

для обучения персонала предприятий металлургического комплекса с целью повышения их квалификации и уровня профессиональной подготовки, а также для обучения студентов высших учебных заведений. Тренажер может быть усовершенствован посредством улучшения блока модели печи и применения других алгоритмов настройки регулятора, указанных в [9].

Список использованных источников

1. Лисиенко В.Г., Волков В.В., Гончаров А.Л. Математическое моделирование теплообмена в печах и агрегатах. – Киев: Наук. думка, 1984. – 232 с.
2. Особенности применения тренажеров и компьютерного моделирования на предприятиях нефтегазохимического комплекса / К.А. Карпов. – СПб.: СПбГЭУ, 2013. – 75 с.
3. Устройство адаптации регулятора температуры электрической печи сопротивления: пат. 121606, Российская Федерация: МПК G05D23/00 / Воронцов Е.Ю., Лисиенко В.Г., Пономарев Н.Н.; заявитель и патентообладатель Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – № 2012120757/08; заявл.18.05.2012; опубл. 27.10.2012.
4. Дьяконов В., Круглов В. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.
5. Дьяконов В. П. Simulink: самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 784 с.
6. Чесноков Ю.Н., Гусев О.А. Проектирование систем регулирования на ПК / Под ред. В.В. Муханова. – Екатеринбург: УГТУ, 1999. – 108 с.
7. Самохоцкий А.И., Парфеновская Н.Г. Технология термической обработки металлов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1976.
8. Теплотехника металлургического производства. В 2 т. Т.2. Конструкция и работа печей / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков [и др.]. – М.: МИСИС. 2001. – 736 с.
9. Guillermo J. Silva, Aniruddha Datta. S.P. Bhattacharyya. "PID Controllers for Time-Delay Systems". Boston. ISBN 0-8176-4266-8.2005.

УДК 669.162.263

Я. М. Гордон^{1,3}, А. Садри¹, К. В. Миронов², Н. А. Спирин³

¹ Hatch Ltd., г. Торонто, Канада;

² ОАО «НТМК – Евраз», г. Нижний Тагил, Россия;

³ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Аннотация

В компания «Хэтч» (Канада) разработана система неразрушающего контроля остаточной толщины огнеупорной кладки доменной печи и электропечей цветной металлургии и ферросплавной промышленности, в основу которой положен метод отраженного акустико-ультразвукового сигнала (AU–E). Данная система дополняет традиционное моделирование теплового состояния футеровки печи с использованием закладных термодатчиков или по тепловой нагрузке на холодильники доменной печи и позволяет дополнительно определять положение трещин и аномалий, а также границу между гарнисажем и огнеупором. Рассмотрены ограничения и источники погрешностей в методе AU–E, представлено развитие и усовершенствование этого метода. Оценка точности метода подтверждена физическими измерениями на остановленных доменных печах. Приведены примеры использования системы диагностики состояния футеровки различными отечественными и зарубежными заводами, а также некоторые технологические

мероприятия, позволяющие продлить кампанию доменной печи. Показано, что использование нескольких последовательных измерений позволяет определить скорость износа огнеупорной кладки и время, вывода печи на капитальный ремонт. Метод AU–E успешно использовался (и используется) на более чем 70 доменных печах во всем мире, включая доменные печи НЛМК, ЧерМК, НТМК–Евраз, ЗапСиб – Евраз и ММК, а также электропечах для выплавки ферросплавов, меди, платины и т.д.

Ключевые слова: доменная печь, футеровка, диагностика, акустико-ультразвуковой сигнал, кампанию доменной печи, аномалия, козловая летка.

