

Оценка взаимосвязи содержания CO_2 и распределения рудных нагрузок на колошнике доменной печи

Выполнена оценка взаимосвязи распределения рудной нагрузки и содержания CO_2 по радиусу доменной печи. Обоснована возможность расчетного определения корректирующих изменений в программе загрузки при заданном изменении содержания CO_2 в определенной зоне колошника. Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: программа загрузки, доменная печь, рудная нагрузка, CO_2 , корректировка, аппроксимирующая функция

Interrelation between distribution of ore burden and CO_2 content along blast furnace radius is estimated. Determination of adjusting changes by means of calculations in the charging program under given change of CO_2 content in the definite zone of blast-furnace mouth is proved.

Keywords: charging program, blast furnace, ore burden, CO_2 , adjustment, approximation function

Корректировка программ загрузки при стабильном ходе доменной печи (ДП) и удовлетворительном уровне производства осуществляется, как правило, с целью повышения экономичности плавки за счет совершенствования показателей распределения газового потока и улучшения использования восстановительного потенциала шахтных газов [1, 2]. Основным показателем качества распределения газового потока по радиусу печи на ДП является содержание CO_2 в точках отбора газа. На основании этих данных и индивидуального опыта технолог осуществляет корректировку распределения шихтовых материалов по радиусу печи. Выбор требуемой программы загрузки в этом случае может сопровождаться опробованием недостаточно рациональных решений и приводить к ухудшению показателей работы ДП. Определение корректирующих изменений в программе загрузки для получения заданного распределения CO_2 по радиусу печи при помощи расчетного метода может существенно сократить количество апробируемых вариантов программ загрузки и упростить поиск рациональных решений.

Для решения этой задачи выполнена оценка взаимосвязи значений рудных нагрузок (R) и содержания CO_2 (η_{CO_2}) по радиусу ДП. В качестве исходных данных использовались параметры режима загрузки и данные отборов газа за 16 периодов с декабря 2006 по ноябрь 2007 г. Указанные периоды характеризуются работой ДП с неизменной программой загрузки, а также постоянством температурно-дутьевого режима ДП.

При оценке этой взаимосвязи сопоставлялись значения рудных нагрузок и содержания CO_2 в центрах десяти равных по площади кольцевых зон колошника. Значения рудных нагрузок определялись при помощи разработанной ИЧМ математической модели распределения шихтовых материалов на колошнике. Содержание CO_2 в точках, соответствующих центрам

кольцевых зон (10 точек), определялось методом интерполяции результатов отбора проб газа в восьми точках.

В целом коэффициент корреляции (r) величин R и η_{CO_2} , полученный при обработке всей выборки данных, за 16 периодов, составил 0,872 (рисунок).

При определении коэффициента корреляции по периодам работы с неизменной программой загрузки значения r находились в диапазоне 0,765–0,975 (в 75 % периодов коэффициент корреляции составлял более 0,9). Для оценки возможности аппроксимации зависимости содержания CO_2 от рудной нагрузки и использования этой зависимости для расчета корректирующих воздействий определен коэффициент достоверности аппроксимации (r_0) для различных видов аппроксимирующих функций (табл. 1).

Наиболее высокие значения коэффициента достоверности аппроксимации в большинстве периодов получены при аппроксимации зависимости степенной функцией вида $y = a \cdot x^b$ ($\eta_{\text{CO}_2} = a \cdot R^b$) – 0,83 ÷ 0,99. Максимальное среднее значение коэффициента достоверности аппроксимации (0,938) также получено при аппроксимации связи степенной функцией. Высокий коэффициент достоверности аппроксимации зависимости рудной нагрузки и содержания CO_2 свидетельствует о принципиальной возможности использования зависимости $\eta_{\text{CO}_2} = f(R)$ для расчетов корректирующего воздействия в виде изменения рудной нагрузки для получения требуемого распределения газа по радиусу ДП.

