



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **128360** (13) **C2**
(51) МПК (2024.01)**G01B 17/02** (2006.01)**C21B 7/24** (2006.01)**C21C 5/44** (2006.01)**F27D 21/00****G01M 7/08** (2006.01)**G01N 29/04** (2006.01)**G01N 29/44** (2006.01)**G01N 29/46** (2006.01)**G01M 5/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2022 02225	(72) Винахідник(и): Гомес Гарсія Пабло (ES), Фернандес Альварес Хосе Пауліно (ES), Бакет Гонсалес Ігнасіо (ES), Сімаро Хосе Томас (ES), Ереро Бланко Ігнасіо (ES), Фернандес Дієґес Енол (ES), Суарез Лазаре Карлос Хав'єр (ES)
(22) Дата подання заявки: 27.11.2020	(73) Володілець (володільці): АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, 1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 20.06.2024	(74) Представник: Слободянюк Алла Василівна, реєстр. №25
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: PCT/IB2019/060326	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2019186256 A1, 03.10.2019 SADRI A et. al. A comprehensive review of acousto ultrasonic-echo (AU-E) technique for furnace refractory lining assessment. 23.08.2015. URL: https://docplayer.net/101115406-A- comprehensive-review-of-acousto-ultrasonic- echo-au-e-technique-for-furnace-refractory- lining-assessment.html (дата звернення: 28.01.2024) JP H08219751 A, 30.08.1996 Ultrasonic wave velocity measurement in concrete using the impact-echo method / V. K. Kachavov et al. Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. 01.01.2019. Vol. 61. No. 1. P. 15-19
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 29.11.2019	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: ІВ	
(41) Публікація відомостей про заявку: 02.11.2022, Бюл.№ 44	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 19.06.2024, Бюл.№ 25	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/IB2020/061212, 27.11.2020	

**(54) СИСТЕМА ТА МЕТОД ОЦІНКИ ТОВЩИНИ І СТАНУ ЗНОШЕННЯ ВОГНЕТРИВКОГО МАТЕРІАЛУ
МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПЕЧІ****(57)** Реферат:**UA 128360 C2**

Винахід належить, головним чином, до системи оцінки як товщини, так і стану зношування вогнетривкого матеріалу (1) металургійної печі (12), яка містить щонайменше засоби обробки, які включають базу даних модельних даних в частотній області, які називаються модельними спектрами, які представляють модельні ударні хвилі, відбиті в модельні вогнетривкі матеріали відомого стану і товщини, кожен модельний спектр корелює з даними як відомого стану, так і товщини розглянутого модельного вогнетривкого матеріалу, при цьому засоби обробки призначені для реєстрації відбитої ударної хвилі як сигналу часової області і для його перетворення на дані частотної області, названі експериментальним спектром, і додатково призначені для порівняння експериментального спектра щонайменше з кількома модельними спектрами з бази даних, щоб визначити найкращий модельний спектр підгонки до експериментального спектра і оцінки товщини і стану вогнетривкого матеріалу (1) печі (12) з використанням відомого стану і товщини даних, які корелюють з найкращим наближенням модельним спектром.

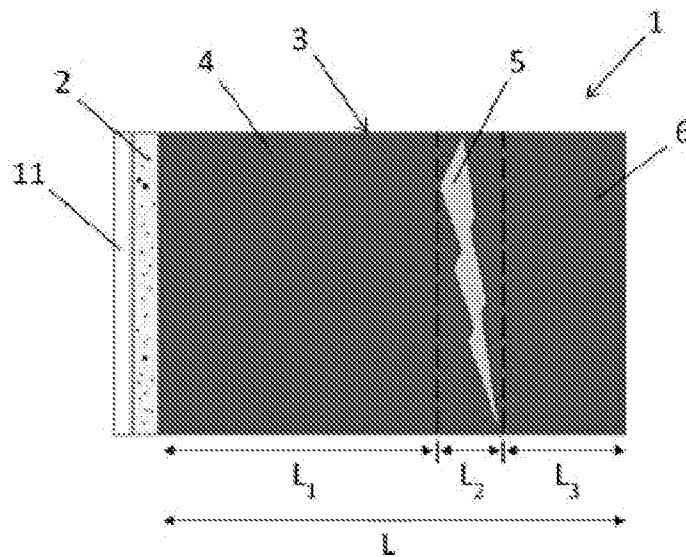


Fig. 2

Винахід відноситься до галузі металургії і, зокрема, до галузі вогнетривких матеріалів всередині металургійних печей.

Винахід відноситься до системи і способу оцінки як товщини, так і зношення вогнетривкого матеріалу металургійної печі, наприклад доменної печі.

5 ПОПЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ ТЕХНІКИ І НЕДОЛІКИ ПОПЕРЕДНЬОГО РІВНЯ ТЕХНІКИ

Доменна піч зазвичай містить металеву пластину зовнішнього шару, переважно сталеву пластину зовнішнього шару, внутрішній шар і проміжний трамбувальний шар, обидва виготовлені з вогнетривкого матеріалу. Цей вогнетривкий матеріал забезпечує хорошу теплоізоляцію зовнішнього шару і утворює вогнетривку стінку доменної печі.

10 Однак, оскільки доменна піч може піддаватися дуже високим температурам – понад 1500 градусів Цельсія, і оскільки розплавлені метали утворюються в результаті хімічних реакцій, в яких бере участь більше 1000 газів і матеріалів, вогнетривкий матеріал піддається високому хімічному і термічному напруженню, що призводить до прогресуючого погіршення його стану і зменшення товщини. Таким чином, якщо вогнетривкий матеріал зменшується до критичної

15 товщини, це може призвести до серйозної дисфункції доменної печі, що часто призводить до серйозних аварій.

