*Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIV, вып. 3, 1973 г.*

# ОБ ОБЕДНЕНИИ ШЛАКОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ КОНВЕРТИРОВАНИИ ШТЕЙНОВ

*А. А. Гальнбек*

Процесс непрерывного конвертирования штейнов с верхним подводом дутья [1] предусматривает наличие в агрегате обеднительной шлаковой камеры, в которой первичный шлак, образующийся в продувочной части непрерывного конвертера, подвергается обработке с целью обеднения [2].

В продувочной камере *А* окисляется основная масса железа штейна и образуется богатый первичный шлак (рис. 1). Через переливной порог он поступает в обеднительную камеру *Б*, где с помощью дополнительного дутья перемешивается со слабо обогащенной сульфидной массой, заполняющей эту часть агрегата. После перемешивания (промывки) шлак отстаивается в хвосте агрегата и поступает на слив. Таким образом, собственно обеднительный процесс в агрегате представляет собой разновидность метода перемешивания фаз, широ-

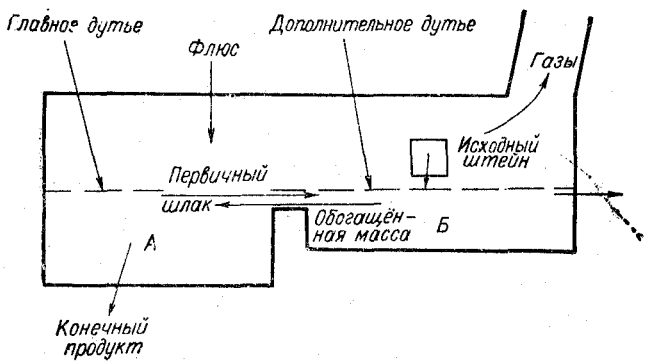



Схема двухкамерного агрегата непрерывного конвертирования

ко применяемого для обработки конвертерных шлаков на никелевых комбинатах.

Первичный шлак, образующийся в продувочной части агрегата, имеет пониженную кислотность (15—20%) и высокое содержание [3] магнетита (20—35%). При взаимодействии его с обедняющей фазой в обеднительной камере конвертера может происходить восстановление магнетита за счет металлического и сульфидного железа исходного штейна при участии кремнекислоты флюса. Может увеличиться масса шлака и уменьшиться масса обедняющей фазы, что при определенных условиях отрицательно сказывается на показателях обеднения [4, 5].

При небольших степенях металлизации исходного штейна в процессе обеднения возможны обратные изменения в массах реагирующих фаз, вызванные, в основном, переходом железа из шлака в обедняющую фазу. Тогда невосстановленный магнетит шлака распределяется между обеими фазами, и сульфидный расплав после взаимодействия содержит значительные количества этого компонента.

Существенное влияние на процесс в обеднительной камере оказывает дополнительное дутье. Помимо перемешивания фаз в зоне промывки шлака, оно может обеспечивать необходимую тепловую стабильность камеры, играть роль восстановительного реагента, способствующего обеднению шлака, обеспечивать тепло- и массообмен по длине обеднительной части агрегата. Роль дополнительного дутья противоречива. Для тепловой стабильности процесса проще применить окислительное дутье и обеспечивать необходимое тепло за счет экзотермических реакций окисления штейна. При этом дополнительное дутье может составлять некоторую часть от общего количества окислительного дутья, потребного для процесса. Наличие окислительной продувки в обеднительной камере приводит, однако, к добавочному обогащению массы, что ухудшает показатели обеднения.

Оптимальным вариантом дополнительного дутья является поэтому дутье восстановительного характера, обеспечивающее одновременно достаточный приток тепла в камеру: например, подача продуктов горения топлива с коэффициентом избытка воздуха меньшим единицы. Организация подобной продувки в зоне промывки шлака связана с определенными трудностями и исследована недостаточно, поэтому в настоящее время в качестве дополнительного рассматривается дутье окислительного характера.

Одновременное протекание в обеднительной камере непрерывного конвертера процессов промывки шлака и окислительной продувки обусловливает сложные взаимодействия шла-

ковой, сульфидной и газовой фаз, которые сопровождаются изменением их количества и состава. Теоретический расчет этих взаимодействий на основе термодинамических и кинетических данных невозможен из-за недостаточности данных. Вместе с тем, знание этих превращений необходимо для правильного выбора параметров процесса.

