т/ч.

Занижение кислородного коэффициента ведет к недостатку кислорода в плавильной части печи. В этом случае экзотермические реакции окисления элементарной серы и сернистого железа будут протекать не полностью и в штейн перейдет большее количество сернистого железа, т.е. будет получен более бедный штейн. Завышение кислородного коэффициента и соответственно избыток кислорода в реакционной шахте создает благоприятные условия для окисления низших сульфидов меди и никеля, поэтому кроме богатого штейна будет получен и богатый по ценным компонентам шлак.

Кислородным коэффициентом можно управлять, изменяя загрузку шихты и расход «чистого» кислорода.

Загрузка шихты в тонкоизмельченном сухом состоянии обеспечивает возможность ее тонкой дозировки. Изменение количества загружаемой в ПВП шихты связано с изменением производительности печи и, как следствие, последующих переделов. Следовательно, регулировать процесс плавки изменением подачи шихты в ПВП не пред-

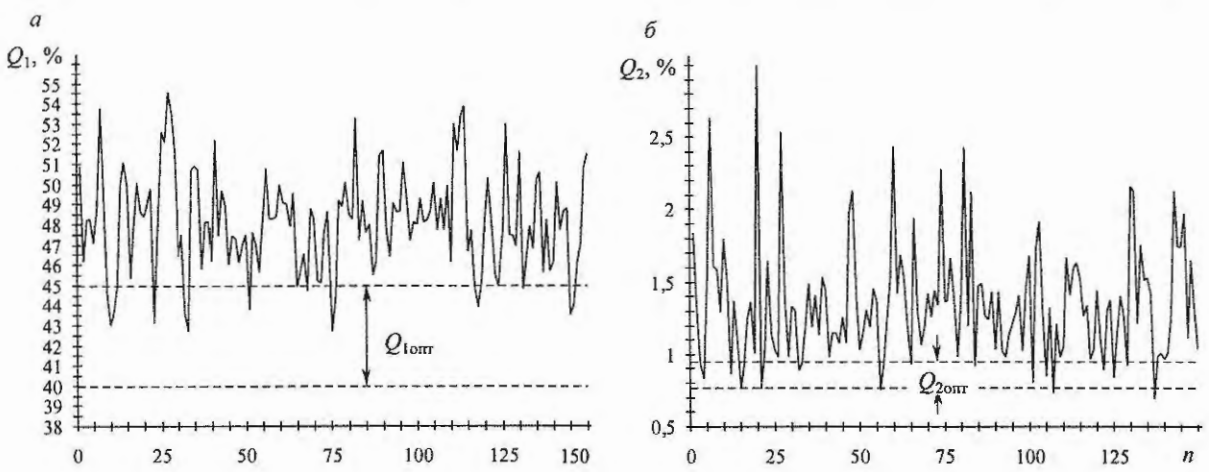


Рис.1. Суммарное содержание никеля и меди в штейне (*а*) и шлаке (*б*)
Q_1 – суммарное содержание никеля и меди в штейне; $Q_{1\text{опт}}$ – оптимальное суммарное содержание никеля и меди в штейне; n – дискретный интервал съема информации

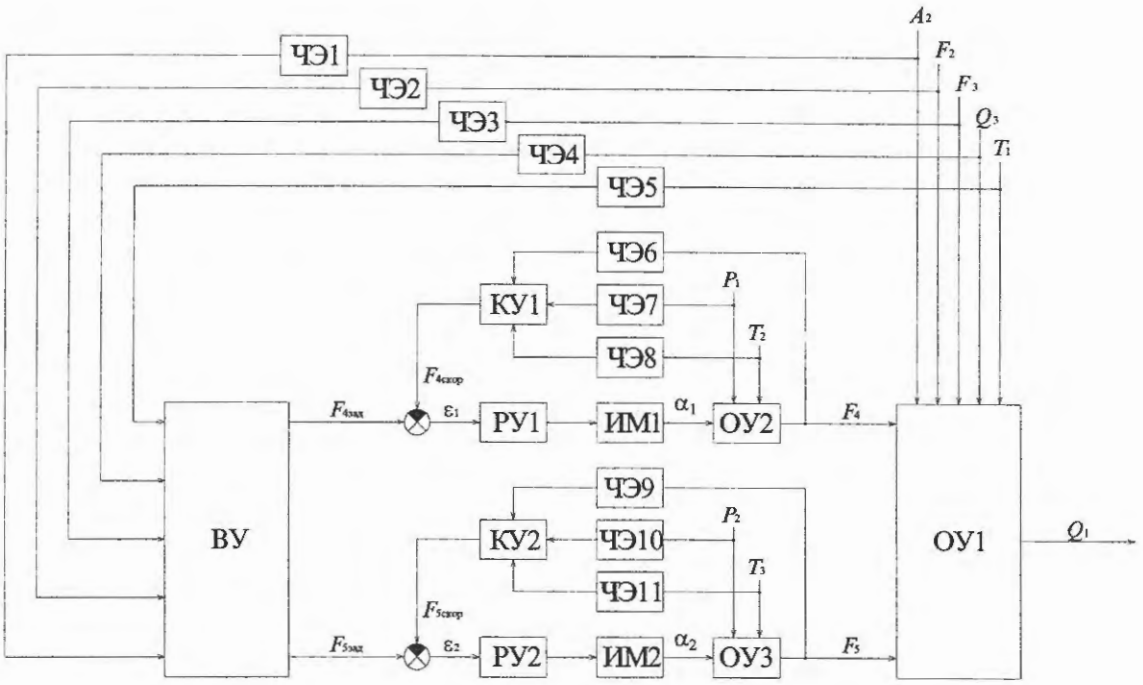


Рис.2. Структурная схема САУ подачей кислородовоздушной смеси и природного газа в ПВП