Вже відомі методи неруйнівного контролю для оцінки товщини вогнетривкого матеріалу доменної печі, відомі як метод ударної луни.

20 Однак ці відомі методи недостатньо точні, вони також не оцінюють товщину або зношення багатшарових матеріалів, таких як-от вогнетривкий матеріал доменної печі. Наприклад, під час високого хімічного і термічного навантаження всередині вогнетривкого матеріалу може з'явитися послаблений шар, особливо якщо він виготовлений з вуглецю. Методи ударного ехо-сигналу є недостатньо точними, щоб точно визначити положення і товщину такого послабленого шару, який часто називають крихким шаром. Крім того, методи ударного ехо-

25 сигналу не можуть виявити трамбувальні щілини в трамбувальному шарі.

МЕТА ВИНАХОДУ

Таким чином, метою цього винаходу є усунення недоліків попереднього рівня техніки шляхом забезпечення системи і неруйнівного методу для оцінки як товщини, так і стану зношування вогнетривкого матеріалу доменної печі.

30 КОРОТКИЙ ОПИС ВИНАХОДУ

3 Цією метою перший предмет цього винаходу складається з системи для оцінки як товщини, так і стану зношування вогнетривкого матеріалу (1) металургійної печі, яка містить, щонайменше:

35 засоби генерації ударної хвилі, призначені на створення, щонайменше, однієї ударної хвилі, яка поширюється у вогнетривкому матеріалі,

сенсор ударної хвилі, призначений на виявлення, щонайменше, однієї відбитої ударної хвилі у вогнетривкий матеріал,

40 засоби обробки, які містять базу модельних даних в частотній області, іменованих модельними спектрами, які представляють модельні ударні хвилі, відбиті в модельних вогнетривких матеріалах відомого стану і товщини, причому кожен модельний спектр корелює як з відомим станом, так і з даними про товщину розглянутого модельного вогнетривкого матеріалу, при цьому засоби обробки призначені для:

реєстрації відбитої ударної хвилі як сигналу часової області і перетворення його на дані частотної області, які називаються експериментальним спектром, і

45 порівняння експериментального спектра з множиною модельних спектрів з бази даних, для визначення найкращого наближеного модельного спектра з експериментальним спектром і оцінити товщину і стан вогнетривкого матеріалу печі, використовуючи дані відомого стану і товщини, які корелюють з найкращим наближеним модельним спектром.

50 Система також може мати перелічені нижче додаткові функції, які розглядаються окремо або в комбінації:

Засоби обробки послідовно призначені для:

Визначення положення піків резонансних частот даних в частотній області;

Фільтрування модельних спектрів з бази даних за піками резонансних частот і вибору зменшеної відповідної групи модельних спектрів, які містять зазначені піки резонансних частот, і

55 Визначення унікального модельного спектра із зменшеної відповідної групи, в якому піки резонансних частот є найближчими за висотою до піків експериментального спектру, причому зазначений унікальний модельний спектр є найкращим наближеним модельним спектром.

60 Засіб генерування ударної хвилі містить інструментальний молот, призначений для удару по стінці металургійної печі для генерації, щонайменше, однієї акустичної ударної хвилі, яка поширюється і відбивається у вогнетривкому матеріалі.

Сенсор ударної хвилі містить, щонайменше, акселерометр, призначений для вимірювання механічної реакції вогнетривкого матеріалу, викликаній відбиттям згенерованої ударної хвилі.

Другим предметом винаходу є спосіб оцінки як товщини, так і стану зношування вогнетривкого матеріалу металургійної печі з описаною вище системою, при цьому зазначений

5 спосіб включає, щонайменше, такі етапи:

Генерацію, щонайменше, однієї ударної хвилі, яка поширюється у вогнетривкому матеріалі;

Детектування, щонайменше, однієї відбитої ударної хвилі у вогнетривкому матеріалі;

Реєстрацію відбитої ударної хвилі як сигналу в часовій області;

10 Перетворення зазначеного сигналу з часової області на дані в частотній області, які називаються експериментальним спектром;

Порівняння експериментального спектру, щонайменше, з кількома модельними спектрами з бази даних, причому кожен модельний спектр корелює як з відомими даними про стан, так і з даними про товщину досліджуваного вогнетривкого матеріалу;

Визначення найкращого наближення модельного спектра з експериментальним спектром, і

15 Оцінку товщини і стану вогнетривкого матеріалу печі за відомими даними про стан і товщину за даними, які корелюють з найкращим наближенням модельним спектром.

Спосіб також може включати перелічені нижче додаткові функції, які розглядаються окремо або в комбінації:

Послідовне виконання етапів v і vi:

20 Визначення положення піків резонансних частот в експериментальному спектрі;

Фільтрування модельних спектрів із бази даних із виявленими піками резонансних частот і вибір зменшеної відповідної групи модельних спектрів, яка містить зазначені піки резонансних частот, і

25 Визначення унікального модельного спектру зі зменшеної відповідної групи, в якому піки резонансних частот є за висотою найближчими до піків експериментального спектру, причому зазначений унікальний спектр є найкращим наближенням модельним спектром.

Етап vii реалізується шляхом оцінки, щонайменше, загальної товщини вогнетривкого матеріалу, а також положення і товщини, щонайменше, одного шару, в якому вогнетривкий матеріал послаблений аномаліями, причому зазначений шар називається крихким шаром.

30 Генерується множина ударних хвиль, множина відбитих ударних хвиль детектуються і записуються як сигнали в часовій області і як сигнал в частотній області.

