

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА ФИЛЬТРАЦИЕЙ ЧЕРЕЗ КОКС С ЦЕЛЮ ОБЕДНЕНИЯ

Ю.Б.ШМОНИН

Способ обеднения шлаков фильтрацией через слой кускового восстановителя известен давно и опробовался в различных условиях [2-4,6,9], но промышленного применения он не нашел, так как для эффективного обеднения необходимы слишком толстые слои восстановителя. Установилось мнение, что при обеднении конвертерных шлаков фильтрационный способ пригоден в основном в качестве первой, подготовительной, стадии (разрушение магнетита), что не дает существенных преимуществ перед отработанными технологиями обеднения.

Выходом из наметившегося тупика, позволяющим использовать преимущества способа для получения глубокого обеднения, является использование принципа многократной фильтрации, осуществляемой посредством рециркуляции шлака в обеднительной печи. При этом степень восстановления и обеднения регулируются в нужных пределах увеличением времени и пути фильтрации до необходимого, а толщина слоя кокса принимается из условий его обогрева в многошлаковых печах коксовой проводимости [7,8]. Рециркуляция шлака обеспечивается специальными насосами, перекачивающими расплав из-под слоя кокса на его поверхность. Наиболее пригодны для этой цели газлифтные аппараты, разработанные в последние годы ЛТИ и "Гипроникелем" [1,5].

Намеченное видоизменение фильтрационного способа предполагает возможность использования его в существующих электротермических установках после их перевода в режим коксовой проводимости и оснащения газлифтными аппаратами. При этом достигается максимальная преемственность в развитии существующих технологических схем, облегчается внедрение разработок, увеличивается их экономическая эффективность.

Метод проверялся в работах кафедры печей ЛТИ в 1975-1976 гг. Исследования включали теоретическую проработку и лабораторное изучение технологии обеднения, конструктивных и эксплуатационных характеристик аппаратурного оформления процесса. В данной статье рассмотрены результаты изучения технологических вопросов.

Теоретические представления, развитые в указанных исследованиях, изложены в работе [II]. Согласно им извлечение электрохимической формы цветных металлов контролируется равновесием обменных реакций с металлическим желе-

зом и зависит от конечной степени восстановления окисленного железа шлака до металла η_{Fe} , возрастая при ее увеличении. Извлечение механической взвеси цветных металлов также зависит от η_{Fe} . Образование металлического железа способствует коалесценции и отстаиванию взвеси.

Получена важная формула, связывающая извлечения металла η_{Me} со степенью восстановления η_{Fe} :

$$\eta_{\text{Me}} = \frac{1}{1 + \chi \frac{1 - \eta_{\text{Fe}}}{\eta_{\text{Fe}}}} \quad (1)$$

где χ — концентрационная функция распределения цветных металлов и железа между шлаком и сплавом, образующимся при восстановлении, $\chi = C_{\text{ш.к}} E_{\text{мет}} / C_{\text{мет}} E_{\text{ш.к}}$; $C_{\text{ш.к}}$, $E_{\text{ш.к}}$ и $C_{\text{мет}}$, $E_{\text{мет}}$ — соответствующие содержания цветных металлов и железа в конечном шлаке и сплаве, %.

С учетом указанных форм цветных металлов в шлаке

$$\chi = \chi_{\text{мех}} + \chi_{\text{эл}} \quad (2)$$

причем

$$\chi_{\text{мех}} = k \chi_{\text{эл}} = \frac{C_{\text{ш.к}}^{\text{мех}}}{C_{\text{ш.к}}^{\text{эл}}} \chi_{\text{эл}} \quad (3)$$

Концентрационная функция электрохимической формы металлов $\chi_{\text{эл}}$ может быть выражена через известные условные константы равновесия обменных реакций $K_{\text{усл}}$. В частном случае, при совпадении валентности цветного металла и железа $\chi_{\text{эл}} = K_{\text{усл}}$. Величина k требует экспериментального определения. Концентрационная функция механической формы металлов $\chi_{\text{мех}}$ может быть выражена через степень коалесценции α_c — слияния взвеси с образующимся металлическим железом. При этом

$$\eta_{\text{Me}} = \frac{1}{1 + \chi_{\text{эл}} \frac{1 - \eta_{\text{Fe}}}{\eta_{\text{Fe}}} + \frac{1 - \alpha_c}{\alpha_c}} \quad (4)$$

Следовательно, при равновесии сплава со шлаком объединительный эффект фильтрационного способа зависит от того, насколько эффективно происходят восстановление железа до металла и коалесценция взвеси, поэтому в лабораторных опытах основное внимание было уделено проверке зависимости (4), а также оценке кинетики восстановления железа шлака в коксовом фильтре.

Исследования проводились на малых огневых моделях коксового фильтра (рис. 1). В моделях с неподвижным фильтром многократная фильтрация воспроизводилась путем переплавки одной и той же порции шлака, а в модели с подвижным фильтром (коксовая насыпка в дырчатом графитовом стакане) — перемещением фильтра в расплаве.