Abstract

Acousto – Ultrasonic – Echo (AU–E) method of non-destructive testing of refractory lining conditions is developed by Hatch (Canada) to estimate refractory wear of blast furnaces and electrical smelters in non-ferrous and ferro-alloys industries. This system compliments traditional modelling of blast furnace lining heat transfer based on imbedded thermocouples data and additionally allows to determine location of cracks/anomalies and boundary between refractory lining and accretion. The limitations and accuracy of AU–E method are discussed and confirmed by comparison with physical measurements on cold furnaces. Examples of AU–E method application to numerous furnaces in Russian Federation and around the Globe as well as some technological measures to prolong blast furnace campaign are presented and discussed. It is shown that results of several consecutive measurements allow estimation of the rate of refractory wear and prediction of the end point of blast furnace campaign. AU–E method is successfully applied for more than 70 blast furnaces around the World including blast furnaces of NLMK. CherMK, NTMK, ZapSib and MMK in Russian Federation and also for numerous copper, platinum, nickel and ferro-alloy smelters etc.

Key words: blast furnace, refractory lining, acoustic, ultrasound, non-destructive, diagnostics, campaign.

Одним из факторов повышения эффективности доменной плавки является снижение себестоимости производства чугуна за счет продления кампании агрегата. Срок службы доменной печи во многом определяется техническим состоянием огнеупорной кладки горна, чрезмерный износ которой может привести к преждевременному выводу агрегата из эксплуатации. Для мониторинга состояния огнеупорной футеровки горна и принятия правильных технических решений необходимо развитие методов диагностики состояния футеровки доменных печей.

Существуют разные способы определения остаточной толщины огнеупорной футеровки доменных печей, основанные на математической обработке показаний температурных датчиков, размещённых в огнеупорной футеровке горна [1], использовании изотопов [2], применении инфракрасной термографии [3, 4], использовании ультразвуковых волн [5], анализе теплосъёма с холодильников и физических измерений. Каждый метод имеет свои достоинства и ограничения. В данной работе использован метод отраженного акустико-ультразвукового сигнала (AU–E) для определения остаточной толщины огнеупорной футеровки.

Метод отраженного акустико-ультразвукового сигнала (AU–E) был разработан в конце 1990-х годов на основе тех же принципов, на которых работает метод эхо ударного воздействия [6]. Совершенствование метода позволило учесть влияние высоких температур, профиля печи и ее размеров, различие акустического сопротивления различных слоев многослойной огнеупорной футеровки на закономерности распространения волны. Метод AU–E является запатентованной технологией, которая используется в промышленных масштабах для оценки толщины и качества огнеупоров в печах на протяжении более шестнадцати лет.

Во время измерения (

Рис., а также рисунок 1 [10]) механический удар по броне печи вызывает импульс сигнала, который распространяется в слоях огнеупоров. Волна частично отражается от границ

материалов с различными свойствами, но она также проходит через слои сплошного огнеупора вплоть до границы раздела кирпич (гарнисаж)/жидкий металл. Отраженные волны сжатия (или продольные волны) воспринимаются детектором, и сигналы анализируются для оценки состояния и толщины огнеупорной футеровки

В методе AU–E при расчете толщины используется "кажущаяся скорость волны" вместо стандартной скорости продольной волны. Кажущаяся скорость волны является средней скоростью волны в трехмерном геометрическом пространстве и учитывает влияние различных факторов, включая плотность кирпича, тепловые градиенты, фактор формы и упругие свойства кирпича. Данные факторы учитываются с помощью двух поправочных коэффициентов: (α) и (β).

Тепловой поправочный коэффициент (α), для каждого слоя рассчитывается на основе динамического модуля упругости Юнга при рабочих условиях $E_d(T)$ в сравнении с динамическим модулем упругости Юнга при комнатной температуре E_o . Тепловой поправочный коэффициент α определяется по следующему выражению:

$$\alpha = 1 + \left(\frac{\int_{t_1}^{t_2} E_d(T) dT}{E_o} \right). \quad (1)$$

В расчетах предполагается, что модуль упругости огнеупора является линейной функцией температуры между горячей (t_2) и холодной поверхностями (t_1). Изменение динамического модуля упругости Юнга как функции температуры также зависит от типа рассматриваемого огнеупорного материала. Например, средние магнезиальные и глиноземистые огнеупоры больше подвержены температурным изменениям, чем средние углеродисто-графитовые огнеупоры.