Визначення положення піків резонансних частот в експериментальному спектрі здійснюється такими етапами:

арифметичне усереднення експериментальних спектрів і вибір першого набору 35 репрезентативних піків;

геометричне усереднення експериментальних спектрів і вибір другого набору репрезентативних піків, і

40 вибір остаточного набору піків, які були обрані як в першому наборі, так і в другому наборі, причому зазначений остаточний набір піків є піками резонансних частот.

Піки першого набору вибираються, якщо їх ширина перевищує порогове значення, від десяти до двадцяти герц.

45 Модельні спектри з бази даних фільтруються з допомогою піків резонансних частот, виявлених з допомогою, щонайменше, однієї чисельної моделі дисперсійних кривих, щоб визначити режими поширення модельних ударних хвиль, відфільтрувати їх за виявленими піками резонансних частот і вибрати зменшену групу модельних спектрів підгонки.

Унікальний модельний спектр визначається з відповідної зменшеної групи з використанням, щонайменше, чисельної динамічної моделі.

Далі вибираються спектри з відповідної зменшеної групи і порівнюються з експериментальним спектром шляхом виконання, щонайменше, одного з наступних етапів:

50 Пряма різниця між модельними спектрами і експериментальними спектрами;

Порівняння загальної форми модельних спектрів і експериментального спектру;

Визначення відмінностей між положеннями піків максимальної висоти відповідно модельних спектрів і експериментального спектру;

Взаємна кореляція між модельними спектрами і експериментальним спектром.

55 ОПИС ФІГУР

Інші характеристики і переваги винаходу будуть описані в подальшому описі, шляхом посилання і без будь-якого обмеження, з посиланням на додані фігури, на яких:

Фіг. 1 являє собою вид у перерізі доменної печі;

Фіг. 2 являє собою вид у перерізі вогнетривкого матеріалу доменної печі;

Фіг. 3а являє собою вид у перерізі першого варіанта вогнетривкого матеріалу доменної печі, яка має систему охолодження;

Фіг. 3б являє собою вид у перерізі другого варіанта вогнетривкого матеріалу доменної печі, яка має систему охолодження;

5 Фіг. 3с являє собою вид у перерізі третього варіанта вогнетривкого матеріалу доменної печі, яка має систему охолодження;

На Фіг. 4 представлений графік з першою кривою, яка надає арифметично усереднені експериментальні спектри, і другою кривою, яка надає геометрично усереднені експериментальні спектри.

10 ДЕТАЛЬНИЙ ОПИС ВИНАХОДУ

Система і спосіб винаходу, зокрема, знаходять застосування при оцінюванні як товщини, так і стану зношування вогнетривкого матеріалу 1 металургійної печі 12, а більш конкретно, вогнетривкого матеріалу 1 конкретної нижньої частини доменної печі 12, яка містить розплавлений метал, і в якій температура є найвищою.

15 Нижня частина доменної печі 12 має зовнішній шар 11, виготовлений з металу, як правило, сталі. Для термічної ізоляції цього зовнішнього шару 11, як показано на Фіг. 1-2, доменна піч 12 містить вогнетривкий матеріал 1, склад якого корелює з температурою, якій він піддається.

В нижній частині доменної печі 12, де температура перевищує 1500 градусів Цельсія, вогнетривкий матеріал 1 містить товстий внутрішній шар 3 і тонкий проміжний трамбувальний шар 2, розташований між зовнішнім металевим шаром і внутрішнім шаром 3. Трамбувальний шар 2 має товщину приблизно п'ять-десять сантиметрів і переважно виготовляється з кераміки. Внутрішній шар 3, виготовлений з вуглецю, і становить приблизно 80-100 см.

20 Як показано на Фіг. 3а-3с, доменна піч 12 додатково містить охолоджувальні засоби 13, 14, 15, пристосовані для охолодження доменної печі 12 з допомогою адаптованого охолоджувача, наприклад, води. Ці засоби охолодження 13-15 примикають до зовнішнього сталевому шару 11 доменної печі 12.

В першому варіанті, зображеному Фіг. 3а, охолоджувальний засіб 13 містить розпилювальний пристрій, пристосований для регульованого або безперервного розпилення розпилюваної охолоджувальної рідини на зовнішню поверхню зовнішнього шару 11. Випаровування теплоносія на зовнішньому шарі 11 сприяє охолодженню доменної печі 12.

В другому варіанті, зображеному на Фіг. 3б, охолоджувальний засіб містить канали 14 охолодження, розташовані навпроти зовнішньої поверхні зовнішнього шару 11 (на Фіг. 3б зображений лише один канал 14 охолодження). Теплоносій проходить цими каналами 14 і сприяє охолодженню доменної печі 12 через зовнішній шар 11.

35 В третьому варіанті, зображеному Фіг. 3с, охолоджувальний засіб містить охолоджувальні стрижні 15, вставлені між зовнішнім шаром 11 і проміжним трамбувальним шаром 2 (на Фіг. 3с зображена лише одна охолоджувальна штанга 15). Теплоносій проходить через цю штангу 15 і сприяє охолодженню доменної печі 12 через трамбувальний шар 2.

40 Як було показано раніше, мета системи і способу винаходу полягає в оцінці неруйнівним способом як стану, так і товщини внутрішнього і проміжного шарів 2, 3.

Стан шару 2, 3 визначає стан зношування зазначеного шару 2, 3, причому система і спосіб згідно з винаходом можуть виявити дефекти і слабкість вогнетривкого матеріалу 1. Зокрема, винахід призначений для виявлення щілин в проміжному шарі 2, а також для визначення положення і товщини будь-якого послабленого шару 5 у внутрішньому шарі 3, при цьому послаблений шар називається крихким шаром 5.

