



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122497** (13) **C2**
(51) МПК (2020.01)
C03B 5/235 (2006.01)
F27D 17/00
C03B 5/237 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2017 13106	(72) Винахідник(и):	Ейю Фредерік (FR), Гарньє Лоран (FR)
(22) Дата подання заявки:	30.05.2016	(73) Володілець (володільці):	ВЕРАЛЛІА ФРАНС, Tour CARPE DIEM, Place des Corolles- Esplanade Nord, 92400 Courbevoie, France (FR), СЕН-ГОБЕН ГЛАСС ФРАНС, 18 Avenue d'Alsace, 92400 Courbevoie, France (FR)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	26.11.2020	(74) Представник:	Кузьменко Сергій Юрійович, реєстр. №283
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	1555009	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	US 4347072 A, 31.08.1982 US 4372770 A, 08.02.1983 US 5203859 A, 20.04.1993 EP 2508827 A1, 10.10.2012
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	02.06.2015		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	FR		
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.05.2018, Бюл.№ 10		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	25.11.2020, Бюл.№ 22		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/FR2016/051289, 30.05.2016		

(54) ПІЧ З НАГНІТАННЯМ ПРИ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ

(57) Реферат:

Винахід належить до ванної скловарної печі з підковоподібним полум'ям з низькими викидами NOx, оснащеної стельовим пальником, що включає впускний канал для окисника, що містить від 15 до 30 % кисню, в її стінці вище за потоком, канал для відведення димових відхідних газів в її стінці вище за потоком, і систему вдування, що включає щонайменше один інжектор для вдування струменя газу зі швидкістю, яка щонайменше дорівнює 80 % швидкості звуку, що називається соно-швидкісним інжектором, отвір в стінці вище за потоком або отвір в каналі для відведення димових відхідних газів, причому вказаний соно-швидкісний інжектор вдуває свій газ в режимі протитечії відносно потоку димових відхідних газів, які спрямовуються в бік каналу для відведення димових відхідних газів, і також до способу одержання розплавленого скла, що включає плавлення скла у вказаній печі.

UA 122497 C2

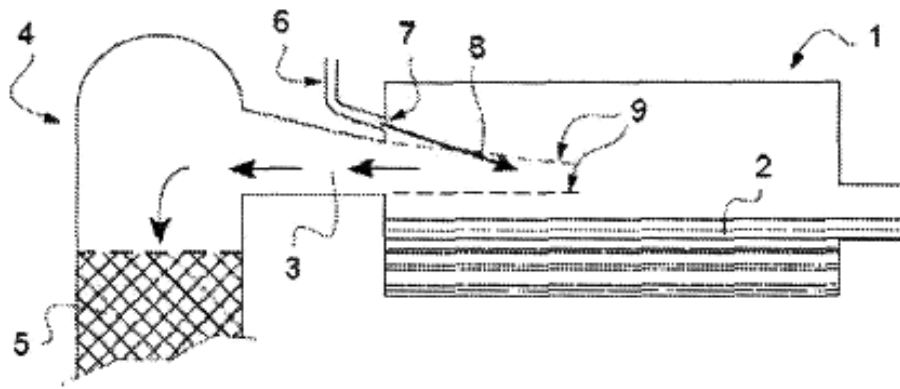


FIG. 1

Винахід належить до галузі ванних скловарних печей з підковоподібним полум'ям з низькими викидами NOx.

Кваліфікований фахівець в цій галузі технології звичайно має на увазі під NOx викиди оксидів азоту типу NO і/або NO₂, що походять від небажаного окиснення азоту. Істотним джерелом азоту є той, який міститься в окиснику, такому як повітря або збагачене киснем повітря.

У більшості процесів горіння, зокрема, тих, які застосовуються в скловарних печах, стикаються з проблемами небажаних викидів NOx у димових відхідних газах. NOx чинять шкідливий вплив як на людей, так і навколишнє середовище. Більш конкретно, з одного боку, NO₂ є подразливим газом, який викликає респіраторні захворювання. З іншого боку, у контакт з атмосферою він може поступово формувати кислотний дощ. Нарешті, він призводить до фотохімічного забруднення, оскільки у поєднанні з леткими органічними сполуками і сонячною радіацією він сприяє утворенню «тропосферного» озону, підвищення концентрації якого на малих висотах стає шкідливим для людей, особливо в періоди жаркої погоди. Цим пояснюється, чому стандарти на емісію NOx стають все більш строгими. В основному внаслідок існування цих стандартів виробники і оператори печей, такі як виробники і оператори скловарних печей, постійно стурбовані обмеженням викидів NOx настільки, наскільки можливо, переважно до вмісту нижче 800 мг/норм. м³, стандартизованих при 8 % кисню в сухому відхідному газі. В межах контексту даної заявки рівні вмісту NOx завжди виражаються в мг/норм. м³, стандартизованих при 8 % кисню в сухому відхідному газі, одиниці, яка традиційно використовується кваліфікованим фахівцем в цій галузі технології. Кваліфікований фахівець в цій галузі технології звичайно вважає, що вміст NOx нижче 700 мг/норм. м³ вже є гарним вмістом, і що вміст NOx нижче 600 мг/норм. м³ є дуже гарним. Корисно знати, як одержати навіть більш низькі рівні вмісту NOx.

Скловарні печі розраховані на експлуатацію протягом декількох десятиріч, і їх спорудження є дорогим. Це тому, що їхня конструкція змінюється повільно. Дійсно, проведення випробувань у промислових печах є практично неможливим через занадто великий ризик помилитися, якщо змінюються експлуатаційні параметри, такі як розміри пристрою. Зокрема, повітроприпливні отвори в стінках печі являють собою канали, виконані з вогнетривких керамічних матеріалів, розміри яких не можуть бути легко модифіковані без зупинки печі, щоб перестроїти значну її частину. Цим обумовлюється те, чому неможливо простим шляхом модифікувати конструкцію печі, щоб видозмінити потоки всередині камери згоряння і, зокрема, імпульсу повітря, без зміни швидкості його течії.

