

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ СИГНАЛА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ФУТЕРОВКЕ ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Аннотация

Для диагностики состояния футеровки горна доменной печи в течение ее кампании широко применяются методы, основанные на анализе температурных характеристик кладки. Измерение температурных характеристик производится при помощи нескольких сотен термопар, размещенных внутри огнеупоров. Для построения модели износа кладки необходимо отделять достоверные показания термопар от недостоверных (полученных от неисправных датчиков). В докладе рассмотрены различные негативные воздействия на датчики, отражающиеся на снимаемых показаниях температуры.

Ключевые слова: доменная печь, диагностика, термопары, дефекты, логические контроллеры, температура.

Abstract

To diagnose the lining condition of blast furnace hearth during her campaign widely used methods based on the analysis of the lining thermal characteristics. Measurement of the temperature characteristics is carried out using several hundred thermocouples located inside the refractories. To build a model lining wear it is necessary to separate the credible indications of thermocouples from unreliable (obtained from faulty sensors). In the paper the different negative effects on the sensors, affecting on the temperature indicators are considered.

Keywords: blast furnace, diagnostics, thermocouples, defects, logic controllers, temperature.

В мире на сегодняшний день железорудное сырье перерабатывается преимущественно по схеме «доменная печь – конвертер»: в 2013 году таким образом произведено 1,165 млрд. тонн чугуна и 1,607 млрд. тонн стали [1, 2]. В это же время в 2012 году способами прямого получения по схеме DRI («металлизация – электроплавка») произведено 54,973 миллиона тонн стали (в том числе по технологиям Midrex – 60 %, HYL – 17 % и SL/RN – 22 %) [3]. Таким образом, на доменное производство приходится более 95 % производимой стали. При этом наибольшее число доменных печей находится в Китае (более 300 печей объемом свыше 1000 м³), второе место принадлежит Японии, а третье – России.

Предприятия, производящие сталь, находятся в условиях жесткой конкуренции. В этой связи важную роль играет снижение себестоимости производства металла. При ее производстве доменно-конверторным способом ощутимый вклад в формирование себестоимости пе-

редельного чугуна вносят капитальные затраты на строительство самой доменной печи. Таким образом, ее длительная эксплуатация позволяет снизить себестоимость продукции, тем самым увеличить прибыль и повысить конкурентоспособность металлургического предприятия. Срок службы доменной печи в большинстве случаев определяется сроком службы кладки металлоприемника.

Для диагностики состояния кладки горна используются различные методы: акустические исследования, отбор кернов, введение радиоактивных изотопов и анализ температурных характеристик. Последние методы контроля являются наиболее перспективными: основным их достоинством является возможность организации мониторинга кладки в реальном времени, без использования дорогостоящего и сложного оборудования и без нарушения прочности самой кладки. Кроме того, ввиду непрерывности процесса диагностики, температурные способы хорошо подходят для информационного обеспечения процесса наращивания и поддержания защитного гарнисажа.

В основе систем диагностики кладки, основанных на измерении температурных характеристик печи, лежит решение дифференциального уравнения теплопроводности Фурье [4]:

$$c\rho \frac{\delta t}{\delta \tau} = \frac{\delta}{\delta x} \left(\lambda \frac{\delta t}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\lambda \frac{\delta t}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(\lambda \frac{\delta t}{\delta z} \right) + q \quad (1)$$

Здесь: x, y, z – пространственные координаты; τ – время; t – температура; c – теплоемкость вещества; ρ – плотность вещества; λ – теплопроводность вещества и q – теплота, выделяющаяся внутри тела (для кладки горна всегда $q = 0$). Остаточная толщина огнеупорной стенки и размеры гарнисажа могут быть определены в ходе численного решения дифференциального уравнения.

Современная система диагностики состояния футеровки горна доменной печи на основе температурных характеристик кладки содержит следующие основные элементы: температурные датчики (в кладке или в трубах системы охлаждения), программируемые логические контроллеры (ПЛК), OPC сервер, сервер СУБД, коммутаторы локальной сети предприятия (цеха) и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Взаимодействие элементов изображено на рис. 1.