45 Як показано на Фіг. 2, система і спосіб згідно з винаходом також можуть оцінити товщину L_1 внутрішнього "нормального" шару 4, що залишився, тобто шару вуглецю, який залишився між проміжним шаром 2 і крихким шаром 5, і товщину L_3 "пошкодженого" внутрішнього шару 6, тобто шару вуглецю поза крихким шаром 5.

50 Система і спосіб винаходу застосовні до будь-якої доменної печі 12, описаної вище, незалежно від того, обладнана доменна піч 12 охолоджувальними засобами 13-15 чи ні, і незалежно від варіанта здійснення охолоджувальних засобів 13-15.

Тепер буде описана система винаходу.

55 Система містить, щонайменше, моторизований молот, призначений для ударів по зовнішньому шару доменної печі 12. Метою кожного удару молота є збудження вогнетривкого матеріалу 1 доменної печі 12, причому після кожного удару виникає механічна ударна хвиля, як правило, акустична ударна хвиля, яка поширюється через вогнетривкий матеріал 1. Звичайно, з допомогою молота можна згенерувати множину ударних хвиль, оскільки кожен удар породжує ударну хвилю.

Система також містить, щонайменше, сенсор ударної хвилі для виявлення збудження вогнетривкого матеріалу 1 доменної печі 12. Іншими словами, зазначений сенсор ударної хвилі призначений для виявлення, щонайменше, однієї відбитої ударної хвилі у вогнетривкому матеріалі 1. Оскільки ударні хвилі спричиняють послідовність стискань і розширень вогнетривкого матеріалу 1, кожен сенсор ударної хвилі переважно є акселерометром, встановленим на зовнішній поверхні зовнішнього шару доменної печі 12, щоб мати можливість виявляти механічні збудження вогнетривкого матеріалу 1.

Система містить засоби обробки, електрично з'єднані з моторизованим молотком і акселерометром, і призначені для реєстрації відбитої ударної хвилі, яка сприймається акселерометром. Цей зареєстрований сигнал представляє зміну вогнетривкого матеріалу 1 в залежності від часу. Таким чином, зареєстрований сигнал є сигналом в часовій області.

Засоби обробки також призначені на перетворення сигналу часової області на дані частотної області, названі в подальшому "експериментальний спектр", наприклад, з допомогою швидкого алгоритму перетворення Фур'є. Завдяки цьому перетворенню експериментальний спектр показує моди поширення, тобто кожна резонансна частота корелює з механічним збудженням вогнетривкого матеріалу 1. Моди поширення експериментального спектру співвідносяться зі структурними властивостями вогнетривкого матеріалу 1, тобто його щілинами в трамбувальному шарі 2, його загальною товщиною L і, якщо застосовується, крихкий шар 5 його положенням і товщиною L_2 .

Як пояснюється в наступному розділі і відповідно до винаходу, система використовує моди поширення, щоб оцінити як товщину L , так і зношення вогнетривкого матеріалу 1. Більш конкретно, засоби обробки призначені для порівняння експериментального спектру з множиною модельних спектрів.

Таким чином, засоби обробки системи містять базу даних модельних спектрів, причому кожен модельний спектр є швидким перетворенням Фур'є відповідного модельного сигналу часової області, який відповідає відомому вогнетривкому матеріалу доменної печі 12. Іншими словами, кожен модельний спектр співвідноситься з модельним вогнетривким матеріалом, для якого відомі щілини при трамбуванні, загальна товщина і положення, а також товщина крихкого шару.

Модельні спектри генеруються з допомогою відомого програмного забезпечення для аналізу методом скінченних елементів, з допомогою якого вивчається широкий діапазон конфігурацій вогнетривких матеріалів. База даних може містити більше 200.000 модельних спектрів, які відповідають такій самій кількості конфігурацій вогнетривкого матеріалу.

Згідно з винаходом спосіб оцінки як товщини L , так і стану вогнетривкого матеріалу 1 доменної печі 12 реалізується описаною вище системою. Зараз буде описаний цей спосіб.

На першому етапі способу засоби обробки керують моторизованим молотом так, щоб він міг вдарити по поверхні зовнішнього шару доменної печі. Одночасно вмикається акселерометр для виявлення будь-якого сигналу збудження вогнетривкого матеріалу 1 доменної печі 12. Таким чином, молот створює ударну хвилю, яка поширюється вогнетривким матеріалом 1.

На другому етапі акселерометр сприймає відбиту ударну хвилю у вогнетривкому матеріалі 1, при цьому зазначена відбита ударна хвиля реєструється як сигнал в часовій області в пам'яті засобу обробки.

На третьому етапі засіб обробки перетворює сигнал з часової області на дані частотної області, щоб створити експериментальний спектр, репрезентативний для структури вогнетривкого матеріалу 1.

На четвертому етапі засоби обробки порівнюють експериментальний спектр, щонайменше, з кількома модельними спектрами, записаними в базі даних для визначення найкращого наближеного модельного спектра до експериментального спектра. Для цього засоби обробки здійснюють пошук репрезентативних резонансних піків в експериментальному спектрі і порівнюють їх із піками резонансних частот множини модельних спектрів, причому такі резонансні піки є репрезентативними модами поширення. В подальшому описі буде точно описаний метод вибору найкращого наближеного модельного спектра на зазначеному четвертому етапі.

