

**Г.В.КОНОВАЛОВ**, канд. техн. наук, доцент, (812)328-84-59

**Т.Р.КОСОВЦЕВА**, канд. техн. наук, доцент, (812)328-82-06

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**G.V.KONOVALOV**, PhD in eng. sc., associate professor, (812)328-84-59

**T.R.KOSOVTSOVA**, PhD in eng. sc., associate professor, (812)328-82-06

*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

## ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ПЛАВКА СУЛЬФИДНЫХ РАСПЛАВОВ С ОБРАЗОВАНИЕМ НИЗКОКРЕМНИСТЫХ ШЛАКОВ

Рассмотрена возможность автогенной плавки на низкокремнистых шлаках в агрегате с принципиально новым способом подачи дутья в режиме высокотемпературного управляемого теплообмена.

**Ключевые слова:** конвертирование, дутье, шлак, силикат, аппарат струйного вращения.

## OXIDATIVE MELTING OF SULFIDE MELTS WITH THE FORMATION OF LOW-SILICEOUS SLAGS

The article considers the possibility of autogenous smelting with low siliceous slag in the apparatus with a new way to feed a blast in the regime of high-temperature controlled heat transfer.

**Key words:** convertizing, blast furnace slag, silicate, the unit jet rotation.

Одной из разновидностей пирометаллургических технологий, широко применяемых при переработке сульфидного рудного и техногенного сырья, является окислительная продувка расплавленной сульфидной массы, осуществляемая в конвертерах и автогенных аппаратах различной конструкции. Составной частью настоящей работы является разработка путей совершенствования автогенной плавки рудного сырья и конвертерного передела штейнов с решением задач увеличения производительности и улучшения качества конечного продукта, создания наиболее благоприятных условий утилизации серы отходящих газов, повышения эксплуатационной надежности самого аппарата и его узлов.

Особое внимание при разработке непрерывных процессов на основе окислительных технологий необходимо уделить условиям образования шлаков, прогнозированию их минералогического состава, физическим свойствам, оптимизации режима флюсовки, поведению флюсов в гетерогенной системе расплав – твердое.

Почти во всех работах, посвященных условиям шлакообразования в конвертерах, рассматривается зависимость содержания магнетита как компонента, ухудшающего свойства шлака, а следовательно, и технологические показатели процесса, от содержания кремнекислоты. Если содержание  $\text{SiO}_2$  в конвертерных шлаках, приведенное в общеизвестной таблице А.А.Цейдлера [2], пересчитать на фаялит, то обнаруживается, что сумма фаялита и магнетита при вероятном присутствии 3 % «прочих», для обычного диапазона шлаков не составляет 100 %. Следует предположить, что остальное – это не что иное, как вюстит (табл.1).

Наличие вюститовой фазы в конвертерном шлаке интересно тем, что ее преобладание над фаялитом могло бы не только существенно изменить свойства шлака в сторону снижения вязкости и температуры плавления, но и привести к экономии флюсов и уменьшению выхода шлаков.

При исследованиях ведения конвертерного процесса на низкокремнистых шлаках

Таблица 1

Распределение железа между магнетитом, фаялитом, вюститом с пересчетом  $\text{SiO}_2$  на  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ 

Литературные данные, %		Пересчет $\text{SiO}_2$ на фаялит, %			
$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\text{FeO}$	Прочие до 100 %
16	27,0	54,4	27,0	15,6	3,0
17	25,6	57,8	25,6	13,6	3,0
18	24,2	61,2	24,2	11,6	3,0
19	22,8	64,6	22,8	9,6	3,0
20	21,3	68,0	21,3	7,7	3,0
21	19,9	71,4	19,9	5,7	3,0
22	18,5	74,8	18,5	3,7	3,0
23	17,1	78,2	17,1	1,7	3,0
24	15,7	81,3	15,7	0	3,0

Таблица 2

## Минеральный состав малокремнистых конвертерных шлаков ГМК «Норильский никель» по трем продувкам

Номер пробы	Содержание в оксисульфидной массе, %				В пересчете на оксидную часть, %			
	$2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\text{FeO}$	Силикатное стекло	$2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\text{FeO}$	Силикатное стекло
<i>1-я продувка</i>								
1-й слив	27,0	23,3	9,7	2,2	43,6	37,6	15,8	3,0
2-й слив	20,1	20,7	12,8	1,6	36,4	37,5	23,2	2,9
3-й слив	24,5	32,0	10,3	3,3	35,0	45,6	14,7	4,7
<i>2-я продувка</i>								
1-й слив	20,1	29,4	7,8	1,4	34,5	50,1	13,3	2,1
2-й слив	20,3	38,4	5,4	1,2	31,1	58,8	8,3	1,8
3-й слив	20,1	38,5	9,3	1,1	29,1	55,8	13,5	1,6
<i>3-я продувка</i>								
1-й слив	15,6	34,6	7,4	1,3	26,5	58,7	12,6	2,2
2-й слив	25,7	33,8	6,4	1,6	38,1	50,1	9,5	2,3

(так называемое «безфлюсовое конвертирование»), выполнявшихся на ГМК «Норильский никель» совместно с Институтом металлургии им. А.А.Байкова, удалось зафиксировать наличие вюстита в таких шлаках (табл.2).