Імпульс I газового струменя, що подається інжектором, задається формулою:

$$I = Q_m \cdot V + S \cdot \Delta P$$

в якій:

- Q_m представляє масову витрату потоку газового струменя;
- V представляє швидкість газу на вихідному каналі інжектора;
- S представляє площу поперечного перерізу інжектора на його вихідному каналі;
- ΔP представляє різницю тисків між вихідним каналом інжектора і тиском в камері.

Термін «зі швидкістю звуку» в описуванні газового струменя означає, що вказаний струмінь має швидкість звуку при температурі газу, що нагнітається (температурі на вихідному каналі інжектора).

Патентний документ EP 2508827 A1 описує вдування газоподібного окисника в бічну стінку ванної печі з підковоподібним полум'ям, щоб припиняти згоряння палива, згідно з принципом ступінчастого горіння. Це вдування проводиться діагонально як за напрямком стінки вище за потоком, так і у напрямку до протилежної стінки, і тому почасти по тому самому напрямку, як потік димових відхідних газів. Тим самим значно інтенсифікується рециркуляція газів, яка передбачалася б такою, що скорочує концентрацію NOx, однак без приведення точних зразкових варіантів виконання. Цей документ описує, що важко зменшити концентрацію NOx нижче 1100 мг/норм. м³, і пропонує вирішення для скорочення вмісту NOx нижче цього значення. Авторам даного винаходу вдалося визначити, що горизонтальна рециркуляція в лабораторній печі дійсно зростає. Однак також скорочується вертикальна рециркуляція. Полум'я не дуже поширюється, коли дивитися зверху, паралельно поверхні скла. Розвиток полум'я тоді обмежується і звужується в зоні поблизу бічної стінки напроти стінки, що включає газовий інжектор. Цей рух полум'я в бік концентрованого стану поблизу бічної стінки призводить до підвищення температури бічної стінки, що є достатньо несприятливим для її функціонування з часом. Крім того, розведення полум'я є частковим, і фактично не дуже ефективним. Насправді, ці інтенсивні рециркуляції мало взаємодіють з полум'ям, що є не дуже ефективним відносно скорочення NOx. Автори даного винаходу змогли визначити, що це вирішення було не

дуже ефективним для зниження вмісту NOx в печі, який і так вже становить менше 700 мг/норм. м³ без будь-якого додаткового вдування газу.

Згідно з винаходом, був знайдений простий засіб впливу на факельне спалювання впливом на газові потоки всередині камери згоряння, без необхідності значних розбирань вогнетривкого матеріалу, що складає стінки печі, і особливо повітровпускні канали. Більш конкретно, був розміщений щонайменше один інжектор стисненого газу, що працює в режимі звукової, або надзвукової, або біля звукової швидкості (біля звукова швидкість має на увазі щонайменше 80 % швидкості звуку), причому цей інжектор називається «соно-швидкісним інжектором», поблизу каналу для відведення відхідних газів, або в каналі для відведення відхідних газів, і в режимі протитечії з потоком відхідних газів. Тим самим була досягнута величезна перевага, що забезпечується цим соно-швидкісним інжектором, для зниження вмісту NOx. В межах контексту даної заявки соно-швидкісний інжектор подає свій газ зі швидкістю щонайменше 80 %, і переважно щонайменше 95 % швидкості звуку. Як правило, ця швидкість не перевищує 300 % швидкості звуку. Форма наконечника соно-швидкісного інжектора робить можливим перевищення швидкості звуку або ні. Для перевищення її рекомендується використовувати інжектор зі звукуваною і потім розширюваною формою. Інжектори, традиційно застосовувані в галузі виробництва скла, мають звукуваний кінець. Ця конфігурація забезпечує можливість досягнення швидкості звуку без здатності перевищення її.

Винахід належить до ванної скловарної печі з подковоподібним полум'ям, оснащеної стельовим пальником, що включає впускний канал для окисника, що містить від 15 до 30 % кисню, в її стінці вище за потоком, канал для відведення димових відхідних газів в її стінці вище за потоком, і систему вдування зі швидкістю звуку, що включає щонайменше один інжектор для вдування струменя газу зі швидкістю, яка щонайменше дорівнює 80 % швидкості звуку, що називається соно-швидкісним інжектором, отвір в стінці вище за потоком або отвір в каналі для відведення димових відхідних газів, причому вказаний соно-швидкісний інжектор вдуває свій газ в режимі протитечії відносно потоку димових відхідних газів, які спрямовуються в бік каналу для відведення димових відхідних газів.

Винахід робить можливим одержання чудових рівнів вмісту NOx в відхідних газах, оскільки вони можуть містити менше 600, і навіть менше 570 мг/норм.м³, і навіть менше 500 мг/норм. м³, або навіть менше 450 мг/норм. м³. Вдування газу зі швидкістю звуку в протитечії відносно димових відхідних газів, сприяє вертикальній рециркуляції димових газів вище полум'я. Дійсно, чисельне моделювання газових потоків у лабораторному масштабі показало, що вдування газу зі швидкістю звуку згідно з винаходом перешкоджає горизонтальній рециркуляції, щоб сприяти вертикальній рециркуляції над полум'ям. Це є сприятливим для поширення полум'я по поверхні скла, і тому для передачі тепла на скло, а також для збільшення площі обміну між полум'ям і газоподібними продуктами згоряння. Таким чином, підсилюється розведення полум'я в димових газах, і знижується концентрація NOx.