Переважно для збільшення відношення сигнал/шум, ці три етапи послідовно повторюються, щоб отримати множину експериментальних спектрів, які представляють структуру вогнетривкого матеріалу 1, зазвичай від десяти до двадцяти експериментальних спектрів. Для зменшення шумів, ця множина експериментальних спектрів арифметично усереднюється з

використанням формули $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i$, де n це кількість експериментальних спектрів, а f_i це i -й експериментальний спектр. Результат зображений на Фіг. 4, який показує арифметично

усереднений експериментальний спектр 7, який є кривою, яка являє собою амплітуду Фур'є перетвореного експериментального сигналу від частоти.

Потім засоби обробки вибирають перший набір 9, 10 репрезентативних піків, зазначений вибір базується на висоті піка і/або на його ширині. Переважно засіб обробки вибирає лише піки шириною, яка перевищує порогове значення, яке становить від десяти до двадцяти герц.

Експериментальні спектри також геометрично усереднюються засобами обробки за

формулою $\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n f_i} = 1f_i$. Іншими словами, середнє геометричне - це корінь n-го ступеня з добутку n експериментальних спектрів. Результат також зображений на Фіг. 4, де показано геометрично усереднений експериментальний спектр 8. Таким чином, частини експериментальних спектрів, які часто повторюються, збільшуються в зазначеному усередненому спектрі, як показано на Фіг. 4, який представляє як арифметично, так і геометрично усереднені спектри. В результаті більшість репрезентативних піків збільшуються в цьому геометрично усередненому спектрі, і, таким чином, засоби обробки вибирають другий набір 9" репрезентативних піків. Як показано на Фіг. 4, ці піки 9" легко вибрати, оскільки вони чітко виділяються з решти геометрично усередненого спектру 8.

Арифметичне і геометричне усереднення реалізуються засобами обробки паралельно. Метою є одержання двох незалежних середніх – середнього арифметичного і середнього геометричного – на основі експериментальних даних на основі цих двох паралельних етапів обробки. Таким чином, засіб обробки вибирає остаточний набір піків, які були обрані як в першому наборі, так і в другому наборі. Піки, вибрані в остаточному наборі, є репрезентативними піками резонансних частот 9, які безпосередньо корелюють з режимами поширення, які представляють вогнетривкий матеріал 1 доменної печі 12.

Після визначення остаточного набору резонансних піків 9 засіб обробки відфільтровує, щонайменше, множину модельних спектрів із зазначеними вибраними резонансними піками 9. Ця фільтрація досягається використанням відомої чисельної моделі дисперсійних кривих, щоб визначити режими поширення модельної ударної хвилі, потім відфільтрувати їх за виявленими піками резонансних частот 9 і, нарешті, вибрати зменшену групу модельних спектрів, які містять зазначені піки резонансних частот 9.

Засоби обробки реалізують, щонайменше, відому чисельну динамічну модель на зменшеній групі модельних спектрів, наприклад, модель кінцевих елементів, щоб визначити унікальний модельний спектр з цієї зменшеної групи модельних спектрів. Цей унікальний модельний спектр є найкращим наближенням модельним спектром з арифметично усередненим експериментальним спектром 7. Спектр найкращого наближення, який містить резонансні піки, відповідні висоті яких найближчі до висоти резонансних піків 9 арифметично усередненого експериментального спектра 7.

Застосовуючи динамічну модель, засоби обробки визначають параметри подібності, реалізуючи один або більше з наступних етапів, щоб визначити найкращий наближений модельний спектр із зменшеної групи модельних спектрів. Для кожного реалізованого етапу генерується розглянутий параметр подібності:

Пряма різниця між модельними спектрами кінцевого набору і арифметично усередненим експериментальним спектром 7;

Порівняння загальної форми модельних спектрів кінцевого набору з арифметично усередненим експериментальним спектром 7;

Визначення різниці між зрізаними модельними спектрами і фільтрованим арифметично усередненим експериментальним спектром 7; фільтрований спектр – це спрощений спектр, одержаний, наприклад, із застосуванням фільтра нижніх частот для придушення вибраних характеристик вихідного спектра;

Визначення відмінностей між положеннями піків максимальної висоти відповідно модельних спектрів кінцевого набору і арифметично усередненого експериментального спектра 7, і/або

Перехресна кореляція між модельними спектрами остаточного набору і арифметично усередненим експериментальним спектром 7 шляхом вимірювання подібності між модельними спектрами остаточного набору і арифметично усередненим експериментальним спектром 7. Іншими словами, чим більше спектри віддалені один від одного в частотній області, тим менше значення кореляції.

Щоб вибрати найкращий наближений модельний спектр із відповідної зменшеної групи, засоби обробки формують таблицю з відсотком подібності між кожним модельним спектром і середнім арифметично експериментальним спектром 7. Більш конкретно, відсоток подібності визначається з урахуванням всіх модельних параметрів, одержаних шляхом реалізації одного або більше з вищенаведених етапів. Крім того, всі параметри подібності розглядаються з

однаковою вагою. Іншими словами, якщо визначені п'ять параметрів подібності, кожен з них дає 20 % при виборі найкращого наближеного модельного спектра. При такому підході, чим більше подібні спектри за формою, максимальним положенням тощо, тим вище відсоток подібності між цими спектрами. Модельний спектр з найвищим відсотком в таблиці, нарешті, вибирається засобами обробки як найкращий наближений модельний спектр.

