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

О ШЛАКООБРАЗОВАНИИ ПРИ ВЕРХНЕЙ ПРОДУВКЕ ШТЕЙНОВ

А. А. Гальнбек, Ю. Б. Шмонин

В основу разрабатываемого Ленинградским горным институтом совместно с институтом Гипроникель процесса непрерывного конвертирования положена верхняя продувка штейновых расплавов в стационарном агрегате [1].

На полупромышленном однокамерном агрегате емкостью 2,5 *т* по штейну были установлены характерные черты шлакообразования при верхней продувке медно-никелевых штейнов [2]. В продолжение этих исследований проводили продувку как медно-никелевого, так и никелевого штейнов на том же полупромышленном агрегате *, а также продувки двухфазной ванны на холодном лабораторном стенде. Флюсовку в полупромышленном агрегате производили кварцитом (—50 *мм*), содержащим 74% SiO_2, загружаемым порциями в 3—7 *кг* по мере усвоения.

Исследования показали, что в ванне агрегата верхней продувки возникают две зоны — продувки и формирования шлака. Процесс шлакообразования начинается в первой зоне и протекает почти по всей длине второй. Для выяснения характера шлакообразования в продувочной зоне в качестве проб из этой зоны использовали шлаковые настыли, непрерывно формирующиеся на водоохлаждаемой дутьевой фурме.

Состав шлака по длине агрегата непрерывного конвертирования изменялся следующим образом, вес. %:

---

* Его размеры, *м*: длина ванны — 3; ширина в дутьевом конце — 0,84 и в хвосте — 0,56; глубина ванны в продувочной зоне 0,69. Первая точка отбора проб отстояла от окна для слива шлака на 1,6 *м* (совпадает с точкой загрузки флюса), вторая — на 0,75 *м*, третья — на 0,1 *м*.

	Ni	Cu	Fe	S	SiO_2	Fe_3O_4*	Расстояние от сливного окна до точки отбора пробы, *м*
„Шлаковые" настыли**	6,70	2,76	55,75	5,46	6,45	45,6	2,5
	5,44	2,75	56,77	5,07	6,47	51,5	
	3,68	0,70	58,95	3,90	8,40	47,7	
Пробы шлаковой зоны***	2,85	1,45	55,99	4,62	13,93	23,2	1,60
	1,35	1,05	55,14	4,08	16,00	21,9	0,75
	1,09	0,84	53,17	3,27	19,20	19,1	0,10

Как видно, фурменные настыли отличаются повышенным содержанием магнетита и соответственно пониженным — двуокиси кремния. Значения этих содержаний свидетельствуют о том, что ванна продувочной зоны фактически представляет собой окисно-сульфидный расплав, пересыщенный магнетитом. Наиболее значительно разрушение магнетита на участке ванны между соплом и точкой загрузки флюса, т. е. между точками 2,5 и 1,6 *м*. Усвоение флюса в этой зоне, как показали наблюдения, протекает с интенсивным газовыделением. Это позволяет считать, что оба процесса — разрушение магнетита и усвоение двуокиси кремния — протекают здесь как один процесс по реакции [4]

$$3Fe_3O_4 + 5SiO_2 + FeS = 5(2FeO \cdot SiO_2) + SO_2.$$

Флюс кварцевой «шубы», образующейся в задней части ванны, усваивается путем постепенной пропитки кусков кварцита железистым шлаком [2]. На образцах кварцита, отобранных из «шубы», все стадии пропитки, вплоть до исчезновения куска, наблюдались совершенно отчетливо.

Микроскопический анализ шлаковых проб из различных точек агрегата и на сливе показал, что получаемые шлаки по структуре не отличаются от обычных конвертерных. Содержание стекла заметно возрастает по длине шлаковой зоны. Видимо, растворение флюса из кварцевой «шубы» сопровождается образованием фазы, соответствующей фазе стекла в затвердевших пробах. Содержание магнетита в шлаках проб, отобранных из трех разных точек, отличается незначительно. Расчеты по опытным данным показывают, что количество Fe_3O_4 в шлаках этой зоны постоянно. Снижение $Fe_3O_{4шл}$

* Магнитометрическое определение по В. К. Максимову [3].
** Средние пробы по нескольким продувкам.
*** Пример одного параллельного отбора проб.