Вместе с тем, использование зависимости $\eta_{\text{CO}_2} = f(R)$, полученной за достаточно продолжительный интервал времени (более 10 мес.), для прогнозных расчетов корректирующих воздействий в виде изменения рудной нагрузки было бы некорректным, поскольку в течение этого периода существенно изменяются технологические параметры плавки, включая

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Таблица 1. Результаты определения взаимосвязи рудной нагрузки ($x = R$) с содержанием CO_2 ($y = \eta_{CO_2}$) - $\eta_{CO_2} = f(R)$ за период с 13.12.06 по 19.10.07 г.

| № периода | Вид зависимости | | | | |
|---|---------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| | Линейная | Степенная | Логарифмическая | Экспоненциальная | Полиномиальная второго порядка |
| | $y = a \cdot x + c$ | $y = a \cdot x^b$ | $y = a \cdot \ln(x) + c$ | $y = a \cdot e^{bx}$ | $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ |
| Коэффициент достоверности аппроксимации (r_a) | | | | | |
| 1 | 0,952 | 0,978* | 0,935 | 0,964 | 0,952 |
| 2 | 0,945 | 0,974 | 0,958 | 0,934 | 0,964 |
| 3 | 0,933 | 0,963 | 0,923 | 0,952 | 0,933 |
| 4 | 0,905 | 0,938 | 0,905 | 0,920 | 0,907 |
| 5 | 0,875 | 0,901 | 0,895 | 0,869 | 0,913 |
| 6 | 0,839 | 0,872 | 0,858 | 0,844 | 0,881 |
| 7 | 0,905 | 0,942 | 0,901 | 0,931 | 0,905 |
| 8 | 0,900 | 0,939 | 0,893 | 0,929 | 0,900 |
| 9 | 0,886 | 0,915 | 0,907 | 0,884 | 0,924 |
| 10 | 0,911 | 0,947 | 0,913 | 0,932 | 0,914 |
| 11 | 0,935 | 0,960 | 0,938 | 0,942 | 0,939 |
| 12 | 0,923 | 0,956 | 0,910 | 0,951 | 0,926 |
| 13 | 0,916 | 0,956 | 0,905 | 0,944 | 0,916 |
| 14 | 0,765 | 0,830 | 0,785 | 0,799 | 0,803 |
| 15 | 0,920 | 0,954 | 0,902 | 0,949 | 0,921 |
| 16 | 0,975 | 0,990 | 0,981 | 0,961 | 0,984 |
| Среднее значение | 0,905 | 0,938 | 0,907 | 0,919 | 0,918 |

* - максимальное значение в периоде

программу загрузки ДП и режим загрузки в целом. В этом случае величина требуемого изменения рудной нагрузки была бы получена с относительно грубым приближением.

Для разработки расчетного метода определения рудных нагрузок на колошнике и расчета требуемых корректирующих изменений в программе загрузки для получения заданного распределения CO_2 по радиусу печи целесообразно использовать данные отбора проб газа, непосредственно предшествующие дате корректировки программы загрузки. Возможность использования текущих результатов отбора проб газа для указанных расчетов подтверждается оценкой взаимосвязи величин η_{CO_2} и R по данным газового анализа за одни-двое суток. При определении коэффициента достоверности аппроксимации в том случае, если отбор газа осуществлялся в течение двух смежных суток (как правило, с использованием всех четырех газоотборных машин М1-М4), использовались усредненные показатели распределения CO_2 по всем четырем радиусам измерений. Если отбор проб газа осуществлялся с разрывом во времени, то для оценки использовались усредненные суточные параметры распределения газа по двум радиусам печи. Результаты оценки взаимосвязи величин рудной нагрузки и содержания CO_2 по радиусу печи, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о наличии достаточно тесной и устойчивой связи между исследуемыми параметрами и о возможности использования текущих показателей распределения состава газа по радиусу для расчетного определения корректирующих изменений рудной нагрузки.