Нарешті, на п'ятому етапі методу засоби обробки вибирають модельний вогнетривкий матеріал з бази даних, який співвідноситься з найкращим наближеним модельним спектром. Засоби обробки потім формують таблицю з усіма характеристиками зазначеного модельного вогнетривкого матеріалу, які є найкраще подібними з випробуваним вогнетривким матеріалом. Це забезпечує дуже точну неруйнівну оцінку характеристик випробуваного вогнетривкого матеріалу, зокрема наявність або відсутність щілин у проміжному шарі 2, товщину L загального шару вуглецю 3, товщину L_2 і положення крихкого шару 5, якщо застосовується, і товщину L_1 "нормального" вуглецевого шару 4 між крихким шаром 5 і проміжним шаром трамбування 2. Крім того, за допомогою способу і системи винаходу ця оцінка є точною незалежно від конфігурації металургійної печі, зокрема розташування і типу засобів охолодження, які зображені на Фіг. 3а-3с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Система оцінки як товщини, так і стану зношування вогнетривкого матеріалу (1) металургійної печі (12), яка містить щонайменше:

- засоби генерації ударної хвилі, призначені для генерації щонайменше однієї ударної хвилі, яка поширюється у вогнетривкому матеріалі (1),
- сенсор ударної хвилі, призначений для детектування щонайменше однієї відбитої ударної хвилі у вогнетривкому матеріалі (1),

- засоби обробки, які містять базу модельних даних в частотній області, іменованих модельними спектрами, які представляють модельні ударні хвилі, відбиті в модельних вогнетривких матеріалах відомого стану і товщини, причому кожен модельний спектр корелює як з відомим станом, так і з даними про товщину розглянутого модельного вогнетривкого матеріалу, при цьому засоби обробки призначені для:

- реєстрації відбитої ударної хвилі як сигналу в часовій області і перетворення його на дані частотної області, які називаються експериментальним спектром, і
- порівняння експериментального спектра з множиною модельних спектрів з бази даних, для визначення найкращого наближеного модельного спектра з експериментальним спектром і оцінки товщини і стану вогнетривкого матеріалу печі, використовуючи дані відомого стану і товщини, які корелюють з найкращим наближеним модельним спектром.

2. Система за п. 1, в якій зазначені засоби обробки призначені для послідовного виконання:

- i) визначення положення піків резонансних частот з даних частотної області;
- ii) фільтрування модельних спектрів з бази даних за піками резонансних частот і вибору зменшеної відповідної групи модельних спектрів, які містять зазначені піки резонансних частот, і
- iii) визначення унікального модельного спектра із зменшеної відповідної групи, в якому піки резонансних частот є найближчими за висотою до піків експериментального спектра, причому зазначений унікальний модельний спектр є найкращим наближеним модельним спектром.

3. Система за п. 1 або 2, в якій засіб генерації ударної хвилі містить інструментальний молот, призначений для удару по стінці (11) металургійної печі, щоб генерувати щонайменше одну акустичну ударну хвилю, яка поширюється і відбивається у вогнетривкому матеріалі (1).

4. Система за будь-яким із вищезгаданих пунктів, в якій сенсор ударної хвилі містить щонайменше акселерометр, призначений для вимірювання механічної реакції вогнетривкого матеріалу (1), викликаної відбиттям згенерованої ударної хвилі.

5. Спосіб оцінки як товщини, так і стану зношування вогнетривкого матеріалу (1) металургійної печі (12) з системою за будь-яким з пп. 1-4, який включає щонайменше такі етапи:

- i) генерування щонайменше однієї ударної хвилі, яка поширюється у вогнетривкому матеріалі (1);
- ii) детектування щонайменше однієї відбитої ударної хвилі у вогнетривкому (1) матеріалі;
- iii) реєстрація відбитої ударної хвилі як сигналу в часовій області;
- iv) перетворення зазначеного сигналу з часової області на дані в частотній області, які називаються експериментальним спектром;
- v) порівняння експериментального спектра щонайменше з кількома модельними спектрами з бази даних, причому кожен модельний спектр корелює як з відомими даними про стан, так і з даними про товщину досліджуваного вогнетривкого матеріалу;

vi) визначення найкращого наближення модельного спектра з експериментальним спектром, і
vii) оцінка товщини і стану вогнетривкого матеріалу печі за відомими даними про стан і товщину за даними, які корелюють з найкращим наближеним модельним спектром.

6. Спосіб за попереднім пунктом, в якому етапи v) і vi) виконують послідовно:

- 5 а) визначають положення піків резонансних частот в експериментальному спектрі;
- б) фільтрують модельні спектри з бази даних з виявленими піками резонансних частот і вибирають зменшені відповідні групи модельних спектрів, які містять зазначені піки резонансних частот, і
- 10 с) визначають унікальний модельний спектр зі зменшеної відповідної групи, в якому піки резонансних частот є за висотою найближчими до піків експериментального спектра, причому зазначений унікальний спектр є найкращим наближеним модельним спектром.

7. Спосіб за п. 5 або 6, в якому етап vii) здійснюють шляхом щонайменше оцінки загальної товщини (L) вогнетривкого матеріалу (1), а також положення і товщини (L2) щонайменше шару, в якому вогнетривкий матеріал послаблений аномаліями, причому зазначений шар називається крихким шаром (5).

8. Спосіб за будь-яким з пп. 5-7, в якому генерують множину ударних хвиль, множину відбитих ударних хвиль детектують і реєструють як сигнали часової області і перетворюють на сигнали частотної області.

9. Спосіб за п. 6, в якому визначення положення піків резонансних частот в експериментальному спектрі здійснюють на наступних етапах:

- 20 а) арифметичне усереднення експериментальних спектрів і вибір першого набору репрезентативних піків;
- б) геометричне усереднення експериментальних спектрів і вибір другого набору репрезентативних піків, і
- 25 с) вибір остаточного набору піків, які були вибрані як в першому наборі, так і в другому наборі, зазначений остаточний набір піків є піками резонансних частот.