Наиболее рационален, по-видимому, расчет обеднения шлака путем составления материальных балансов зон, основанных на экспериментальных данных. Попытаемся на конкретном примере выяснить некоторые закономерности процессов, протекающих в обеднительной камере при непрерывном конвертировании металлизированных медно-никелевых штейнов.

В качестве исходного примем относительно богатый штейн ($\Sigma Ni+Cu=27{,}3\%$) с металлизацией 17,7%. Дутье — воздушно-кислородное с содержанием кислорода 30%. В обеднительную камеру конвертера подается около 20% от общего потребного расхода дутья. Конвертерный флюс содержит 73% $SiO_2$.

Расчет слагается из ряда последовательных этапов.

1. **Предварительный расчет состава обогащенной массы.** Приближенно по основным реакциям конвертирования определяем общее количество дутья, потребное на переработку штейна. По доле дутья, подаваемого в обеднительную камеру, по основным реакциям конвертирования рассчитываем состав обогащенной массы в камере без учета реакций обеднения шлака.

2. **Сквозной расчет конвертерного процесса.** Предварительно рассчитанный состав обогащенной массы (обедняющей фазы) дает возможность задаться содержанием отдельных компонентов в конечном обедненном конвертерном шлаке. Это, в свою очередь, позволяет составить систему уравнений, связывающих исходные материалы и конечные продукты процесса. Решение этой системы позволяет определить количество и полный состав файнштейна и конвертерного шлака и уточнить общее количество дутья, потребное на переработку штейна.

3. **Расчет промежуточных продуктов продувочной и обеднительной камер.** На основе полученных в сквозном расчете составов и количеств файнштейна и конвертерного шлака составляем системы уравнений, описывающие материальные балансы отдельных камер.

4. **Корректировка расчета и составление окончательного материального баланса.** Если рассчитанный в п. 3 состав обогащенной массы существенно отличается от определенного

в п. 1, то производится соответствующая корректировка расчета. После этого составляется поверочный полный материальный баланс процесса.

В ходе расчетов содержания цветных металлов, серы и кремнекислоты в первичном и конечном шлаках принимали в функции состава массы, над которой получен этот шлак. При этом использовали результаты полупромышленных испытаний процесса непрерывного конвертирования [3]. Содержания магнетита в шлаках и обогащенной массе задавали уравнениями [6]. Содержание серы и железа в файнштейне принято в соответствии с существующими кондициями (соответственно 23,5 и 3%).

Как видно из данных табл. 1 и 2, количественные изменения в рассматриваемом процессе выражаются в увеличении массы обедняющей фазы. Это увеличение определяется, наряду с переходом в обогащенную массу цветных металлов из обедняемого шлака, растворением в ней значительных количеств магнетита, переходящих из первичного шлака. Масса шлака в обеднительной камере также возрастает. Это является, однако, не столько следствием перехода в шлак железа, сколько растворением дополнительного количества флюса.

Весьма своеобразен в камере баланс магнетита. Вопреки ожиданию, восстановления последнего в процессе обеднения не происходит — количество магнетита, поступающее в обеднительную камеру, даже несколько ниже его содержания в продуктах. В камере, однако, происходит перераспределение этого компонента — большая часть магнетита первичного шлака переходит в обогащенную массу. Таким образом, между обеднительной и продувочной камерами устанавливается циркулирующая нагрузка по магнетиту. Ликвидация избыточного магнетита, образующегося в продувочной камере, осуществляется выводом его из агрегата с конечным шлаком.

Несмотря на значительную металлизацию исходного штейна, металлическое железо не играет в процессе роли активного восстановителя шлака. Оно полностью расходуется на взаимодействие с кислородом дутья. Рассмотрение баланса показывает, что поддержание в обеднительной камере металлизации обедняющей фазы затруднительно не только из-за наличия окислительного дутья, но и высокого содержания магнетита в первичном шлаке. В результате обедняющая фаза в рассматриваемых условиях фактически представляет собой хотя и бедный, но неметаллизированный магнетитосодержащий штейн. Это ограничивает возможности глубокого обеднения шлака в агрегате.

