

УДК 669.332.244

**С.А.МИРВАЛИЕВ**, аспирант, *sergey\_sl\_85@mail.ru*  
**А.Н.ТЕЛЯКОВ**, канд. техн. наук, ассистент, *9418960@mail.ru*  
**В.В.НАПСИКОВ**, аспирант, *luxorient@mail.ru*  
**С.Н.САЛТЫКОВА**, канд. техн. наук, доцент, *ssn\_58@mail.ru*  
**Н.М.ТЕЛЯКОВ**, д-р техн. наук, профессор, *ptpe\_spmi@bk.ru*  
Санкт-Петербургский государственный горный университет

**S.A.MIRVALIEV**, post-graduate student, *sergey\_sl\_85@mail.ru*  
**A.N.TELYAKOV**, PhD in eng. sc., assistant lecturer, *9418960@mail.ru*  
**V.V.NAPSIKOV**, post-graduate student, *luxorient@mail.ru*  
**S.N.SALTYKOVA**, PhD in eng. sc., associate professor, *ssn\_58@mail.ru*  
**N.M.TELYAKOV**, Dr. in eng. sc., professor, *ptpe\_spmi@bk.ru*  
Saint Petersburg State Mining University

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА РЕЖИМА ПЛАВКИ СУЛЬФИДНОГО МАТЕРИАЛА В АППАРАТЕ ГАЗОСТРУЙНОГО ВРАЩЕНИЯ

При разработке новых технологий для плавки сульфидных концентратов на штейн и аппаратурного оформления к ним особое внимание следует уделять возможности управления степенью окисления расплава в реакционной зоне и равномерности процесса окисления. В связи с этим развитие теории окисления и поведения сульфидов в расплаве имеет большое значение для проектирования аппаратов плавления сульфидных концентратов и выявления возможности управления ими.

**Ключевые слова:** сульфидный концентрат, плавка, автогенный процесс, окисление, штейн, цветные металлы.

## CHARACTER DETERMINATION OF FUSION MODE OF SULPHIDIC MATERIAL IN THE GAS-JET ROTATION DEVISE

By working out of new technologies for fusion of sulphidic concentrates on matte and hardware registration to them special attention it is necessary to give possibilities of management of oxidation degree of malt in a reactionary zone and uniformity of oxidation process. In this connection development of the oxidation theory and behavior of sulfides in malt is of great importance for designing of fusion devices of sulphidic concentrates and revealing of management possibility of them.

**Key words:** sulphidic concentrate, fusion, autogenous process, oxidation, matte, nonferrous metals.

Авторами предложен новый аппарат для переработки сульфидных концентратов с целью повышения извлечения цветных металлов и увеличения производительности переработки в сравнении с аналогичными технологиями. С точки зрения контроля степени окисления расплава рассмотрена проблема точного контроля расхода воздуха, подаваемого в реакционную зону. Также

проводится анализ тепловой работы агрегата на основе создания математической модели для определения границ автогенных режимов работы.

В работе [1] установлено, что окисление пирита – основного сульфидного соединения медно-никелевых концентратов и источника тепла – протекает в две стадии. На первой происходит разложение пирита с об-

разованием элементарной серы, причем сера выделяется с высокой скоростью и полностью, образуя при этом большие концентрации сернистого газа. Поэтому при плавке сульфидных руд, наряду с реакцией окисления сульфидов кислородом воздуха в условиях недостатка кислорода, протекает реакция взаимодействия сульфидов с диоксидом серы. При этом окисление диоксидом серы сульфидов кобальта и никеля происходит в меньшей степени, чем окисление им сульфида железа из-за различий в энергиях активаций реакций. С учетом этого появляется возможность уменьшить предполагаемое переокисление расплава при приближении тепломассообмена к идеальному.

Для создания агрегата с интенсивным тепломассообменом нами предлагается аппарат струйного вращения [2]. Плавка проводится в цилиндрической реакционной камере с продувкой штейно-шлакового расплава газовыми струями высокого давления, направленными под углом к поверхности расплава 15-20° на радиальном расстоянии 0,7-0,8 радиуса ванны. При этом происходит вращение расплава и интенсивное перемешивание. Вследствие тангенциальной направленности струй к поверхности расплава разбрызгивание возможно в меньшей степени [3]. Продувка проводится строго дозированно с расходом дутья, близким к стехиометрически необходимому, что при интенсивном тепломассообмене предупреждает возможное переокисление и повышает степень извлечения цветных металлов.