10. Спосіб за п. 9, в якому піки першого набору вибирають, якщо їх ширина перевищує порогове значення, яке становить від десяти до двадцяти герц.

11. Спосіб за п. 9 або 10, в якому модельні спектри з бази даних фільтрують за допомогою піків резонансних частот, виявлених з використанням щонайменше однієї чисельної моделі дисперсійних кривих, щоб визначити режими поширення модельних ударних хвиль, щоб фільтрувати їх за виявленими піками резонансних частот і вибрати зменшену відповідну групу модельних спектрів.

12. Спосіб за будь-яким із пп. 9-11, в якому унікальний модельний спектр вибирають із зменшеної відповідної групи з використанням щонайменше однієї чисельної динамічної моделі.

13. Спосіб за п. 11, в якому вибрану зменшену відповідну групу модельних спектрів потім порівнюють з експериментальним спектром шляхом реалізації щонайменше одного з наступних етапів:

- пряма різниця між спектрами зменшеної відповідної групи модельних спектрів і експериментальними спектрами;
- 40 - порівняння загальної форми спектрів зменшеної відповідної групи і експериментального спектра;
- визначення відмінностей між положеннями піків максимальної висоти відповідно спектрів зменшеної відповідної групи і експериментального спектра;
- 45 - взаємна кореляція між спектрами зменшеної відповідної групи модельних спектрів і експериментальним спектром.

