

УДК 669.162.266

Ковалев Д.А. /д.т.н./, Ванюкова Н.Д. /д.т.н./, Ванюков А.А.

Национальная металлургическая академия Украины

Производство и использование самовосстанавливающихся окатышей в доменной плавке с применением пылеугольного топлива

Приведена оценка восстановительного процесса в химически резервной зоне доменной печи. Показано, что присутствие тонкоизмельченного твердого топлива в окатышах обеспечивает развитие комплексного восстановления в этой зоне и снижает степень прямого восстановления за счет металлизации. Приведены результаты исследования металлургических свойств самовосстанавливающихся окатышей, результаты доменных плавок. Дана оценка эффективности использования самовосстанавливающихся окатышей при вдувании пылеугольного топлива. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: самовосстанавливающиеся окатыши, пылеугольное топливо, комплексное восстановление, химически резервная зона доменной печи

The assessment of the reduction process in chemically reserve zone of the blast furnace was given. It is shown that the presence of finely divided solid fuel in pellets ensures the development of a complex reduction in this zone and reduces the degree of direct reduction by metal plating. The results of the study of metallurgical properties of self-reducing pellets and the results of the blast heats were provided. The efficiency of the use of self-reducing pellets during injection of pulverized coal fuel was estimated.

Keywords: self-reducing pellets, pulverized coal fuel, complex reduction, chemically reserve zone of blast furnace

На современном этапе развития черной металлургии одним из приоритетных направлений окускования является получение железорудных углеродсодержащих материалов [1, 2].

По данным исследований, присутствие твердого топлива в железорудной шихте обеспечивает получение вюститно-магнетитовой структуры агломерата и окатышей. С точки зрения развития восстановительных процессов в шахте доменной печи вюститно-магнетитовая структура не может дать каких-либо преимуществ, так как высшие оксиды железа восстанавливаются в верхней части шахты [3]. Одним из путей активизации восстановительного процесса в химически резервной зоне может быть развитие комплексного восстановления [4, 5]. При обычном газовом восстановлении безуглеродистых материалов их внутренние объемы не принимают участия в реакции восстановления из-за топохимического характера процесса. При наличии твердого углерода внутри окатыша происходит регенерация восстановителя внутри окатыша и прямое восстановление вюstitа.

Скорость реакций газификации угля увеличивается с ростом температуры. Повышение температуры ведет к ускорению газовой-углетермического восстановления железа. Однако при этом надо иметь в виду, что переход от углетермического восстановления к комплексному в потоке СО отражается на участии твердого углерода в процессе. Рост парциального давления CO_2 в результате взаимодействия монооксида углерода с железорудной шихтой должен благоприятствовать реакции $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ [5]. Участие в газовом потоке водорода обеспечивает более высокие скорости восстановления [6].

Впервые производство углеродсодержащих самовосстанавливающихся окатышей (СВО) было осуществлено на опытной фабрике окомкования Центрального горно-обогатительного комбината. Произведенные окатыши были использованы для выплавки литейного чугуна на Константиновском металлургическом заводе. СВО характеризовались следующими показателями качества: основность 0,26–0,32; содержание, %: $\text{Fe}_{\text{об}}$ 62,5–63,3; FeO 28,8–31,3; $\text{Fe}_{\text{мет}}$ 2,3; содержание мелочи 3,0; индекс на удар 73,1–80,04; на истирание 10,8; содержание остаточного углерода 1,1. При проведении доменной плавки на ДП-1 Константиновского МЗ в шихту подавали 20–25 % СВО вместо окатышей Полтавского ГОКа. Результаты доменной плавки сравнивали с до опытными и после опытными периодами. Прирост производства чугуна составил 11,1–8,7 %; расход кокса снизился на 6,99–3,68 %. В дальнейшем промышленная партия СВО была произведена на Северном ГОКе на обжиговой машине ОК-278 (Лурги). Опытная партия окатышей в количестве 21870 т была проплавлена в ДП завода им. Петровского [7]. Доля опытных окатышей в шихте составила от 47 до 57 %.

