

Прогнозирование теплового состояния горна доменной печи

В. И. Большаков, И. Г. Муравьева,
Ю. С. Семенов, С. Т. Шулико, Е. И. Шумельчик
Институт черной металлургии НАН Украины
(г. Днепропетровск, Украина)

Показано, что содержание кремния в чугуна на выпуске из доменной печи — один из основных параметров, с помощью которых можно оценивать изменение ее теплового состояния. Выполнен анализ известных способов контроля теплового состояния горна. Разработаны методика и способ прогнозирования содержания кремния в чугуна на выпусках, приходящихся на временной интервал 2 – 2,5 ч после окончания цикла загрузки шихтовыми материалами доменной печи, оснащенной радиолокационной системой измерения профиля поверхности засыпи шихты. В основу способа положены взаимосвязи скорости опускания шихты в осевой зоне с содержанием кремния в чугуна. Способ реализован в составе АСУ печи № 9 ОАО “Арселор-Миттал Кривой Рог”, и его опробование подтвердило достаточную сходимости прогноза с фактическими значениями содержания кремния на выпуске.

Тепловое состояние доменной печи — один из основных показателей плавки, определяющих расход топлива на выплавку чугуна, производительность и его химический состав. А изменение теплового состояния печи оценивают по содержанию кремния в чугуна на выпуске из нее. В связи с этим возможность прогнозирования содержания кремния в чугуна по ходу плавки представляет собой важный этап в регулировании теплового состояния печи.

Общепринятые способы контроля теплового состояния горна основаны на материально-тепловых балансах плавки и нижней зоны печи с учетом сдвига во времени между реакциями косвенного и прямого восстановления в одном объеме шихтовых материалов [1]. Балансовые уравнения для прогнозирования содержания кремния в чугуна включают те статьи теплового баланса, которые можно рассчитать по непрерывно контролируемым параметрам. Для этого необходимо непрерывно измерять большой комплекс параметров при высоких метрологических требованиях с последующим расчетным анализом. Однако такие способы контроля состояния печи описывают процесс при постоянстве количества и характеристик шихтовых материалов, параметров дутьевого режима, тепловых и физико-химических процессов в печи. Для доменной плавки характерна нестационарность режимов, поэтому использование известных способов возможно только при усреднении статей прихода и расхода за определенный промежуток времени, как правило составляющий несколько суток, причем этот промежуток

тем более длителен, чем более инерционен процесс. По каналу управления “рудная нагрузка — содержание Si в чугуна” инерционность процесса составляет 4 – 10 ч (по данным фирмы “Италсидер” даже 14 ч) [2].

К числу известных способов регулирования теплового состояния печи может быть отнесено прогнозирование содержания кремния в чугуна за 6 – 8 ч до его выпуска путем измерения глубины осевой воронки профиля поверхности шихтовых материалов на колошнике, определения средней величины этой глубины за каждый час текущего времени и ее отклонения от часа к часу за определенный период [3]. Способ применим только на печах, оборудованных конусными загрузочными устройствами, для которых характерна работа с профилем поверхности засыпи, имеющим после загрузки каждой порции ярко выраженную осевую воронку. В то же время на печах, оборудованных бесконусными загрузочными устройствами, для интенсификации осевого потока газа используют специальные программы загрузки с выгрузкой порций кокса в осевую зону. При использовании таких программ загрузки образуется профиль поверхности засыпи, имеющий часто либо горизонтальную форму, либо отрицательную осевую воронку (возвышение), что не позволяет установить взаимосвязи изменения величины осевой воронки с содержанием кремния в чугуна.

По мнению авторов работы [4], помимо расчета теплового баланса низа печи, возможны и другие подходы к решению задачи, например изыскание прямых показателей, отражающих разбаланс тепла в горне. В

