

Винахід відноситься до способу нагрівання печі, яка містить радіаційні труби.

Сталева смуга в процесі виготовлення піддається термічній обробці для одержання бажаних властивостей. Обладнання для термічної обробки смуги містять засоби нагрівання, такі як-от полум'яна піч прямої дії (DFF), піч із опускними трубами (DTF) і піч з радіаційними трубами (RTF).

Для деяких видів термічних обробок, таких як відпал, переважним є використання печі з радіаційними трубами. Причина полягає в тому, що в такій печі металева смуга не входить у безпосередній контакт із продуктами згоряння. Крім того, в цьому разі можна контролювати атмосферу всередині печі.

Радіаційні труби зазвичай нагрівають із використанням газоподібних палив або нафти. Однак нещодавні розробки призвели до створення радіаційних труб, які використовують для вироблення тепла газоподібні H_2 і O_2 . На жаль, одержання H_2 від природних ресурсів потребує значних витрат енергії і призводить до викидів парникових газів.

Отже, існує потреба в розробці способу нагрівання печі, яка містить радіаційні труби, який має знижений вплив на довкілля.

Це досягається за рахунок способу з будь-якого з пп. 1-7 формули винаходу, а також обладнання за будь-яким з пп. 8-12 формули.

Інші характерні особливості і переваги стануть очевидними з подальшого опису винаходу.

Цей винахід відноситься до способу нагрівання печі, яка містить радіаційні труби і виконаної з можливістю термічної обробки сталевих виробів, який включає такі стадії:

i) подачу H_2 і O_2 щонайменше в одну із зазначених радіаційних труб так, що зазначені H_2 і O_2 з'єднуються з виділенням тепла і утворенням водяної пари,

ii) відведення одержаної водяної пари щонайменше з однієї із зазначених радіаційних труб,

iii) здійснення електролізу зазначеної водяної пари з одержанням H_2 і O_2 ,

iv) подачу H_2 і O_2 , одержаних на стадії iii) щонайменше в одну з радіаційних труб так, що зазначені H_2 і O_2 з'єднуються з виділенням тепла і утворенням водяної пари.

Спосіб нагрівання печі відноситься до способу забезпечення тепла всередині печі для досягнення температури, яка забезпечує термічну обробку рухомої сталевих виробів.

Спосіб здійснюють на обладнанні, яке представлено на Фіг. 1 і, яке містить піч 1, з радіаційними трубами 2, пристрій для електролізу 3, призначений для електролізу водяної пари і одержання H_2 і O_2 , наприклад, який використовує твердооксидні паливні елементи (SOEC) і трубопроводи (на Фіг. 1 не показані). За потреби це обладнання може містити систему нагнітання для полегшення протікання газів.

Радіаційні труби сполучені за допомогою трубопроводів з пристроєм для електролізу так, що щонайменше два потоки газу (4 і 4') можуть проходити від пристрою для електролізу в піч, наприклад до радіаційних труб, один потік газу 5 може проходити від печі, наприклад, від радіаційних труб до пристрою для електролізу. Крім того, піч переважно сполучена із засобами подачі H_2 і O_2 , такими як-от зовнішнє джерело подачі H_2 і зовнішнє джерело подачі O_2 .

За необхідності може бути використаний засіб зберігання, який розміщений між піччю і пристроєм для електролізу, і призначений для зберігання щонайменше частини щонайменше одного з продуктів електролізу.

Переважно, рухомий сталевий виріб являє собою рухому сталеву смугу або рухомий сталевий сляб.

Піч призначена для здійснення термічної обробки сталевих виробів, такої як-от відпал сталевих виробів або нагрівання сталевих виробів. Переважно піч є піччю для відпалу. Радіаційна труба є частиною пальника з радіаційною трубою. Переважно зазначений пальник є киснево-паливним пальником з радіаційною трубою.

На стадії i), як показано на Фіг. 1, щонайменше одна радіаційна труба забезпечується газами H_2 і O_2 . Ці два газу з'єднуються в радіаційній трубі з виділенням тепла і одержанням водяної пари. Водяна пара, по суті, складається з молекул H_2O . Газу H_2 і O_2 надходять із засобу зберігання і/або пристрою для електролізу.

Переважно, на стадії i) щонайменше одна з радіаційних труб забезпечується H_2 і O_2 в умовах, що сприяють їх запалюванню і, таким чином, перетворення на теплоту і пару. Фахівець в цій галузі здатний визначити параметри, які призводять до запалювання H_2 і O_2 .

Наприклад, піч може містити пальник з радіаційною трубою, яка забезпечується газами H_2 і O_2 . Пальник з радіаційною трубою може створювати пілотне полум'я або іскру, які забезпечують запалювання подаваних газів H_2 і O_2 і, таким чином, одержання теплоти і водяної пари.