Система вдування зі швидкістю звуку може включати тільки єдиний соно-швидкісний інжектор (інжектор для вдування струменя газу зі швидкістю, яка щонайменше дорівнює 80 % швидкості звуку), або численні соно-швидкісні інжектори, тобто, 2, або 3, або 4, або 5, або 6, або навіть більше соно-швидкісних інжекторів.

Окисником звичайно є повітря. Впускний канал для окисника подає більшу частину окисника, тобто, щонайменше 95 % загальної величини витрати потоку окисника, що надходить у камеру згоряння, причому інша кількість являє собою засмоктане повітря. Цей впускний канал для окисника сформований отвором в стінці, яка виконана з вогнетривкого матеріалу.

Виявляється, що струмінь стисненого газу, що спрямовується соно-швидкісним інжектором у димовий відхідний газ, сприяє значному модифікуванню шляху і рециркуляції газових потоків в печі. Полум'я, утворене тим самим в печі, є більш розведеним, тепло, яке воно доставляє, тим самим розподіляється вздовж більшої довжини, і часи перебування димових газів в камері згоряння в цілому стають більш тривалими. Це є сприятливим у двох відношеннях:

а) утворюється менша кількість NOx внаслідок більш низької температури полум'я,

б) вогнетривкі матеріали печі випробовують менше термічне навантаження, і тому строк їх служби явно зростає.

Соно-швидкісний інжектор має вихідний отвір в стінці, що включає канал для відведення димових відхідних газів, або відкривається в канал для відведення димових відхідних газів, і нагнітає газ зі швидкістю звуку в протитечії відносно потоку димових відхідних газів, які спрямовуються (в камері згоряння) в бік стінки вище за потоком. Терміни «вище за потоком» і «нижче за потоком» мають на увазі напрямок течії скла, яке рухається від боку вище за потоком до боку нижче за потоком. В ванній печі з підковоподібним полум'ям полум'я починається від одного пальника (тобто, збірного вузла, сформованого впускним каналом для окисника і

паливною(-ними) форсункою(-ами) на стінці вище за потоком, щоб поширюватися в бік нижче за потоком, потім повертати, щоб вертатися назад в бік каналу для відведення димових відхідних газів, також розміщеного в стінці вище за потоком, і поряд з впускним каналом для окисника. Згідно з винаходом, соно-швидкісний інжектор нагнітає свій газ по напрямку від боку вище за потоком в бік нижче за потоком, але у протитечії відносно димових відхідних газів, тобто, зіштовхуючись з потоком димових газів, коли цей потік спрямовується в бік каналу для відведення відхідних газів, в стінці вище за потоком, і у напрямку, протилежному напрямку потоку відхідних газів. Щоб виконати це, кожний соно-швидкісний інжектор системи вдування зі швидкістю звуку переважно має вихідний отвір в каналі для відведення димових газів, або в стінці вище за потоком в точці, більш близької до каналу для відведення димових газів, ніж до впускного каналу для окисника. Кожний соно-швидкісний інжектор системи вдування зі швидкістю звуку переважно має вихідний отвір на відстані менше 1 м, або навіть менше 0,5 м, від краю каналу для відведення димових газів. Це справедливо для ситуації, де соно-швидкісний інжектор відкривається в канал для відведення димових газів, або в стінці вище за потоком. Край каналу для відведення димових газів являє собою контур, сформований каналом для відведення димових газів в стінці, що включає вказаний канал, тобто, в стінці вище за потоком, на бічному боці камери згоряння. Навіть якщо, де це доречно, соно-швидкісний інжектор має вихідний отвір всередині каналу для відведення димових газів, він є достатньо потужним, щоб збурювати течію потоку димових газів ще в печі і спрямовану в бік каналу для відведення димових газів. Ось чому, коли говорять, що газ зі швидкістю звуку вдуває свій газ в протитечії відносно потоку димових відхідних газів, які спрямовуються в бік стінки вище за потоком, він являє собою потік димових газів все ще в печі, і які ще тільки повинні надходити в канал для відведення димових газів.

Вектор, що представляє швидкість газу на виході з соно-швидкісного інжектора, має ненульовий компонент паралельно потоку димових газів, що надходять в канал для відведення димових газів, і у напрямку, протилежному напрямку цього потоку. Можна вважати, що потік димових газів, що надходять в канал для відведення димових газів, має напрямок, по суті перпендикулярний стінці вище за потоком в печі, що включає канал для відведення димових газів. Компонент імпульсу системи вдування зі швидкістю звуку перпендикулярно стінці, що включає канал для відведення димових відхідних газів, переважно становить більше 5 Ньютонів, і переважно більше 10 Ньютонів. Згідно з останньою ознакою, враховуються всі соно-швидкісні інжектори системи вдування зі швидкістю звуку, і визначається сукупний компонент системи перпендикулярно стінці вище за потоком. Цей компонент являє собою результат усіх компонентів імпульсів, що нагнітаються всіма соно-швидкісними інжекторами перпендикулярно стінці, що включає канал для відведення димових відхідних газів. Цей компонент становить більше 5 Ньютонів, і переважно більше 10 Ньютонів.

Стиснений газ, що нагнітається соно-швидкісним інжектором, може бути будь-якої природи, і, зокрема, може являти собою природний газ або кисень, але переважно повітря.

Ванні печі з подковоподібним полум'ям добре відомі кваліфікованим фахівцям в галузі технології скловаріння. Стінка вище за потоком ванної печі з подковоподібним полум'ям включає два отвори, які діють поперемінно як впускний канал для окисника і як канал для відведення димових газів. Відносно роботи ванної печі з подковоподібним полум'ям може бути зроблено посилання, зокрема, на патентний документ WO 2008/078049, і, особливо, на його фігури 1 і 2. Таким чином, щоб діяти згідно з даним винаходом, кожний з цих двох отворів оснащується системою вдування зі швидкістю звуку, але функціонує тільки одна, зв'язана з отвором, який діє як канал для відведення димових газів. Коли робота печі реверсується, також реверсується дія цих двох систем вдування зі швидкістю звуку. Тому система, зв'язана з отвором, який став впускним каналом для окисника, вимикається, і вмикається система, зв'язана з отвором, який став каналом для відведення димових газів.