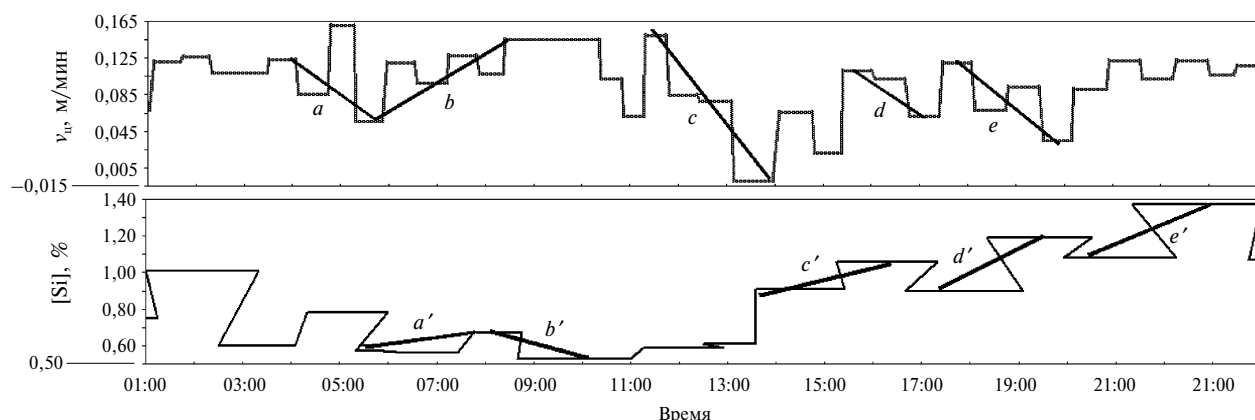


Рис. 1. Изменение скоростей опускания шихты в осевой зоне колошника и содержания кремния в чугуна для периода работы печи 30.05.08

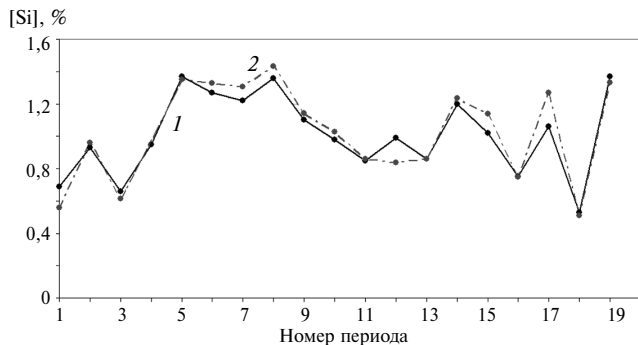


Рис. 2. Изменение прогнозного (1) и фактического (2) содержания кремния в чугуне

качестве такого показателя предложен теплосъем на фурмах, который зависит от количества тепла в газах в фурменной зоне, температуры в очаге горения и канале фурмы, а также от состояния гарнисажа, также связанного с тепловым состоянием горна. Способ контроля теплового состояния горна по теплосъему на фурмах с последующим прогнозом содержания кремния на последующий выпуск чугуна реализован в системе, работающей на печи № 8 ОАО “АрселорМиттал Кривой Рог”).

Установленная на печи № 9 комбината радиолокационная система измерения профиля поверхности засыпи позволяет рассчитывать скорости опускания поверхности шихты по сечению колошника, которые формируются под воздействием распределения шихты и газового потока, в свою очередь взаимосвязанного с тепловым состоянием горна. Статистический анализ данных экспериментальных исследований показал, что изменение содержания кремния в чугуне от выпуска к выпуску его из печи наиболее тесно взаимосвязано с изменением средней за цикл загрузки, состоящей из 10 порций шихтовых материалов, скорости опускания шихты в осевой зоне печи. Поэтому рассчитанные скорости опускания поверхности шихтовых материалов в осевой зоне могут быть использованы в качестве критерия, с помощью которого можно прогнозировать содержание кремния в чугуне.

Для установления взаимосвязи теплового состояния горна, оцениваемого по содержанию кремния в чугуне, и скорости опускания шихты по сечению колошника в течение 17 восьмичасовых периодов работы печи регистрировались эти параметры, динамика изменения которых для одного из периодов представлена на рис. 1.

На рис. 1 приведено изменение скоростей опускания шихтовых материалов в осевой зоне сечения колошника, которое характеризуется временными участками, соответствующими периоду выгрузки четырех циклов. Скорости опускания шихты имеют явно выраженные направленные изменения во времени в большую или меньшую сторону. Эти участки условно определены индексами $a - e$. Из анализа графика изменения содержания кремния в чугуне на выпусках следует, что через 2 – 3 ч после окончания выгрузки четвертого цикла происходит адекватное изменению

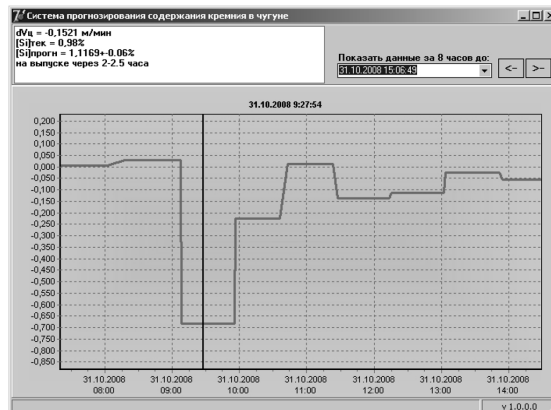


Рис. 3. Видеокадр прогнозирования содержания кремния в чугуне на выпуске по изменению скорости опускания шихты в осевой зоне сечения колошника для случая $\Delta v_{ц} < 0$