Опыты проводились с медно-никелевыми конвертерными шлаками (табл. 1). Температура опытов в соответствии с рекомендациями [3] принята равной 1260–1320°C. Сульфидная фаза не добавлялась.

О степени восстановления железа в табл. 1 можно судить по следующим данным:

Составы обедненных шлаков, %

Fe	SiO ₂	Ni	Co	Cu
Исходный шлак				
44-45	23-26	0,5-0,6	0,17-0,2	0,5-0,7
Восстановленный шлак				
40-41	28-30	0,04-0,06	0,03-0,04	0,03-0,08
26-21	40-42	0,04-0,06	0,02-0,04	0,01-0,06
17-19	43-44	0,03-0,04	0,02-0,03	
11-12	45-46	0,01-0,02	0,006-0,008	0,01-0,008

Металлические сплавы, полученные в опытах, отвечали высоким η_{Fe} и состояли из 0,7-2,5% Ni, 0,2-0,6% Co, до 2,5% Cu, 2,5-4,5% S, 1-2% C.

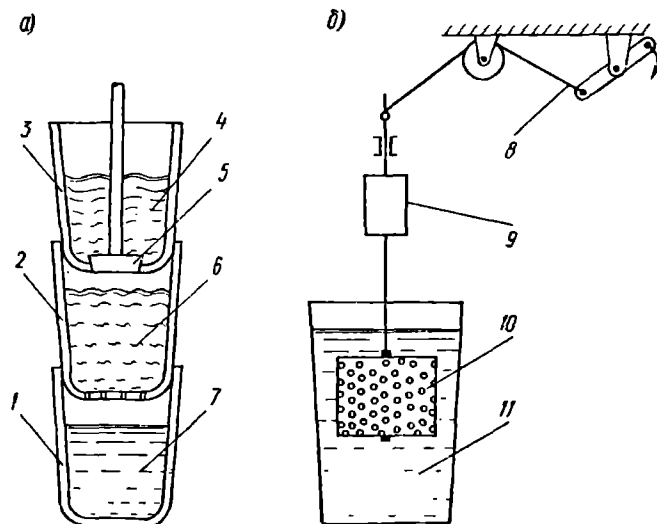


Рис. 1. Схемы лабораторных установок для фильтрационного восстановления шлака: а - тигельная модель с неподвижным фильтром; б - модель с фильтром, движущимся возвратно-поступательно
1 - тигель отстоя; 2 - фильтр; 3 - тигель наплавления; 4 - шлак;
5 - крышка перепуска; 6 - коксик; 7 - шлаковый расплав; 8 - при-
вод движения фильтра; 9 - противовес; 10 - подвижный фильтр; 11 -
тигель со шлаком

По лучшим экспериментальным данным построена зависимость η_{Me} от η_{Fe} (рис. 2). Затем по формулам (I)-(4) с использованием экспериментальных

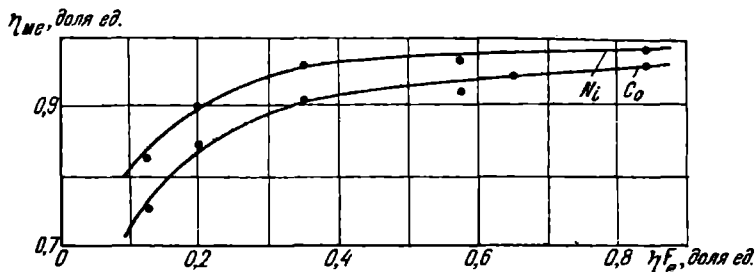


Рис. 2. Извлечение цветных металлов в сплав в зависимости от степени восстановления окисленного железа шлака до металлического

данных были рассчитаны концентрационные комплексы x_{Ni} и x_{Co} , отношения содержаний k_{Ni} и k_{Co} и степень коалесценции α_c (табл. 2). При извлечении кобальта и никеля

$x_{эл} = K_{усл}$; значения $K_{усл}$ взяты из работы [11]. Результаты расчетов показывают, что в

восстановленных шлаках преобладает механическая форма металлов, а лимитирующей стадией обеднения является, по-видимому, коалесценция.

Науглероживание металлического сплава при восстановлении было умеренным ($C < 2\%$). При отставании сплава его углерод частично расходовался на дополнительное восстановление железа шлака. Сера шлака в значительной степени извлекается в сплав. При изменении η_{Fe} от 20 до 83% извлечение серы в сплав возросло от 84 до 96%.

