



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012136756/02, 27.08.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.08.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.08.2012

(43) Дата публикации заявки: 10.03.2014 Бюл. № 7

(45) Опубликовано: 27.09.2014 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2305134 C1, 27.08.2007. RU 2211247 C2, 27.08.2003. SU 1397487 A1, 23.05.1988. SU 1132136 A1, 30.12.1984. US 4708482 A, 24.11.1987

Адрес для переписки:

455023, Челябинская обл., г. Магнитогорск, ул. Ленинградская, 21-7, ООО "Диагностика Мониторинг Автоматизация", А.М. Арзамасцеву

(72) Автор(ы):

Арзамасцев Александр Михайлович (RU),  
Леднов Андрей Юрьевич (RU),  
Савченко Юрий Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью  
"ЕвроСтандарт" (RU),  
Общество с ограниченной ответственностью  
"Диагностика Мониторинг Автоматизация"  
(RU)

**(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПОГРАФИИ СЛОЕВ ФУТЕРОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии и предназначено для определения топографии слоев в футеровке металлургического агрегата. Способ включает акустическую локацию слоев футеровки работающего агрегата с приемом отраженных колебаний посредством датчиков акустических колебаний, регистрацию в запоминающем устройстве резонансного спектра колебаний, установившихся в слоях футеровки от излучателей акустических колебаний и от акустических колебаний, возникающих в слоях футеровки работающего агрегата, определение по частоте зарегистрированных отраженных акустических колебаний с учетом физических свойств материала футеровки и в соответствии с математической моделью координат границ слоев футеровки напротив мест замеров и осуществление построения топографии слоев футеровки. Дополнительно осуществляют

измерения температуры футеровки посредством температурных датчиков и измерения упругих напряжений в кожухе агрегата посредством тензодатчиков, на основании которых с помощью математической модели строят соответствующие дополнительные топографии слоев футеровки. Упомянутые датчики располагают стационарно по поверхности кожуха с заданным расстоянием между датчиками по вертикали и горизонтали, определяемым размерами агрегата и толщиной футеровки. Построение окончательной топографии осуществляют на основании взаимной коррекции полученных топографий с применением корреляционных связей между ними. Использование изобретения обеспечивает повышение точности построения топографии футеровки металлургического агрегата. 1 ил., 1 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2012136756/02, 27.08.2012**(24) Effective date for property rights:  
**27.08.2012**

Priority:

(22) Date of filing: **27.08.2012**(43) Application published: **10.03.2014** Bull. № 7(45) Date of publication: **27.09.2014** Bull. № 27

Mail address:

**455023, Cheljabinskaja obl., g. Magnitogorsk, ul.  
Leningradskaja, 21-7, OOO "Diagnostika Monitoring  
Avtomatizatsija", A.M. Arzamastsevu**

(72) Inventor(s):

**Arzamastsev Aleksandr Mikhajlovich (RU),  
Lednov Andrej Jur'evich (RU),  
Savchenko Jurij Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"EvroStandart" (RU),  
Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"Diagnostika Monitoring Avtomatizatsija" (RU)**

(54) **METHOD TO DETERMINE TOPOGRAPHY OF METALLURGICAL FACILITY LINING LAYERS**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy and is intended for the determination of the topography of lining layers in a metallurgical facility. The method involves acoustic radar location of the layers of lining in an operating facility with the reception of the reflected vibrations by acoustic vibration sensors, registration of the vibration resonance spectrum in a memory unit with the vibrations being set in the lining layers from the acoustic vibration transmitters and from acoustic vibrations occurring in the lining layers of the operating facility, on the basis of the frequency of the registered reflected acoustic vibrations accounting for the physical properties of the lining material and according to the mathematical model the coordinates of lining layers' borders are determined opposite the measurement points and the topography of the lining

layers is created. Additionally the lining temperature is measured by temperature sensors and elastic stresses in the facility housing are measured by strain sensors, basing on the above the respective additional lining layers' topography is created with the help of mathematical model. The said sensors are set stationary on the housing surface with the specified distance between them in vertical and horizontal directions with the distance being defined by the facility size and the lining thickness. The final topography is created on the basis of the mutual correction of the obtained topographies using the correlation relationships between them.

EFFECT: use of the invention provides for higher accuracy of creating the topography of metallurgic facility lining.

1 dwg, 1 ex

RU 2 529 332 C2

RU 2 529 332 C2

Изобретение относится к области физики и металлургической технологии и предназначено для определения топографии слоев в футеровке металлургического агрегата с целью продления сроков его работы и предотвращения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации.

