

Г.А. Полевой, А.И. Жилка

НОВЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ И ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Приведены описания новых методов и установок, предназначенных для управления процессом сжигания газообразных топлив и оперативного контроля теплотворной способности кокса.

В отделе технологического оборудования и систем управления ИЧМ в рамках одного из его основных направлений в течение ряда лет выполнялись работы, связанные с разработкой новых методов и средств контроля качества горения газообразных и твердых топлив. Объемы потребления энергии в черной металлургии в общем балансе потребления страны общеизвестны. Проблема снижения энергетических затрат в этой отрасли всегда стояла очень остро. Поэтому оптимизация процесса сжигания топлива в металлургических печах на основе создания новых методов и средств контроля качества горения является актуальной научно-технической задачей.

В пламенных печах, где используется топливо с переменной теплотой сгорания со значительными колебаниями температуры и расхода топлива и воздуха обеспечить качественное сжигание топлива даже теоретически невозможно. Например, в отделении нагревательных колодцев обжимного цеха меткомбината «Запорожсталь» для нагрева слитков используется топливо, состоящее из смеси доменного, коксового и природного газов. При этом калорийность доменного газа колеблется в пределах 600–900 ккал/м³, а расход – в пределах 20000–100000 м³/час, коксового – в пределах 4300–4400 ккал/м³, с расходом 0–5000 м³/час. В таких условиях оптимизировать сжигание топлива при помощи систем, оснащенных средствами контроля расхода топлива и воздуха, подаваемых в печь, и регулировании их соотношения практически невозможно – из-за незнания, какую калорийность имеет в любой конкретный момент основной компонент смеси – доменный газ и каков его истинный расход. Отсутствие этих основных параметров не позволяет определить величину расхода воздуха, необходимого для полного сжигания смеси с оптимальным коэффициентом его избытка ($\alpha \approx 1$).

Не решает, разумеется, этой проблемы периодическое (через каждые 2 часа) определение калорийности доменного газа путем газового анализа проб, производимого теплотехнической лабораторией, т.к. он производится с большим запаздыванием и не отражает фактического состояния дел в каждый момент времени. Положение еще более усугубляется низкой точностью измерительных средств, погрешности которых резко возрастают при измерении расходов, ниже 30% от

номинальных, что приводит к неуправляемому процессу горения при низкой производительности печей. Поэтому нагрев слитков ведется «вслепую» с большим перерасходом топлива и является одним из самых узких мест на комбинате.

Выход из создавшегося положения, очевидно, представляется в нахождении таких механизмов горения, которые позволили бы свести негативные проявления, связанные с применением топлив с переменной теплотой сгорания и неточностью измерительных средств, к минимуму. В отделе был разработан метод управления сжиганием газовых смесей с использованием явлений ионизации пламени. Сущность метода заключается в том, что в исследуемую точку факела микрогорелки, к которой подведена рабочая смесь газов, вводят токопроводящий зонд, с помощью которого определяется степень ионизации пламени. Исследование зависимости степени ионизации пламени от калорийности топлив показали, что ионизация линейно зависит от теплотворной способности топлива. На базе выполненных исследований была создана и отработана в промышленных условиях установка контроля теплотворной способности газовых смесей, используемых для нагрева металла в обжимном цехе меткомбината «Запорожсталь», состоящая из блока подготовки и сжигания газовой смеси с микрогорелкой, в пламя которой помещен токосъемник, и электронного блока, осуществляющего контроль концентрации заряженных частиц в пламени и преобразование сигнала в форму, удобную для регистрации и записи результатов на диаграммную ленту, и дальнейшего использования в системе управления нагревом металла.

Дальнейшим развитием данного метода стала новая технология нагрева металла. Исследования зависимости степени ионизации пламени от соотношения топливо–воздух показали, что максимальный выходной сигнал устройства контроля степени ионизации пламени соответствует оптимальному коэффициенту расхода воздуха ($\alpha \approx 1$), обеспечивающему полное сжигание топлива. Это положение легло в основу разработанного метода, состоящего в непрерывном поиске максимума выходного сигнала и установлении расхода воздуха, соответствующего этому максимуму. На практике это может быть реализовано при помощи микрогорелки, которую подключают к подводящим линиям подачи газа и воздуха параллельно рабочей горелке.

Экстремальный регулятор, на вход которого подается управляющий сигнал с двухэлектродного зонда, помещенного в пламя микрогорелки, непрерывно определяет направление изменения экстремума, осуществляя путем изменения расхода воздуха, подаваемого в печь, постоянный поиск максимума. Экстремальное регулирование по разработанному методу позволяет с высокой степенью точности оптимизировать процесс горения

топлива во всем диапазоне мощности печи, в том числе и в нерабочей для серийных расходомеров газа и воздуха зоне.

В последние несколько лет заметно ухудшилась стабильность работы доменных печей, вызванная, в частности, ухудшением качества сырьевых материалов и, особенно, кокса. В связи с ухудшением угольной базы коксования, сбоями в поставке углей и др. причинами резко повысились периоды коксования, что вызвало изменение физико–механических и физико–химических свойств кокса, возросла его зольность. Вследствие этого технологические приемы исследования свойств кокса, базирующихся традиционно в основном на данных технологического анализа – прочностных свойств, оказались недостаточными. Для прогнозирования расхода кокса в шихте потребовалось знание его теплотворной способности. Известные способы ее определения являются громоздкими и сложными, требуют большого времени для анализа и могут быть реализованы только в лабораторных условиях. Отсюда возникла необходимость создания простого способа установления теплоты сгорания кокса, позволяющего оперативно ее определять в заводских условиях.