$F_{4зад}$ – оптимальный сигнал задания расхода технического кислорода; $F_{4скор}$ – скорректированное значение расхода технического кислорода по давлению и температуре; $F_{5зад}$ – оптимальный сигнал задания расхода природного газа на горелку природного газа реакционной шахты; $F_{5скор}$ – скорректированное значение расхода природного газа по давлению и температуре; ε_1 – сигнал рассогласования между оптимальным сигналом задания расхода технического кислорода и скорректированным значением расхода технического кислорода по давлению и температуре, $\varepsilon_1 = F_{4зад} - F_{4скор}$; ε_2 – сигнал рассогласования между оптимальным сигналом задания расхода природного газа на горелку природного газа реакционной шахты и скорректированным значением расхода природного газа по давлению и температуре, $\varepsilon_2 = F_{5зад} - F_{5скор}$; α_1 и α_2 – положения исполнительных механизмов 1 и 2; F_4 – расход технического кислорода; F_5 – расход природного газа на горелку реакционной шахты; P_1 – давление технического кислорода; P_2 – давление природного газа; T_2 – температура технического кислорода; T_3 – температура природного газа; A_2 – содержание кислорода в техническом кислороде; F_2 – расход шихты; F_3 – расход технологического воздуха; Q_3 – химический состав концентрата; T_1 – температура в реакционной шахте; Q_1 – содержание никеля и меди в штейне; ВУ – верхний уровень; РУ1 и РУ2 – регулирующие устройства 1 и 2; КУ1 и КУ2 – корректирующие устройства 1 и 2; ИМ1 и ИМ2 – исполнительные механизмы 1 и 2; ОУ1 – объект управления 1 (ПВП); ОУ2 и ОУ3 – объекты управления 2 и 3 (регулирующие органы); ЧЭ1 – датчик содержания кислорода в техническом кислороде; ЧЭ2 – датчик расхода шихты; ЧЭ3, ЧЭ6, ЧЭ9 – датчики расхода; ЧЭ4 – датчик химического состава концентрата; ЧЭ5, ЧЭ8, ЧЭ11 – датчики температуры; ЧЭ7, ЧЭ10 – датчики давления

ставляется возможным, так как является экономически невыгодным.

Таким образом, кислородный коэффициент и состав штейна можно регулировать, контролируя расход «чистого» кислорода:

$$F_1 = \frac{A_1(F_3 - F_4) + F_4 A_2}{100},$$

где A_1 – степень обогащения воздуха кислородом до смешения с техническим кислородом, $A_1 = 20{,}735$, %; F_3 – суммарный расход кислородовоздушной смеси, нм^3/ч; F_4 – расход технического кислорода на обогащение воздуха, нм^3/ч; A_2 – содержание кислорода в техническом кислороде, %.

Изменение последнего позволяет в широких пределах менять содержание ценных компонентов в штейне (вплоть до получения файнштейна) и шлаке. Оптимальное количество кислорода определяется, исходя из материального баланса между шихтой, штейном и шлаком.

Расход «чистого» кислорода наиболее эффективно изменять расходом технического кислорода на обогащение воздуха, оптимальный расход которого зависит от многих факторов: от расхода шихты, химического состава концентрата, содержания кислорода в техническом кислороде и расхода технологического воздуха в ПВП.

Для устойчиво протекающего процесса, каким является плавка во взвешенном состоянии, тепловой баланс складывается на основе равенства приходных и расходных статей. Тепловой баланс реакционной шахты зависит от расхода в ней природного газа.

Таким образом, содержанием ценных компонентов в штейне можно управлять, изменяя расходы технического кислорода и природного газа. Соответственно предлагается двухуровневая система автоматического управления подачей кислородовоздушной смеси и природного газа в ПВП (рис.2). На нижнем уровне находятся два локальных контура регулирования расхода технического кислорода и природного газа, работающие по отклонению. На верхнем уровне производится расчет их заданных значений.

На вход корректирующего устройства КУ1 поступают сигналы с датчиков расхода (ЧЭ6), давления (ЧЭ7) и температуры (ЧЭ8), в соответствии с которыми производится *PT*-коррекция расхода технического кислорода. Скорректированное значение расхода технического кислорода подается на сумматор, куда также приходит сигнал задания, рассчитанный на верхнем уровне, исходя из содержания кислорода в техническом кислороде (ЧЭ1), расхода шихты (ЧЭ2), расхода технологического воздуха (ЧЭ3) и химического состава концентрата (ЧЭ4). Регулирующее устройство РУ1 по сигналу рассогласования вырабатывает управляющее воздействие, которое поступает на вход исполнительного механизма ИМ1, осуществляющего перемещение регулирующего органа РО1, направленного на устранение отклонения. Аналогичным образом работает другой локальный контур.

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