5 Из уровня техники известен способ контроля толщины огнеупорных блоков в футеровке доменной печи с помощью упругих ударных волн, с регистрацией волны, отраженной от границы огнеупорного блока. По времени задержки отраженного сигнала и известной скорости распространения упругих волн в материале футеровки вычисляется толщина огнеупорного блока, см. «Разработка неразрушающих средств  
10 контроля огнеупорной футеровки». Nippon Steel Corp., Реферативный журнал. Металлургия. - 1992, №4.

Однако на практике применение этого способа затруднительно, т.к. при работе в кожухе доменной печи возбуждаются упругие волны различного типа (продольные, поперечные, поверхностные, волны Лэмба и т.п.), распространяющиеся практически  
15 во всех направлениях по поверхности и внутрь конструкции, вследствие чего при регистрации отраженных сигналов необходимо определять тип волны и возможное направление, откуда этот сигнал пришел. Проведение такого анализа для сложных объектов, например для доменной печи, весьма проблематично.

Известен также ультразвуковой способ контроля износа футеровки шахты доменной  
20 печи с помощью волноводов, встроенных в футеровку, см. статью П.Г.Васильева и др. «Ультразвуковой контроль износа футеровки шахты доменной печи». Журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность», 1992. №3.

Недостатком этого способа является привязка диагностирования износа футеровки к месту закладки волновода и невозможность определения топографии огнеупорной  
25 футеровки горна и лещади, а также невозможность определения наличия настыли.

Известен способ измерения износа футеровки стен доменной печи, согласно которому излучают ультразвуковые колебания (УЗК) внутрь доменной печи, принимают  
отраженные УЗК и определяют толщину кладки доменной печи по времени распространения УЗК, см. JP №61-127804, М. кл. C21B 7/24, 1986 г.

30 Недостатком этого способа является невысокая точность, поскольку излучение и прием УЗК осуществляется только с одного места на кожухе доменной печи.

Известен способ определения разгара горна и лещади доменной печи с помощью зеркально-теневого метода ультразвуковой локации. Согласно этому способу УЗК  
излучают внутрь доменной печи с восьми точек под разными углами в горизонтальной  
35 плоскости и принимают отраженные УЗК одним приемником, расположенным около излучателя. Толщину кладки доменной печи определяют по времени распространения УЗК, обработанному с помощью математической модели (патент РФ №2211247).

С физической точки зрения данный способ не отличается от первого, поскольку на тех частотах, которые используются, диаграмма направленности преобразователя  
40 имеет угол раскрытия  $180^\circ$ . Поэтому говорить о прозвучивании домны из одной точки под разными углами нельзя. Также при возбуждении УЗК в кожухе доменной печи, на который установлены УЗК-преобразователи, возникают волны различного типа, например волны Лэмба. Поэтому приемный преобразователь будет регистрировать сигналы от всех волн, возбуждаемых источником, а также и все акустические шумы  
45 работающей печи. На фоне этих сигналов выделить импульс, являющийся отражением продольной ультразвуковой волны, прошедшей по прямой от источника до приемника, практически неосуществимо.

Наиболее близким аналогом, выбранным в качестве прототипа заявленного

изобретения является способ определения топографии слоев футеровки металлургического агрегата, включающий ультразвуковую локацию с приемом отраженных ультразвуковых колебаний, параметры которых фиксируют в запоминающем устройстве, и обработку этих параметров с определением топографии футеровки, для ультразвуковой локации используют низкочастотные ультразвуковые колебания, при этом в запоминающем устройстве регистрируют резонансный спектр колебаний, установившихся в слоях футеровки как от излучения низкочастотных УЗК-передатчиков, так и от низкочастотных УЗК, возникающих в слоях футеровки в результате работы агрегата, по частоте которых, с учетом физических свойств материалов футеровки, в соответствии с математической моделью определяют координаты границ слоев футеровки напротив мест замеров для построения топографии футеровки (патент РФ №2305134).

Недостатком этого способа является его однопараметровость (то, что прием установившихся УЗК осуществляется датчиками, которые фиксируют только один параметр - звуковой (акустический)), поэтому предполагаемая топография слоев футеровки в соответствии с «акустической» моделью не учитывает тепловые условия работы металлургического агрегата, механические напряжения кожуха и другие параметры.

Задачей, на решение которой направлено заявленное изобретение, является повышение точности построения топографии футеровки металлургического агрегата путем фиксации нескольких физических параметров для повышения точности определения механических и тепловых нагрузок на футеровку и достоверности измерений.