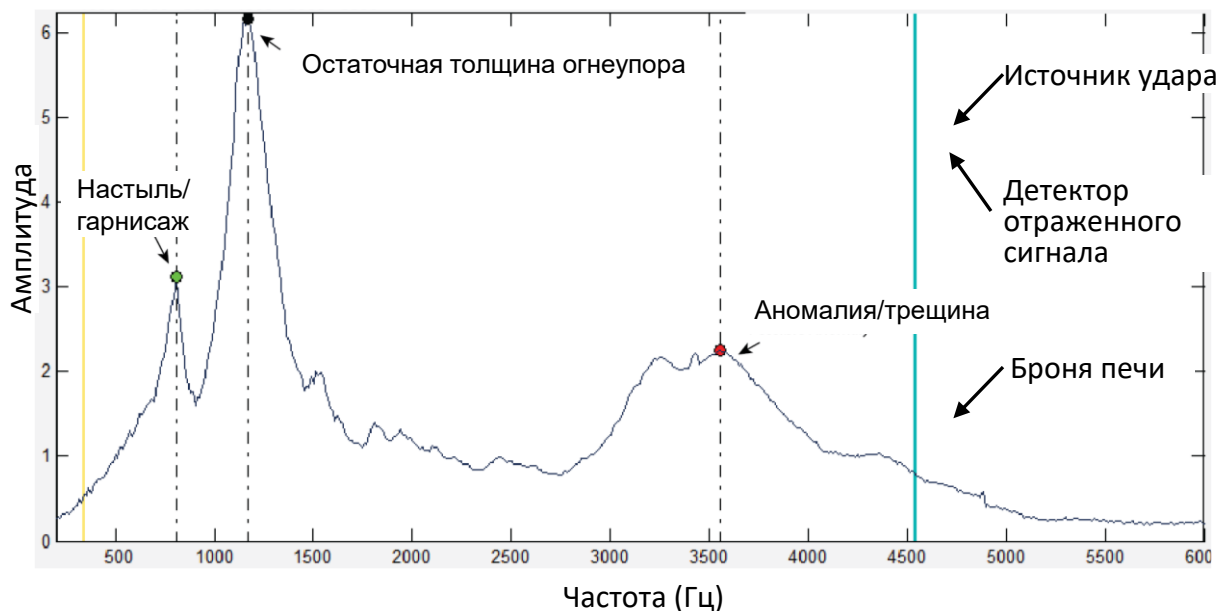


Рис. 1. Принцип метода AU–E (отраженный сигнал в частотной области)

Коэффициент формы (β) отражает снижение скорости волны, обусловленную геометрией материала, через которые проходят волны. Снижение кажущейся скорости волны происходит в связи с возбуждением собственных частот структуры под действием силы удара. Например, коэффициент β поперечного сечения колонны составляет 0,87 [6]. Для большинства печей, у которых поперечные размеры более чем в шесть раз превышают толщину футеровки, коэффициент β равен 0,96.

Уравнение для расчета толщины или глубины отражающей поверхности T с учетом введенных коэффициентов α и β для метода АУ–Е имеет следующий вид:

$$T = (\alpha\beta V_p) / (2 f_p), \quad (2)$$

где V_p – скорость распространения продольной волны в материале, а f_p – частота продольной волны.

Для многослойного участка футеровки, толщина n -го слоя огнеупора (T_n) рассчитывается по следующему уравнению:

$$T_n = \frac{(V_p)_n \alpha_n \beta_n}{2} \left[\frac{1}{f} - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{2T_i}{(V_p)_i \alpha_i \beta_i} \right], \quad (3)$$

где f – резонансная частота для толщины n -го слоя. Уравнение (3) можно использовать для определения толщины слоя футеровки на горячей поверхности (граница с жидким металлом), если известны « V_p », « α_i », « β_i » и толщина T_i слоев перед слоем у горячей поверхности. При этом предполагает, что волны генерируются источником контролируемых ударов, и что волны содержат достаточно энергии для того, чтобы проникнуть на значительную глубину вплоть до границы с жидким расплавом или твердой шихтой, а также резонировать туда-обратно между горячей и холодной поверхностями для создания определенной частоты продольной волны.

