

УДК 669.162.211.1

В.А. Долинский¹, Л.Д. Никитин², А.М. Коверзин²,
Л.В. Портнов², С.Ф. Бугаев²

¹ Сибирский государственный индустриальный университет² ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫВОЧНЫХ БРИКЕТОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Аннотация. Использование в шихте доменной печи полезным объемом 3000 м³ промывочных брикетов в количестве 30 – 60 кг/т чугуна способствовало достаточно эффективной промывке горна и сохранению ровного хода печи. Расчетная приведенная производительность доменной печи увеличилась на 3,5 % при снижении приведенного удельного расхода кокса на 0,69 %.

Ключевые слова: промывочные брикеты, доменная печь, промывка горна.

USE OF WASHING BRIQUETTES FOR IMPROVEMENT OF THE BLAST-FURNACE HEARTH OPERATION

Abstract. The use of washing pellets in the amount of 30 – 60 kg/t of pig iron in blast furnace with useful volume of 3000 m³ has contributed to the quite effective flushing of the horn and preservation of the smooth furnace operation. The estimated reduced productivity of the blast furnaces increased by 3,5 % while reducing the specific consumption of coke reduced by 0,69 %.

Keywords: washing briquettes, blast furnace, flushing of the horn.

Снижение прочностных показателей качества кокса в горячем и холодном состояниях приводит к ухудшению работы горна из-за нарушений режима отработки продуктов плавки, увеличению простоев печи из-за прогара элементов воздушных приборов и т.п. (см. рисунок). В центральной части горна работающих доменных печей формируется коническая неподвижная (застойная) зона из мелкого кокса и шлаковых составляющих, загромождающих горн и уменьшающих пропускную способность коксовой насадки [1]. При этом скапливающиеся в периферийной зоне потоки жидких продуктов плавки интенсивно размывают гарнисаж и углеродистые блоки, а чрезмерно развитый поток газа снижает степень использования энергии газового потока.

Улучшение работы горна в таких условиях достигается загрузкой промывочных шихт (трудно восстано-

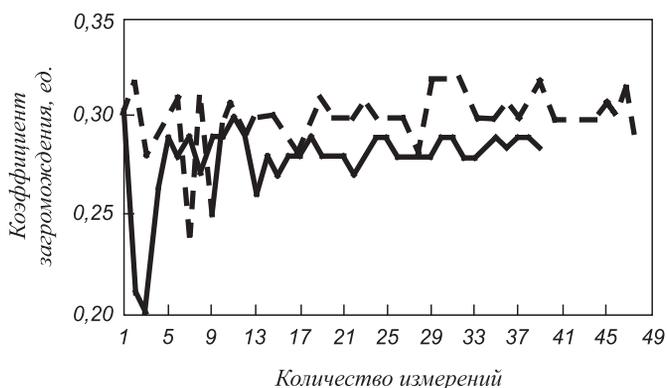
вимых железосодержащих материалов) в определенные газодинамические зоны доменной печи, не допуская контакта образующегося легкоплавкого шлака с футеровкой печи.

Для этой цели на доменной печи полезным объемом 3000 м³ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» были проведены промышленные испытания партии (около 1200 т) промывочных брикетов следующего химического состава: 68,10 % Fe; 56,30 % FeO; 5,08 % CaO; 3,84 % SiO₂; 1,05 % MgO; 0,85 % Al₂O₃; 0,12 % Mn; 0,10 % S; 0,017 % P; 0,13 % Na + K; 0,03 % ZnO; 0,33 % C.

Брикеты размером 100×60×40 мм отвечали требованиям технических условий ТТ СБ.П-04-03 – 2008 (механическая прочность на сжатие и осыпаемость, водопоглощение) на брикеты промывочные для доменного производства.

Для определения степени загромождения $K_{\text{загр}}$ горна, характеризующейся отношением диаметров загромождения и горна, изменяющейся от нуля (отсутствие загромождения) до единицы (загромождение всего объема горна), была создана автоматизированная система. На основании результатов работы доменной печи и математической модели система рассчитывает накопление и отработку продуктов плавки в реальном времени с учетом объема загромождения горна.

Расчет количества чугуна и шлака ведется по мере проплавки подач с учетом их массы и химического состава. Система позволяет отслеживать накопление продуктов плавки, не допуская повышения их уровня до воздушных фурм, и своевременно их обрабатывать.



Изменение коэффициента загромождения горна в базовом (---) и опытном (—) периодах

Стабильная тенденция к увеличению степени загромождения свидетельствовала о накоплении значительного количества коксового мусора, или о недостаточном тепловом состоянии горна, а также служила сигналом для введения в шихту промывочных брикетов.

Перед началом использования промывочных материалов доменная печь удовлетворительно работала на шихте, состоящей из агломерата, привозных неофлюсованных окатышей и металлодобавок, с содержанием железа около 57,8 – 58,0 %. Удельная производительность доменной печи не превышала 1,85 – 1,90 т/(м³·сут), расход кокса составлял 445 – 448 кг/т чугуна при расходе природного газа около 85 м³/т чугуна.