Как следует из результатов, приведенных в табл. 2, в исследованных периодах при использовании в ка-

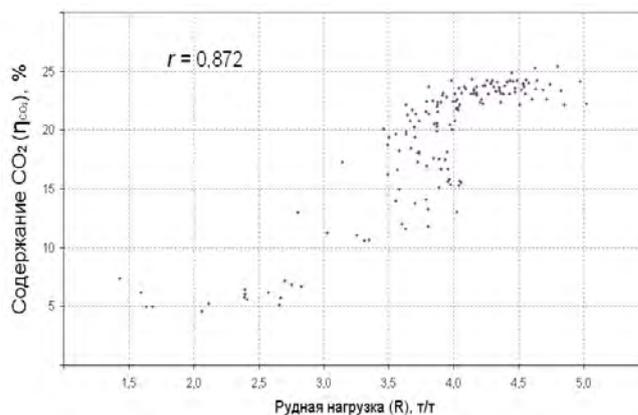


Рисунок. Зависимость содержания CO_2 (η_{CO_2}) от рудной нагрузки (R) в кольцевых зонах колошника доменной печи

честве аппроксимирующей функции степенной зависимости величин η_{CO_2} и R коэффициент достоверности аппроксимации величин более, чем в 85 % периодов был выше 0,9 (при этом ни в одном из периодов не опускался ниже 0,82), а в 39 % периодов составлял 0,95 и более.

Следует отметить, что непосредственное использование функции $\eta_{CO_2} = a \cdot R^b$ для расчета абсолютных значений содержания CO_2 по значениям рудной нагрузки допустимо только в узком диапазоне изменения исходных значений рудных нагрузок. В связи с этим при разработке расчетного метода определения корректирующих изменений в программе загрузки для получения требуемого распределения рудных нагрузок и распределения CO_2 по радиусу печи указанные зависимости целесообразно использовать для определения величины требуемого относительного изменения рудной нагрузки по заданному изменению содержания CO_2 в определенной зоне колошника.

Таблица 2. Значения коэффициента достоверности аппроксимации (r_a) взаимосвязи величин рудной нагрузки и содержания CO_2 по радиусу печи степенной функцией

| № п/п | Дата | Коэффициент достоверности аппроксимации (r_a) | № п/п | Дата | Коэффициент достоверности аппроксимации (r_a) |
|------------------|----------------|---|-------|----------------|---|
| 1 | 14-15.12.06 г. | 0,984 | 35 | 07-08.05.07 г. | 0,908 |
| 2 | 18-19.12.06 г. | 0,971 | 36 | 10.05.2007 г. | 0,905 |
| 3 | 26.12.2006 г. | 0,965 | 37 | 14-15.05.07 г. | 0,927 |
| 4 | 29.12.2006 г. | 0,957 | 38 | 16-17.05.07 г. | 0,910 |
| 5 | 04-05.01.07 г. | 0,977 | 38 | 18.05.2007 г. | 0,907 |
| 6 | 09.01.2007 г. | 0,967 | 40 | 21.05.2007 г. | 0,910 |
| 7 | 15-16.01.07 г. | 0,964 | 41 | 22-23.05.07 г. | 0,935 |
| 8 | 17-18.01.07 г. | 0,963 | 42 | 24-25.05.07 г. | 0,949 |
| 9 | 19.01.2007 г. | 0,923 | 43 | 28.05.2007 г. | 0,949 |
| 10 | 22-23.01.07 г. | 0,948 | 44 | 29.05.2007 г. | 0,958 |
| 11 | 24-25.01.07 г. | 0,929 | 45 | 31-01.06.07 г. | 0,958 |
| 12 | 29-30.01.07 г. | 0,930 | 46 | 04-05.06.07 г. | 0,962 |
| 13 | 05-06.03.07 г. | 0,888 | 47 | 06-07.06.07 г. | 0,952 |
| 14 | 07.03.2007 г. | 0,878 | 48 | 08-09.06.07 г. | 0,953 |
| 15 | 09.03.2007 г. | 0,905 | 49 | 13-14.06.07 г. | 0,965 |
| 16 | 12-13.03.07 г. | 0,887 | 50 | 15.06.2007 г. | 0,947 |
| 17 | 14-15.03.07 г. | 0,898 | 51 | 18-19.06.07 г. | 0,960 |
| 18 | 16.03.2007 г. | 0,930 | 52 | 20-21.06.07 г. | 0,943 |
| 19 | 19-20.03.07 г. | 0,882 | 53 | 22.06.2007 г. | 0,929 |
| 20 | 21-22.03.07 г. | 0,862 | 54 | 25-26.06.07 г. | 0,945 |
| 21 | 23.03.2007 г. | 0,865 | 55 | 27.06.2007 г. | 0,955 |
| 22 | 02-03.04.07 г. | 0,930 | 56 | 05-06.07.07 г. | 0,959 |
| 23 | 04-05.04.07 г. | 0,942 | 57 | 09-10.07.07 г. | 0,950 |
| 24 | 06.04.2007 г. | 0,931 | 58 | 10-11.09.07 г. | 0,818 |
| 25 | 09-10.04.07 г. | 0,937 | 59 | 12-13.09.07 г. | 0,818 |
| 26 | 11-12.04.07 г. | 0,925 | 60 | 13-14.09.07 г. | 0,829 |
| 27 | 13.04.2007 г. | 0,936 | 61 | 27-28.09.07 г. | 0,968 |
| 28 | 16-17.04.07 г. | 0,927 | 62 | 01-02.10.07 г. | 0,951 |
| 29 | 18-19.04.07 г. | 0,962 | 63 | 03-04.10.07 г. | 0,939 |
| 30 | 23.04.2007 г. | 0,938 | 64 | 15-16.10.07 г. | 0,992 |
| 31 | 25-26.04.07 г. | 0,937 | 65 | 16-17.10.07 г. | 0,986 |
| 32 | 28.04.2007 г. | 0,936 | 66 | 17-18.10.07 г. | 0,981 |
| 33 | 02-03.05.07 г. | 0,917 | 67 | 18-19.10.07 г. | 0,982 |
| 34 | 04.05.2007 г. | 0,917 | | | |
| Среднее значение | | | 0,933 | | |