Для аппаратной реализации данного метода разработан широкополосный детектор вертикальных перемещений с достаточным диапазоном частот, с возможностью функционировать при высоких температурах и во влажной среде. Генерация волн осуществляется ударным источником со специфическим сферическим наконечником, способным генерировать конкретный диапазон частот. Система сбора и обработки данных разработана на базе компьютерной техники, выполненной в пылевлагонепроницаемом исполнении, выдерживающей температуры в диапазоне от -50°C до $+90^\circ\text{C}$.

Перед началом измерений на доменной печи определяется кажущаяся скорость продольной волны путем калибровки представительных проб кирпичей при комнатной температуре. Калибровочное измерение скорости волны проводится на всех материалах, через которые проходит волна. Коэффициент α определяется или опытным путем, нагревая образцы огнеупоров и измеряя скорости волны при требуемой температуре, или рассчитать по упругим и тепловым свойствам конкретного огнеупора, известных по паспортным данным. Коэффициент β рассчитывается по размерам проверяемой зоны.

На действующих доменных печах измеренные данные во времени (временна область) являются чрезвычайно сложными, содержащими многочисленные частоты и многократные отражения, дифракции, преломления от объемных и поверхностных волн. В частотной области (

Рис.) результаты определяются корректнее, но все равно имеется много различных элементов, которые могут привести к неверному толкованию результатов измерений.

Рис. иллюстрирует типичный сигнал АУ–Е в частотной области. Согласно уравнению (3), наиболее низкая частота отраженных волн соответствует большему расстоянию до поверхности отражения сигнала. В соответствии с этим наименьшая частота и средняя амплитуда принадлежит границе гарнисаж – металл; вторая по величине частота и максимальная амплитуда принадлежит границе гарнисажа с огнеупором и наибольшая частота и наименьшая амплитуда характеризуют трещины или аномалию.

Износ огнеупорной футеровки обычно рассматривается как уменьшение толщины футеровки во времени, обусловленное действием комплексом тепловых, физико-химических, механических воздействий.

При использовании метода АУ–Е имеются несколько других состояний огнеупоров (аномалии), которые могут ошибочно приниматься как остаточная толщина огнеупорной футеровки, а именно: пропитанный металлическим расплавом огнеупор, наличие гарнисажа (см. рисунок 1). Когда огнеупор пропитан металлическим расплавом, у пропитанной части заметно снижаются свойства упругости по сравнению с качественным огнеупором. В результате сигналы АУ–Е будут отражаться от границы пропитки, которые можно ошибочно принять за остаточную толщину огнеупорной футеровки.

Выявление аномалий. В методе АУ–Е аномалия определяется как четкое отражение сигнала из огнеупорной футеровки, но источник отражения неизвестен. Аномалиями могут быть трещины, пустоты, проникновение металла, окисление углерода или сочетание всех этих особенностей. При наличии нарушений сплошности, трещин или границ между материалами сигналы имеют тенденцию показывать множественные отражения при более высоких частотах по сравнению с отражением от полной толщины огнеупорной кладки при низких частотах. Знание расположения любых потенциальных трещин имеет важное значение для разработки мер по борьбе с ними, поскольку трещины, которые укрупняются и распространяются, могут привести к проникновению металла в трещину или отслоению огнеупора и фактическому уменьшению толщины огнеупорной кладки.

При наличии значительных разрывов/трещин в огнеупорной футеровке сигналы от удара могут не пройти через всю толщину кирпича. Разрывы будут вызывать затухание этих сигналов и, таким образом, будет казаться, что сигналы отражаются от более тонкой зоны вблизи от нерабочей (холодной) поверхности. Таким образом, фактическая остаточная толщина огнеупорной футеровки может оказаться толще, чем обнаруженная сигналами.