Впускний канал для окисника відкривається в камеру згоряння печі через отвір в стінці вище за потоком печі, що виконана з вогнетривкого матеріалу. Вінець цього каналу звичайно знижується по напрямку циркуляції окисника, щоб утворювати кут з горизонталлю між 14° і 30° . Таким чином, окисник спрямовується в бік потоку палива, оскільки останній звичайно нагнітається форсунками, розміщеними нижче впускного каналу для окисника. Ці паливні форсунки можуть бути орієнтовані так, що їх струмені спрямовані злегка вгору до напрямку потоку окисника. Напрямок викиду палива звичайно може утворювати кут з горизонталлю між 0° і 15° , зокрема, між 3° і 15° вгору. Впускний канал для окисника і його паливна(-ні) форсунка(-ки) складають пальник. Як правило, використовуються декілька паливних форсунок, і вони розміщуються під потоком повітря. Ці паливні форсунки розподілені нижче потоку повітря, одна поряд з іншою, якщо дивитися зверху, щоб розподіляти полум'я, якщо розглядати зверху,

паралельно поверхні скла. За кожним з двох отворів в стінці вище за потоком печі звичайно розміщується регенератор. Окисник проходить через регенератор і підігрівається в ньому перед надходженням в впускний канал для окисника. Коли проводиться «реверсування» печі, впускний канал для окисника стає каналом для відведення димових газів, і регенератор, зв'язаний з вказаним каналом, потім підігрівається димовими газами. Регенератори заповнені вогнетривкими елементами (цеглами, хрестоподібними елементами, і т.д.), що утворюють сітчасту структуру, через яку рухаються димові гази або окисник, залежно від робочої фази. Коли через регенератор пропускається димовий газ, тепло димового газу передається вогнетривким елементам регенератора. Коли через регенератор пропускається окисник, тепло вогнетривких елементів регенератора нагріває окисник. Окисник в впускному каналі для окисника знаходиться по суті при атмосферному тиску і, як правило, під тиском злегка вище атмосферного тиску, тобто, тиску між атмосферним тиском і атмосферним тиском+100 Па, як абсолютним тиском.

Таким чином, в ванній печі з підковоподібним полум'ям згідно з винаходом площа поперечного перерізу впускного каналу для окисника в стінці вище за потоком звичайно варіює в межах діапазону, протяжного від 0,5 до 3 м². Канал для відведення димових газів звичайно ідентичний впускному каналу для окисника, оскільки кожний з цих каналів поперемінно виконує функцію то подачі окисника, то відведення димових газів. Таким чином, площа поперечного перерізу каналу для відведення димових газів в стінці вище за потоком звичайно знаходиться в межах діапазону, протяжного від 0,5 до 3 м².

Один або багато соно-швидкісних інжекторів, зокрема, два, або три, або чотири, або п'ять, або шість соно-швидкісних інжекторів, або ще більше, можуть складати оснащення каналу для відведення димових газів з утворенням системи вдування зі швидкістю звуку згідно з винаходом. Соно-швидкісний інжектор може бути сформований трубою, що виготовлена з жаростійкого металу, зокрема, що зроблена з нержавіючої сталі, яка вставлена в отвір, пророблений у вогнетривкому матеріалі каналу для відведення димових газів, або розміщений поблизу каналу для відведення димових газів.

Соно-швидкісний інжектор може мати вихідний отвір в піч вище, або нижче, або з боків каналу для відведення димових газів, або в самому каналі для відведення димових газів. Вісь соно-швидкісного інжектора переважно орієнтована в бік потоку димових газів, що спрямовуються до стінки вище за потоком і в протитечії відносно цього потоку.

Ділянка витікання з системи вдування зі швидкістю звуку переважно має загальну площу в межах діапазону, протяжного від 0,2 до 4 см². Для випадку, де використовується одиничний соно-швидкісний інжектор, вона являє собою ділянку на кінці соно-швидкісного інжектора. Для ситуації, де система вдування зі швидкістю звуку включає декілька соно-швидкісних інжекторів, вона являє собою суму площ для випуску газу через усі соно-швидкісні інжектори.

Система вдування зі швидкістю звуку подає газ у пропорції від 0,2 % до 5 %, і переважно від 0,2 % до 2 % нормального об'єму окисника, що вводиться впускним каналом для окисника. Тому тут враховується сума об'ємів газу, що підводиться всіма інжекторами системи вдування зі швидкістю звуку.

Винахід також належить до способу одержання розплавленого скла, що включає плавлення скла в ванній печі з підковоподібним полум'ям згідно з винаходом. Зокрема, кількість окисника, що вводиться в піч, переважно є надлишковою відносно кількості палива, що підводиться в піч. Зокрема, кількість окисника, що вводиться в піч, не включаючи подачу через систему вдування зі швидкістю звуку, переважно є надлишковою відносно кількості палива, що підводиться в піч, не враховуючи подачу через систему вдування зі швидкістю звуку.

Фігури наведені не в масштабі.

Фігура 1 представляє ванну піч з підковоподібним полум'ям згідно з винаходом у вигляді збоку в розрізі.

Фігура 2 показує різні системи вдування зі швидкістю звуку, які можуть бути об'єднані з каналом для відведення димових газів в печі згідно з винаходом.

Фігура 3 представляє, у вигляді збоку в розрізі, канал для відведення димових газів, оснащений отвором соно-швидкісного інжектора в тій самій стінці вище за потоком печі згідно з винаходом.

Фігура 4 представляє зображення газових потоків в ванній печі з підковоподібним полум'ям згідно з різноманітними конфігураціями.