В доменной печи использовали системы загрузки шихты $mPP \downarrow nKK \downarrow$ [2, 3], обеспечивающие достаточную степень подгруженности периферийной зоны и умеренное развитие осевого газового потока. Регулирование окружного и радиального распределений шихты производили роторным распределителем с укладкой шихты на определенные радиусы по кольцевым зонам колошника. Загрузку брикетов осуществляли во второй скип каждой пятой подачи по циклу в количестве 4,0 – 4,5 т или 2,0 – 2,5 % от общего (30 – 40 кг/т чугуна) расхода железорудной части шихты. Для попадания брикетов преимущественно в промежуточную и осевую зоны выгрузку их на поверхность колошника осуществляли на радиусы 4 – 5.

Оценку окружного распределения шихты производили по показаниям термопар периферийных газов, равномерности работы воздушных фурм, тепловой нагрузки на систему охлаждения и химического состава продуктов плавки. Газовый поток был достаточно устойчивым, колебания температур по отдельным точкам не превышали 80 – 90 °С, сход шихты ровный, без подстоев и провалов. Температура колошникового газа уменьшилась с 93 до 90 °С, что указывает на улучшение степени использования тепловой энергии газового потока и снижение тепловой нагрузки на систему охлаждения доменной печи.

Регулирование теплового состояния доменной печи производили изменением параметров комбинированного дутья и расхода кокса в подачах загружаемой шихты. Расход природного газа поддерживался на уровне 80 – 88 м³/т чугуна, кислорода – 90 – 95 м³/т чугуна, что обеспечивало концентрацию кислорода в дутье 26,0 – 27,2 %, температура горячего дутья была на максимально возможном уровне (1170 – 1180 °С). Такое соотношение параметров комбинированного дутья обеспечивало теоретическую температуру горения примерно 2200 °С, что способствовало сохранению ровного хода печи и технологической устойчивости процесса доменной плавки при работе на магнезиально-глиноземистых шлаках.

Следует отметить, что по содержанию глинозема (16 – 17 %) и магнезии (10 – 12 %) конечные до-

менные шлаки являются тугоплавкими, которые для обеспечения устойчивости и обесшеривающей способности требуют перегрева. Только в этом случае формируется окончательный состав чугуна, стабилизируется тепловое состояние, горн очищается от графита и коксового мусора. Шлаковый режим плавки был достаточно сложным вследствие использования шихтовых материалов, имеющих различные физико-химические и высокотемпературные свойства, определяющих высоту и положение зоны шлакообразования. Изменения химического состава агломерата наряду с нарушениями планового состава доменной шихты, а также колебаниями теплового состояния из-за непостоянного качества кокса вызывали соответствующие колебания химического состава и свойств продуктов плавки.

С целью определения влияния промывочных брикетов на показатели процесса доменной плавки были обработаны представительные массивы производственных данных работы доменной печи полезным объемом 3000 м³ по обычной и новой технологиям (базовый и опытный периоды). Основные технико-экономические показатели работы доменной печи в исследуемые периоды приведены в таблице.

Дренажная способность коксовой насадки в базовом (19 суток) периоде не была оптимальной из-за низкой механической прочности кокса, колебаний качества агломерата, нарушений равномерного распределения шихты, отсутствия необходимого количества промывочных средств. Это вызывало соответствующие нарушения дутьевого режима процесса плавки, равномерности тепло- и массообменных процессов по сечению и высоте доменной печи, ухудшение работы горна. Значительное увеличение степени загромождения (см. рисунок) в конце базового периода связано со снижением теплового состояния горна доменной печи. Содержание кремния в чугуне уменьшилось до 0,34 – 0,28 %, монооксида железа в шлаке увеличивалось до 0,59 %. Этому способствовало также резкое и неконтролируемое ухудшение прочности кокса в горячем (по CSR с 50,5 до 49,7 %) и холодном (по M40 с 70,8 до 70,0 %) состояниях, а также повышенный забор фракции 25 – 40 мм и привозного кокса (до 1000 т/сут) с различными металлургическими свойствами.

В начальный период загрузки промывочных брикетов наблюдалось значительное (с 0,32 – 0,30 до 0,28 – 0,25 ед.) снижение (см. рисунок) степени загромождения горна, что объясняется повышенным (более 60 кг/т чугуна) расходом брикетов. В дальнейшем, при установившемся (33 – 37 кг/т чугуна) расходе брикетов, характер изменения коэффициента загромождения горна был ровный, не имеющий значительных отклонений в ту или иную сторону (как в базовом периоде), что свидетельствует о нормализации работы горна и увеличении его рабочего объема. Среднее значение коэффициента загромождения горна, в срав-