Загрузка измельченной шихты производится сверху, после чего вновь поступившая шихта затягивается в центральную часть расплава. Слив осуществляется через сливной порог в электротермический коллектор, где при поддержании электричеством необходимой температуры расплав разделяется на шлак и штейн.

Для определения расхода воздуха при постоянной температуре (20 °C) использовали следующую методику. Герметичный резервуар объемом 40 л с закрытой заслонкой заполняли водой, далее включали подачу воздуха в резервуар через шланг, задавая необходимое избыточное давление в системе

подвода воздуха, при этом избыточное давление в резервуаре увеличивалось. Затем открывали заслонку и через отверстие  $D = 100$  мм сливало воду с расходом, определяемым по «нулевому» показанию дифманометра системы, когда расход воздуха равен расходу воды. С помощью секундомера и шкалы на резервуаре определяли расход воды, равный расходу воздуха. Простота и наглядность устройства позволяют не сомневаться в достоверности эксперимента.

Обработка результатов эксперимента позволила получить эмпирическую формулу для определения удельного расхода воздуха с целью точного контроля расхода воздуха и степени окисления расплава ( $R = 0,99$ ):

$$Q_{\text{вв}} = 4,99D^2 \exp \times \\ \times \left( - \frac{\left( \frac{D - 3,72}{1,211} \right)^2 + \left( \frac{P_{\text{вв}} - 4,218}{2,364} \right)^2}{2} \right), \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр отверстия, мм;  $P_{\text{изб}}$  – избыточное давление воздуха в насадке, Па.

Глубина проникновения струи в расплав  $H_{\text{пр}}$  по формуле, предложенной В.И.Баптизманским [4],

$$H_{\text{пр}} = \left( k \frac{P^{0,5} d^{0,6}}{\left( 1 + \frac{H_{\delta}}{dB} \right)^{0,4}} + H_{\delta} \right) \cos \alpha - H_{\delta}, \quad (2)$$

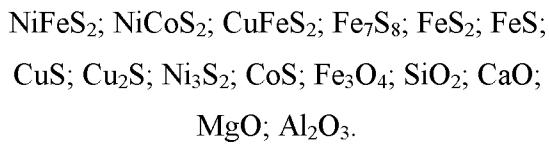
где  $k$  – коэффициент, зависящий от свойств газа, для воздуха  $k = 40$ ;  $P$  – избыточное давление в фурме, Па;  $d$  – диаметр отверстия истечения, мм;  $H_{\phi}$  – высота фурмы над расплавом, мм;  $B$  – коэффициент, зависящий от вязкости жидкости, для штейно-шлакового расплава  $B = 40$ ;  $\gamma_{\text{ж}}$  – плотность расплава, для штейно-шлакового расплава  $\gamma_{\text{ж}} = 4 \text{ г}/\text{см}^3$ ;  $\alpha$  – угол наклона фурм.

Высота фурмы над расплавом  $H_{\phi}$ , определяемая на основании условия безопасности ее эксплуатации и достаточной энергии струи при встречи с поверхностью расплава,

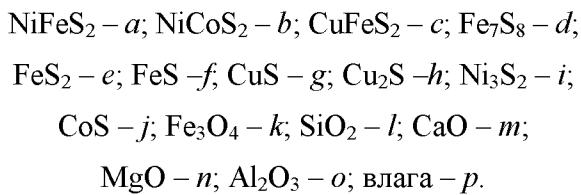
составляет 10-20 диаметров. Высота слоя, который не пробивает струя воздуха  $H_{без}$ , задается для предотвращения прогорания футеровки.

Предложенная технология может быть использована для переработки различных видов сульфидного сырья. В зависимости от его состава возможны различные режимы тепловой работы агрегата. Однако при малом содержании серы в сырье недостаточно тепла для обеспечения автогенного режима работы агрегата. В этом случае возможна подача в расплав вместе с кислородом дутья необходимого количества горючего топлива через дополнительные отверстия в фурмах распылением в струю воздушного дутья. Для определения режима плавки по основным параметрам предложена математическая модель.