Требуемое изменение рудной нагрузки в i -й зоне колошника может быть определено по формуле

$$\Delta R_i = \left(\frac{\eta_{\text{CO}_2 \text{ zi}}}{a} \right)^{\frac{1}{b}} - \left(\frac{\eta_{\text{CO}_2 \text{ fi}}}{a} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{CO}_2 \text{ zi}}$ - заданное значение содержания CO_2 в i -й кольцевой зоне колошника, %; $\eta_{\text{CO}_2 \text{ fi}}$ - фактическое (исходное) значение содержания CO_2 в i -й кольцевой зоне колошника, %; a и b - численные коэффициенты аппроксимирующей зависимости.

Оценка возможного диапазона изменения значений величины ΔR_i в отдельных зонах колошника при заданном изменении содержания CO_2 на ± 2 % показала, что требуемое расчетное изменение рудной нагрузки в конкретной зоне может составить $\pm 0,1 \div \pm 0,5$ в зависимости от исходных программы загрузки и

распределения содержания CO_2 , а также избранной для корректировки зоны и направления изменения содержания CO_2 .

При неизменном количестве кокса в этой зоне, для изменения рудной нагрузки на $\pm 0,1 \div \pm 0,5$ необходимо скорректировать массу железорудных материалов, загружаемых в эту зону за цикл загрузки, в пределах $\pm 0,2 \div \pm 1,6$ %.

При этом абсолютная величина расчетного корректирующего воздействия ΔR_i монотонно убывает по направлению от оси к периферии колошника. Конкретное значение корректирующего воздействия определяется текущей взаимосвязью исходной программы загрузки и распределения содержания CO_2 по радиусу печи, а также расположением избранной для корректировки зоны колошника.

Результаты выполненной оценки взаимосвязи

значений рудных нагрузок и содержания CO_2 по радиусу ДП подтверждают наличие устойчивой зависимости этих параметров, позволяют осуществить обоснованный выбор аппроксимирующей функции, обеспечивающей максимальный коэффициент достоверности аппроксимации, и могут использоваться в качестве расчетного метода при разработке алгоритма расчета требуемых корректирующих изменений в программе загрузки для получения заданного распределения CO_2 по радиусу печи.