В коксе содержится небольшое (0,9–1,0%) количество летучих (не влияющих на характер взаимодействия твердого углерода с окислителем), поэтому, как показали выполненные исследования, сжигание кокса определенной крупности при застabilизированных условиях (расход воздуха, температура пробы) дает пламя, отражающее активность взаимодействия углерода кокса с кислородом.

В отделе разработан способ и установка для контроля теплотворной способности кокса. В процессе выполнения исследований доказана возможность определения теплоты сгорания твердых топлив на основе использования явления ионизации пламени при их сжигании. Была установлена функциональная связь между теплотой сгорания кокса и площадью, образуемой кривой ее горения.

Конструктивно установка состоит из четырех основных частей:

- реакционного блока с горелочным устройством, в пламя которого помещены электроды измерительного зонда специальной формы;
- блока первичной обработки входного сигнала, осуществляющего контроль концентрации заряженных частиц в пламени;
- устройства связи машины с объектом (УСО) с преобразователем аналогового сигнала в цифровой код и формирователем выходных сигналов в стандарт последовательного порта RS232C персональной ЭВМ;
- компьютерного блока, предназначенного для обработки поступающих на его вход сигналов, построения кривых горения проб и определения их калорийности.

Установка содержит электрическую трубчатую печь, состоящую из двух частей: верхней длиной 50мм и нижней длиной 200мм с внутренней керамической трубкой и наружным керамическим кожухом, между которыми навита нихромовая спираль, подключенная к терморегулятору (автотрансформатору). Печь нижним концом насажена на металлическое основание с каналом для дутья, который через шланг соединен с ротаметром и через него с компрессором. Свободное пространство печи заполнено керамической крошкой, удерживаемой снизу металлической решеткой. В нижнюю часть печи устанавливают металлический ковш с коксовой пробой. Ковш сверху и снизу ограничен металлическими сетками. Съемная сетка служит дном ковша, а верхняя сетка предохраняет пробу от выноса частиц кокса и создания в ковше кипящего слоя. Для контроля температуры нагрева печи внутрь нижней части печи помещена термопара с милливольтметром. Электрический сигнал снимают при помощи двух электродов: нижнего, соединенного электрически с ковшом и верхнего, выполненного в виде металлического диска. Верхний электрод установлен на стойке с возможностью его перемещения по вертикали и вокруг оси стойки.

Сигнал с электродов поступает на блок первичной обработки входного сигнала, откуда через устройство связи с объектом поступает на ПЭВМ. Необходимое для горения кокса количество воздуха подается в канал для дутья. Требуемый расход воздуха (100 л/час) контролируется с помощью ротаметра с регулятором расхода. Пробу кокса с крупностью зерен $2\pm 0,1$ мм и массой $0,5\pm 0,01$ г засыпают в испытательный стакан с воздухопроницаемым дном, который затем устанавливают в печь, предварительно соединив его с электродом. Включают печь на прогрев. Когда температура внутри печи достигнет 700°C печь отключают. Одновременно с этим включают компрессор и устанавливают с помощью ротаметра расход воздуха 100 л/час.

Подогретый до температуры 700°C воздух начинает проходить через слой кокса в ковше. Кокс вспыхивает и начинает гореть, причем, зона горения охватывает всю площадь насадки. В этот момент, в результате ионизации пламени в цепи с электродами начинает протекать ток проводимости, создающий на нагрузочном сопротивлении падение напряжения. Этот сигнал из реакционного блока в момент включения компрессора и подачи дутья поступает в блок первичной обработки входного сигнала (БПО) и далее на устройство связи с объектом (УСО), где преобразуется в цифровую форму, и далее в ПЭВМ. По сигналу отключения компрессора происходит построение изображения кривой горения кокса на экране монитора с одновременной записью результатов суммирования частных значений x_i (площадь горения данной пробы S_i).

В результате проведенных экспериментов было установлено, что выходной сигнал (кривая изменения тока проводимости и образуемая ею

«площадь горения») зависит не только от калорийности кокса, но и от ряда факторов: массы пробы, крупности фракций кокса, температуры нагрева печи, времени прогрева пробы и расхода дутья. Зависимость выходного сигнала от неравномерности засыпки выражена слабо и поэтому не требует специального контроля.

Что касается первых пяти факторов, то для исключения их влияния на калорийность топлива, их нужно стабильно выдерживать в рамках найденных оптимальных значений при измерении калорийности на экспериментальной установке:

- температура нагрева печи – $700 \pm 10^0 \text{C}$;
- время прогрева пробы – $2 \pm 0,1$ мин;
- крупность фракций кокса – $2 \pm 0,1$ мм;
- масса пробы – $0,5 \pm 0,01$ г;
- расход дутья – 100 ± 1 л/час.

Установка позволяет контролировать все протекающие процессы и параметры в процессе измерения калорийности на мониторе персонального компьютера, в том числе фиксировать кривые горения кокса, определять площадь горения, рассчитывать по площади горения калорийность каждой пробы, отбрасывать неподобающие замеры, суммировать и усреднять результаты замеров и выдавать на экран монитора итоговый результат.

Внедрение предложенных методов на предприятиях черной металлургии позволит:

1. В прокатном производстве:

- непрерывно получать информацию о теплотворной способности газообразных топлив в каждый конкретный момент времени – для подготовки газовых смесей необходимой калорийности;
- находить и поддерживать оптимальное соотношение газ–воздух, обеспечивающее полное сжигание топлива в пламенных печах, что позволит снизить расход газообразного топлива на 5–10%.

2. В доменном производстве:

- оперативно определять в заводских условиях калорийность кокса и оптимизировать на этой основе расход его в шихте, что позволит снизить расход кокса при выплавке чугуна на 1–2%.

Статья рекомендована к печати к.т.н. Н.М.Можаренко