скорости изменение содержания кремния, причем увеличению (уменьшению) скорости от первого цикла к четвертому соответствует уменьшение (увеличение) кремния на выпуске через 2 – 3 ч. На графике изменения содержания кремния участки, соответствующие изменению скоростей, обозначены индексами $a' - e'$. Таким образом, в результате выполненных исследований установлено наличие тесной взаимосвязи изменения скоростей опускания шихтовых материалов в осевой зоне печи с содержанием кремния в чугуне при существующих параметрах загрузки, дутьевого и газодинамического режимов.

Для реализации способа контроля теплового состояния печи разработана методика определения изменения содержания кремния в чугуне на единицу скорости опускания шихты, принятую равной 0,001 м/мин, — $\Delta[Si]_v$. Методика включает следующую последовательность операций:

выбор периодов работы печи с постоянными или близкими параметрами дутьевого режима и режима загрузки длительностью 8 – 24 ч;

вычисление средних за цикл (10 порций) загрузки значений скорости опускания шихты в осевой зоне колошника ($v_{ц}$), м/мин;

определение разности величин скорости опускания шихты в осевой зоне печи между четвертым и первым циклами: $\Delta v_{ц} = v_{ц4} - v_{ц1}$, где $v_{ц1}$ и $v_{ц4}$ — средние скорости опускания шихты в осевой зоне печи в первом и четвертом циклах загрузки, м/мин;

определение среднего текущего значения доли кремния в чугуне на выпусках, приходящихся на n -й час измерения скорости опускания шихты в осевой зоне печи, — $[Si]^{тек}$, % (n — время окончания четвертого цикла загрузки шихты);

определение средней фактической доли кремния в чугуне на выпусках, приходящихся на интервал времени $n + (2 - 5)$ ч, — $[Si]^{факт}$, %;

определение изменения доли кремния в чугуне $\Delta[Si] = [Si]^{тек} - [Si]^{факт}$, %;

расчет доли кремния в чугуне на единицу скорости опускания шихты ($\Delta[Si]_v$), принятую равной 0,001 м/мин:

Прогнозные и фактические значения содержания кремния в чугуне					
Дата (2008 г.)	[Si] ^{тек} , %	[Si] ^{факт} , %	$\Delta[Si] = [Si]_{\text{факт}} - [Si]_{\text{тек}}$, %	[Si] ^{пр}	$\Delta = ([Si]_{\text{факт}} - [Si]_{\text{пр}}) \times 100 / [Si]_{\text{факт}}$, %
17.05.	1,11	1,27	-0,16	1,33	-4,72
18.05.	1,55	1,22	0,33	1,31	-7,38
	1,26	1,36	-0,10	1,43	-5,15
	1,36	1,10	0,26	1,14	-3,64
	0,90	0,98	-0,08	1,03	-5,10
	0,92	0,85	0,07	0,86	-1,18
22.05.	1,09	0,99	0,10	0,84	15,15
	0,99	0,86	0,13	0,86	0,00
23.05.	0,80	0,69	0,11	0,56	18,84
	0,80	0,93	-0,13	0,96	-3,23
	0,75	0,66	0,09	0,61	7,58
25.05.	1,05	1,20	-0,15	1,24	-3,33
27.05.	1,12	1,37	-0,25	1,35	1,46
29.05.	1,00	1,02	-0,02	1,14	-11,76
	0,92	0,75	0,17	0,75	0,00
30.05.	0,67	0,53	0,14	0,51	3,77
	1,14	1,37	-0,23	1,33	2,92

$$\Delta[Si]_{\text{вт}} = \Delta[Si] \cdot 0,001 / \Delta v_{\text{ц}}, \% \quad (1)$$

С использованием разработанной методики для исследуемых периодов работы печи определены значения изменения кремния на единицу изменения скорости опускания шихты — $\Delta[Si]_{\text{вт}}$:

Пределы изменения			
$\Delta v_{\text{ц}}$, м/мин	0 – 0,049	0,050 – 0,115	0,116 – 0,200
Изменение $\Delta[Si]_{\text{вт}}$, %	0,0051	0,0022	0,0009

Изменения в тепловом состоянии печи оценивали при режимах загрузки, обеспечивающих достаточно близкое распределение рудных нагрузок по радиусу колошника, при постоянных параметрах дутьевого режима.