Скорость продольной волны намного ниже в гидратированных, науглероженных или окисленных огнеупорах по сравнению с неповрежденными огнеупорами. Если площадь химического изменения меньше относительно длины и геометрии кладки, сигналы АУ–Е могут не подвергнуться влиянию и, следовательно, изменение качества огнеупора может быть не обнаружено. С другой стороны, если химическое воздействие обширно с точки зрения геометрии и свойств материала относительно футеровки, сигналы АУ–Е без труда обнаружат измененные участки. АУ–Е не может выявить проникновение металла в футеровку горна, если проникновение "меньше половины длины волны сигнала", которая составляет около 50 мм. В этом случае дополнительная толщина проникшего металла определяется как часть футеровки.

Пример измерения остаточной толщины футеровки.

Для обследования печи методом АУ–Е доменная печь разбивается на ряд вертикальных сечений по окружности печи, которые обычно проходят через центр холодильников одного из рядов охлаждения вертикальных стенок горна печи. Для фурменной зоны разбивка на вертикальные сечения привязана к нумерации фурм. В каждом вертикальном сечении через промежуток примерно 30 см производятся замеры по высоте печи. Пример таких замеров для доменной печи 6 НТМК–Евраз [11, 12] приведен на Рис. 2., а особенности технологии титановой плавки приведены в статьях [13–16]. Сплошная синяя линия на этом рисунке характеризует толщину футеровки по результатам замеров ноября 2015 г. в то время как красная сплошная линия характеризует замеры февраля 2015 г. Красные точки представляют собой положение трещин/аномалий, а зеленые треугольники – толщину гарнисажа.

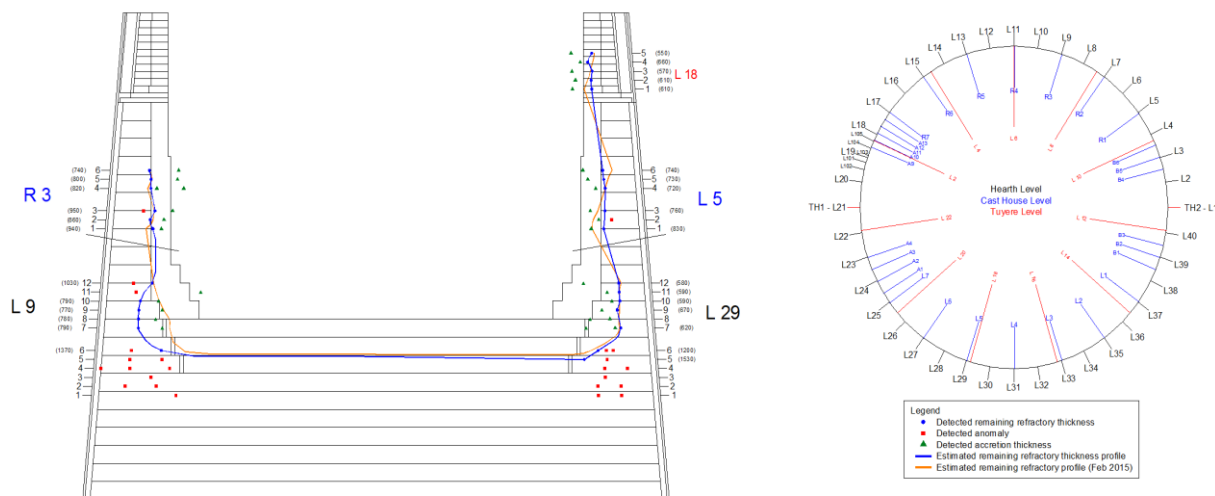


Рис. 2. Результаты оценки остаточной толщины футеровки на примере ДП6 НТМК

Результаты трех последовательных обследований ДП6 НТМК, проведенных в апреле 2014 г., феврале и ноябре 2015 г., позволили построить кривую степени износа: степень износа

огнеупорной футеровки как для усредненных величин [11, 12], так и для ее критической точки (наименьшей) толщины футеровки (рис. 3).