Решение указанной задачи обеспечено тем, что в способе определения топографии слоев футеровки металлургических агрегатов, включающем акустическую локацию слоев футеровки работающего агрегата с приемом отраженных колебаний посредством датчиков акустических колебаний, регистрацию в запоминающем устройстве резонансного спектра колебаний, установившихся в слоях футеровки от излучателей акустических колебаний и от акустических колебаний, возникающих в слоях футеровки работающего агрегата, определение по частоте зарегистрированных отраженных акустических колебаний с учетом физических свойств материала футеровки и в соответствии с математической моделью координат границ слоев футеровки напротив мест замеров и осуществление построения топографии слоев футеровки, дополнительно осуществляют измерения температуры футеровки посредством температурных датчиков и измерения упругих напряжений в кожухе агрегата посредством тензодатчиков, на основании которых с помощью математической модели строят соответствующие дополнительные топографии слоев футеровки, при этом упомянутые датчики располагают стационарно по поверхности кожуха с заданным расстоянием между датчиками по вертикали и горизонтали, определяемым размерами агрегата и толщиной футеровки, а построение окончательной топографии осуществляют на основании взаимной коррекции полученных топографий с применением корреляционных связей между ними.

Это позволяет повысить точность построения топографии футеровки работающего металлургического агрегата.

Предложенное изобретение основано на следующем.

В футеровке, защищающей стальной кожух металлургического агрегата (МА) от температурных воздействий, за время работы образуются слои с различными физико-химическими свойствами.

На кожух МА или под ним стационарно устанавливаются многопараметровые съемные устройства, которые включают акустический, температурный, тензометрический и другие датчики. Устройства образуют сетку, шаг которой должен быть соизмерим с ожидаемой толщиной футеровки МА и размерами характерных дефектов (разгар, настыль, дефект набивки, кольцевая трещина...). Также шаг сетки определяется конструктивными особенностями горна и лещади металлургического агрегата (и доступом к зоне локации). Достаточно и необходимо установить съемные устройства с шагом 500÷4000 мм в вертикальной и горизонтальной плоскости по периметру металлургического агрегата. Минимальный шаг 500 мм обусловлен поперечными размерами огнеупорного блока, которые лежат в диапазоне 450÷550 мм (некачественный блок может разрушиться ранее других блоков). Результаты позволяют определить величину разгара и состояние футеровки, включая настыль и гарнисаж с достаточной степенью точности, составляющей до 5% относительной ошибки. Увеличение шага приводит к росту погрешности измерений.

Акустическая модель основана на фильтрации спектра упругих волн в слоях футеровки. Известно, что при работе МА возникают акустические колебания в широком диапазоне частот от различных вибраций, например от вибраций при загрузке сырья, вибраций различного вспомогательного оборудования (фурмы, засыпного аппарата и т.д.), движения газовых потоков, которые распространяются внутри металлургического агрегата и могут быть описаны нижеприведенным выражением (1). В результате отражения и прохождения акустических волн в слоях футеровки наступает состояние резонанса, что и предложено использовать для определения топографии слоев в футеровке металлургического агрегата, т.е. предложено использовать резонансный метод с использованием низкочастотных акустических колебаний, которые возбуждаются в МА в процессе его работы. В неработающем МА для возбуждения акустических волн необходимо использовать широкополосные излучатели любого типа: пьезоэлектрический, электромагнитный, магнитострикционный и т.п. Спектр упругих колебаний, которые принимают приемники, расположенные на кожухе МА, записывается в память запоминающего устройства в двух режимах: при возбуждении в кожухе низкочастотных УЗК с помощью излучателей и низкочастотных УЗК, возникающих в результате работы МА (без внешнего воздействия на него). Наблюдаемые максимумы в спектре упругих колебаний соответствуют установлению стоячих волн в слоистой структуре футеровки. По полученным спектрам установившихся колебаний рассчитывают толщины  $b$  слоев в футеровке. Полученные записи обрабатываются с помощью разработанного программного обеспечения, позволяющего фильтровать сигнал, по нему с помощью быстрого преобразования Фурье рассчитывать спектр колебаний и далее по нижеприведенной формуле (2) с учетом скоростей продольной и поперечной волн в материалах слоев футеровки и их зависимости от температуры рассчитать толщины слоев в футеровке. Для определения топографии слоев в футеровке необходимо проводить измерения на кожухе агрегата по вертикали и по периметру агрегата (т.е. в нескольких горизонтальных плоскостях по высоте металлургического агрегата), а затем полученные значения аппроксимировать. Чем меньше расстояние между точками замеров, тем больше точность построенной топографии футеровки.

В предложенном способе для УЗК-локации используются низкочастотные УЗК (до 10 кГц). Выбор указанной частоты УЗК обусловлен тем, что скорость распространения УЗК этой частоты в слоях футеровки, например доменной печи, имеет верхний предел, составляющий до  $V=3500$  м/с, соответственно длина волны  $\lambda$  составляет  $\lambda > 10 \cdot D$ , где  $D$

- средний диаметр зерна в углеродистой футеровки, т.е. длина волны много больше размеров зерен футеровки. При указанной частоте уровень структурных помех незначителен. Кроме того, упругие колебания частотой более 10 кГц рассеиваются и поглощаются в огнеупорной футеровке и не связаны с толщинами ее слоев, т.к. они  
5 всегда присутствуют и распространяются в кожухе и не несут информацию о структуре футеровки.