Фігура 1 представляє ванну піч 1 з підковоподібним полум'ям у вигляді збоку в розрізі, причому розплавлене скло 2 тече ліворуч праворуч. Розріз проведений через канал 3 для відведення димових газів, які спрямовуються в регенератор 4, що містить вогнетривкі елементи 5, які будуть підігріватися димовими газами. Після фази інверсії цей отвір буде

використовуватися як впускний канал для окисника пальника для полум'я, причому вказаний окисник тоді підігрівається вогнетривкими елементами 5. Як представлено, канал знаходиться у фазі відведення димових газів. Інжектор 6 стисненого газу має вихідний отвір в стінці 7 вище за потоком, яка також являє собою стінку, в яку відкривається канал для відведення димових газів.

5 Струмінь 8 стисненого газу спрямовується в бік потоку димових газів (зображеного пунктирними лініями 9), що спрямовується до каналу для відведення димових газів, у той самий час будучи в режимі протитечії відносно нього.

Фігура 2 показує різноманітні системи вдування зі швидкістю звуку, які можуть бути об'єднані з каналом 20 для відведення димових газів. Ці різноманітні конфігурації ілюстровані прикладами. Система вдування зі швидкістю звуку може включати 3 інжектора 21, і може бути розміщена безпосередньо над каналом 20 для відведення димових газів (фіг. 2a), або на деякій відстані вище димових газів (фіг. 2b). Інжектори системи вдування зі швидкістю звуку можуть бути розміщені під каналом 20 для відведення димових газів (фіг. 2d). В фігурі 2e використовується одиночний інжектор 26, і розміщується нижче каналу 20 для відведення димових газів. Тут інжектор злегка зсунений вліво, до боку поздовжньої осі печі. В фігурі 2c) соно-швидкісні інжектори були об'єднані в систему вдування зі швидкістю звуку вище і нижче каналу для відведення димових газів. Символ «d» означає те, що мається на увазі під відстанню між інжектором і краєм каналу. Беручи до уваги маленький діаметр соно-швидкісного інжектора, відстань d приймається як така, що починається від його осі.

Фігура 3 представляє канал 30 для відведення димових газів у вигляді збоку, оснащений соно-швидкісним інжектором (31), що має вихідний отвір в тій самій стінці 33 вище за потоком печі. Соно-швидкісний інжектор знаходиться на відстані d від краю каналу. Соно-швидкісний інжектор подає свій газ з імпульсом, який представляється вектором 32, який може розщеплюватися на компонент 34, перпендикулярний стінці 33 вище за потоком і ще один компонент 35, паралельний стінці.

Фігура 4 представляє зображення газових потоків у контрольній ванній печі з підковоподібним полум'ям без додаткового вдування газу через стінку (конфігурація a), в ванній печі з підковоподібним полум'ям з вдуванням при швидкості звуку згідно з винаходом (конфігурація b), і в ванній печі з підковоподібним полум'ям з вдуванням при швидкості звуку з бічної стінки (конфігурація c).

Приклади 1-10

Були проведені випробування на ванній печі з підковоподібним полум'ям, що включає два діючі в режимі інверсії пальника, що мають потужність 13,3 мегават, і окисником в яких було повітря. Кожний повітровпускний канал мав площу $1,55 \text{ м}^2$ (з шириною 2200 мм і висотою 800 мм). В піч завантажували матеріал типу вапнисто-натрієвої шихти, що включає 95% за вагою склобою. Вона працювала з продуктивністю 330 тонн на день. Піч мала площу поверхні 94 м^2 . Температура скла на виході печі становила близько 1300°C . Вінець був при температурі близько 1600°C .

Один або багато соно-швидкісних інжекторів стисненого повітря було розміщено поблизу каналу для відведення димових відхідних газів, щоб сформувати системи вдування зі швидкістю звуку. Ці інжектори мали звукований кінець. Газ, що нагнітається, був при температурі 25°C . Таблиця 1 наводить різноманітні експлуатаційні умови, а також результати в плані вмісту NO_x у димових газах. Були протестовані чотири можливі положення соно-швидкісних інжекторів:

- безпосередньо над каналом для відведення димових газів: інжектор знаходиться точно на краю каналу для відведення димових газів з кутом нахилу 20° вниз відносно горизонталі;
- злегка вище каналу для відведення димових газів: інжектор знаходиться в 400 мм вище верхнього краю каналу для відведення димових газів з кутом нахилу 20° вниз відносно горизонталі;
- нижче каналу для відведення димових газів: інжектор знаходиться в 250 мм нижче каналу для відведення димових газів з кутом нахилу 5° вгору відносно горизонталі.

Всі соно-швидкісні інжектори стисненого повітря над каналом для відведення димових газів мали внутрішній діаметр 5 мм. Соно-швидкісні інжектори стисненого повітря під каналом для відведення димових газів мали внутрішній діаметр 6 мм.

В таблиці 1 показані:

- відносний тиск: цей тиск в резервуарі для живлення соно-швидкісного інжектора;
- величина витрати потоку: це загальна величина витрати потоку стисненого повітря (сума величин витрати потоку всіх соно-швидкісних інжекторів);
- швидкість вдування: це швидкість повітря на вихідному каналі соно-швидкісного інжектора стисненого повітря;

- звуковий імпульс: це сума імпульсів соно-швидкісного інжектора (у випадку прикладу 2, без вдування зі швидкістю звуку, але імпульс газу проте був позначений при 50 % швидкості звуку в колонці «звуковий імпульс» для спрощення);

5 - NO_x: це концентрація в мг/норм. м³, стандартизованих при 8% кисню в сухому димовому газі;

- варіація: це варіація в NO_x відносно контролю (без вдування стисненого повітря зі швидкістю звуку).