Тенденция износа послужила основой для определения скорости износа футеровки доменной печи:

- средняя скорость по результатам всех измерений в горне была оценена в 6.9 мм/месяц;
- для наиболее изношенного вертикального сечения L30 средняя скорость износа футеровки составила 8.9 мм/месяц (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**);
- существует большая вероятность, что аномалии/трещины образовали так называемый вертикальный цилиндрический стакан с наименьшим расстоянием от поверхности огнеупора 170 мм (линия L30) и наименьшим расстоянием до холодной поверхности огнеупора – 140 мм. Если чугун попадет в данную вертикальную цилиндрическую трещину, печь должна будет немедленно остановлена на ремонт, так как остаточная толщина футеровки составит 140 мм;
- с учетом скорости износа футеровки в диапазоне 6.9 – 8.9 мм/месяц НТМК и Хатч пришли к выводу, что остаточная кампания доменной печи 6 составляет 22–23 месяца, после чего печь должна быть остановлена и выведена на капитальный ремонт;
- основываясь на вышеизложенных результатах AU–E, а также экономическом обосновании капитального ремонта 1-го разряда, НТМК–Евраз приняло решение о строительстве новой доменной печи 7 и вывести в резерв доменную печь 6 в конце 2017 г.

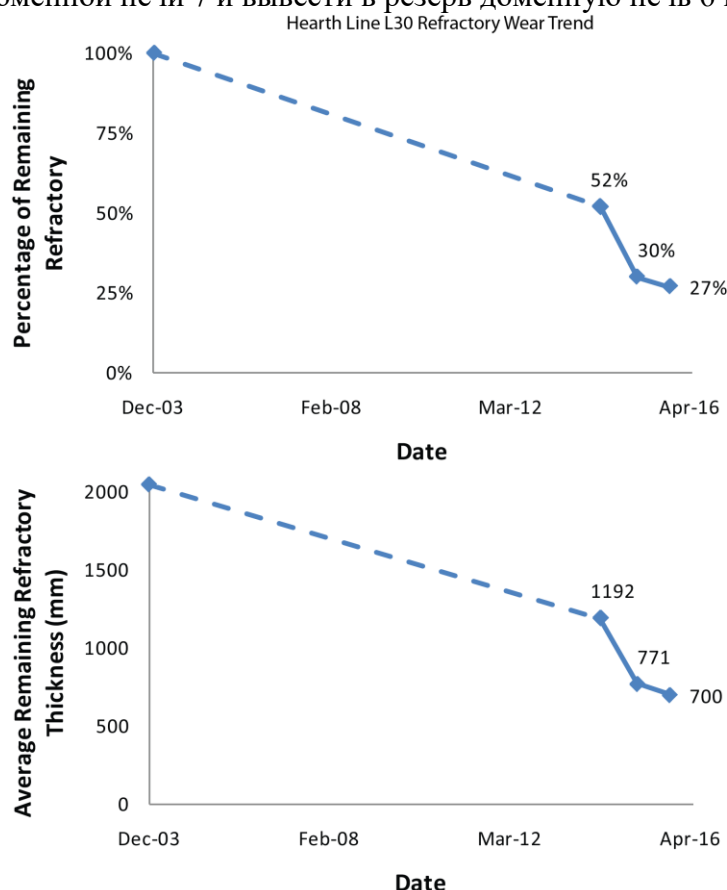


Рис. 3. Тенденция износа футеровки для вертикального сечения L30 с наиболее изношенной точкой (усредненный результат всех измерений вдоль линии L30)

Выпуск «козлового чугуна». Метод AU–E также способен определить место для сверления «козловой летки». «Козел» выпускается из точки основания металлоприемника, которая является самым низким уровнем лещади печи. Для выпуска козлового чугуна требуется высокая степень точности. Традиционно местонахождение козловой летки определяется по показаниям термопар и бурением в нескольких местах. Однако эти методы, как правило, не точны и приводят к потере производства. Хатч разработал следующую методологию определения положения козловой летки методом AU–E.