Сульфидный концентрат может поступать на плавку до получения штейна и шлака в следующем вещественном составе:



Обозначим процентный состав концентрата следующим образом:



Примем, что

$$a + b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + p = 100 \text{ \%}.$$

Тепловая работа аппарата газоструйного вращения в зависимости от параметров  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\varepsilon$ ,  $\sigma$ ,  $\alpha_i$ ,  $q$ ,  $X$  распределяется следующим образом:

$$\begin{aligned} & (1 - \sigma)(\beta(2585,931a + 2517,587c + \\ & + 4998,393d + 3852,596 + 5255,924f)) + \\ & + \gamma(1067,126c + 2045,727g + 2458,815h) + \\ & + \delta(2075,139a + 2038,082b + 4632,007i) + \\ & + \varepsilon(1931,253b + 3854,816j) + 675,556a + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + 664,297b + 979,557c + 551,704d + \\ & + 3006,226e + 1891,558g - 656,44k - 26,25l + \\ & + 2625 + 26 \frac{\alpha_e}{q} Z + 43540X = \\ & = \beta(854,352a + 796,068c + 1583,532d + \\ & + 1219,248e + 1662,96f) + \\ & + \gamma(508,344c + 974,568g + 1172,844h) + \\ & + \beta(721,656a + 707,088b + 1609,428i) + \\ & + \varepsilon(825,096b + 1644,084j) + \\ & + 1716 \frac{\alpha_e}{q} (1 - q)Z + 1812(\alpha_e - 1)Z + \\ & + 1141,049a + 1154,315b + 1230,704c + \\ & + 1102532d + 2294834e + 816f + 1567,157g + \\ & + 916,98h + 951,66i + 839,46j + 1155,542k + \\ & + 1560m + 1560n + 1560o + Z = \\ & = \beta(0,188a + 0,183c + 0,363d + \\ & + 0,280e + 0,382f) - 0,048k + \\ & + \gamma(0,091c + 0,175g + 0,211h) + \\ & + \delta(0,146a + 0,143b + 0,326i) + \\ & + \varepsilon(0,185b + 0,369j) + 0,042a + 0,041b + \\ & + 0,061c + 0,034d + 0,186e + 0,117g, \end{aligned}$$

где  $\beta$  – степень окисления  $\text{FeS}$ ;  $\delta$  – степень окисления  $\text{Cu}_2\text{S}$ ;  $\gamma$  – степень окисления  $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ;  $\varepsilon$  – степень окисления  $\text{CoS}$ ;  $\sigma$  – доля потерь тепла в окружающей среде;  $\alpha_i$  – коэффициент избытка кислорода;  $q$  – доля кислорода в дутье;  $X$  – количество керосина, кг на 100 кг сырья.

На основании описанной модели в среде MS Excel составлен алгоритм выражений, позволяющий при указанных исходных значениях, в том числе и состава концентрата, вычислить конечные параметры процесса. С целью проверки модели на адекватность была проведена серия экспериментов по плавке Соколово-Сарбайского пиритного концентрата, в результате экзотермических реакций выделяемого тепла было достаточно для проведения процесса плавки в авто-

генном режиме, что также подтверждает и математическая модель.

Также модель была построена по сульфидному медно-никелевому концентрату комбината «Печенганикель». Тепла экзотермических реакций, согласно модели, недостаточно и необходимо либо подогревать воздух дутья до температуры 600 °С, либо дополнительно через фурмы подавать в реакционную зону печи топливо. При использовании в качестве топлива керосина на 100 кг концентрата необходимо 1,2 кг при температуре дутья 25 °С.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бумажнов Ф.Т. Исследование физико-химических закономерностей сульфатизирующего обжига // Записки Ленинградского горного института. 1966. Т.16. Вып.3.

2. Баптизманский В.И. Механизм и кинетика процессов в конвертерной ванне // М.: Металлургиздат, 1960.

3. Пат. № 2236474 РФ. С22В15/06. Способ конвертирования медных и медно-никелевых штейнов / Л.М.Шалыгин, Н.М.Теляков, Г.В.Коновалов. Опубл. 20.09.2004. Бюл.№ 22.

4. Шалыгин Л.М. Условия подачи дутья в расплавы и разработка средств интенсификации дутьевого режима / Л.М.Шалыгин, Г.В.Коновалов, Т.Р.Косовцева // Записки Горного института. 2006. Т.169.

## REFERENCES

1. *Bumazhnov F.T.* Research of physicochemical laws of sulphatization burning // Proceedings of LMI. 1966. Vol.16. Is.3.

2. *Baptizmansky V.I.* Mechanism and kinetics of processes in the converter bath. Moscow: Metallurgizd, 1960.

3. Pat. N 2236474 RF, WPC C22B15/06. Method of converting copper and copper-nickel matte / Shalygin L.M., Telyakov N.M., Konovalov G.V. Publ. 20.09.2004. Bul. N 22.

4. *Shalygin L.M., Konovalov G.V., Kosovceva T.R.* The terms of the blast in the melt and the development of an intensification of the blast regime // Proceedings of Mining Institute. 2006. Vol.169.