Результати «варіації» з прикладів 2-7 наведені відносно прикладу 1. Результати «варіації» з прикладів 9-10 наведені відносно прикладу 8.

10 Приклади 11 і 12

Випробування були проведені на ванній печі з підковоподібним полум'ям, що включає два діючі в режимі інверсії пальника, що мають потужність 11 мегаватів, і окисником в яких було повітря. Кожний повітровпускний канал пальника (або канал для відведення димових газів, залежно від фази інверсії) мав площу 2 м² (з шириною 2300 мм і висотою 960 мм). В піч завантажували матеріал типу вапнисто-натрієвої шихти, що включає 60 % за вагою склобою. 15 Вона працювала з продуктивністю 250 тонн на день. Піч мала площу поверхні 85 м². Температура скла на виході печі становила близько 1300 °С. Вінець був при температурі близько 1600 °С. Система вдування зі швидкістю звуку включала тільки єдиний соно-швидкісний інжектор стисненого повітря зі звужуваним кінцем. Останній був розміщений в 300 мм нижче 20 каналу для відведення димових газів і в 650 мм від нижнього кута каналу для відведення димових газів, найближчого до поздовжньої осі печі. Соно-швидкісний інжектор вдував свій газ з кутом нахилу 5° вгору відносно горизонталі, і мав внутрішній діаметр 8 мм у діаметрі. Газ, що нагнітається, був при температурі 25 °С.

25 Таблиця 1 наводить різноманітні експлуатаційні умови, а також результати в плані вмісту NO_x у димових газах.

Таблиця 1

Приклад №	Число інжекторів безпосередньо вище	Число інжекторів в 400 мм вище	Число інжекторів в 250 мм нижче	Відносний тиск [бар]	Витрата потоку [норм. м ³ /година]	% від швидкості звуку	Швидкість вдування [м/сек]	Звуковий імпульс [Н]	NO _x [мг/норм. м ³ при 8 % O ₂]	Варіація
1 (порівняльний)									601	-
2 (порівняльний)	3			0,2	35	50	174	2	607	1 %
3	3			0,7	65	84	289	7	559	-7 %
4	3			1,7	104	100	346	14	546	-9 %
5	3			4,2	200	100	346	33	405	-33 %
6	0	3		4,2	200	100	346	33	390	-35 %
7			2	4,2	200	100	346	33	397	-34 %
8 (порівняльний)				-	-	-		-	778	-
9	3			4,2	200	100	346	33	494	-37 %
10		3	2	4,2	400	100	346	65	354	-54 %
11			1	3	132	100	346	21	457	
12			1	3,5	148	100	346	24	381	

Приклади 13-15

30 Були проведені чисельні моделювання течії димових відхідних газів, в ванній печі з підковоподібним полум'ям, у наступних конфігураціях:

а) контроль: без додаткового вдування газу (дивись фігуру 4а);

b) додаткове вдування газу при швидкості звуку з витратою потоку 181 норм. м³/година в стінці вище за потоком, згідно з даним винаходом;

5 c) додаткове вдування газу при швидкості звуку з витратою потоку 150 норм. м³/година в бічній стінці (дивись фігуру 4b, причому додаткове вдування позначено жирною стрілкою); інжектор був сформований під кутом 60° відносно бічної стінки до боку стінки вище за потоком, і був на відстані від стінки вище за потоком, що дорівнює 23 % загальної довжини бічної стінки; цей приклад наведений у порядку порівняння і не згідно з даним винаходом;

10 d) додаткове вдування газу при швидкості звуку з витратою потоку 150 норм. м³/година в стінці вище за потоком (дивись фігуру 4c, причому додаткове вдування позначено жирною стрілкою) згідно з даним винаходом.

15 Ванна піч з подковоподібним полум'ям включає два пальники, що працюють в режимі інверсії, що мають потужність 11 мегаватів, і окисником в яких є повітря. Кожний повітровпускний канал пальника (або канал для відведення димових газів, залежно від фази інверсії) має площу 1,55 м² (з шириною 2200 мм і висотою 800 мм). Піч має площу поверхні 94 м². Температура скла на виході печі становила близько 1300 °C. Газ, що нагнітається, був при температурі 25 °C.

20 Фігура 4 показує вплив цих вдувань на газові потоки в печі лабораторного об'єму. Для візуалізації цих потоків вектори швидкості були показані у вертикальній площині, що проходить через середину повітропропускного каналу. Це зображення дозволяє зробити видимою вертикальну рециркуляцію газів. Залежно від конфігурацій спостерігаються великі відмінності. Видно, що вдування зі швидкістю звуку згідно з винаходом призводить до самої широкій рециркуляції в лабораторному об'ємі. Крім того, результати для NO_x, виражені відносно контролю без вдування зі швидкістю звуку, демонструють перевагу вдування згідно з винаходом, як показано в таблиці 2. Колонка «варіація» наводить концентрацію NO_x відносно 25 контрольної конфігурації без додаткового нагнітання газу (фігура 4a). Вдування згідно з винаходом призводить до скорочення вмісту NO_x, відповідно, на 15 % і 20 %. Вдування газу зі швидкістю звуку від бічної стінки не забезпечує істотного скорочення NO_x.