На основании показаний термопар и рекомендаций персонала доменной печи определяется предполагаемое расположение наиболее низкой точки лещади. Через эту точку проводится вертикаль, вдоль которой вверх и вниз от предполагаемого положения козловой летки проводятся замеры через короткие промежутки – приблизительно около 5 см. Таким образом определяется самая нижняя точка разгара лещади и положения козловой летки. Справа и слева добавляются две вертикали примерно на расстоянии 20 см от центральной вертикали, вдоль которых также производятся измерения для подтверждения точности определения положения козловой летки. Использование данной методологии на ряде зарубежных доменных печей показало, что метод AU–E точно определяет положение козловой летки в работающих доменных печах.

Определение положения козловой летки в России было выполнено для ДП ЗапСиб–Евраз. Отличные результаты выпуска козлового чугуна еще раз подтвердили надежность метода AU–E.

Точность измерений метода AU–E. В статье [7] проанализированы причины погрешностей метода AU–E. На основании многочисленных проверок оказалось, что точность измерений метода AU–E составляет 4–7 % фактической толщины огнеупорной кладки или положения аномалий. Точность измерения толщины настыли находится в пределах 15% физических измерений из-за большей неопределённости в скорости волны в настыли. Точность измерений методом AU–E подтверждена результатами керновых бурений на работающих доменных печах и непосредственными замерами на остановленных и охлажденных доменных печах как в России [8, 10], так и за рубежом [9].

Заключение

Метод AU–E является надежным и неразрушающим методом контроля состояния огнеупорной кладки плавильных печей. Аппаратное и программное обеспечение системы AU–E подверглось существенному усовершенствованию, позволившему получать результаты измерений с достаточной точностью.

AU–E метод применен и продолжает использоваться на более чем 70 доменных печах по всему миру. В России метод системно используется на 16 доменных печах НЛМК [8, 10], ЧерМК [17], НТМК [11, 12], ЗапСиб и ММК.

По мере старения печи и приближения ее к концу компании, как правило, требуются более частые обследования футеровки горна. Это могут быть полугодовые или даже ежеквартальные обследования, которые позволяют осуществлять диагностику состояния футеровки и применять эффективные меры по ее защите для продления компании доменных печей.

Список использованных источников

1. A. Preuer a.o. Computation of the erosion in the hearth of a blast furnace, Steel Research, 1992, V. 63, 147–151.
2. J. Salgado, C. Oliveira, A. Moutinho and C. Silvério. Control of refractory lining wear by using radioisotopes. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part A. Applied Radiation and Isotopes. 39 (12), 1988. Pp. 1265–1267.
3. N. Bolf. Application of infrared thermography in chemical engineering. Journal of Chemists and Chemical Engineers, 53(12), 2004. Pp. 549–555.
4. X. Maldague. Introduction to NDT by active infrared thermography. Materials Evaluation. 6(9), 2002. Pp. 1060–1073.
5. R. L. Parker a.o. Application of pulse-echo ultrasonics to locate the solid/liquid interface during solidification and melting of steel and other metals. Journal of Applied Physics, 58 (11), 1985. Pp. 4150–4164.
6. M. J. Sansalone and W. B. Streett. Impact-Echo: Non-destructive Evaluation of Concrete and Masonry, Bullbrier Press, Ithaca, NY. 1997. Pp. 339.
7. A. Sadri. An introduction to stress wave non-destructive testing and evaluation (NDT&E) of metallurgical furnaces and refractory condition monitoring. CINDE Journal, 29(2), 2008. Pp. 7–11.