Разработанный способ контроля теплового состояния горна основан на определении скоростей опускания поверхности шихтовых материалов в осевой зоне после выгрузки каждой порции шихты, средних значений этих скоростей в течение заданного временного интервала, разницы средних значений скоростей, измеренных в начале и в конце заданного интервала в конкретный период, и текущих значений содержания кремния в чугуне на выпуске продуктов плавки по окончании заданного временного интервала [5]. Расчет прогнозируемого содержания кремния в чугуне по окончании конкретного периода может быть выполнен с использованием выражения

$$[Si]_{\text{пр}} = [Si]_{\text{тек}} + \Delta v_{\text{ц}} \cdot \Delta[Si]_{\text{вт}} / 0,001, \% \quad (2)$$

где $[Si]_{\text{пр}}$, $[Si]_{\text{тек}}$ — прогнозные и текущее содержание кремния в чугуне на выпуске, %; $\Delta v_{\text{ц}}$ — разности величин скорости опускания шихты в осевой зоне печи между четвертым и первым циклами загрузки; $\Delta[Si]_{\text{вт}}$ — изменение содержания кремния в чугуне на единицу скорости опускания шихты, % · ч/м.

Целесообразность использования разработанного способа для прогноза содержания кремния подтверждена результатами выполненных в различные пери-

оды работы печи № 9 ОАО “АрселорМиттал Кривой Рог” исследований. На основе полученных значений изменения кремния ($\Delta[Si]_{\text{вт}}$) рассчитано прогнозные содержание кремния $[Si]_{\text{пр}}$ в соответствии с выражением (2) и определены отклонения $[Si]_{\text{пр}}$ от $[Si]_{\text{факт}}$ (таблица). Из графика (рис. 2) следует, что прогнозные содержание кремния может отличаться от фактического в среднем на $\pm 5\%$. Достаточная сходимость прогнозных и фактических значений позволяет использовать разработанный способ для оперативного контроля теплового состояния доменной печи.

На основе предлагаемого способа прогнозирования содержания кремния в чугуне разработана и внедрена в составе АСУ доменной печи № 9 подсистема прогноза. На видеокадре (рис. 3) приведен вариант прогноза содержания кремния в чугуне для случая, когда изменение скорости опускания шихты ($\Delta v_{\text{ц}}$) имеет отрицательное значение.

Заключение

Разработанный способ прогнозирования содержания кремния в чугуне на выпусках, приходящихся на временной интервал 2 – 2,5 ч после окончания цикла загрузки шихтовых материалов, в основу которого положены взаимосвязи скорости опускания шихты в осевой зоне с содержанием кремния в чугуне, позволяет оперативно контролировать тепловое состояние печи, оценивать и заблаговременно прогнозировать его отклонения. Разработана и внедрена в составе АСУ доменной печи № 9 ОАО “АрселорМиттал Кривой Рог” подсистема прогноза содержания кремния в чугуне с использованием информации системы измерения профиля поверхности засыпи. Опробование способа подтвердило достаточную сходимость прогноза с фактическими значениями содержания кремния на выпусках. Это создает предпосылки для стабилизации теплового резерва доменной печи и управления нагревом горна, что способствует уменьшению расхода кокса на выплавку чугуна.

Библиографический список

1. Гиммельфарб А. А., Ефименко Г. Г. Автоматическое управление доменным процессом. — М.: Металлургия, 1969. — 309 с.
2. Нестационарные процессы и повышение эффективности доменной плавки / Ю. Н. Овчинников, В. И. Мойкин, Н. А. Спирин, Б. А. Боковиков. — Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1989. — 120 с.
3. Освоение в промышленных условиях модернизированного образца радиоизотопного профиломера и отработка приемов контроля и регулирования технологического состояния плавки с его использованием: НИР/Институт черной металлургии НАН Украины: ГРВА01014026Р; Киев: УкрИНТЭИ, 1992.
4. Дик М. И., Товаровский И. Г., Гусев А. Ю. и др. Контроль теплового состояния горна доменной печи по теплосъему на фурмах // Металл и литье Украины. 1995. № 11/12. С. 26 – 27.
5. Патент UA № 82305. Способ прогнозирования содержания кремния в чугуне / Большаков В. И., Шулико С. Т., Муравьева И. Г. и др.; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.