Упругие волны, возникающие в слоях футеровки, описываются следующим выражением:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \exp(i(\omega t - kx)) \quad (1)$$

10 где  $\omega$  - частота упругой волны ( $\omega = 2\pi \cdot f$ ),  
 $\varphi_0$  - амплитуда акустического потенциала,  
 $t$  - время,  
 $x$  - координата вглубь слоя.

15 Толщина слоев определяется из следующего выражения:

$$b = \frac{V_{1,t}}{k \cdot f_i} \quad (2)$$

где  $V_{1,t}$  - скорости продольной и поперечных волн в материале слоя футеровки,  
 20  $f_i$  - частоты установившихся колебаний,

$k$  - целочисленный коэффициент, значение которого зависит от отношения импедансов соседних слоев и принимает значения от 2 до 4.

Тепловая модель основана на распространении тепла от продуктов доменной плавки через многослойную футеровку. Задача решается с помощью конечно-элементной  
 25 модели, основанной на уравнении Фурье и теплотехнических свойствах материалов слоев и граничных условиях на кожухе МА, получаемых с помощью температурных датчиков.

Модель упругих напряжений основана на возникновении упругих напряжений в кожухе доменной печи в результате термических или механических нагрузок. Задача  
 30 решается с помощью конечно-элементной модели упругопластической задачи, граничные условия получают с тензодатчиков, установленных на кожухе доменной печи.

Необходимые физические характеристики материалов футеровки: плотность, скорости продольных и поперечных волн, теплопроводность, определены на лабораторном  
 35 стенде.

Взаимная коррекция моделей производится с применением корреляционных связей, полученных с применением нейронных сетей и нечетких множеств. В результате строится обобщенная модель футеровки, из анализа которой даются технологические  
 40 рекомендации.

Пример конкретного осуществления способа

Датчики были установлены по высоте печи на обозначенных уровнях через 500 мм и по периметру доменной печи через 1000 мм. В качестве датчиков акустических колебаний использовались акселерометры АР-85, в качестве температурных датчиков термометры сопротивления ДТС-0144, тензометрия осуществлялась датчиками BS-  
 45 15СТ. Информация собиралась с помощью крейтовой системы в составе: крейты LTR-EU-16, модули для акустических датчиков LTR22, модули для измерения температуры LTR114, модули для тензометрии LTR212. Программное обеспечение, реализующее обработку акустических, температурных и тензометрических данных, разрабатывалось

в среде Delphi. Окончательная обработка изображений и подготовка отчетов осуществлялась в среде Autocad с применением языка Lisp.

Результативность описанного способа подтверждена производственными испытаниями на действующих металлургических агрегатах:

- 5 1. «Азовсталь», г. Мариуполь, Украина, доменные печи №№3, 4, 5; 2005, 2011 г.
2. «ММК им.Ильича», г. Мариуполь, Украина, доменная печь №4; 2005-2009 г.

На чертеже изображен разрез части доменной печи на уровне горна и лещади, в футеровке которых за время работы выгорела часть огнеупорных блоков и образовались слои: 1 - кольцевая трещина, 2 - несплошность набойки, 3 - граница прочного гарнисажа (рабочий профиль), которые были определены описываемым выше способом.

10 В результате проведенных работ на вышеуказанных предприятиях были установлены толщины слоев в футеровках горна и лещади, шахт доменных печей, что позволило вовремя выработать мероприятия по продлению их работы до ремонта и избежать аварии.

15

#### Формула изобретения

Способ определения топографии слоев футеровки металлургических агрегатов, включающий акустическую локацию слоев футеровки работающего агрегата с приемом отраженных колебаний посредством датчиков акустических колебаний, регистрацию в запоминающем устройстве резонансного спектра колебаний, установившихся в слоях футеровки от излучателей акустических колебаний и от акустических колебаний, возникающих в слоях футеровки работающего агрегата, определение по частоте зарегистрированных отраженных акустических колебаний с учетом физических свойств материала футеровки и в соответствии с математической моделью координат границ слоев футеровки напротив мест замеров и осуществление построения топографии слоев футеровки, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют измерения температуры футеровки посредством температурных датчиков и измерения упругих напряжений в кожухе агрегата посредством тензодатчиков, на основании которых с помощью математической модели строят соответствующие дополнительные топографии слоев футеровки, при этом упомянутые датчики располагают стационарно по поверхности кожуха с заданным расстоянием между датчиками по вертикали и горизонтали, определяемым размерами агрегата и толщиной футеровки, а построение окончательной топографии осуществляют на основании взаимной коррекции полученных топографий с применением корреляционных связей между ними.

35

40

45