определяется разбавлением шлака растворяющейся двуокисью кремния.

Таким образом, усвоение флюса в различных зонах агрегата имеет разную природу и включает по крайней мере два этапа — усвоение двуокиси кремния по реакции разрушения магнетита и растворение ее в железистом шлаке продувочной зоны. Соотношение этих двух этапов в значительной степени определяется характером механического взаимодействия дутья и шлакового слоя. За счет этого взаимодействия вокруг дутьевой воронки (протяженностью по продольной оси агрегата L_1) образуется дополнительная зона, свободная от шлака (протяженностью L_2). Куски флюса обычно некоторое время циркулируют в этой зоне, перемещаясь вдоль овальной границы шлакового слоя. Граница, таким образом, является линией своеобразного механического равновесия сил. Флюс в этой зоне активно омывается окисно-сульфидным расплавом и именно здесь усваивается по реакции разрушения магнетита. Кварцевая «шуба» образует дополнительный барьер, препятствующий перемещению кусков в шлаковую зону, и способствует усвоению флюса по этой реакции.

Протяженность зоны L_2, свободной от шлака, определяется рядом факторов. Она зависит от дутьевой нагрузки на ванну и толщины слоя шлака. Это прослеживается, в частности, в продувках двухфазной ванны на холодном стенде. При постоянной дутьевой нагрузке увеличение толщины слоя приближает шлак к дутьевому факелу. В пределе продувка переходит в режим перемешивания шлака и окисно-сульфидного расплава непосредственно в зоне L_1. На кривых рис. 1 этому состоянию отвечает $L=L_1$ ($L_2=0$), т. е. постоянство L при дальнейшем утолщении шлакового слоя.

Для лучшего усвоения флюса и разрушения магнетита целесообразно работать на относительно тонком шлаковом слое при достаточной протяженности зоны, свободной от шлака, L_2. При малых L_2 и фиксированной точке загрузки флюса кварцит поступит в сформировавшийся шлаковый слой, и будет преобладать его растворение без разрушения магнетита. Это снижает скорость усвоения флюса и ухудшает качество конечного шлака. Кроме того, при большой толщине слой шлака склонен к вспениванию за счет механической аэрации дутьем и выделяющимися из ванны газами. Вспенивание сопровождается резким обогащением шлака цветными металлами: до 3,5—8,0% Ni и 1,7—4,0% Cu при работе на штейнах с 25—30% никеля. На полупромышленном агрегате вспенивание наблюдалось в режиме сливов крупными порциями (600—700 *кг* шлака). Слой шлака в зоне вспенивания в 2—3 раза увеличивался в объеме. Постепенно вспе-

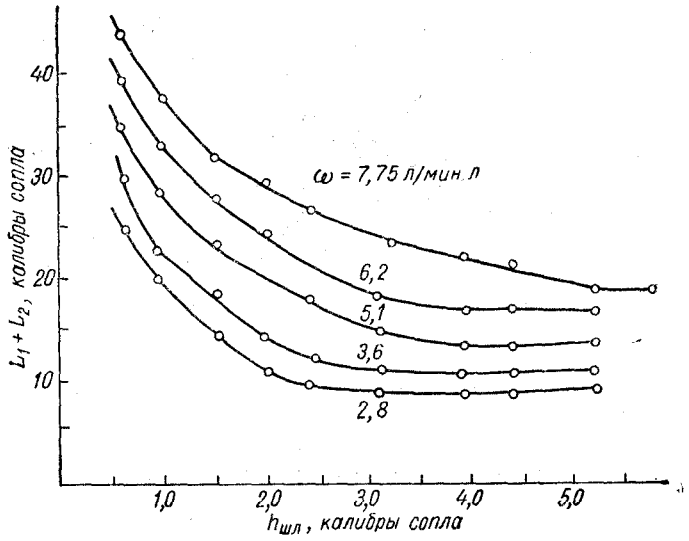


Рис. 1. Влияние толщины слоя шлака $h_{шл}$ на расстояние L_1+L_2 от оси подачи дутья до границы шлакового слоя (при угле наклона фурмы 75°) при разных дутьевых нагрузках на ванну ω (калибр — диаметр дутьевого сопла фурмы)