Таблиця 2

Приклад №	Число інжекторів в бічній стінці	Число інжекторів в 250 мм нижче каналу для відведення димових газів	Витрата потоку [норм. м ³ /година]	% від швидкості звуку	Швидкість вдування [м/с]	Звуковий імпульс [Н]	Варіація (%)
13 (фіг. 4b)		2	181	100	346	27	-19 %
14 (порівн.) (фіг. 4c)	1		150	94	326	17	-1 %
15		1	150	94	326	17	-15 %

30

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

35 1. Ванна скловарна піч (1) з підковоподібним полум'ям, оснащена стельовим пальником, що включає впускний канал для окисника, при цьому впускний канал виконаний з можливістю подачі окисника, що містить від 15 до 30 % кисню, в її стінці (33) вище за потоком, канал (3, 20, 30) для відведення димових відхідних газів в її стінці (33) вище за потоком, і систему вдування, що включає щонайменше один інжектор (6, 31) для вдування струменя газу зі швидкістю, яка щонайменше дорівнює 80 % швидкості звуку, що називається соно-швидкісним інжектором, отвір в стінці (33) вище за потоком або отвір в каналі (3, 20, 30) для відведення димових відхідних газів, причому вказаний соно-швидкісний інжектор виконаний з можливістю вдування свого газу (8) в режимі протитечії відносно потоку (9) димових відхідних газів, які спрямовуються в бік каналу (3, 20, 30) для відведення димових відхідних газів.

2. Піч за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що соно-швидкісний інжектор (6, 31) виконаний з можливістю вдування свого газу при швидкості щонайменше 95 % швидкості звуку.

45 3. Піч за будь-яким з попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що площа поперечного перерізу впускного каналу для окисника в стінці (33) вище за потоком знаходиться в межах діапазону, протяжного від 0,5 до 3 м², і тим, що площа поперечного перерізу каналу (3, 20, 30)

для відведення димових газів в стінці (33) вище за потоком знаходиться в межах діапазону, протяжного від 0,5 до 3 м².

4. Піч за одним з попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що площа витікання інжектора з системи вдування переважно знаходиться в межах діапазону, протяжного від 0,2 до 4 см².

5. Піч за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що інжектор виконаний з можливістю створення компонента (34) імпульсу системи вдування, перпендикулярно стінці (33), що включає канал (3, 20, 30) для відведення димових газів, що становить більше 5 Ньютонів і переважно більше 10 Ньютонів.

10. Піч за одним з попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що кожний соно-швидкісний інжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) системи вдування має вихідний отвір в каналі (3, 20, 30) для відведення димових газів або в стінці вище за потоком в точці, більш близькій до каналу (3, 20, 30) для відведення димових газів, ніж до впускного каналу для окисника.

15. Піч за одним з попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що кожний соно-швидкісний інжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) системи вдування має вихідний отвір на відстані менше ніж 1 м від краю каналу (20) для відведення димових газів.

8. Піч за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що кожний соно-швидкісний інжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) системи вдування має вихідний отвір на відстані менше ніж 0,5 м від краю каналу (3, 20, 30) для відведення димових газів.

20. Піч за одним з попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що інжектор виконаний з можливістю видування газу, який є повітрям.

10. Піч за одним з попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що система вдування включає декілька соно-швидкісних інжекторів (21, 22, 23, 24, 25).

25. Спосіб одержання розплавленого скла, який включає в себе етапи, на яких: плавлять скло у ванній скловарній печі (1) з підковоподібним полум'ям, оснащений стельовим пальником, що включає впускний канал для окисника, що містить від 15 до 30 % кисню, в її стінці (33) вище за потоком, канал (3, 20, 30) для відведення димових відхідних газів в її стінці (33) вище за потоком, через який відводять димові відхідні гази, і систему вдування, що включає щонайменше один інжектор (6, 31), за допомогою якого вдувають струмінь газу зі швидкістю, яка щонайменше дорівнює 80 % швидкості звуку, що називається соно-швидкісним інжектором, отвір в стінці (33) вище за потоком або отвір в каналі (3, 20, 30), через який відводять димові відхідні гази, причому за допомогою вказаного соно-швидкісного інжектора вдувають свій газ (8) в режимі протитечії відносно потоку (9) димових відхідних газів, які спрямовуються в бік каналу (3, 20, 30) для відведення димових відхідних газів.

30. 12. Спосіб за п. 11, який **відрізняється** тим, що за допомогою соно-швидкісного інжектора (6, 31) вдувають свій газ при швидкості щонайменше 95 % швидкості звуку.

35. 13. Спосіб за будь-яким з пп. 11-12, який **відрізняється** тим, що площа поперечного перерізу впускного каналу для окисника в стінці (33) вище за потоком знаходиться в межах діапазону, протяжного від 0,5 до 3 м², і тим, що площа поперечного перерізу каналу (3, 20, 30) для відведення димових газів в стінці (33) вище за потоком знаходиться в межах діапазону, протяжного від 0,5 до 3 м².

40. 14. Спосіб за будь-яким з пп. 11-13, який **відрізняється** тим, що площа витікання інжектора з системи вдування переважно знаходиться в межах діапазону, протяжного від 0,2 до 4 см².

45. 15. Спосіб за будь-яким з пп. 11-14, який **відрізняється** тим, що компонент (34) імпульсу системи вдування перпендикулярно стінці (33), що включає канал (3, 20, 30) для відведення димових газів, становить більше 5 Ньютонів і переважно більше 10 Ньютонів.

16. Спосіб за будь-яким з пп. 11-15, який **відрізняється** тим, що кожний соно-швидкісний інжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) системи вдування має вихідний отвір в каналі (3, 20, 30) для відведення димових газів або в стінці вище за потоком в точці, більш близькій до каналу (3, 20, 30) для відведення димових газів, ніж до впускного каналу для окисника.

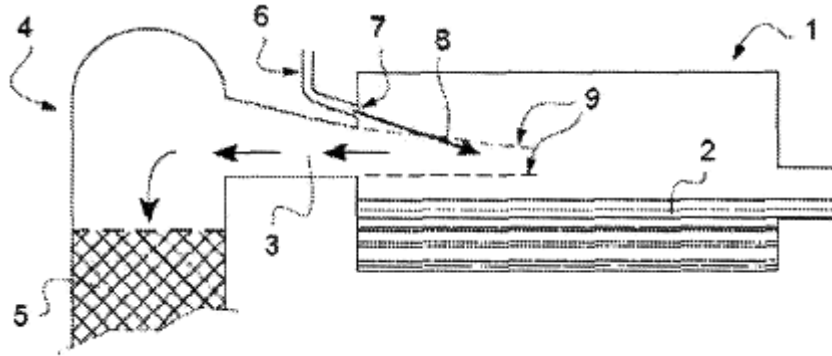
50. 17. Спосіб за будь-яким з пп. 11-16, який **відрізняється** тим, що кожний соно-швидкісний інжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) системи вдування має вихідний отвір на відстані менше ніж 1 м від краю каналу (20) для відведення димових газів.

