Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова, т.ХХУШ, 1978 г.

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ПРИ ОБЕДНЕНИИ КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ

М.Р.РУСАКОВ, Л.Н.ПИНИН, Д.А.ДИОМИДОВСКИЙ, Е.А.САДОВНИКОВА

Существующие представления о природе и механизме потерь никеля и кобальта с конвертерными шлаками позволяют считать, что для эффективного обеднения шлака должны быть созданы условия, обеспечивающие интенсивное восстановление компонентов шлака; эффективную коалесценцию мелкодисперсных включений; возможность перехода восстановленных и выделившихся из шлака частиц, содержащих цветные металлы, в фазу-коллектор. Указанным условием в наибольшей степени отвечает процесс обеднения, предусматривающий продувку шлака восстановительным газом, подаваемым в приэлектродную зону расплава.

Вопросы взаимодействия восстановительных газов с расплавом при их продувке освещены в литературе недостаточно и касаются, в основном, взаимодействия водорода или природного газа с расплавами окисленных никелевых руд либо с цинкосодержащими расплавами [I,5,6] Практически отсутствуют данные по взаимодействию расплавов с газами, содержащими непредельные углеводороды. Этот вопрос имеет важное значение для расширения источников, используемых для обеднения реагентов. Кроме того, имеющиеся в литературе сведения о роли углерода при взаимодействии сырого газа с расплавом [4] позволяют считать, что использование газообразных восстановителей с повышенным содержанием углерода, по сравнению с метаном, должно благоприятно сказаться на процессе обеднения конвертерного шлака.

В работе исследовалось влияние температуры, количества и состава фазы-коллектора, вида восстановителя (метан, пропан, соляровое масло), его расхода и величины заглубления продувочной фурмы на обеднение конвертерных шлаков. Опыты проводились на установке, включающей электропечь с герметично изолированным рабочим пространством, в которое помещался алундовый тигель. Навеска шлака 0,5 кг. Установка оборудована специальными устройствами для приготовления и ввода в расплав газов-восстановителей. Эксперимент проводился с предварительно переплавленными конвертерными шлаками комбината "Печенганикель", в которых содержалось 0,60% Ni; 0,58% Cu; 0,18% Co; 46,0% Fe; 21% SiO_2. В качестве фазы-коллектора использовались штейны различного состава: 4,2-I6,08% Ni; 0,26-0,46% Co, 2,36-9,23% Cu; 48,3-58,6% Fe; 25,8-28,4% S. Количество восстановителя в смеси определялось исходя из необходимости ввода в расплав одинакового количества угле-

рода в единицу времени. Шлак и штейн после опыта подвергали химическому анализу.

Влияние варьируемых факторов на показатели процесса исследовали с использованием методов регрессионного анализа по результатам планированного эксперимента [2,3] . Было проведено три серии по 42 опыта в каждой. План эксперимента позволял получить независимые оценки коэффициентов регрессии - ортогональный трехуровневый план.

Данные эксперимента обрабатывались в предположении линейной модели первого порядка

$$y_i = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5 + a_6 x_6 + a_7 x_7$$

где y_i - содержание металла в шлаке; a_0 - свободный член; x_1 - температура расплава, °С; x_2 - содержание основного восстановительного агента в смеси, %; x_3 - содержание никеля в фазе-коллекторе (штейне),%; x_4 - количество фазы-коллектора в шихте, %; x_5 - время продувки, мин; x_6 - расход восстановительного агента, л/(кг·мин); x_7 - глубина погружения сопла, мм.

Исходные данные и результаты планирования экспериментов приведены в табл. 1,2.

Для полученных уравнений критическое значение критерия Фишера 95%-ного уровня значимости модели $F_{кр} \leqslant 3$. Во всех случаях расчетное значение указанного критерия $F_{расч} > F_{кр}$, что свидетельствует о значимости модели. Прочерки в графах табл. 2 соответствуют факторам, не включенным в модель вследствие того, что их коэффициент значимости оказался ниже выбранного критерия отбора 2,85.

Таблица 1

Уровни факторов эксперимента

Уровень	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
			Метан				
-1	1300	90[x]	4	0	10	0,30	20
0	1350	100	8	10	25	0,50	
+1	1400	95[x]	16	20	45	0,80	30
			Пропан				
-1	1300	30[x]	4	0	10	0,13	20
0	1350	50[x]	8	10	25	0,21	
+1	1400	70[x]	16	20	45	0,33	30
			Соляровое масло				
-1	1300	90[x]	4	0	10	0,02	20
0	1350	100	8	10	25	0,03	
+1	1400	95[x]	16	20	45	0,04	30

[x] Остальное инертный газ.

Таблица 2

Значения коэффициентов регрессионного уравнения и статистическая оценка качества полученных моделей