нивание охватывало всю шлаковую зону, и шлак самопроизвольно сливался из агрегата. Частые сливы малыми порциями или непрерывный слив шлака позволяют ликвидировать это явление.

При работе на слишком тонких слоях шлака наблюдается другое нежелательное явление — прорыв необедненного шлака на слив [2]. Поэтому выбор оптимальной толщины шлакового слоя, согласованной с дутьевой нагрузкой, — необходимое условие правильной организации шлакового режима при верхней продувке.

На усвоении флюса сказывается также температура процесса. В интервале температур шлака на сливе 1150—1280°С содержание двуокиси кремния в шлаке возрастало почти по линейной зависимости: 1% на 10°С (рис. 2). Содержание же магнетита при этом соответственно снижалось. Кислотность шлака в полупромышленном агрегате, работавшем в режиме отдельных продувок, также была выше при повышенном расходе дутья (за счет более быстрой тепловой стабилизации продувки) и возрастала по ходу продувки от слива к сливу.

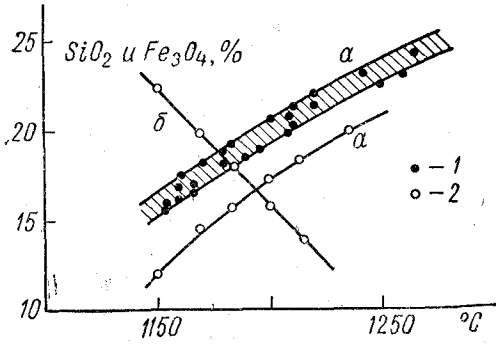


Рис. 2. Влияние температуры на содержание двуокиси кремния *а* и магнетита *б* в шлаках, сливаемых из агрегата верхней продувки штейнов:
1 — никелевых; *2* — медно-никелевых

По содержанию двуокиси кремния при продувке медно-никелевых штейнов шлаки распределяются следующим образом, %:

SiO_2, %	8—12	12—16	16—20	20—24	24—28	28—30
При расходе воздушного дутья, *нм³/мин*						
10—12	—	19,4	63,0	17,6	—	—
16—19	—	16,7	28,3	40,0	8,3	6,7
При сливе шлака						
первом	5,0	30,0	25,0	30,0	10,0	—
последнем	—	8,3	13,0	52,2	26,5	—

Выводы

1. При верхней продувке штейнов ванна в зоне продувки содержит пересыщенный магнетитом (до 50% Fe_3O_4) окисно-сульфидный расплав.

2. В продувочной части агрегата флюс усваивается по химическим реакциям разрушения магнетита, а в шлаковой — за счет растворения кварцита с образованием в шлаке фазы, соответствующей после затвердевания фазе стекла.

3. На усвоение флюса непосредственно влияет механическое взаимодействие дутья и шлака — наиболее благоприятные условия для разрушения магнетита создаются при наличии вокруг дутьевой воронки зоны, свободной от шлакового слоя, и подаче флюса в пределы этой зоны.

4. Кислотность получаемых при верхней продувке шлаков почти линейно возрастает с повышением температуры в интервале 1150—1280°С.

ЛИТЕРАТУРА

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

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

3. Максимов В. К. Магнитные методы анализа в лаборатории металлургического предприятия. Мурманское книжное изд-во, 1969.

4. Шалыгин Л. М. Конвертерный передел в цветной металлургии. Металлургия, 1965.