18. Спосіб за будь-яким з пп. 11-17, який **відрізняється** тим, що кожний соно-швидкісний інжектор (21, 22, 23, 24, 25, 26) системи вдування має вихідний отвір на відстані менше ніж 0,5 м від краю каналу (3, 20, 30) для відведення димових газів.

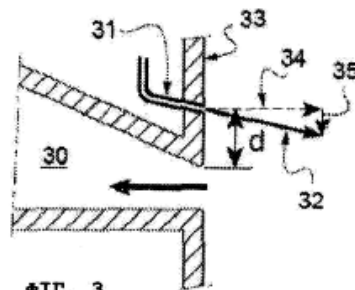
55. 19. Спосіб за будь-яким з пп. 11-18, який **відрізняється** тим, що газ являє собою повітря.

20. Спосіб за будь-яким з пп. 11-19, який **відрізняється** тим, що система вдування включає декілька соно-швидкісних інжекторів (21, 22, 23, 24, 25).

21. Спосіб за будь-яким з пп. 11-20, який **відрізняється** тим, що за допомогою системи нагнітання зі швидкістю звуку подають газ в пропорції від 0,2 до 5 % і переважно від 0,2 до 2 % нормального об'єму окисника, що вводиться впускним каналом для окисника.
22. Спосіб за будь-яким з пп. 11-21, який **відрізняється** тим, що кількість окисника, яку вводять в піч, є надлишковою відносно кількості палива, що підводиться в піч.
- 5 23. Спосіб за будь-яким з пп. 11-22, який **відрізняється** тим, що кількість окисника, яку вводять в піч, не включаючи кількість, яку подають через систему вдування, є надлишковою відносно кількості палива, яку підводять в піч, не враховуючи кількість, яку подають через систему вдування.

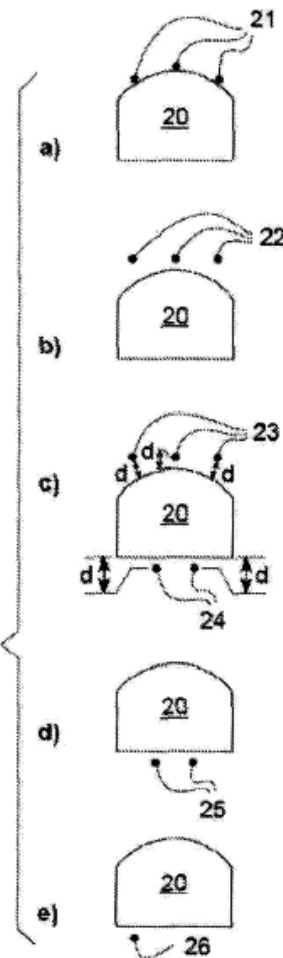


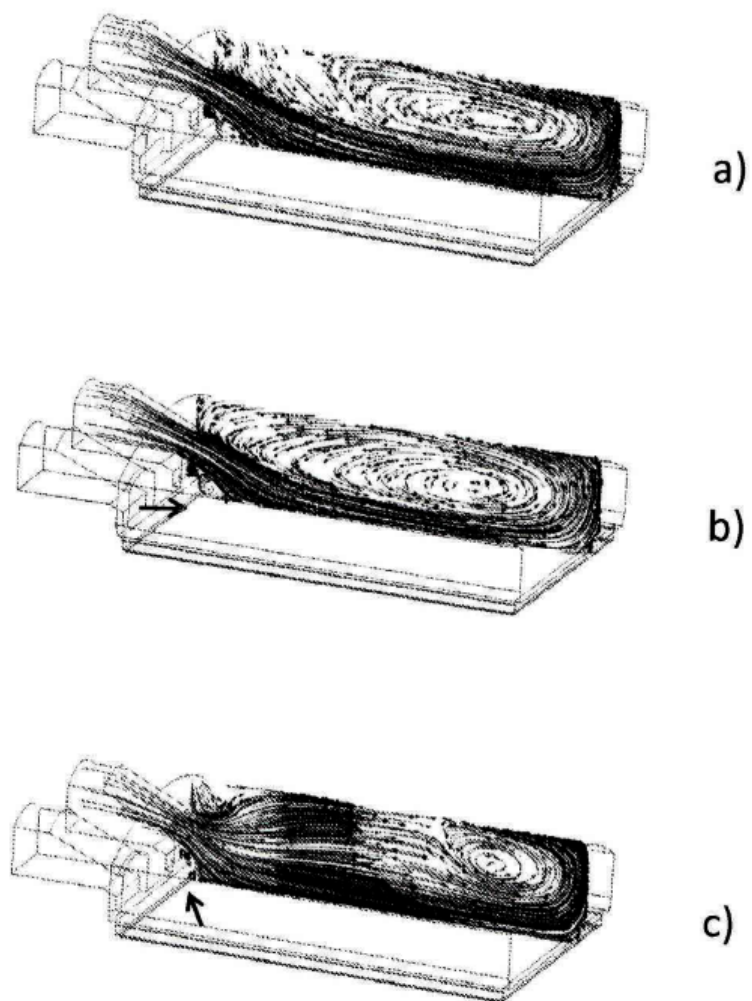
ФІГ. 1



ФІГ. 3

ФІГ. 2





ФІГ. 4