В якості альтернативи, O_2 можна подавати з температурою щонайменше від $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, переважно, з температурою щонайменше від $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ще більш переважно, щонайменше від $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. H_2 можна подавати при температурі, яка відповідає зовнішній температурі, переважно щонайменше $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, більш переважно, щонайменше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ще більш переважно, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Зазначена альтернатива була розроблена з метою одержання синергічного ефекту трьома першими стадіями процесу. Дійсно, нагрівання O_2 і H_2 на стадії i) дозволяє збільшити температуру відведеної водяної пари на стадії ii) і,

таким чином, підвищити ефективність електролізу на стадії iii). З іншого боку, на рівні техніки описані способи, в яких для підвищення енергетичної ефективності процесу газу подають за низької температури, як це, наприклад, описано в патентному документі WO 2016102825.

Піч може містити щонайменше один киснево-паливний пальник, наприклад, киснево-водневий пальник, оснащений радіаційною трубою. Киснево-водневий пальник може містити теплообмінник, здатний нагрівати газу між входом пальника і соплом пальника.

Переважно пальник з радіаційною трубою може нагрівати O_2 і, за необхідності, H_2 , який підводять в пальник з радіаційною трубою. Таким чином, перша стадія може також включати стадію попереднього нагрівання подаваного O_2 і, за необхідності, подаваного H_2 перед їх змішуванням і запалюванням.

На стадії ii) водяну пару відводять з радіаційної труби для використання на наступній стадії.

Однак H_2 і/або O_2 можуть бути присутніми в парі через неповне згоряння газової суміші і/або неоптимального співвідношення O_2/H_2 . Крім того, відвідна пара може містити залишки від попереднього процесу згоряння всередині радіаційної труби. Це зауваження є особливо справедливим, якщо радіаційна труба працює в умовах спалювання нафти або природного газу.

На стадії iii) водяну пару, відведену на стадії ii), піддають електролізу для одержання H_2 і O_2 , при цьому частина одержаних H_2 і O_2 може бути направлена в засіб зберігання.

Переважно, зазначений електроліз здійснюється з допомогою щонайменше одного твердооксидного паливного елемента пристрою для електролізу. Як показано на Фіг. 2 і 3, твердооксидний паливний елемент використовує в якості електроліту 11 твердий керамічний матеріал, який селективно проводить негативно заряджені іони кисню (O_2) або позитивно заряджені протони водню (H^+), в залежності від типу використовуваної мембрани, наприклад, можуть бути використані киснево-іон-провідна мембрана або протон-провідна мембрана, відповідно.

Водяна пара об'єднується на катоді 12 з електронами із зовнішнього електричного кола з утворенням газоподібного водню і негативно заряджених іонів кисню. Таким чином реакція на катоді протікає за наступним рівнянням: $H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + O_2$. Оскільки пара може містити інші газу і/або залишки згоряння, газоподібний H_2 , який виходить з пристрою для електролізу, може бути відфільтрований з допомогою мембранного сепаратора 14, показаного на Фіг. 3.

Заряджені іони кисню далі проходять крізь тверду керамічну мембрану 11 і реагують на аноді 13 з утворенням газоподібного кисню, при цьому генеруються електрони для зовнішнього електричного кола. Таким чином реакція на аноді проходить за рівнянням: $2O_2 \rightarrow O_2 + 4e^-$.

Зазначена реакція переважно протікає при підвищеній температурі і дозволяє одержувати з водяної пари водень і кисень.

Ця реакція електролізу є ендотермічною, тому вона потребує зовнішнього підведення енергії, наприклад, теплової і/або електричної енергії. Отже, особливо вигідно проводити електроліз з використанням водяної пари, яка виходить із печі і має високу температуру.

В якості альтернативи, на стадії ii) електроліз може здійснюватися пристроєм для електролізу водяної пари з використанням електродів, виготовлених з пористого металу, і електроліту з композиційних матеріалів з іонною провідністю. Така система дозволяє на стадії iii) успішно проводити електроліз пари, температура якої перевищує 300 °C. Переважно, щоб електроліз водяної пари на стадії iii) здійснювався з використанням пристрою для електролізу, наповненого водою, а температура водяної пари при цьому знаходилася в інтервалі від 300 °C до 1000 °C, більш переважно від 400 °C до 1000 °C.

На стадії iv) щонайменше одна радіаційна труба обладнання забезпечується H_2 і O_2 , які були одержані на стадії iii).

Переважно на стадії ii) відведену водяну пару нагрівають до температури в інтервалі від 650 °C до 1000 °C. Ще більш переважно відведену пару нагрівають до температури в інтервалі від 700 °C до 1000 °C. Таке нагрівання відведеної пари дозволяє підвищити ефективність роботи SOEC.