Рассматривая по полученным данным вопрос о необходимой и достаточной степени восстановления окисленного железа шлака до металлического, можно

Таблица 2

Характеристики обеднения

Показатель	Степень восстановления η_{Fe} , %					Примечания
	12	20	34	58	65	
x_{Ni}	0,0278	0,0277	0,0242	0,046	0,0476	-
$k_{Ni} = Ni_{мех}/Ni_{эл}$	9,69	9,65	8,31	16,69	17,31	Вычислено при $K_{усл} = 0,0026$
x_{Co}	0,0454	0,044	0,0509	0,067	0,087	-
$k_{Co} = Co_{мех}/Co_{эл}$	1,87	1,59	1,93	2,94	4,11	Вычислено при $K_{усл} = 0,017$
α_c , %	84,4	91	96	96,7	97,7	Вычислено по Ni
	82,8	90,2	93,8	96,2	96,4	Вычислено по Co
	83,7	90,6	94,9	96,45	97,0	Среднее

отметить следующее. При увеличении η_{Fe} до 40% и более прирост извлеченный становится незначительным (см. рис. 2). Минимальные значения x (наиболее эффективное использование сплава при обеднении) отвечают $\eta_{Fe} \approx 20-30\%$. Около этих значений, видимо, и необходимо принимать оптимальные η_{Fe} для случая обеднения с получением металлизированного штейна.

Кроме того, необходимо учитывать, что во избежание образования ферро-никелевых настывей в обеднительной печи и затруднений при выпуске штейна содержания в нем металлической фазы (сплава) не должны превышать 15-18% (практика северных комбинатов СССР). С учетом этого ограничения при повн-

шении η_{Fe} приходится увеличивать поток штейна через печь обеднения или расход сульфидизатора (руды, концентрата), что приведет, в свою очередь, к увеличению количества конвертерных шлаков. Восстанавливаемое железо становится циркулирующей нагрузкой схемы, поэтому оптимальную η_{Fe} необходимо окончательно выбирать с учетом экономики схемы в целом.

Производительность обеднительной печи, работающей с коксовым фильтром, определяется соотношением между необходимой (оптимальной) степенью восстановления и скоростью восстановления железа при фильтрации. Для печи, работающей в непрерывном режиме, получена следующая формула удельной производительности

$$a_{\text{уд}} = \lambda \frac{K_{\text{Fe}}}{\eta_{\text{Fe}} \text{Fe}_{\text{ш.л}}} \frac{H_{\text{K}}}{d_{\text{K}}} \quad (5)$$

где λ - коэффициент учета условий фильтрации, $\lambda = 18p(1-\epsilon)m\psi S_{\text{уд}}$; K_{Fe} - удельная скорость восстановления железа до металла, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; $\text{Fe}_{\text{ш.л}}$ - содержание железа в исходном шлаке; H_{K} - толщина коксового слоя; d_{K} - крупность кусков кокса; p - доля времени простоев; ϵ - порозность коксового слоя; m - число прокачек шлака; ψ - доля $S_{\text{уд}}$, контактирующей при фильтрации со шлаком; $S_{\text{уд}}$ - площадь поверхности кусков в рабочей части фильтра, отнесенная к единице площади пода.

В опытах по схеме рис. 1,б оценивалась величина K_{Fe} . Установлено, что значения K_{Fe} практически постоянны при $\eta_{\text{Fe}} = 5-50\%$ и равны 2,5-3 $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. В отличие от данных работы [3] (восстановление маложелезистых шлаков) эти значения не зависят от интенсивности фильтрации.

Расчетная оценка $a_{\text{уд}}$ по формуле (5) показала, что фильтрационное обеднение позволит повысить удельную производительность агрегата в 1,5-3 раза, если площадь фильтрации будет составлять значительную часть площади поверхности ванны. При этом высокие извлечения можно будет получить на одной стадии обеднения.

Полученные результаты показывают целесообразность дальнейшей разработки фильтрационного обеднения конвертерных шлаков.

Л и т е р а т у р а

1. Гальябек А.А., Ноздровский Ю.А. - Тр. ин-та "Гипроникель", 1973, вып. 58, с. 38-41.
2. Ванюков А.В., Зайцев В.Я., Колосова В.С. А.с. № 121558 (СССР).
3. Лисовский Д.И., Сосновский О.В., Иванов В.А. и др. - Цветные металлы, 1970, № 4, с. 13-17.
4. Малкин И.М., Платонов Г.Ф., Абдеев М.А. и др. - Цветные металлы, 1960, № 12, с. 15-18.
5. Ноздровский Ю.А. - Тр. ин-та Гипроникель, 1976, вып. 65, с. 35-37.
6. Петров Л.К., Грамм Н.И. А.с. № 160586 (СССР).
7. Платонов Г.Ф. Вестник АН Каз ССР, 1961, № 4 (193), с. 43-47.
8. Платонов Г.Ф. Параметры и электрические режимы металлургических электродных печей. М.-Л., "Энергия", 1965.
9. Смирнов В.И., Коршунов Г.П. - Тр. Уральск. индустр. ин-та, 1945, сб. 21, с. 28-35.
10. Цемехман Л.Ш., Вайсбурд С.Е., Вернер Б.Ф. - Тр. ин-та Гипроникель, 1970, вып. 48, с. 28-32.
11. Шмонин Ю.Б. - Цветные металлы, 1976, № 11, с. 12-15.