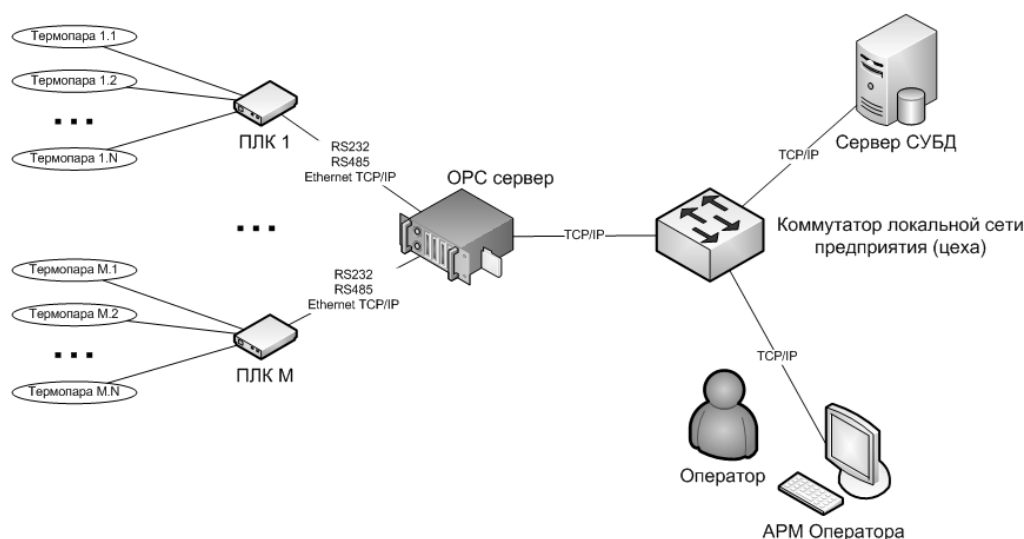


Рис. 1. Основные элементы системы диагностики

Чаще всего роль температурных датчиков для размещения в кладке печи выполняют термопары [5–9]. Применение термопар для установки в кладку обусловлено широким рабочим диапазоном (от -270 до $+2500$ °C), удовлетворительной точностью измерений, низкой ценой, взаимозаменяемостью и высокой надежностью [10].

Для размещения в кладке печи используют сдвоенные термопреобразователи типа К (хромель-алюмелевая, ТХА) и N (нихросил-нисиловая, ТНН) [7]. Изготовленные по ГОСТ 8.585-2001 термопары данного типа первого класса точности должны иметь погрешность не более $1,5$ °C в диапазоне температур от -40 до $+374$ °C и не более $0,4$ % в диапазоне температур от 375 до 1300 °C [11]. Количество термодатчиков, устанавливаемых в кладку печи, измеряется сотнями единиц и зависит от объема печи и ее конструктивных особенностей. Данные, получаемые от термопар, не всегда являются достоверными и могут содержать ошибки.

На основе анализа информации о работе термопар в 4 доменных печах КНР (Jinan 3200 m^3 и 1750 m^3 , Jiuyan 1080 m^3 , Liuzhou 2500 m^3) были классифицированы следующие причины неправильных показаний.

Ошибка размещения датчика в кладке может быть допущена при капитальном ремонте из-за отклонений от требований проектной документации. Выявить такой дефект весьма затруднительно: показания датчика не будут выходить за пределы допустимых значений, характер изменения температуры также будет соответствовать основным температурным трендам печи. Однако опираться на показания такого датчика при построении модели разгара нельзя, так как он будет вносить искажения в температурное поле за счет смещения расчетных точек относительно фактических. Обнаружить такой датчик можно путем сравнения показаний внутри групп близко расположенных датчиков. Устранить данную неисправность в течение кампании печи, между ремонтами кладки, невозможно. Если есть возможность определить, насколько именно смещен датчик, следует внести изменения в математическую модель оценки состояния кладки с учетом фактического расположения датчика. Если определить фактическое положение датчика не представляется возможным – его следует исключить из модели расчета состояния кладки. Как правило, такие дефекты можно обнаружить в момент задувки печи после капитального ремонта 1 разряда при анализе температурной динамики.

Ошибка коммутации термопарных кабелей может быть допущена как в результате первичной сборки системы мониторинга, так и в процессе текущего или аварийного ремонта металлургического агрегата (между капитальными ремонтами). Точно так же, как и ошибочное размещение датчика, распознать ошибку коммутации на основе анализа показаний единичной термопары затруднительно. Однако в отличие от предыдущего случая ошибка коммутации может быть устранена в течение кампании печи. Для обнаружения ошибки коммутации необходимо анализировать температурные тренды датчиков до и после изменения коммутации.

Повреждение термопары может быть вызвано термомеханическими напряжениями в кладке печи или контактами с продуктами плавки. В этом случае генерирование термоЭДС в датчике прекращается. ПЛК при этом возвращает значения, находящиеся за пределами диапазона измеряемых температур. Если произошло повреждение термопары, в большинстве случаев ее восстановление до капитального ремонта печи невозможно. В модели анализа состояния кладки такие датчики можно учитывать в качестве зонда, указывающего на место разрушения кладки. В некоторых случаях это может позволить повысить достоверность мо-

дели, особенно если таких датчиков несколько – их взаимное расположение может стать ценным источником информации.

Деградация термопары – это слабо изученное явление, которое проявляется в уменьшении генерируемой термоЭДС в течение срока службы термопары. Деградация проявляется через 15–20 лет эксплуатации. Фактически деградация термопар будет проявляться в виде систематической погрешности, снижающей показания термопар, относительно реальной температуры. Такая погрешность может быть легко компенсирована при сборе информации на любом этапе работы печи при наличии соответствующей математической модели.