В цьому випадку обладнання містить засіб нагрівання, здатний нагрівати відведену водяну пару. Переважно на стадії ii) зазначене нагрівання відведеної пари здійснюють з допомогою засобу нагрівання, який приводиться в дію, частково або повністю, за рахунок використання CO_2 - нейтральної електричної енергії.

Наприклад, зазначений засіб нагрівання може являти собою теплообмінник 7, сполучений з радіаційною трубою і пристроєм для електролізу так, щоб забезпечити нагрівання потоку, відведеного з радіаційної труби, перед надходженням в систему електролізу.

Переважно, щоб температура пари, яка була піддана електролізу на стадії iii), знаходилася в інтервалі від 650 °C до 1000 °C, ще більш переважно від 700 °C до 1000 °C.

Переважно на стадії iii) процес електролізу водяної пари здійснюється з підведенням енергії, яка частково або повністю одержана за рахунок використання CO_2 - нейтральної електричної енергії.

CO_2 - нейтральна електрична енергія включає, зокрема, електроенергію, одержану з допомогою відновлюваного джерела енергії. Одержана енергія визначається в цьому випадку як енергія, накопичена від відновлюваних джерел, які природно поповнюються, є невичерпними за людськими

мірками і включають такі джерела як сонячне світло, вітер, дощ, морські припливи, хвилі і геотермальне тепло. В деякому втіленні може бути використана електрична енергія, одержана від джерел ядерної енергії, оскільки ці джерела не є джерелами викидів CO₂.

Переважно, на стадії iv) радіаційна труба забезпечується H₂ і O₂, одержаними на стадії iii), а також H₂ і/або O₂ із засобу зберігання, в результаті чого зазначені гази з'єднуються з виділенням теплоти і одержанням водяної пари.

Переважно, стадії ii), iii) і iv) здійснюються повторно.

Використання радіаційної труби, яка споживає H₂ і O₂ в квазізамкненому контурі, дозволяє нагрівати піч способом, який вимагає менших витрат енергії і природних ресурсів порівняно зі способом нагрівання, відомим в цій галузі техніки з рівня техніки.

Винахід відноситься до обладнання, здатного здійснювати спосіб, описаний вище, яке містить:

- піч (1), яка містить, щонайменше, одну радіаційну трубу (2) і здатна здійснювати термічну обробку рухомого сталевих виробу,

- пристрій (3) для електролізу, виконаний з можливістю електролізу водяної пари і одержання H₂ і O₂, при цьому зазначений пристрій для електролізу сполучений з радіаційною трубою 2 так, що щонайменше два потоки газу (4 і 4") можуть проходити від пристрою для електролізу 3 до радіаційної труби 2, і один потік газу 5 може проходити від радіаційної труби 2 в пристрій для електролізу, причому зазначена піч виконана з можливістю подачі щонайменше до однієї радіаційної труби 2 газоподібних H₂ і O₂ так, що зазначені H₂ і O₂ можуть з'єднуватися з виділенням тепла і утворенням водяної пари, і піч виконана з можливістю відведення зазначеної водяної пари із зазначеної щонайменше однієї з радіаційних труб.

Переважно, піч виконана з можливістю подачі щонайменше в одну із зазначених радіаційних труб газів H₂ і O₂, одержаних на стадії iii) так, що вони з'єднуються з виділенням тепла і утворення водяної пари.

Переважно, зазначена піч здатна обробляти рухому сталеву смугу або рухомий сляб.

Піч може містити щонайменше один киснево-паливний пальник, наприклад, киснево-водневий пальник, оснащений радіаційною трубою. Киснево-водневий пальник може містити теплообмінник, здатний нагрівати гази між входом пальника і соплом пальника. Радіаційна труба є частиною пальника з радіаційною трубою. Переважно пальник з радіаційною трубою є киснево-паливним пальником з радіаційною трубою.

Переважно, зазначений електролізний пристрій містить щонайменше один твердооксидний паливний елемент.

Переважно, зазначене обладнання містить засіб нагрівання, здатний нагрівати водяну пару, причому зазначений засіб нагрівання сполучений з піччю і зазначеним пристроєм для електролізу.

Переважно, зазначене обладнання містить щонайменше один засіб зберігання, виконаний з можливістю зберігання газу і який сполучений із зазначеним пристроєм для електролізу так, що потік газу може протікати від пристрою для електролізу в зазначений засіб зберігання.

Ще більш переважно, зазначений щонайменше один засіб зберігання сполучений з піччю так, що потік газу може проходити від засобу зберігання в піч.