Восстановитель	Факторы							Свободный член a_0	Оценка качества модели		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		Доля объясненной вариации	Коэффициент множественной корреляции	$F_{расч}$
					Никель						
Пропан			$-4,46\cdot10^{-3}$		$5,42\cdot10^{-3}$	$5,04\cdot10^{-3}$		$3,50\cdot10^{-1}$	73,08	0,855	34,35
Метан	$-6,79\cdot10^{-4}$	$-6,56\cdot10^{-3}$			$-7,67\cdot10^{-3}$	$-1,27\cdot10^{-1}$		1,95	74,42	0,863	26,95
Соляровое масло		$-1,54\cdot10^{-3}$	$-4,41\cdot10^{-3}$		$-2,97\cdot10^{-3}$			$5,99\cdot10^{-1}$	77,88	0,883	44,62
					Кобальт						
Пропан			$-6,09\cdot10^{-3}$	$-1,72\cdot10^{-3}$	$-2,21\cdot10^{-3}$		$-2,13\cdot10^{-3}$	$2,38\cdot10^{-1}$	69,35	0,833	20,93
Метан		$-2,71\cdot10^{-3}$	$-2,95\cdot10^{-3}$		$-3,18\cdot10^{-3}$			$4,12\cdot10^{-1}$	67,05	0,819	25,78
Соляровое масло		$-2,17\cdot10^{-3}$	$-2,35\cdot10^{-3}$		$-2,01\cdot10^{-3}$			$3,07\cdot10^{-1}$	74,98	0,866	37,92
					Железо						
Пропан					$-1,60\cdot10^{-1}$	$-1,83\cdot10^{-1}$		$4,54\cdot10^{1}$	70,08	0,837	45,68
Метан	$-2,25\cdot10^{-2}$	$-1,87\cdot10^{-1}$		$-7,62\cdot10^{-2}$	$-2,18\cdot10^{-1}$	-2,83		$9,40\cdot10^{1}$	83,48	0,914	36,40
Соляровое масло	$-1,58\cdot10^{-2}$	$-1,65\cdot10^{-1}$		$-4,66\cdot10^{-2}$	$,93\cdot10^{-1}$	$-9,80\cdot10^{-2}$		$8,27\cdot10^{1}$	85,76	0,926	43,39

Таблица 3

Результаты расчетов по регрессионному уравнению

Восстановитель	Температура, °С																	
	1300						1350						1400					
	Время продувки, мин																	
	5	10	20	25	30	45	5	10	20	25	30	45	5	10	20	25	30	45
	Никель																	
Пропан	0,310	0,268	0,196	0,156	0,118	0,003	0,276	0,237	0,161	0,122	0,084	-0,031	0,242	0,203	0,127	0,088	0,050	-0,065
Метан	0,255	0,223	0,169	0,142	0,115	0,034	0,255	0,223	0,169	0,142	0,115	0,034	0,255	0,223	0,169	0,142	0,115	0,034
Соляровое масло	0,060	0,045	0,015	-0,000	-0,015	-0,059	0,060	0,045	0,015	-0,000	-0,015	-0,059	0,060	0,045	0,015	-0,000	-0,015	-0,059
	Кобальт																	
Пропан	0,078	0,062	0,030	0,014	-0,002	-0,049	0,078	0,062	0,030	0,014	-0,002	-0,049	0,078	0,062	0,030	0,014	-0,002	-0,049
Метан	0,053	0,042	0,020	0,009	-0,002	-0,034	0,053	0,042	0,020	0,009	-0,002	-0,034	0,053	0,042	0,020	0,009	-0,002	-0,034
Соляровое масло	0,042	0,032	0,012	0,002	-0,008	-0,038	0,042	0,032	0,012	0,002	-0,008	-0,038	0,042	0,032	0,012	0,002	-0,008	-0,038
	Железо																	
Пропан	44,02	42,93	40,75	39,66	38,57	35,30	42,80	41,81	39,63	38,54	37,45	34,18	41,77	40,68	38,50	37,41	36,32	33,05
Метан	44,52	43,76	42,16	41,36	40,56	38,16	44,52	43,76	42,16	41,36	40,56	38,16	44,52	43,76	42,16	41,36	40,56	38,16
Соляровое масло	43,61	42,64	40,71	39,75	38,78	35,89	42,62	41,65	39,72	38,76	37,79	34,88	42,16	41,19	39,26	38,30	37,33	34,44

Примечание. Расчеты проводились при следующих условиях: количество фазы-коллектора (штейн) 20%; содержание никеля в штейне 16%; пропана 0,21 л/(кг·мин), метана 0,50 л/(кг·мин), солярового масла 0,03 л/(кг·мин); глубина погружения фурмы 20 мм.

По регрессионному уравнению были рассчитаны остаточные содержания никеля, кобальта и железа за время продувки расплава 5–45 мин в интервале температур 1300–1400°С при постоянном составе и количестве фазы-коллектора, заглублении фурмы и расходе восстановителя (табл. 3). Отрицательные значения содержаний металлов в некоторых графах табл. 3, соответствующих области малых абсолютных содержаний компонента, объясняются неточностью уравнений в этих областях, вызванной естественным разбросом исходных экспериментальных данных. По существу, эти значения могут быть приняты нулевыми.

Рассчитанные концентрации металлов в шлаке хорошо согласуются с экспериментальными данными отдельных проб шлака, отобранных за указанные промежутки продувки.

Как следует из приведенных данных, использование любого из испытанных восстановителей обеспечивает глубокое обеднение шлака. Полученные уравнения могут быть использованы для анализа влияния исследуемых факторов на показатели обеднения. Степень обеднения для одних и тех же условий зависит от типа применяемого восстановителя. Степень эффективности для обеднения исследованных восстановителей увеличивается в ряду: метан – пропан – соляровое масло. Таким образом, высказанное ранее предположение о том, что повышенное содержание углерода в используемых углеводородах благоприятно сказывается на процессе обеднения, подтвердилось.

Литература

Баимбетов Б.С., Окаев И.А. – В кн.: Металлургия и обогащение. Вып. 9. Алма-Ата, Ин-т металлургии и обогащения АН КазССР, 1974, с. 54–56.

2. Горский В.Г., Адлер Ю.П. Планирование промышленных экспериментов. М., Металлургия, 1974.

3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М., Статистика, 1973.

4. Лавров Н.В., Пелевин В.С. – Цветные металлы, 1977, №4, с.23–25.

5. Монтильо И.А. Алимбаев Г.И. – В кн.: Механизм и кинетика восстановления металлов. М., Наука, 1970, с. 222–224.

6. Морачевская В.С., Бухбиндер А.И. – Цветная металлургия. Бюлл. ЦНИИ ЦВ, 1963, №4, с. 24–26.