Таким образом, повышение эффективности работы обеднительной камеры непрерывного конвертера требует увеличе-

*Таблица 1*

**Материальный баланс обеднительной камеры**

| Материал или продукт | Количество, *кг* | Компоненты | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ni | | Cu | | Co | | Fe | | S | | $SiO_2$ | | O | | прочие | |
| | | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % |
| **Поступило** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Штейн | 100,0 | 14,00 | 14,00 | 13,30 | 13,30 | 0,48 | 0,48 | 46,00 | 46,00 | 25,00 | 25,00 | — | — | — | — | 1,22 | 1,22 |
| Первичный шлак | 86,17 | 2,60 | 3,00 | 2,16 | 2,50 | 0,43 | 0,50 | 44,70 | 52,03 | 4,34 | 5,00 | 13,82 | 16,00 | 12,50 | 14,44 | 5,62 | 6,53 |
| Флюс | 10,40 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 7,38 | 73,0 | — | — | 3,02 | 27,00 |
| Кислород дутья | 5,87 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 5,87 | 100,0 | — | — |
| | 202,44 | 16,60 | — | 15,46 | — | 0,91 | — | 90,70 | — | 29,34 | — | 21,20 | — | 18,37 | — | 9,86 | — |
| **Получено** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Обогащенная масса | 109,85 | 16,33 | 14,91 | 15,00 | 13,71 | 0,78 | 0,71 | 44,62 | 40,40 | 27,58 | 25,21 | — | — | 4,79 | 4,37 | 0,76 | 0,69 |
| Конвертерный шлак | 92,2 | 0,27 | 0,30 | 0,46 | 0,50 | 0,13 | 0,14 | 46,08 | 49,99 | 1,72 | 1,84 | 21,20 | 23,00 | 13,23 | 14,37 | 9,10 | 9,86 |
| Газы (без учета азота) | 0,39 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,04 | — | — | — | 0,35 | — | — | — |
| | 202,44 | 16,60 | — | 15,46 | — | 0,91 | — | 90,70 | — | 29,34 | — | 21,20 | — | 18,37 | — | 9,86 | — |

*Таблица 2*

**Распределение соединений железа по материалам и продуктам обеднительной камеры**

| Материал или продукт | Компоненты | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Fe_{общ.}$ | | FeO | | $Fe_3O_4$ | | $Fe_{мет}$ | | FeS | |
| | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % | *кг* | % |
| **Поступило** | | | | | | | | | | |
| Штейн | 46,00 | 46,00 | — | — | — | — | 17,70 | 17,70 | 44,54 | 44,54 |
| Первичный шлак | 44,70 | 52,03 | 23,15 | 26,88 | 28,40 | 33,00 | — | — | 8,44 | 9,80 |
| | 90,70 | — | 23,15 | — | 28,40 | — | 17,70 | — | 52,98 | — |
| **Получено** | | | | | | | | | | |
| Обогащенная масса | 44,62 | 40,40 | — | — | 18,32 | 16,70 | — | — | 48,25 | 43,94 |
| Конвертерный шлак | 46,08 | 49,99 | 45,50 | 49,39 | 11,04 | 12,00 | — | — | 4,15 | 4,50 |
| | 90,70 | — | 45,50 | — | 29,36 | — | — | — | 52,40 | — |

ния ее восстановительного потенциала. Поскольку в случае медно-никелевых штейнов, получаемых при рудной электроплавке, вряд ли можно рассчитывать на их большую металлизацию (порядка 30% и более), следует идти по пути подачи в камеру восстановительного дутья.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Диомидовский Д. А. и др. Непрерывное конвертирование штейнов. Цветные металлы, 1959, № 2.

2. Шмонин Ю. Б., Гальнбек А. А. О некоторых параметрах зоны обеднения шлака при непрерывном конвертировании штейнов. Тр. ин-та Гипроникель, 1969, вып. 44.

3. Гальнбек А. А., Шмонин Ю. Б. Некоторые особенности шлакового режима непрерывного конвертирования штейнов. Изв. вузов, Цветная металлургия, 1969, № 1.

4. Пиотровский В. К., Ломагин Ф. Е. Пути усовершенствования пирометаллургического извлечения кобальта из сульфидных медно-никелевых концентратов. Цветные металлы, 1961, № 1.

5. Пиотровский В. К. Роль магнетита в процессе обеднения конвертерных шлаков. Цветные металлы, 1962, № 1.

6. Шмонин Ю. Б., Гальнбек А. А. Характерные концентрационные соотношения в конвертерном шлаке. В сб.: «Новые исследования в химии, металлургии, обогащении». Вып. 1. Изд. ЛГИ, 1969.