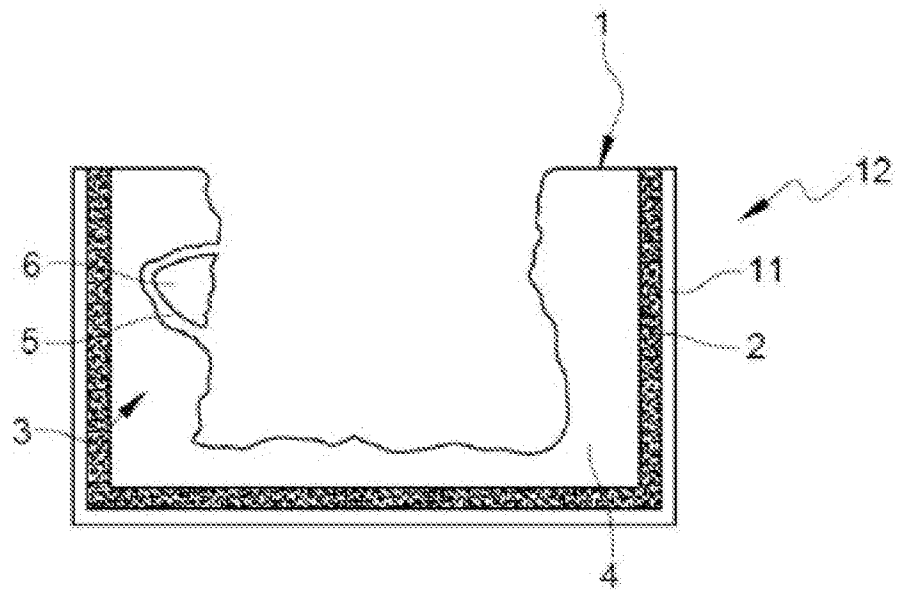


Fig. 1

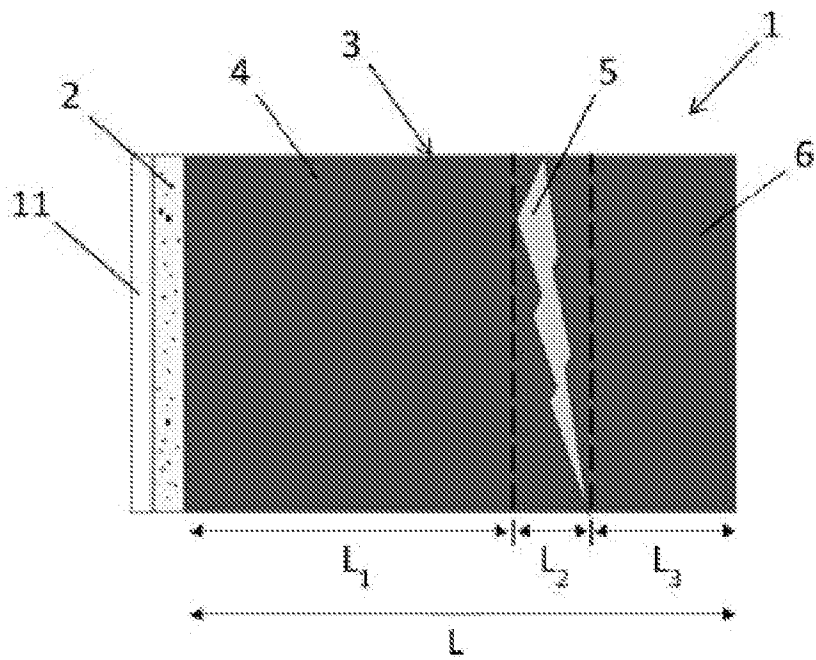


Fig. 2

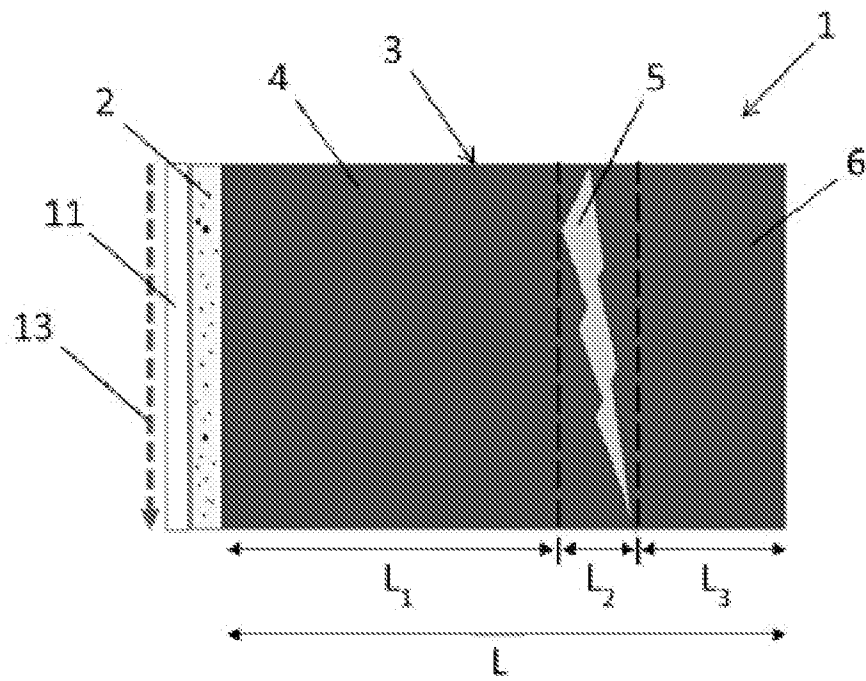


Fig. 3a

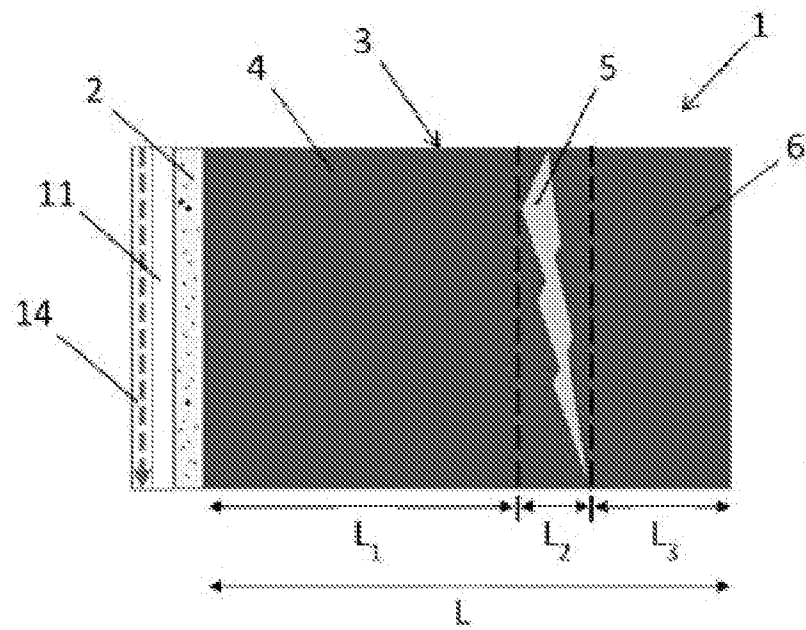


Fig. 3b

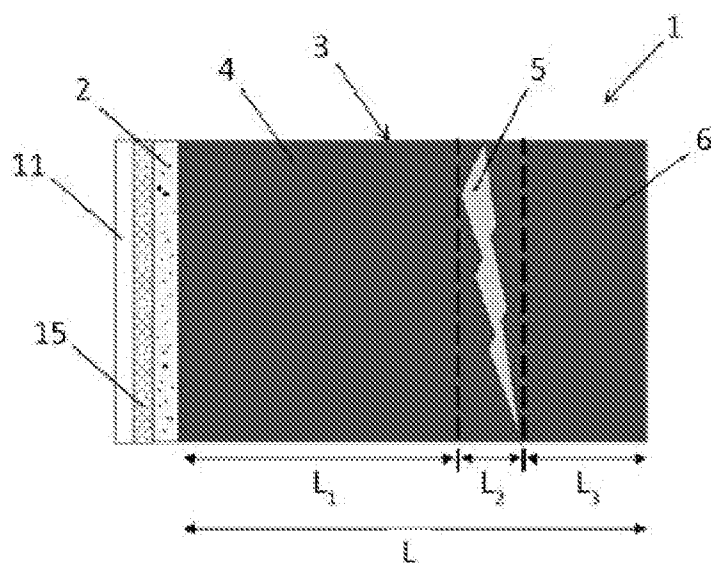


Fig. 3c

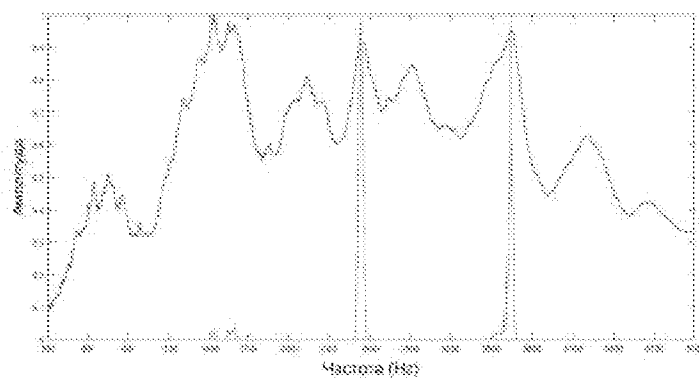


Fig. 4