Преимущество окатышей с остаточным углеродом по сравнению с окисленными (табл. 1) заключается в более высокой степени их восстановления и металлизации [8]. Опытные окатыши содержали 10,16 % монооксида железа. В период использования опытных окатышей СевГОКа степень прямого восстановления уменьшилась с 31 до 30,6 %, что снизило расход углерода на прямое восстановление на 7 кг/т чугуна. ДП № 2 и № 6 работали на СВО в течение 8 сут., что позволило достичь устойчивого режи-

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Таблица 1. Металлургические свойства самовосстанавливающихся окатышей

Вид испытаний окатышей	Показатели	Окатыши			
		Окисленные		Самовосстанавливающиеся	
		Агло-чаша	Промыш-ленные	Аглочаша	Промыш-ленные
по ГОСТ 19575-84	Химический состав, %: Fe	59,22	59,27	62,64	59,48
	FeO	1,60	1,20	39,67	10,16
	C	-	-	1,13	0,76
	S	0,045	-	0,118	-
	Основность CaO: SiO ₂	0,65	0,63	0,52	0,54
	Сопротивление сжатию, кг/ок		217	182	118
	Истираемость, %	10,8	10,8	17,6	23,5
	Удар, %	81,8	79,4	69,5	43,0
	Пористость, %	30,48	-	38,01	-
	Истираемость, %	4,4	4,9	10,3	13,3
	Степень восстановления, %	38,74	39,57	32,83	53,06
	Степень металлизации, %	15,61	16,34	19,81	35,76
по ГОСТ 21707-76	Усадка слоя, %	29,5	31,0	51,5	41,0
21707-76	Перепад давления, Па	52	50	804	240
	Выход спека, %	36,5	38,5	51,6	43,6
	Степень восстановления, %	66,92	69,17	67,14	74,73
	Степень металлизации, %	52,01	55,29	60,65	65,51
Высоко температурные	Температура начала фильтрации жидких фаз, °C	1330	1330	1370	1385
	Температура максимальной фильтрации, °C	1530	1530	1480	1460
	Содержание FeO в первичном шлаке, %	48,6	48,6	29,9	35,6

Таблица 2. Основные результаты расчета показателей доменной плавки при использовании в шихте 40 % окатышей с различным содержанием углерода

Параметры и показатели	Ед. изм.	База	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
Содержание углерода в окатышах	%	0,0	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9
Степень металлизации окатышей	%	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15
Степень металлизации шихты	%	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Приход углерода с окатышами	кг/т чугуна	0,0	2,19	4,38	6,57	8,77	10,96	13,15
Расход кокса	кг/т чугуна	668,1	665,0	661,9	658,8	655,7	652,6	649,4
Коэффициент замены кокса	кг кокса/кг C _{окс}	-	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
Суммарный расход углерода топлива ^{*)}	кг C/т чугуна	570,1	567,5	564,8	562,2	559,5	556,9	554,2
Расход углерода на прямое восстановление	кг/т чугуна	112,5	111,5	110,5	109,4	108,4	107,4	106,4
Сгорает углерод у фурм	кг/т чугуна	414,4	412,8	411,2	409,6	407,9	406,3	404,7
Расчетный расход дутья	м ³ /т чугуна	1713,4	1706,7	1700,0	1693,2	1686,5	1679,8	1673,0
Состав сухого колошникового газа: CO ₂	%	14,0	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5	13,4
CO	%	27,3	27,4	27,4	27,5	27,6	27,6	27,7
H ₂	%	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7
N ₂	%	53,1	56,1	56,1	56,2	56,2	56,2	56,2

^{*)} без учета углерода, вносимого с окатышами

ма доменной плавки.

Изменение приведенного расхода кокса по печи № 2 составило 6 кг/т чугуна, а по печи № 6 14 кг/т чугуна. Альтернативным решением может быть загрузка в доменную печь самовосстанавливающихся окискованных материалов. Это могут быть как термически упрочнённые железорудные материалы, содержащие углерод, так и железорудные материалы в смеси с углеродом в виде окатышей или брикетов полученных низкотемпературным упрочнением. Результаты расчетов показателей доменной плавки при использовании в шихте 40 % окатышей с различным содержанием углерода представлены в табл. 2.