Основные технико-экономические показатели работы доменной печи

Показатели	Периоды	
	базовый	опытный
Длительность периода, сут	19	6
Расход брикетов в шихту, т	–	1204
Расход брикетов в шихту, %	–	2,06
Расход брикетов в шихту, кг/т	–	34,4
Производительность, т/сут		
фактическая	5467,2	5834,7
расчетная приведенная	–	5661,6
Удельная производительность, т/(м ³ ·сут)	1,8224	1,9449
Расход кокса, кг/т		
фактический	446,8	444,4
расчетный приведенный	–	442,7
Расход природного газа, м ³ /т	84,7	84,0
Содержание железа в шихте, %	57,81	58,17
Содержание золы в коксе, %	12,5	12,5
Прочность кокса, %		
М 40	71,2	70,1
М 10	9,2	9,4
Расход дутья, м ³ /мин	4126	4230
Температура горячего дутья, °С	1180	1178
Содержание кислорода в дутье, %	25,96	26,25
Температура колошникового газа, °С	121,8	108,3
Давление колошникового газа, МПа	1,14	1,23
Общий перепад давлений, МПа	0,154	0,156
в т.ч колошник – середина	0,044	0,072
середина шахты – фурмы	0,110	0,084
Содержание в колошниковом газе, %		
СО	21,60	22,40
СО ₂	20,78	21,19
Степень использования СО, %	49,03	48,65
Содержание в чугунае, %		
кремния	0,49	0,50
серы	0,017	0,019
марганца	0,42	0,39
фосфора	0,117	0,105
Содержание в шлаке, %		
магнезии	11,94	11,30
глинозема	16,47	16,25
Основность шлака по СаО/SiO ₂	0,98	1,01
Выход шлака, кг/т	342,8	337,6
Простои к номинальному времени, %	1,44	0

нении с базовым периодом, уменьшилось с 0,314 до 0,279 ед. (11,1 %).

В опытном периоде были рассчитаны критерии [4], характеризующие промывку горна доменной печи: изме-

нения фактического и расчетного выхода шлака, степени прямого восстановления, а также показателя DMI (дренажной способности горна). Изменение критериев промывки горна в исследуемых периодах приведено ниже:

Показатели	Период базовый/ опытный
Выход шлака, кг/т:	
фактический	342,8/337,5
расчетный	343,1/334,0
изменение (факт. – расчет.)	-0,3/3,5
Степень прямого восстановления, %:	23,04/26,05
изменение	-/+3,01
Показатель DMI, ед.:	219/231
изменение	-/+12

Из анализа представленных выше величин следует, что в период использования брикетов выход шлака из печи вырос на 3,5 кг/т чугуна. Увеличение степени прямого восстановления с 23,04 до 26,05 % указывает на большее развитие реакции прямого восстановления при взаимодействии коксового мусора с оксидом монооксида железа и наличие эффекта промывки. Повышение показателя DMI (чем выше, тем лучше) с 219 до 231 подтверждает данные о достаточно высоком промывочном эффекте использованных брикетов.

Поскольку в опытном периоде изменился ряд величин, оказывающих непосредственное влияние на производительность печи и расход кокса, показатели (по расходу природного газа, концентрации кислорода, содержанию железа и т.п.) работы в опытном периоде были приведены к условиям базового (см. таблицу).

Из анализа представленных значений следует, что в период использования промывочных брикетов фактическая производительность печи увеличилась на 367,5 т/сут (6,7 %) вследствие повышения содержания железа в шихте на 0,36 % и исключения простоев печи. По отдельным суткам периода производительность доменной печи изменялась от 5983,8 до 5548 т/сут, оставаясь выше среднесуточной производительности базового периода (5467,2 т/сут). Расчетная приведенная

производительность доменной печи выше производительности в базовом периоде на 194,4 т (3,5 %) и составила 5661,6 т/сут.

Отмечено улучшение газодинамического режима процесса плавки в опытном периоде за счет повышения общего перепада давления газа в печи с 0,154 до 0,156 МПа и снижения нижнего перепада его давления с 0,110 до 0,084 МПа.

Фактический удельный расход кокса в опытном периоде уменьшился с 446,8 до 444,4 кг (на 0,53 %). Расчетный приведенный к сопоставимым условиям расход кокса ниже уровня базового периода на 4,1 кг/т (0,69 %).

Выводы. Использование в шихте доменной печи полезным объемом 3000 м³ промывочных брикетов в количестве 30 – 60 кг/т чугуна способствовало достаточно эффективной промывке горна и сохранению ровного хода печи. Загрузка промывочных брикетов указанного количества способствовала некоторому увеличению (на 4,3 кг/т чугуна) выхода шлака, снижению коэффициента загромождения на 11,1 % и улучшению дренажной способности горна на 12 ед. Расчетная приведенная производительность доменной печи увеличилась на 3,5 % при снижении приведенного удельного расхода кокса на 0,69 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Murai R., Muraо A., Sato M., Aгiyama T. // CAMP-ISIJ. 2003. Vol. 16. № 31. P. 142.
2. Бугаев С.Ф., Никитин Л.Д., Портнов Л.В. и др. // Металлург. 2004. № 11. С. 34 – 36.
3. Долинский В.А., Бугаев С.Ф., Никитин Л.Д., Кощельников А.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 12. С. 9 – 14.
4. Курунов И.Ф., Щеглов Э.М., Емельянов В.Л., Титов В.Н. // Металлург. 2007. № 6. С. 36 – 39.

© 2013 г. В.А. Долинский, Л.Д. Никитин, А.М. Коверзин, Л.В. Портнов, С.Ф. Бугаев
Поступила 25 октября 2012 г.