8. S. Filatov, I. Kurunov, Y. Gordon, A. Sadri, W. Ying. Careful Control of Refractory Lining Conditions Ensures Intensive Operation and Long Campaign of Blast Furnace. AISTech Proceedings, Pittsburgh, USA, 2016. Pp. 695–704.
9. A. Sadri, P. Gebiski, A. Rampersad a.o. Comparing the Accuracy of Acousto Ultrasonic-Echo (NDT), Finite Element Analysis (FEA), and Drilling When Obtaining a Blast Furnace Refractory Lining Wear Profile. Journal of Iron & Steel Technology, No.3, 2010. Pp. 1–12.
10. Продление кампании доменной печи при ее интенсивной работе / Филатов С.В., Курунов И.Ф., Гордон Я.М., Тихонов Д.Н., Грачев С.Н. // Металлург. 2016. №9. С. 17–22.
11. Careful Control of Refractory Lining Conditions at NTMK–EVRAZ Ensures Intensive Operation and Long Campaign of Titania Blast Furnace/ V. Kushnarev, K. Mironov, Y. Gordon, A. Sadri, W. Ying, S.A. Zagainov, AISTech 2017 Proceedings, Nashville, May 8 – May11, USA.
12. AU–E control of blast furnace refractory lining at NTMK–Evraz ensures intensive operation and prediction of the end of campaign of titania blast furnace / V. Kushnarev, K. Mironov, Y. Gordon, A. Sadri, W. Ying, S.A. Zagainov, ESTAD 2017 Proceedings, Vienna, June 26–29.
13. BOF processing of vanadium hot metal / L.A. Smirnov, Yu.A. Deriabin, S.K. Nosov. Ekaterinburg. Mid–Urals Publishing House. 528 pages, (2000).
14. Metallurgical treatment of vanadium containing titanium-magnetite / L.A. Smirnov, Yu. A. Deriabin and S.V. Shavrin. M., Metallurgy, 256 pages, (1990)
15. Smelting Low Silica Hot Metal at OAO NTMK / S.V. Filatov, A.A. Kirichkov, V.A. Mikhalev, S.A. Zagainov. Stal, 2010, No. 5, pp. 30–32. Steel in Translation, 2010, Vol. 40, No. 5, pp. 443–445. Allerton Press, Inc., 2010.
16. Manganese is an important element in processing of titania-magnetite ore in metallurgy / S.K. Nosov, L.I. Leontiev, V.I. Ilyin. Stal, 2003, №3, p.p. 14–18.
17. Careful control of refractory lining conditions ensures prolonged campaign of blast furnace / E.N. Vinogradov, M.M. Karimov, A.A. Dmitriev, A.N. Sokolov, Y.V. Kosenkov, Y. Gordon, A. Sadri, W. Ying, ECIC 2016 Proceedings, Linz, September 12–14. 2016. Pp. 255–264.

УДК 621.783

Г. М. Дружинин^{1,2}, А. А. Ашихмин¹, Н. Б. Лошкарев², П. В. Маслов¹, И. М. Хамматов¹

¹ ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники ВНИИМТ», г. Екатеринбург, Россия;

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПЕЧЕЙ-МИКСЕРОВ ДЛЯ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Аннотация

Разработаны, изготовлены и запущены в эксплуатацию автоматизированные горелочные устройства ГПМ-3,6 печей-миксеров шлака и штейна на медеплавильном заводе Алмалыкского горно-металлургического комбината (Республика Узбекистан). Назначение горелочных устройств – разогрев печей-миксеров до рабочих температур, 1250÷1275 °С и 1110÷1150 °С, соответственно, и поддержание температуры залитого в миксер расплава на заданном уровне при любых технологических операциях. Система автоматизации обеспечивает надежную и безопасную работу горелочных устройств, включая розжиг из холодного состояния, работу в заданных диапазонах температур через регулирование тепловой нагрузки и останов, в т.ч. по аварийным условиям. При этом в полном объеме происходит передача и обмен информацией с центральным контроллером АСУ печи Ванюкова посредством интерфейса Profibus DP. Разработанные горелочные устройства полностью соответствуют требованиям Технического регламента Таможенного Союза ТР