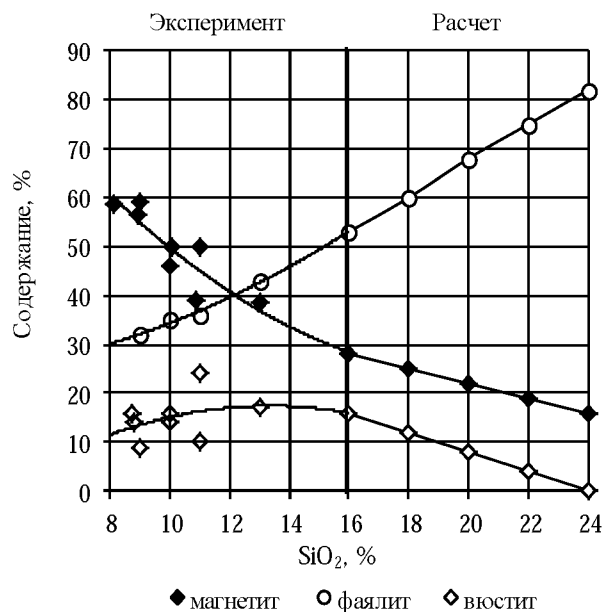
При обычных температурах конвертирования, осуществляемого в горизонтальных конвертерах (для медных и медно-никелевых штейнов 1200-1250 °С, для никелевых конвертеров – до 1300 °С), справедливо положение о слабом протекании реакции восстановления магнетита сульфидом железа в отсутствие кремнезема.

По заслуживающим доверия данным М.А.Абдеева [1] достигнуть эффекта вос-

становления магнетита при пониженном содержании кремнезема можно при повышении температуры процесса до 1350-1400 °С. По термодинамическим расчетам, с использование базы данных FactSage, температура восстановления магнетита определяется значением несколько большим: 1450-1500 °С.

Такое повышение температуры для горизонтальных конвертеров, как известно, противопоказано из-за уязвимости огнеупорной кладки – главным образом в зоне фурменного пояса.

Однако для разрабатываемого нами варианта новой конструкции аппарата струйного вращения (АСВ) [3] такое и более зна-



Расчетные и экспериментальные данные  
о минералогическом составе конвертерных шлаков

чительное повышение температуры не только вполне допустимо, но и желательно.

Температурная зависимость (в числителе – в кельвинах, в знаменателе – градусах Цельсия) изменения энергии Гиббса для реакции  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 0,333\text{FeS} = 1,333\text{FeO} + 0,333\text{SO}_2$  следующая:

$\Delta G_T^0$	Температура
9155,4	1650/1377
2235,4	1700/1427
-4714,1	1750/1477
-11692,3	1800/1527
-18698,2	1850/1577

На рисунке приведены расчетные данные о содержании магнетита, фаялита и вюстита в конвертерных шлаках в зависимости от содержания кремнезема с нанесением экспериментально найденных количеств этих соединений в области низкокремнистых шлаков. Максимум находится при 12-14 %  $\text{SiO}_2$ .

Согласно приведенным данным можно предположить, что с повышением температуры значение максимума функции может возрасти и сместиться в сторону более низкого содержания  $\text{SiO}_2$ , и, следовательно, значительно повысить энергоэффективность окислительной плавки сульфидных расплавов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдеев М.А. Полиметаллические штейны и их конвертирование. Алма-Ата, 1962. 228с.
2. Лоскутов Ф.М. Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов. 2-е изд., перераб. и доп. / Ф.М.Лоскутов, А.А.Цейдлер, М. 1963. 591 с.
3. Шалыгин Л.М. Структура теплового баланса, теплогенерация и теплоперенос в автогенных металлургических аппаратах разного типа / Л.М.Шалыгин, Г.В.Коновалов // Цветные металлы. 2003. № 10. С.17-25.

## REFERENCES

1. Abdeev M.A. Polymetallic mattes and their conversion. Alma-Ata, 1962. 228 p.
2. Loskutov F.M., Tseydler A.A. Calculations based on metallurgy of heavy nonferrous metals. Moscow, 1963. 591 p.
3. Shalygin L.M., Kononov G.V. The structure of the heat balance, heat production and heat transfer in metallurgical autogenous devices of different types // Nonferrous metals. 2003. N 10. P.17-25.