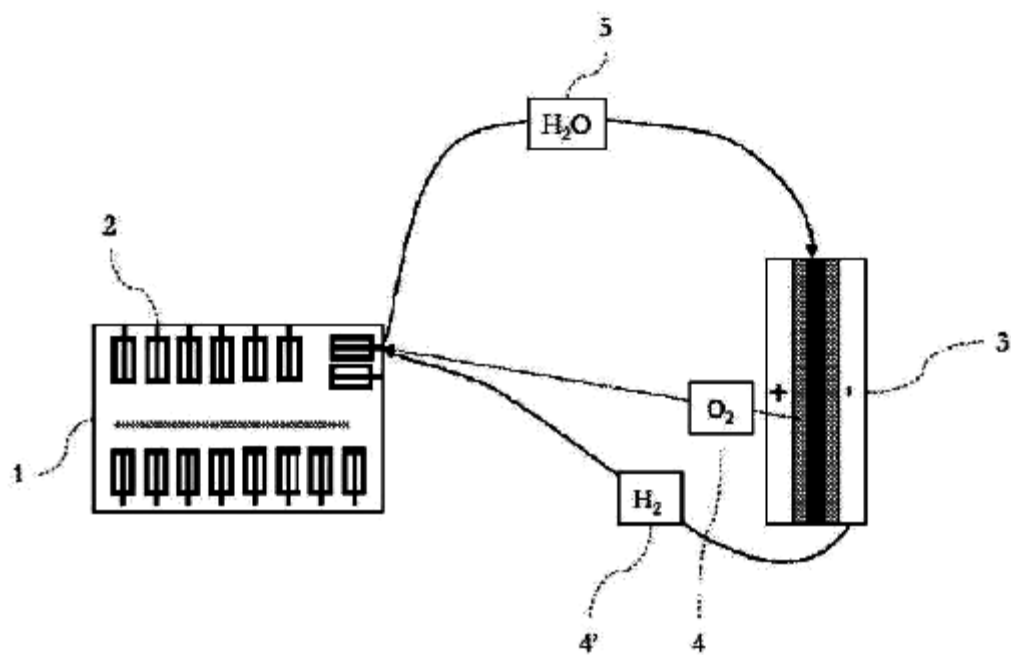


Fig. 1

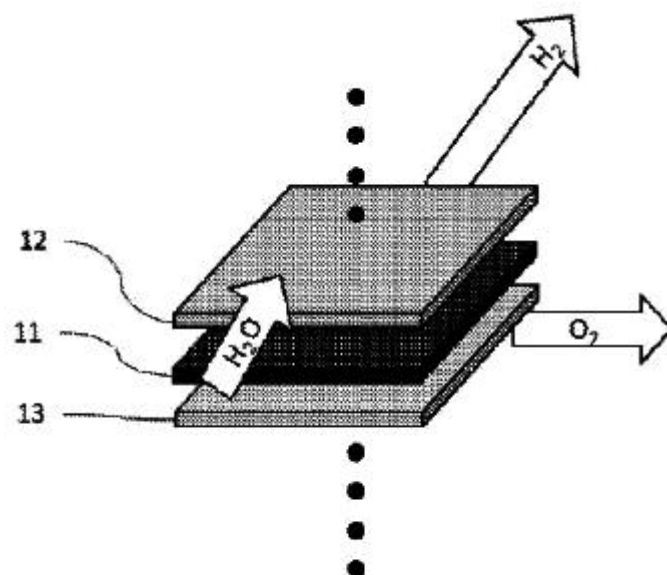
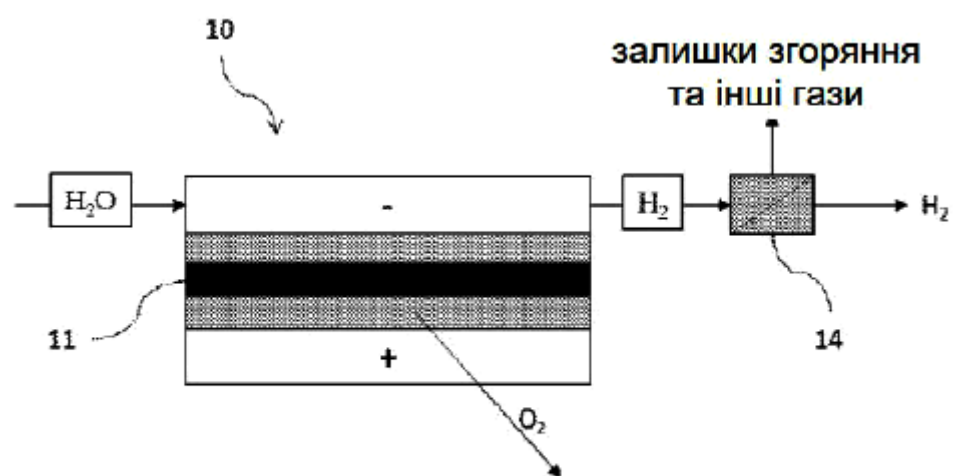


Fig. 2



Фіг. 3