Как видно из данных, приведенных в табл. 2, для

обеспечения общей степени металлизации шихты на уровне 5-6 % при доле окатышей в шихте 40 % содержание в них углерода должно быть на уровне 1,6-1,9 %, что вполне достижимо в реальных производственных условиях.

Представляет также интерес коэффициент замены кокса, рассчитанный как отношение полученной экономии кокса к количеству углерода в окатышах. Как видно из табл. 2, указанный коэффициент для условий, принятых в расчете, составляет 1,42. С целью сравнительной оценки эффективности восстановительной работы углерода в составе окатышей была проведена вторая серия расчетов, с использованием тех же исходных данных, но с учетом вдувания в горн

доменной печи пылеугольного топлива с расходом от 50 до 200 кг/т чугуна. Степень металлизации шихты во всех вариантах оставалась равной нулю. Из полученных результатов следует, что углерод в составе окатышей способствует повышению степени металлизации в интервале температур 900-1200 °С, снижая тем самым расход углерода кокса, идущего на прямое восстановление.

Выводы

Приведено теоретическое и экспериментальное обоснование эффективности комплексного восстановления оксидов железа в резервной зоне доменной печи. Этот эффект реализуется за счёт ввода в шихту самовосстанавливающихся окатышей, содержащих в своём составе углерод, который в количестве 1,6-1,9 % обеспечивает степень металлизации шихты 6 %. Дана оценка эффективности использования самовосстанавливающихся окатышей по результатам доменных плавов и аналитического исследования при использовании ПУТ в доменных печах.

Библиографический список

1. Бережной Н.Н., Петров А.В., Воскеричан Н.В. и др. Методы интенсификации процесса термообработки окатышей на конвейерной машине // Бюл. ЦИИИ ЧМ. – 1977. – № 6. – 5-7.
2. Бережной Н.Н., Паталах А.А., Гребенкин Н.Н. и

- др. Промышленные испытания технологии производства железорудных окатышей из шихты с твердым топливом // *Сталь*. – 1982. – № 11. – С. 10–12.
3. Гиммельфарб А.А., Котов К.И. Процессы восстановления и шлакообразования в доменных печах. – М.: *Металлургия*, 1982. – 328 с.
 4. Симонов В.К., Руденко Л.Н. Кинетика раздельного и комплексного восстановления железорудных материалов газами и твердым углем. Сб. «Интенсификация восстановительных процессов. Диффузионно-химические аспекты». Под ред. И.С. Куликова. – М.: *Наука*, 1980. – С. 36–51.
 5. Симонов В.К., Нижегородова Т.Е., Руденко Л.Н., Власенко В.И. Некоторые кинетические закономерности газовой-углеродистой восстановления железорудных материалов // *Научн. тр. МИСИС*. – 1983. – № 149. – С. 13–24.
 6. Бондаренко Б.И. Восстановление окислов металлов в сложных газовых системах. – К.: *Наукова думка*, 1980. – 388 с.
 7. Ковалев Д.А., Ванюкова Н.Д., Журавлев Ф.М. и др. Использование опытных железорудных офлюсованных окатышей с остаточным углеродом в доменной плавке // *Сталь* – 1999. – № 8. – С. 4–9.
 8. Ванюкова Н.Д. Влияние режима обжига на полноту использования остаточного углерода железорудных окатышей при их восстановлении // *Теория и практика металлургии*. – 2000. – № 3. – С. 9–12.

Поступила 31.10.2012



Уважаемые читатели!

Уже сегодня можно оформить подписку изданий
ООО «Укрметаллургинформ «НТА» на 2013 г.:

Индекс: 74311

- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке;

Индекс: 49501

- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке, CD-ROM;

Индекс: 49502

- журнал "Metallurgical and mining industry" на английском языке.

через каталог «Изданий Украины», каталог России «Газеты. Журналы»
и через редакцию журнала.

Редакция:

ул. Дзержинского, 23, г. Днепропетровск, Украина, 49027,
к/т 056-744-81-66; т/ф 0562-46-12-95.