Выводы

Выполненная оценка взаимосвязи значений рудной нагрузки и содержания CO_2 в кольцевых зонах колошника по результатам обработки выборки данных за длительный период показала, что зависимость этих параметров характеризуется высоким коэффициентом корреляции 0,905. Устойчивость связи подтверждается результатами оценки аппроксимации зависимости содержания CO_2 от рудной нагрузки сте-

пенной функцией - значения коэффициента достоверности аппроксимации (r_p) по периодам работы доменной печи с неизменной программой загрузки находились в диапазоне 0,83-0,99. Высокий коэффициент достоверности аппроксимации зависимости рудной нагрузки и содержания CO_2 свидетельствует о принципиальной возможности использования зависимости $\eta_{\text{CO}_2} = f(R)$ для разработки алгоритмов расчета корректирующих воздействий в виде изменения рудной нагрузки для получения требуемого распределения газа по радиусу доменной печи.

Библиографический список

1. Большаков В.И. Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
2. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К.: Наукова думка, 2007. – 411 с.

Поступила 13.05.09

УДК 338:669.162

Шеремет В.А. /к.т.н./, Кекух А.В. /к.т.н./, Колесник А.А., Костенко Г.П., Оторвин П.И. /к.т.н./, Лялюк В.П. /д.т.н./, Нынь С.В.

ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Производство

Опыт эксплуатации и реконструкции доменной печи объемом 2700 м³

Обобщен опыт эксплуатации доменной печи объемом 2700 м³ со дня задувки. Выполнен анализ причин, вызвавших необходимость проведения капитальных ремонтов и всех конструктивных изменений во время их проведения. Табл. 1.

Ключевые слова: доменная печь, реконструкция, капремонт, производительность, кокс

Experience of blast furnace operation with 2700 m³ holding capacity starting from its blowing-in date is generalized. The reasons for major overhauls and all engineering changes required are analyzed.

Keywords: blast furnace, reconstruction, major overhaul, productivity, coke

Доменная печь № 8 (ДП) полезным объемом 2700 м³ построена по типовому проекту Укрگیпромеза и введена в эксплуатацию 27 октября 1967 г. с проектной мощностью 1900 тыс. т чугуна в год. Печь имела 20 воздушных фурм, два обособленных литейных двора, каждый из которых был оборудован одной чугунной и одной шлаковой летками. Охлаждение шахты, заплечиков, фурменной зоны, горна (за исключением района чугунных леток) и лещади осуществлялось плитовыми холодильниками на пароиспарительном охлаждении. Плитовые холодильники горна в районе чугунных леток имели водяное охлаждение.

За время эксплуатации проведены следующие капитальные ремонты.

1971 г. (май) - капитальный ремонт I разряда. Продолжительность кампании – 3,5 г. Основной причиной остановки на ремонт явилось разрушение огнеупорной кладки горна и лещади, что привело к

двум прорывам горна – в марте 1970 и апреле 1971 г. Во время ремонта полностью заменена огнеупорная футеровка и система охлаждения горна и лещади. В сентябре 1971 г. снова произошел прорыв горна.

1973 г. (март-апрель) – капитальный ремонт I разряда. Продолжительность кампании – 2 г. Во время ремонта были выполнены следующие основные конструктивные изменения: увеличили количество воздушных фурм до 24; выполнили реконструкцию горна с установкой 3 чугунных леток и 1 шлаковой, с увеличением толщины огнеупорной футеровки на уровне оси чугунных леток с 990 до 1235 мм; система охлаждения лещади, горна и фурменной зоны переведена на водяное охлаждение. В октябре 1978 г. в результате износа футеровки углеродистых блоков горна прогорел горновой холодильник № 10.

1981 г. (август-сентябрь) – капитальный ремонт I разряда. Продолжительность кампании – 8,3 г. Во