Повреждения термопарных кабелей весьма вероятны, так как внутри доменного цеха действуют различные агрессивные среды. Кабели могут подвергнуться электромагнитному, химическому, механическому и температурному воздействию. В результате повреждения кабелей возможно как полное прекращение сигнала, так и ухудшение соотношения сигнал/шум. Со стороны ПЛК это будет проявляться либо в выходе температурных показаний за допустимые пределы измерений термопар, либо в появлении в сигнале датчиков шума, выходящего за пределы погрешности измерений, определенные для используемого типа термопар. Шум будет проявляться в быстрых хаотических изменениях температуры, которые не могут соответствовать реальному инертному термодинамическому процессу в огнеупорах. При обнаружении подобного дефекта восстановление кабеля должно быть произведено как можно быстрее, чтобы не допустить длительного перерыва в тренде анализируемого датчика. Если повреждение термопарного кабеля произошло внутри кладки печи и его устранение невозможно, то такой датчик должен быть исключен из модели оценки состояния футеровки.

Случайная погрешность измерений обусловлена особенностями использования термоэлектрических преобразователей и аналого-цифровых преобразователей внутри ПЛК. Эта погрешность находится в пределах диапазона, определяемого для каждого типа термопар по ГОСТ Р 8.585-2001 [11].

В силу рассмотренных выше факторов температурные датчики можно разделить на достоверные и недостоверные. Недостоверные датчики должны быть исключены из модели оценки состояния футеровки полностью, или до момента устранения неисправности. Обнаружение недостоверных датчиков можно производить двумя способами: автоматически, на основе специальных критериев; при помощи экспертной оценки оператором информационной системы.

В качестве критерия достоверности значений датчиков при автоматическом отборе можно использовать: ограничение диапазона значений от 20 до 1150 °С; ограничение на скорость изменения температуры до 10 °С; исключение показаний датчиков с температурой, которая не колеблется в пределах погрешности измерения термопар в течение длительного времени (от нескольких часов до нескольких дней).

Попадающие под данные ограничения термопары однозначно не могут использоваться в модели оценки состояния футеровки горна доменной печи. При экспертной оценке показаний температурного датчика оператор должен уделять внимание следующим факторам:

- наличие «перелома» в тренде сигнала датчика после проведения регламентных, аварийных и прочих видов работ, в ходе которых могла быть затронута коммутация датчиков;
- согласованности динамики температуры датчика с показаниями ближайших датчиков;

- соответствии температурных колебаний датчика фактическому времени циклов «накопление-выпуск»;
- наличие в сигнале датчика участков, которые отмечены как недостоверные в автоматическом режиме.

Список использованных источников

1. Новости рынка металлов [Электронный ресурс] // <http://www.metaltorg.ru/n/99F442> (дата обращения: 01.02.2014).
2. Новости рынка металлов [Электронный ресурс] <http://www.metaltorg.ru/n/99F32F> (дата обращения: 01.02.2014).
3. Новости рынка металлов [Электронный ресурс] <http://www.metaltorg.ru/analytics/ores/?id=573> (дата обращения: 01.02.2014).
4. Телегин А. С., Швыдкий А. С., Ярошенко Ю. Г. Тепломассоперенос. – М.: Металлургия, 1995. – 400 с.
5. Новые информационные технологии контроля работы горна доменных печей / Ю. В. Серов, В. Г. Макиенко, В. Н. Бражко, А. Е. Кошелев, В. И. Лебедев, Н. С. Поляков, С. Р. Зельцер, Б. Ф. Чернобривец, Л. В. Быков // Сталь. 1997. № 10. С. 4–9.
6. Кравцова О. А. Алгоритмизация систем диагностики состояния элементов конструкций металлургических агрегатов: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Томск: ТГУ, 2009.
7. Автоматическая система диагностики состояния футеровки металлоприемника, лещади и продления кампании доменной печи / В. Г. Макиенко, Р. С. Думбур, В. П. Русских, М. Я. Васькевич, Н. В. Косолап. // Доменное производство – XXI век: труды Международного конгресса доменщиков. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2010. С. 491–497.
8. Hong-bo Zhao, Shu-sen Cheng. Optimization for the structure of BF hearth bottom and arrangement of thermal couples // Journal of University of Science and Technology Beijing Volume 13, Number 6, 12/2006. Pages 497–503.
9. Золотых. Система контроля разгара огнеупорной футеровки горна доменной печи / А. Н. Дмитриев, Ю. А. Чесноков, К. Чэнь, О. Ю. Иванов, М. О. / Сталь. 2013. № 11. С. 8–14.
10. Денисенко В. В. Термопары: принципы применения, разновидности, погрешности измерений // Современные технологии автоматизации. 2012. № 3. С. 96–98.
11. ГОСТ Р 8.585–2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования.