Цей винахід стосується устаткування та способу для прямого відновлення металовмісного вихідного матеріалу, зокрема, але ні в якому разі не виключно, для прямого відновлення залізовмісного вихідного матеріалу, наприклад, залізної руди.

Цей винахід стосується також способу відновлення металовмісного вихідного матеріалу, який включає процес прямого відновлення для часткового відновлення металовмісного вихідного матеріалу у твердому стані та плавильний процес для плавлення та подальшого відновлення частково відновленого металовмісного вихідного матеріалу дорозплавленого металу.

Цей винахід був створений у процесі виконання дослідницького проекту, який заявник продовжує виконувати з метою розроблення так званої технології CIRCOFER для прямого відновлення залізної руди.

Технологія CIRCOFER являє собою спосіб прямого відновлення, який забезпечує відновлення залізної руди у твердому стані зі ступенем металізації 50% або вище.

Технологія CIRCOFER основана на застосуванні псевдозріджених шарів. Основними вихідними матеріалами, які надходять у псевдозріджені шари, є псевдозріджувальний газ, оксиди металу (у типових випадках залізорудний дрібняк), твердий вуглецевмісний матеріал (у типових випадках вугілля) та кисневмісний газ (у типових випадках газоподібний кисень). Основним продуктом, який утворюється у псевдозріджених шарах, є металізовані оксиди металу, тобто принаймні частково відновлені оксиди металу.

Одним із результатів, одержаних заявником у згаданому дослідницькому проекті, є виявлення можливості зведення до мінімуму охолоді у псевдозріджених шарах і особливо на фурмах для подавання кисневмісного газу шляхом спрямування фурм для подавання кисневмісного газу у псевдозріджених шарах донизу.

Згідно з цим винаходом, пропонується устаткування для відновлення металовмісного матеріалу у псевдозрідженому шарі, яке включає реактор для вміщення псевдозрідженого шару, засоби для подавання металовмісного матеріалу, твердого вуглецевмісного матеріалу, кисневмісного газу та псевдозріджувального газу у згаданий реактор для створення у реакторі псевдозрідженого шару; устаткування відрізняється тим, що засіб для подавання кисневмісного газу включає в себе одну або кілька фурм для подавання кисневмісного газу з наконечниками фурми, вихідні отвори яких розташовані з розрахунком на подавання у реактор кисневмісного газу потоком, спрямованим униз під кутом у межах ±40° до вертикалі.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, наконечник фурми розташований з розрахунком на подавання у реактор кисневмісного газу потоком, спрямованим униз під кутом у межах ±15° до вертикалі.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, наконечник фурми спрямований донизу.

Відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, наконечник фурми спрямований вертикально вниз.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, фурма для подавання кисневмісного газу є водоохолоджуваною.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, принаймні наконечник фурми обладнаний зовнішньою водоохолоджуваною оболонкою.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, фурма для подавання кисневмісного газу включає в себе центральну трубу для кисневмісного газу.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, наконечник фурми має канал, розташований ззовні центральної труби, для подавання обдувального газу з метою зниження можливості утворення на наконечнику фурми охолоді, яка може перешкоджати введенню кисневмісного газу.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, канал для подавання обдувального газу має кільцевий поперечний переріз.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, згаданий канал має кільцевий поперечний переріз, розташований між центральною трубою та зовнішньою водоохолоджуваною оболонкою.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, нижній кінець центральної труби зміщений назад відносно нижнього кінця зовнішньої водоохолоджуваної оболонки.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, центральна труба має фаску, що простягається від внутрішньої поверхні до зовнішньої поверхні труби.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, фурма розташована так, що наконечник фурми знаходиться у центральній частині реактора та віддалений від бічної стінки реактора.

Положення фурми для подавання кисневмісного газу та, більш конкретно, висота вихідного кінця наконечника фурми у реакторі визначаються з урахуванням таких факторів, як швидкість введення кисневмісного газу, тиск у реакторі, добір та кількість інших вихідних матеріалів, які подають у реактор, та густина псевдозрідженого шару.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, фурма проходить униз через верхню стінку реактора.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, фурма проходить по вертикалі униз через верхню стінку реактора.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, фурма проходить через бічну стінку реактора, а потім загинається униз.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, фурма проходить через бічну стінку реактора горизонтально, а потім загинається униз.

Згідно з цим винаходом, пропонується спосіб відновлення металовмісного матеріалу у псевдозрідженому шарі в реакторі, який включає подавання металовмісного матеріалу, твердого вуглецевмісного матеріалу, кисневмісного газу та псевдозріджувального газу у псевдозріджений шар та підтримання псевдозрідженого шару в реакторі, принаймні часткове відновлення металовмісного матеріалу в реакторі та виведення з реактора потоку продукту, який містить принаймні частково відновлений металовмісний матеріал, та окремого потоку відхідного газу; спосіб відрізняється тим, що кисневмісний газ вводять у реактор потоком, спрямованим униз під кутом у межах ±40° відносно вертикалі, через одну або кілька фурм.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає введення кисневмісного газу у центральну зону реактора, тобто у зону, розташовану всередині бічної стінки реактора, через фурму, що має

спрямований униз наконечник, розташований всередині бічної стінки реактора.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає охолодження наконечника фурми водою з метою зниження можливості утворення на наконечнику охолоді, яка може перешкоджати введенню кисневмісного газу.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає введення кисневмісного газу зі швидкістю, достатньою для утворення поблизу наконечника зони, практично вільної від твердого матеріалу, з метою зниження можливості утворення на наконечнику охолоді, яка може перешкоджати введенню кисневмісного газу.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає введення кисневмісного газу зі швидкістю в межах від 50м/с до 300м/с.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає введення азоту та/або водяної пари та/або іншого придатного обдувального газу та обдування нижнього кінця наконечника фурми з метою зведення до мінімуму окиснення металу, яке може спричиняти утворення на наконечнику фурми охолоді, яка може перешкоджати введенню кисневмісного газу.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає введення обдувального газу в реактор зі швидкістю, яка становить щонайменше 60% швидкості кисневмісного газу.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає подавання металовмісного матеріалу, твердого вуглецевмісного матеріалу, кисневмісного газу та псевдозріджувального газу у псевдозріджений шар та підтримання псевдозрідженого шару, який включає (a) низхідний потік кисневмісного газу, (b) висхідний потік твердого матеріалу та псевдозріджувального газу у протитечії до низхідного потоку кисневмісного газу та (c) низхідний потік твердого матеріалу ззовні від висхідного потоку твердого матеріалу та псевдозріджувального газу.

У псевдозрідженому шарі, описаному у попередньому абзаці, твердий матеріал у висхідному та низхідному потоках твердого матеріалу нагрівається теплом, що вивільнюється внаслідок реакцій між кисневмісним газом та вуглецевмісним матеріалом та іншими матеріалами, що піддаються окисненню (наприклад, CO, леткими речовинами та H_2) у збагаченій вуглецем зоні. Твердий матеріал у низхідному потоці твердого матеріалу переносить тепло у збагачену металом зону у нижній частині реактора.

Термін «збагачена вуглецем зона» у цьому описі означає зону псевдозрідженого шару, де вуглецевмісний матеріал присутній у відносно більшій кількості у порівнянні з кількістю металовмісного матеріалу, ніж в інших зонах псевдозрідженого шару.

Термін «збагачена металом зона» у цьому описі означає зону псевдозрідженого шару, де металовмісний матеріал присутній у відносно більшій кількості у порівнянні з кількістю вуглецевмісного матеріалу, ніж в інших зонах псевдозрідженого шару.

Крім того, висхідний та низхідний потоки твердого матеріалу екранують бічну стінку реактора від радіаційного нагрівання теплом, що вивільнюється внаслідок реакцій між кисневмісним газом та вуглецевмісним матеріалом та іншими твердими та газоподібними компонентами псевдозрідженого шару, що піддаються окисненню.

У випадку відновлення металовмісного матеріалу у формі залізорудного дрібняка, частинки руди відповідно до варіанта, якому віддається перевага, мають розмір менше 6мм.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, рудний дрібняк має середній розмір частинок у межах від 0,1мм до 0,8мм.

Однією з переваг цього способу є те, що в ньому можна використовувати значну кількість металовмісного вихідного матеріалу з розміром частинок менш ніж 100мкм без виносу значної кількості цього матеріалу із процесу з відхідними газами. Вважається, що така перевага зумовлена впливом механізму агломерації у псевдозрідженому шарі, який забезпечує бажаний рівень агломерації частинок вихідних матеріалів, зокрема, частинок розміром менш ніж 100мкм, без спричинення неконтрольованої агломерації, яка може спричинити припинення процесу у псевдозрідженому шарі. Аналогічно, крихкі руди, які мають схильність до розкришування у процесі переробки та збільшення таким чином вмісту частинок розміром менш ніж 100мкм у псевдозрідженому шарі, можна обробляти без значних втрат вихідного матеріалу внаслідок виносу з відхідними газами.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає виведення потоку продукту, який включає принаймні частково відновлений металовмісний матеріал, із нижньої частини реактора.

Потік продукту включає також інші тверді речовини (наприклад, кокс).

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає виділення принаймні частини інших твердих речовин з потоку продукту та повернення відділених твердих речовин у реактор.

Потік відхідних газів, який виводиться з реактора, містить захоплені з реактора тверді матеріали.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає виділення захоплених твердих речовин із потоку відхідних газів.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає підтримання циркулюючого псевдозрідженого шару та повертання захоплених твердих речовин у нижню частину реактора.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає попереднє нагрівання металовмісного вихідного матеріалу відхідними газами з реактора.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, спосіб включає оброблення відхідних газів після стадії попереднього нагрівання та повернення принаймні частини оброблених відхідних газів у реактор як псевдозріджувальний газ.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, оброблення відхідних газів включає одну або кілька таких стадій: (a) видалення твердих матеріалів, (b) охолодження, (c) видалення H_2O, (d) видалення CO_2, (e) компримування та (f) повторне нагрівання.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, оброблення відхідних газів включає повернення твердих матеріалів у реактор.

Спосіб можна здійснювати як одностадійний процес в одному реакторі.

Спосіб можна також здійснювати як багатостадійний процес у двох або кількох реакторах.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, багатостадійний процес включає першу стадію, на якій у першому реакторі у псевдозрідженому шарі вивільнюється тепло в результаті реакцій між твердим вуглецевмісним матеріалом та кисневмісним газом, а у другому реакторі відновлюється у псевдозрідженому шарі металовмісний матеріал, причому тепло частково надходить у другий псевдозріджений шар з першого псевдозрідженого шару з потоком гарячих відхідних газів та захоплених твердих матеріалів.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, кисневмісний газ подається також у другий реактор.

Відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, введення кисневмісного газу у другий реактор здійснюють у таких регульованих умовах, які забезпечують бажану агломерацію дрібних частинок відновленої руди з іншими частинками вихідних матеріалів з утворенням більших частинок відновленої руди.

У вищезгаданому багатостадійному процесі функції вивільнення тепла та відновлення частково розділені та здійснюються у двох окремих реакторах, і можлива оптимізація кожної з цих функцій.

Як кисневмісний газ можна застосовувати будь-який придатний для цього газ.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, кисневмісний газ містить щонайменше 90% (об'єми.) кисню.

Цей винахід більш детально описано нижче з посиланнями на фігури, що додаються, з яких:

Фіг.1 є схемою одного з варіантів устаткування для прямого відновлення металовмісного вихідного матеріалу згідно з цим винаходом;

Фіг.2 є схемою, що ілюструє ділянку наконечника фурми для введення кисневмісного газу, показаного на Фіг.1;

Фіг.3 є більш детальним зображенням ділянки наконечника фурми, показаної на Фіг.2;

Фіг.4 є схемою іншого варіанта устаткування для прямого відновлення металовмісного вихідного матеріалу згідно з цим винаходом.

У поданому нижче описі мається на увазі пряме відновлення металовмісного вихідного матеріалу у формі частинок залізної руди у твердому стані. Винахід не обмежений цим варіантом і поширюється на пряме відновлення інших залізовмісних матеріалів (наприклад, ільменіту) і, у більш загальному сенсі, на інші металовмісні матеріали.

У поданому нижче описі мається на увазі також пряме відновлення залізної руди із застосуванням вугілля як твердого вуглецевмісного матеріалу, кисню як кисневмісного газу та рециркульованих відхідних газів як псевдозріджувального газу. Винахід не обмежений цим варіантом і поширюється на застосування будь-якого іншого придатного твердого вуглецевмісного матеріалу, кисневмісного газу або псевдозріджувального газу.

Згідно з варіантом устаткування, показаним на Фіг.1, тверді вихідні матеріали, а саме залізорудний дрібняк та вугілля, кисень та псевдозріджувальний газ надходять у реактор 3 і утворюють у реакторі псевдозріджений шар.

Тверді вихідні матеріали подають у реактор 3 за допомогою пристрою 5 для подавання твердих матеріалів, наприклад, шнекового живильника або сопла для вдування твердого матеріалу, яке проходить через бічну стінку 7 реактора.

Псевдозріджувальний газ вводять через сукупність фурм або сопел (не показаних на рисунку) у дні 13 реактора.

Кисень вводять у реактор через фурму 9, обладнану спрямованим униз наконечником 11 фурми з вихідним отвором 71 (Фіг.2), який розташований на відстані від бічної стінки 7 реактора 3 і спрямовує струмінь кисню донизу у центральній зоні 31 реактора.

Як показано на Фіг.2 та Фіг.3, наконечник 11 фурми (та інші частини фурми 9, які знаходяться всередині реактора 3) включає центральну трубу 73 для кисню, зовнішню водоохолоджувану оболонку 75 та канал 77, що має кільцевий поперечний переріз, для азоту (або іншого придатного для цієї мети обдувального газу) між центральною трубою 73 та зовнішньою оболонкою 75. Як краще видно на Фіг.3, центральна труба 73 включає внутрішню фаску, що простягається від внутрішньої до зовнішньої стінки труби 73 і закінчується на кінці 174 центральної труби. Кінець 174 центральної труби зміщений назад відносно нижнього кінця 176 водоохолоджуваної оболонки 75.

Вищезгадане положення наконечника 11 фурми всередині реактора 3 та конструкція наконечника 11 вибрані з розрахунком зведення до мінімуму утворення охолоді на наконечнику 11 фурми і, зокрема, зведення до мінімуму утворення охолоді на центральній трубі 73, яке може блокувати вихід 71 та тим самим перешкоджати ефективній роботі фурми 9.

Конкретно, розташування наконечника 11 фурми у центральній зоні реактора, на відстані від бічної стінки 7, зводить до мінімуму можливість утворення охолоді на наконечнику 11 фурми та на бічній стінці 7. Крім того, таке розташування наконечника 11 фурми, при якому він спрямований донизу, зводить до мінімуму можливість прилипання охолоді до поверхні наконечника 11 фурми. Крім того, водоохолоджувана оболонка 75 забезпечує підтримування такої температури зовнішньої поверхні наконечника 11 фурми, при якій можливість прилипання охолоді до поверхні наконечника 11 фурми зводиться до мінімуму. Крім того, введення струменя обдувального газу кільцевого поперечного перерізу зводить до мінімуму можливість протікання реакцій між твердими речовинами та киснем, при яких на наконечнику фурми може утворюватися охолодь. Крім того, внутрішня фаска центральної труби 73 зводить до мінімуму можливість утворення охолоді на наконечнику фурми. Згадана фаска створює зону зниженого тиску всередині центральної труби та поблизу кінця 174 центральної труби. Ця зона зниженого тиску забезпечує втягування обдувального газу в напрямі до кінця 174 центральної труби. Таким чином, кінець 174 центральної труби оточений обдувальним газом. Ця обставина запобігає контакту частинок із кінцем 174 центральної труби у присутності кисню. Вважається, що за умов такого контакту може утворюватися охолодь.

Зовнішню поверхню фурми також можна охолоджувати водою з метою зведення до мінімуму утворення охолоді, або ж її можна покрити вогнетривким матеріалом.

Крім того, введення кисню через центральну трубу 73 виконують зі швидкістю, достатньою для утворення вільної від твердих частинок зони всередині труби для подавання кисню, що додатково забезпечує зведення до мінімуму утворення охолоді. У типових випадках кисень подають зі швидкістю в діапазоні від 50м/с до 300м/с.

При вищезазначеному введенні твердих матеріалів та газів у центральній зоні реактора створюється висхідний потік псевдозріджувального газу та захоплених твердих матеріалів. При русі угору тверді матеріали все більшою мірою відділяються від висхідного потоку псевдозріджувального газу і рухаються униз, як правило, у зоні кільцевого перерізу між центральною зоною та бічною стінкою реактора. В кінцевому підсумку, тверді матеріали, які циркулюють у низхідному потоці, знов захоплюються висхідним потоком псевдозріджувального газу або виводяться з реактора.

При вищезазначеному введенні твердих матеріалів та газів у реакторі протікають також описані нижче реакції:

- вивільнення летких компонентів із вугілля з утворенням коксу та розклад летких речовин вугілля з утворенням газоподібних речовин (наприклад, CO та H_2) та реакція принаймні частини коксу с киснем з утворенням CO;
- пряме відновлення залізної руди до принаймні частково відновленої залізної руди газоподібними продуктами CO та H_2. При цій реакції утворюються CO_2 та H_2O;
- реакція частини утвореного CO_2 у псевдозрідженому шарі з вуглецем з утворенням CO (реакція Будуара - Boudouard);
- згоряння коксу, металізованої руди, летких речовин із вугілля, CO та H_2 у кисні з вивільненням тепла, яке сприяє протіканню вищезгаданих реакцій.

Внаслідок певних співвідношень густини твердих речовин та вищезгаданого введення твердих матеріалів та газів, в тому числі внаслідок певного розташування місць введення твердих матеріалів та газів, у реакторі утворюються реакційні зони. Ці зони можуть бути суміжними одна з одною.

Однією з реакційних зон є збагачена вуглецем зона в околі наконечника 11 фурми 9. У цій зоні переважними реакціями є реакції окиснення, в тому числі згоряння коксу, летких речовин із вугілля, CO та H_2 у кисні з вивільненням тепла.

Другою реакційною зоною є збагачена металом зона, де відбувається вивільнення летких компонентів із вугілля та утворення коксу, а залізорудний дрібняк принаймні частково відновлюється CO та H_2.

Вищезгаданий низхідний потік твердих матеріалів у зоні кільцевого перерізу між центральною зоною та бічною стінкою 7 сприяє перенесенню тепла зі збагаченої вуглецем зони у збагачену металом зону.

Крім того, згаданий низхідний потік твердих матеріалів забезпечує часткове екранування бічної стінки 7 від прямого впливу тепла, що випромінюється з центральної зони реактора.

При вищезазначеному процесі утворюється також потік відхідних газів та захоплених ними твердих матеріалів, який виводять із реактора через вихідну комунікацію 27, розташовану у верхній частині реактора. Потік відхідних газів обробляють шляхом відділення твердих матеріалів від газів та повернення цих твердих матеріалів у реактор через комунікацію 29 повернення твердих матеріалів. Після цього відхідні гази обробляють шляхом виконання низки стадій: (a) додаткового відділення твердих матеріалів від газів, (b) охолодження відхідних газів, (c) видалення H_2O, (d) видалення CO_2, (e) компримування залишкових відхідних газів та (f) повторного нагрівання. Потім оброблені відхідні гази повертають у реактор як частину псевдозріджувального газу.

При вищезазначеному процесі утворюється потік твердих матеріалів, який включає принаймні частково відновлену залізну руду та кокс; цей потік виводять із реактора через вихід 25 у дні реактора. Цей потік твердих матеріалів можна обробити шляхом розділення принаймні частково відновленої залізної руди та частини інших твердих речовин. Відділені інші тверді речовини, переважно кокс, можна повертати у реактор як частину вихідних твердих матеріалів для згаданого процесу. Принаймні частково відновлену залізну руду піддають подальшій обробці за потребою. Наприклад, принаймні частково відновлену залізну руду можна подавати у плавильний конвертер із розплавленою ванною та переплавляти у залізо, наприклад, із застосуванням способу, відомого під назвою «хай-смелт» (HIsmelt process).

Як видно з Фіг.4, відповідно до варіанта, представленого на цій фігурі, устаткування включає перший реактор 103, який містить псевдозріджений шар газу та захоплених твердих матеріалів, та другий реактор 105, який також містить псевдозріджений шар газу та захоплених твердих матеріалів.

Перший реактор 103 діє як теплогенератор, і в ньому утворюється потік гарячих відхідних газів, які містять захоплені тверді матеріали, переважно кокс, і надходить у другий реактор 105 комунікацією 107. Цей потік гарячих відхідних газів призначений для забезпечення принаймні частини тепла, необхідного для протікання реакцій у другому реакторі.

Другий реактор 105 діє як реактор прямого відновлення та забезпечує принаймні часткове відновлення залізорудного дрібняка у твердому стані.

З другого реактора виходять два відхідні потоки.

Один із відхідних потоків, який виводять із реактора 105 через вихід 109 у дні реактора, включає переважно потік твердого принаймні частково відновленого залізорудного дрібняка та захоплених твердих речовин, як правило, коксу.

Цей потік твердих матеріалів можна обробити шляхом розділення принаймні частково відновленої залізної руди та частини інших твердих речовин. Відділені інші тверді речовини, переважно кокс, можна повертати у перший реактор та/або у другий реактор як частину вихідних твердих матеріалів для живлення реакторів. Принаймні частково відновлену залізну руду піддають подальшій обробці за потребою. Наприклад, принаймні частково відновлену залізну руду можна подавати у плавильний конвертер із розплавленою ванною та переплавляти у залізо, наприклад, із застосуванням способу, відомого під назвою «хай-смелт» (HIsmelt process).

Другий відхідний потік із другого реактора 105, який виводять через вихідну лінію 61 із верхньої частини

другого реактора 105, включає в себе гарячі відхідні гази та захоплені тверді матеріали.

Потік відхідних газів надходить комунікацією 111 у циклон 113. У циклоні 113 захоплені тверді матеріали відділяються від потоку відхідних газів. Тверді матеріали рухаються униз комунікацією 115 та надходять у перший реактор 103 через зворотну комунікацію 155. Потік відхідних газів та залишкових твердих матеріалів рухається з циклону 113 угору та надходить у змішувальну камеру 117.

Відхідні гази, які надходять із циклону 113 у змішувальну камеру 117, змішуються із твердими матеріалами, що надходять у згадану камеру 117 з наступного циклону 121 комунікацією 123, і нагрівають ці тверді матеріали. Переважна більшість цих твердих матеріалів виноситься зі змішувальної камери 117 як частина вихідного потоку відхідних газів.

Вихідний потік відхідних газів та захоплених твердих матеріалів зі змішувальної камери 117 надходить комунікацією 125 у наступний циклон 127. У циклоні 127 відбувається відділення твердих матеріалів від газів. Відділені тверді матеріали рухаються з циклону 127 вниз комунікацією 129 та надходять у другий реактор 105. Відділені відхідні гази з циклону 127 разом із залишковими твердими матеріалами рухаються з циклону 127 угору та надходять у наступну змішувальну камеру 131.

Потік відхідних газів із циклону 127 змішується у змішувальній камері 131 із залізорудним дрібняком та нагріває його. Залізорудний дрібняк надходить у змішувальну камеру 131 із завантажувального бункера із затвором 133. Переважна більшість залізної руди виноситься зі змішувальної камери 131 у циклон 121 комунікацією 135. У циклоні 121 відбувається відділення твердих матеріалів, причому переважна більшість твердих матеріалів переходить комунікацією 123 у змішувальну камеру 117. Як вказано вище, тверді матеріали зі змішувальної камери 117 переходять комунікацією 125 у циклон 127. З циклону 127 переважна більшість твердих матеріалів надходить комунікацією 129 у другий реактор 105.

Відхідні гази з циклону 121 надходять комунікацією 131 в установку 139 оброблення відхідних газів та піддаються обробленню, як описано вище. Конкретно, відхідні гази оброблюють із застосуванням низки стадій, яка включає (a) додаткове відділення твердих матеріалів від газів, (b) охолодження відхідних газів, (c) видалення H_2O, (d) видалення CO2, (e) компримування та (f) повторне нагрівання.

Оброблені відхідні гази з установки 139 оброблення відхідних газів використовують як псевдозріджувальний газ для реакторів 103 та 105. Цей газ подають у реактори комунікацією 141. Псевдозріджувальний газ вводять під тиском у нижню зону кожного з реакторів 103 та 105.

Вугілля з помірним або високим вмістом летких компонентів у вигляді частинок розміром менше 6мм подають у нижню зону реактора 103 через комунікацію 143, яка проходить через бічну стінку першого реактора 103.

Крім того, у перший реактор 103 подають кисень через фурму 145, яка має конструкцію, в цілому аналогічну фурмі 45 на Фіг.1, Фіг.2 та Фіг.3, та спрямовує струмінь кисню вниз у центральній зоні першого реактора 103.

Як описано вище, попередньо нагрітий залізорудний дрібняк надходить у другий реактор 105 комунікацією 129, а потік гарячих відхідних газів, що містить захоплені тверді матеріали, надходить із першого реактора 103 у другий реактор комунікацією 107.

Крім того, у другий реактор 105 подають кисень через фурму 149, яка має конструкцію, в цілому аналогічну фурмі 9 на Фіг.1 та Фіг.2, та спрямовує струмінь кисню вниз у центральній зоні другого реактора 105.

При описаному вище введенні вугілля та псевдозріджувального газу у перший реактор 103 разом з оборотними твердими матеріалами з комунікації 115 у центральній зоні першого реактора 103 утворюється висхідний потік псевдозріджувального газу та захоплених твердих матеріалів. При русі угору тверді матеріали все більшою мірою відділяються від висхідного потоку псевдозріджувального газу і рухаються униз, як правило, у зоні кільцевого перерізу між центральною зоною та бічною стінкою першого реактора 103. В кінцевому підсумку, тверді матеріали, які циркулюють у низхідному потоці, знов захоплюються висхідним потоком псевдозріджувального газу.

Висхідний потік псевдозріджувального газу та захоплених твердих матеріалів у центральній зоні першого реактора 103 знаходиться у протитечії з низхідним потоком кисневмісного газу.

У першому реакторі має місце вивільнення летких компонентів із вугілля з утворенням коксу та розклад летких речовин вугілля з утворенням газоподібних речовин, наприклад, H_2. Щонайменше частина коксу та розкладених летких речовин вугілля реагує з киснем з утворенням CO та інших продуктів реакцій. При цих реакціях вивільнюється значна кількість тепла, і, як описано вище, це тепло переноситься у другий реактор 105 потоком гарячих відхідних газів, що містить захоплені тверді матеріали, який надходить у другий реактор комунікацією 107.

При вищезазначеному введенні попередньо нагрітого залізорудного дрібняка, потоку гарячих відхідних газів, що містить захоплені тверді матеріали, з першого реактора 103, кисневмісного газу та псевдозріджувального газу у другий реактор у центральній зоні другого реактора 105 створюється висхідний потік псевдозріджувального газу та захоплених твердих матеріалів. При русі угору тверді матеріали все більшою мірою відділяються від висхідного потоку газу і рухаються униз у зоні кільцевого перерізу між центральною зоною та бічною стінкою другого реактора 105. В кінцевому підсумку, тверді матеріали знов захоплюються висхідним потоком псевдозріджувального газу або виводяться з реактора через вихідну комунікацію 109.

При вищезазначеному введенні попередньо нагрітого залізорудного дрібняка, потоку гарячих відхідних газів, що містить захоплені тверді матеріали, з першого реактора 103, кисневмісного газу та псевдозріджувального газу у другий реактор 105 у цьому реакторі протікають також описані нижче реакції:

- реакція принаймні частини CO_2 (утвореного при відновленні залізної руди) з вуглецем з утворенням CO (реакція Будуара);

- пряме відновлення залізної руди до принаймні частково відновленої залізної руди газоподібними продуктами CO та H_2. При цій реакції утворюються CO_2 та H_2O;

- окиснення твердих матеріалів та газів, наприклад, частинок частково відновленої залізної руди, коксу, H_2 та CO, у верхній зоні другого реактора 105 з вивільненням тепла та сприянням регульованій агломерації дрібніших частинок частково відновленої руди з іншими частинками у псевдозрідженому шарі.

На цей час заявник не має чіткого уявлення про механізми, які забезпечують контрольовану агломерацію металовмісного матеріалу, згадану у попередньому абзаці. Не наполягаючи на обмежувальному значенні поданих нижче зауважень, заявник зазначає, що при дослідженні було виявлено, що агломерати, які утворюються, включають дрібніші частинки, зокрема, дрібні зерна, які з'єднуються між собою або з більшими частинками. Заявник припускає, що у збагаченій вуглецем зоні створюються такі умови, що (a) частково та повністю відновлені, тобто металізовані, частинки залізної руди мікрометрових розмірів реагують із киснем із вивільненням тепла, і утворені таким чином окиснені частинки набувають схильності до адгезії; (b) дрібні частинки вугілля реагують із киснем та окиснюються, і утворена зола набуває схильності до адгезії; та (c) дрібні частинки залізної руди набувають схильності до адгезії внаслідок нагрівання. Заявник також припускає, що ці дрібніші частинки, схильні до адгезії, з'єднуються з більшими частинками, які мають більшу здатність до тепловідведення, причому досягається загальний сприятливий ефект зменшення кількості дрібніших частинок у реакторі, які можуть прихоплюватися до поверхні устаткування та виноситися з реактора у струмені відхідних газів.

Як вказано вище, цей винахід був створений у процесі виконання дослідницького проекту, який заявник продовжує виконувати з метою розроблення так званої технології CIRCOFER для прямого відновлення залізної руди. Дослідницька праця включає серію дослідних операцій з використанням виготовлених заявником дослідних установок з діаметром 350мм та 700мм.

Подана нижче інформація стосується досліджень із використанням дослідної установки, обладнаної діаметром 700мм.

Дослідна установка включає устаткування типу, показаного на Фіг.1 та Фіг.2. Установку експлуатували в режимі циркулюючого псевдозрідженого шару під атмосферним тиском. Реактор має висоту 10,7м. Верхня секція реактора має висоту приблизно 8,9м та внутрішній діаметр 700мм. Нижня секція реактора має висоту приблизно 1,8м та внутрішній діаметр 500мм. Вказана висота 1,8м включає висоту гратів для псевдозрідження та перехідної секції між секціями діаметром 500мм та 700мм. Реактор має вогнетривку футерівку.

Відхідні гази з реактора піддавали обробленню для видалення захоплених твердих матеріалів шляхом пропускання відхідних газів через три послідовно розташовані циклони. У перший циклон (циклон 1) надходили відхідні гази безпосередньо з реактора. Тверді матеріали, відділені в циклоні, повертали у реактор через герметизовану буферну посудину, яка забезпечувала підтримання тиску. У другий циклон (циклон 2) надходив відхідний газ з циклону 1. Тверді матеріали, відділені в цьому циклоні, повертали безпосередньо у реактор (тобто без застосування буферної посудини). У третій циклон (циклон 3) надходив відхідний газ із циклону 2. Тверді матеріали, відділені в циклоні 3, не повертали у реактор.

Після відділення твердих домішок у трьох циклонах відхідні гази піддавали подальшій обробці у скрубері з радіальним потоком, де з газу додатково видаляли тверді матеріали. Ці тверді матеріали концентрували у згущувачі, після чого пропускали через барабанний фільтр для одержання згущеного шламу.

Після виходу зі скрубера з радіальним потоком відхідні гази обробляли у трубчастому холодильнику, призначеному для зневоднення відхідних газів шляхом їх охолодження до температури в межах від 10°C до 30°C. Після оброблення у трубчастому холодильнику відхідні гази спалювали.

Псевдозріджений шар створювали на початкових стадіях дослідження за допомогою повітря, а потім підтримували за допомогою суміші азоту з воднем. Оскільки оброблення та повторне використання відхідних газів процесу, наприклад, видалення з них CO_2 та компримування, не передбачалися, повернення їх у реактор як псевдозріджувальний газ було неможливим. З цих міркувань було застосовано водень для моделювання ефекту використання відхідних газів процесу як псевдозріджувальний газ.

Нижче коротко описані результати дослідження.

Підтверджено концепцію процесу відновлення, основаного на використанні вугілля у псевдозрідженому шарі із введенням кисню, який забезпечує одержання відновленого продукту з рівнем металізації до 78%.

Показано можливість введення кисню у псевдозріджений шар або поблизу такого шару із вмістом металічного заліза у шарі до 42% без утворення охолоді.

Показано можливість одночасного відновлення залізної руди та часткового спалювання вугілля для забезпечення потреби в енергії в одному псевдозрідженому шарі при вмісті металічного заліза у продукті до 48%.

Показано важливість вибору розташування кисневої фурми у реакторі у зв'язку з бажаністю зворотного переносу тепла окиснення у шар при зведенні до мінімуму рівня повторного окиснення заліза. В умовах проведення випробувань положення фурми відповідало висоті приблизно 4м.

Досягнуто успішне псевдозрідження та відновлення високофосфористої залізної руди типу Brockman без надмірного пилоутворення. (Руда типу Brockman є крихка західно-австралійська залізна руда, одержана від фірми Hamersley Iron Pty Ltd., Перт, Західна Австралія).

Цілі експериментальної програми:

Головною метою було досягнення стабільної роботи протягом тривалого часу з використанням високофосфористої руди типу Brockman (розмір частинок менше 3мм) та вугілля типу Blair Athol.

План експерименту передбачав роботу з низькою швидкістю подавання залізної руди (до 20% у вивантажуваному продукті) протягом 2 діб із кисневою фурмою у нижньому положенні (1,9м над розподільною тарілкою реактора, не показаною на рисунку). Подальша мета полягала в експлуатації установки протягом 3 діб при високій швидкості подавання руди (до 70% у вивантажуваному продукті) з кисневою фурмою у верхньому положенні (3,8м над розподільною тарілкою).

Запуск:

Дослідження було розпочато 9 грудня 2003р. о 06:00 шляхом поступового нагрівання реактора діаметром 700мм (нижче позначається також абревіатурою CFB) із застосуванням оксиду алюмінію як матеріалу

псевдозрідженого шару. Після досягнення заданої температури у реактор вводили вугілля та кисень (о 15:50). Швидкість подавання кисню збільшували до 105$Нм^3$/год, а швидкість подавання вугілля була в межах 300-450кг/год.

Дослід із вугіллям та киснем 10.12.03-11.12.03

Дослід із вугіллям, повітрям та киснем виконували 10.12.03. Система працювала дуже стабільно, стабілізація відбувалася досить швидко, і температура реактора підтримувалася в межах 900-930°С без будь-яких ускладнень.

Стандартні умови роботи протягом цього періоду були такі:

температура CFB: 930°С у нижній частині та 900°С у верхній частині;

швидкість потоку псевдозріджувального газу: 140$Нм^3$/год (N_2) та 300$Нм^3$/год (повітря);

перепад тиску на CFB: 80-140мбар (8-14кПа);

швидкість потоку кисню: до 100$Нм^3$/год;

швидкість потоку обдувального N_2: 30$Нм^3$/год;

швидкість подавання вугілля: 350-450кг/год.

Одержано такі результати:

швидкість виведення продукту із шару: 100-160кг/год;

швидкість виведення твердих матеріалів з циклону 3: 10-14кг/год.

Склад відхідних газів:

CO/CO_2	12,8/8,7=1,47
$\%H_2$	7,6
$\%CH_4$	0,7

Вивантажуваний продукт був чистий та включав лише незначну кількість частинок розміром >2мм, які виглядали як залишковий вогнетривкий матеріал. Вміст пилу був відносно низьким і становив <10% відносно продукту, вивантажуваного з кінцевого циклону.

Дослід із залізною рудою (10-140кг/год). вугіллям та киснем (фурма на висоті 2м). 10.12.03-12.12.03

Залізну руду (розмір частинок <3мм) почали вводити у систему подавання о 22:00 10.12.03 зі швидкістю 10кг/год. У псевдозріджувальний газ також вводили водень зі швидкістю 20$Нм^3$/год для моделювання застосування оброблених відхідних газів як псевдозріджувального газу. Система працювала стабільно, перепад тиску на шарі ΔP підтримувався у межах приблизно 100-120мбар (10-12кПа), а температурний профіль між нижньою та верхньою зонами шару був у межах 10°С.

Продукт був дрібнозернистим, без будь-яких ознак охолоді або агломератів. Проте при просіюванні продукту на ситі з розміром отворів 2мм виявлено деяку кількість матеріалу типу окалини, який, однак, складав лише незначну частку продукту. Цей матеріал виглядав як зола/кокс і, можливо, утворювався на стінках реактора або на розподільній тарілці реактора.

Стандартні умови роботи протягом цього періоду були такі:

температура CFB: 930°С у нижній частиш та 900°С у верхній частині;

швидкість потоку псевдозріджувального газу: 350$Нм^3$/год (N_2) та 20$Нм^3$/год (H_2);

перепад тиску на CFB: 100-130мбар (10-13кПа);

швидкість потоку кисню: 100-115$Нм^3$/год;

швидкість потоку обдувального N_2: 30$Нм^3$/год;

швидкість подавання вугілля: 280-360кг/год;

швидкість подавання залізної руди: 10кг/год.

Одержано такі результати:

швидкість виведення продукту із шару: 125кг/год;

швидкість виведення твердих матеріалів із циклону: 15кг/год.

Склад відхідних газів:

CO/CO_2	10,3/9,7=1,06
$\%H_2$	9,2
$\%CH_4$	2,0

Дослід з 06:00 до 12:00 11.12.03: подавання залізної руди зі швидкістю 20кг/год

Швидкість подавання залізної руди в період з 06:00 до 12:00 11.12.03 було збільшено до 20кг/год, швидкість подавання водню також було збільшено до 40$Нм^3$/год. Система працювала стабільно без будь-яких перебоїв. Перепад тиску на шарі в реакторі підтримувався у межах приблизно 80-100мбар (8-10кПа), а температурний профіль між нижньою та верхньою зонами шару був у межах 10°С.

Зовнішній вигляд продукту був, як і раніше, задовільним, без будь-яких ознак охолоді або агломератів. Як і в попередньому досліді, винятком були поодинокі зерна матеріалу типу окалини, що виглядали як зола/кокс.

Стандартні умови роботи та результати протягом цього періоду були такі:

температура CFB: 952°С у нижній частині та 940°С у верхній частині;

швидкість потоку псевдозріджувального газу: 350$Нм^3$/год (N_2) та 40$Нм^3$/год (H_2);

перепад тиску на CFB: 80-100мбар (8-10кПа);

швидкість потоку кисню: 112$Нм^3$/год;

швидкість потоку обдувального N_2: 30$Нм^3$/год;

швидкість подавання вугілля: 430кг/год;

швидкість подавання залізної руди: 20кг/год.

Одержано такі результати:

швидкість виведення продукту із шару: 125кг/год;

швидкість виведення твердих матеріалів із циклону 3: 15кг/год.

Склад відхідних газів:

CO/CO_2	11,5/9,6=1,2
$\%H_2$	14,1

$\%CH_4$ 2,6

Аналіз продукту (09:00, 11.12.03):

	% (мас.)	Fe (загальн.)	Fe^{2+}	Fe°	% металізації
Магнітний	9	58,2	15,5	42,35	72,8
Немагнітний	91	1,74			

Дослід з 12:00 11.12.03 до 06:00 12.12.03: подавання залізної руди зі швидкістю 40кг/год

Швидкість подавання залізної руди о 12:00 11.12.03 було збільшено до 40кг/год, і система працювала при таких умовах до 06:00 12.12.03; при цьому швидкість подавання водню становила 40$Нм^3$/год, а швидкість подавання вугілля була у межах 360-420кг/год. Система продовжувала працювати стабільно без будь-яких перебоїв, і вивантажуваний продукт мав високий ступінь металізації. Кількість пилу також була незначною і становила менш ніж 10% загальної кількості матеріалу, що надходив із кінцевого циклону (тобто циклону 3). Перепад тиску ΔP на шарі в реакторі підтримувався у межах приблизно 90-135мбар (9-13,5кПа), а температурний профіль між нижньою та верхньою зонами шару був у межах 10°С.

Результати

Зовнішній вигляд продукту був, як і раніше, задовільним, без будь-яких ознак охолоді або агломератів.

Стандартні умови роботи та результати на протязі цього періоду були такі:

температура CFB: 953°С у нижній частині та 941°С у верхній частині;

швидкість потоку псевдозріджувального газу: 370$Нм^3$/год (N_2) та 40$Нм^3$/год (H_2);

перепад тиску на CFB: 98-130мбар (9,8-13кПа);

швидкість потоку кисню: 113$Нм^3$/год;

швидкість потоку обдувального N_2: 30$Нм^3$/год;

швидкість подавання вугілля: 426кг/год;

швидкість подавання залізної руди: 40кг/год.

Одержано такі результати:

швидкість виведення продукту з шару: 190-210кг/год;

швидкість виведення твердих матеріалів із циклону 3: 15-20кг/год.

Склад відхідних газів:

CO/CO_2 9,9/11,4=0,87

$\%H_2$ 12,9

$\%CH_4$ 2,9

Аналіз продукту: (11.12.03)

		% (мас)	Fe (заг.)	Fe^{2+}	Fe°	% металізації	% Fe° у продукті
15:00 11.12.03	Магнітний	30	74,38	14,59	57,44	77,2	25,8
	Немагнітний	70	4,95				
19:00 11.12.03	Магнітний	34,8	71,56	19,33	50,75	70,9	26,8
	Немагнітний	65,2	2,98				
23:00 11.12.03	Магнітний	27,4	66,4	20,22	45,66	68,8	21,1
	Немагнітний	72,6	4,03				
02:00 12.12.03	Магнітний	24,6	67,1	22,1	42,53	63,4	19,7
	Немагнітний	75,4	4,3				
06:00 12.12.03	Магнітний	19,6	68,86	22,55	43,48	61,8	15,7
	Немагнітний	80,4	2,73				

Високий досягнутий рівень металізації (70-77%) вказує, що струмінь кисню (навіть при висоті наконечника фурми 1,9м над розподільною тарілкою) не проникає занадто далеко у нижню зону псевдозрідженого шару, і у шарі має місце ефективна сегрегація. Нижня зона шару збагачена залізом. Вища зона шару збагачена вуглецем, і має місце взаємодія вуглецю зі струменем кисню з вивільненням тепла, і це тепло потім переноситься у шар внаслідок циркуляції твердих матеріалів у напрямі до нижньої зони шару. Низьке значення відношення CO/CO_2 у відхідних газах вказує на високий ступінь згоряння у післяреакційній зоні з перенесенням тепла назад у шар при підтриманні високого ступню металізації у вивантажуваному продукті.

Рівні вмісту заліза у продукті та ступінь металізації вказують, що реактор діаметром 700мм можна експлуатувати в режимі газифікації при вмісті металічного заліза до 20-25% без будь-яких ускладнень, пов'язаних з утворенням охолоді. Такий результат є значним досягненням.

Огляд кисневої фурми (12.12.03)

Фурма була 12.12.03 вийнята з реактора діаметром 700мм та оглянута.

В цілому фурма виявилася чистою. На водоохолоджуваній трубі, а також на кінці сопла не виявлено ознак наростання матеріалу.

Фурму знов було встановлено в реактор на більшій висоті, тобто на 3,8м вище розподільної тарілки.

Реактор був повторно запущений із застосуванням вугілля та кисню, і тільки після цього було встановлено швидкості подавання залізної руди та водню.

Експлуатація із застосуванням залізної руди (110-200кг/год), вугілля та кисню (фурма на висоті 4м)

06:00-12:00: подавання залізної руди зі швидкістю 110кг/год

Швидкість подавання залізної руди збільшували у ступінчастому режимі до 110кг/год (це значення було досягнуто о 06:25), і система працювала при такій швидкості до 12:00, причому швидкість подавання водню збільшували також у ступінчастому режимі до 110Нм^3/год протягом 2год. Швидкість подавання вугілля була у межах 360-400кг/год. Система продовжувала працювати стабільно без будь-яких перебоїв, і ступінь металізації вивантажуваного з реактора продукту досягав 78%. Кількість пилу також була незначною і становила менше 10% загальної кількості матеріалу, що надходив із кінцевого циклону (тобто циклону 3). Перепад тиску ΔP на шарі в реакторі підтримувався у межах приблизно 90-135мбар (9-13,5кПа), а температурний профіль між нижньою та верхньою зонами шару був у межах 5°C.

Таким чином, підняття фурми з висоти 1,9м до 3,8м не вплинуло на температурний профіль у псевдозрідженому шарі. Дійсно, розкид температури в межах між верхньою та нижньою зонами був менш ніж 5°C.

Результати

Зовнішній вигляд продукту був, як і раніше, задовільним, без будь-яких ознак охолоді або агломератів.

Стандартні умови роботи та результати на протязі цього періоду були такі:

температура CFB: 953°C у нижній частиш та 951°C у верхній частині;

швидкість потоку псевдозріджувального газу у CFB: 10Нм^3/год (N_2) при 860°C, 110Нм^3/год (N_2) при 740°C, 180Нм^3/год (N_2) при 680°C та 110Нм^3/год (H_2) при 860°C;

перепад тиску на CFB: 80-100мбар (8-10кПа);

швидкість потоку кисню: 110Нм^3/год;

швидкість потоку обдувального N_2: 30-40Нм^3/год;

швидкість подавання вугілля: 360-400кг/год;

швидкість подавання залізної руди: 110кг/год.

Одержано такі результати:

швидкість виведення продукту із шару: 162кг/год;

швидкість виведення твердих матеріалів із циклону: 16кг/год.

Склад відхідних газів:

CO/CO_2	10,9/9,6=1,14
$\%H_2$	19,6
$\%CH_4$	2,3

Аналіз продукту (13.12.03)

		% (мас.)	Fe (загальн.)	Fe^{2+}	Fe°	% металізації
12:00 13.12.03	Магнітний	37,8	76,42	14,98	59,33	77,6
	Немагнітний	62,2	2,66			

При вищому положенні кисневої фурми зберігався рівномірний температурний профіль у псевдозрідженому шарі, досягнутий при нижчому положенні фурми. Це свідчить, що навіть при висоті кисневої фурми 3,8м профіль циркуляції твердих матеріалів є таким, що у нижню зону шару переноситься достатня кількість тепла.

Температурний профіль у реакторі та циклонах свідчив, що підвищення швидкості подавання залізної руди до 110кг/год, очевидно, не спричиняє збільшення кількості пилу. Кількість продукту, що виводиться з кінцевого циклону, відносно кількості продукту з реактора також істотно не змінювалася. Це дозволяє зробити висновок, що або залізна руда не подрібнюється в очікуваній кількості, або дрібні частинки, що утворюються, знов агломеруються у високотемпературній зоні кисневої фурми.

Дослід з 12:00 13.12.03 до 05:00 16.12.03: подавання залізної руди зі швидкістю 120-230кг/год

У першому періоді цього досліду з 17:00 13.12.03 до 12:00 16.12.03 система працювала при швидкості подавання залізної руди приблизно 120кг/год. Цей час включав період збою, коли руда не подавалася. У кінцевому періоді швидкість подавання залізної руди становила приблизно 230кг/год.

При швидкості подавання залізної руди 230кг/год система продовжувала працювати стабільно без будь-яких збоїв, і ступінь металізації вивантажуваного з CFB продукту становив від 48% до 78%. Кількість пилу також була незначною і становила менше 10% загальної кількості матеріалу, що надходив із кінцевого циклону 3. Перепад тиску ΔP на шарі в реакторі підтримувався у межах приблизно 80-100мбар (8-10кПа), а температурний профіль між нижньою та верхньою зонами шару був дещо збільшеним (до приблизно 20°C).

Експлуатація реактора при збільшеній швидкості подавання залізної руди (200кг/год) спричиняла розширення температурного профілю у CFB, причому температура у нижній зоні псевдозрідженого шару була на 20°C нижчою у порівнянні до середньої зони. Рівні металізації при збільшеній швидкості подавання залізної руди також знижувалися, але залишалися в межах діапазону ступеня металізації 60-80%.

Результати:

Зовнішній вигляд продукту був, як і раніше, задовільним, без будь-яких ознак охолоді або агломератів.

Стандартні умови роботи та результати протягом цього періоду були такі:

температура CFB: 947°C у нижній частині та 960°C у верхній частині;

температура нагрівача псевдозріджувального газу: 740°C та 615°C в основному нагрівачі;

швидкість потоку псевдозріджувального газу у CFB: 20Нм^3/год (N_2) при 860°C, 100 20Нм^3/год (N_2) при 740°C, 185 20Нм^3/год (N_2) при 615°C та 140Нм^3/год (H_2) при 840°C;

перепад тиску на CFB: 83-96мбар (8,3-9,6кПа);

швидкість потоку кисню: 113Нм^3/год;
швидкість потоку обдувального N_2: 30-40Нм^3/год;
швидкість подавання вугілля: 380кг/год;
швидкість подавання залізної руди: 200кг/год.
Одержано такі результати:
швидкість виведення продукту з шару: 227-286кг/год;
швидкість виведення твердих матеріалів з циклону: 18-24кг/год.
Аналіз відхідних газів (04:00, 15/12/03):

CO/CO_2	11/10,4=1,06
$\%H_2$	16,5
$\%CH_4$	1,4

Аналіз продукту (13-15.12.03)

		% (мас.)	C (заг.)	Fe (заг.)	Fe^{2+}	Fe°	% металізації
17:00 13.12.03	Магнітний	40,2	-	75,55	22,1	51,37	68,0
	Немагнітний	59,8	-	8,11			
20:00 13.12.03	Магнітний	54,2	1,8	78,35	15,33	61,18	78,1
	Немагнітний	45,8	80,3	5,03			
17:00 13.12.03	Вихід з циклону 3			12,89	2,73	2,47	19,2
20:00 13.12.03	Вихід з циклону 3			15,74	3,12	6,67	42,4
02:00 15.12.03	Магнітний	51,3	-	78,85	19,6	58,87	74,7
	Немагнітний	48,7	-	7,29			
05:00 15.12.03	Магнітний	57,2	-	77,44	17,27	57,65	74,4
	Немагнітний	42,8	-	4,55			
07:00 15.12.03	Магнітний	62,8	0,9	76,93	17,38	58,43	75,9
	Немагнітний	37,2	72,5	11,25			
02:00 15.12.03	Вихід з циклону 3			20,29	7,77	5,38	26,5
05:00 15.12.03	Вихід з циклону 3			21,73	7,69	6,28	28,9
12:00 15.12.03	Магнітний	59,2	-	76,9	18,1	56,6	73,6
	Немагнітний	40,8	-	31,0	4,7	22,0	70,9
16:00 15.12.03	Магнітний	62,7	1,9	73,6	32,5	36,0	48,9
	Немагнітний	37,3	53,6	27,6	8,4	13,2	48,0
22:00 15.12.03	Магнітний	59,6	-	71,5	28,0	39,0	54,5
	Немагнітний	40,4	-	20,4	3,9	11,0	54,0
02:00 16.12.03	Магнітний	53,3	-	74,1	26,8	43,5	58,7
	Немагнітний	46,7	-	13,7	3,7	2,8	20,1
04:00 16.12.03	Магнітний	62,7	1,6	74,4	29,5	40,0	53,8
	Немагнітний	37,3	63,8	16,8	5,7	5,4	32,2

При високій швидкості подавання залізної руди (200кг/год) кількість продукту, вивантажуваного з реактора, значно збільшилася, тоді як вихід продукту з кінцевого циклону збільшився лише незначно. Проте відношення кількості продукту з кінцевого циклону до кількості продукту з реактора, очевидно, не змінилося. Крім того, виявлено, що кількість пилу (<0,1мм) у вивантажуваному продукті була меншою, ніж кількість пилу у вихідному матеріалі. Це дозволяє зробити висновок, що або залізна руда не подрібнюється в очікуваній кількості, або дрібні частинки, що утворюються, знов агломеруються у високотемпературній зоні кисневої фурми. Цей висновок підтверджується також температурним профілем у циклонах, оскільки при збільшеній швидкості подавання залізної руди не спостерігається значного підвищення температури у циклонах. Рівень металізації продукту в період збільшеної пшидкості подавання залізної руди утримувався в межах 68-78%, при цьому вивантажуваний продукт містив до 48% металічного заліза.

Огляд кисневої фурми та реактора (16.12.03 та 19.12.03)

Фурма була вийнята з реактора діаметром 700мм 16.12.03 та оглянута. В цілому фурма виявилася досить чистою. На водоохолоджуваній трубі виявлено тонкий наліт матеріалу, в той час як кінець сопла був відносно чистим. Природа нальоту (тонкий, лускоподібний) дозволяє зробити висновок, що це явище не призведе до будь-яких ускладнень при експлуатації системи.

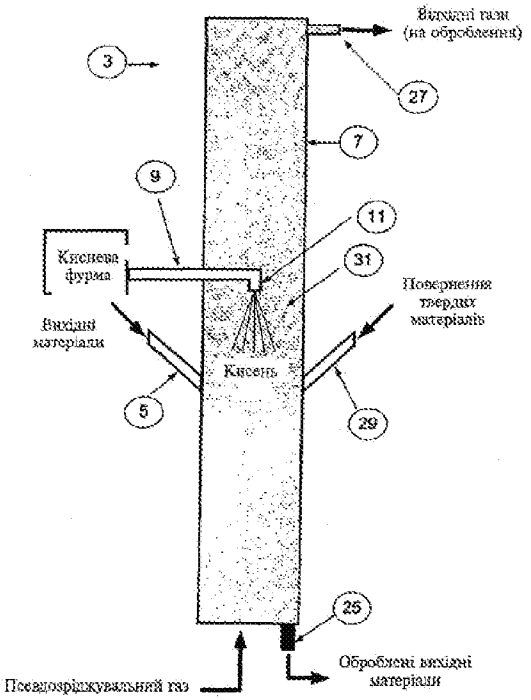
Розподіл заліза та агломерація

Аналіз зразка руди Brockman, застосовуваної як вихідний матеріал у псевдозрідженому шарі, посвідчив вміст пилу (<45мкм) приблизно 10,6%. Очікувалося, що цей матеріал виявиться у вигляді виходу із циклону 3 або згущеного шламу. З урахуванням крихкої природи руди Brockman, очікувалося, що у процесі переробки утвориться додаткова кількість пилу. Тому очікувалося, що частка заліза, яка виводиться із системи через циклон 3, перевищуватиме 10,6%.

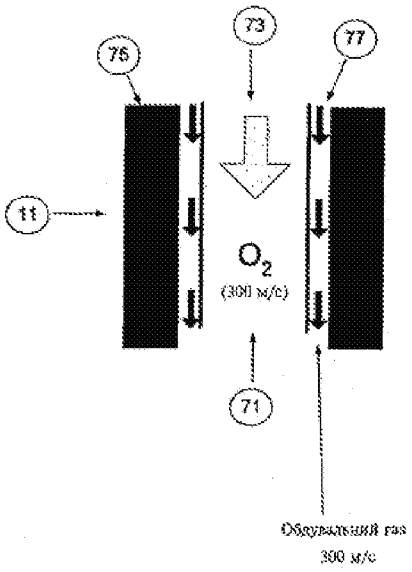
Спостерігалося, що приблизно 7% кількості заліза, що подавалося у псевдозріджений шар, виводилося із системи через циклон 3 або у вигляді безпосереднього виходу із циклону 3 (приблизно 4%), або у вигляді виходу зі скрубера з радіальним потоком (приблизно 3%). Аналіз основного продукту, що вивантажувався із псевдозрідженого шару, свідчив про наявність механізму агломерації у процесі. Цей механізм проявлявся,

головним чином, у формі агломерації дрібних частинок (як правило, менше 100мкм) одна з одною та з більшими частинками.

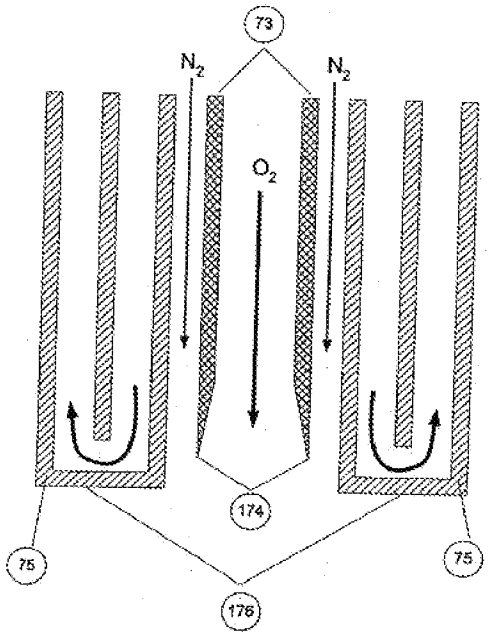
У варіанти здійснення цього винаходу, показані на Фіг.1-4, можуть бути внесені численні модифікації без виходу за межі обсягу та суті винаходу.



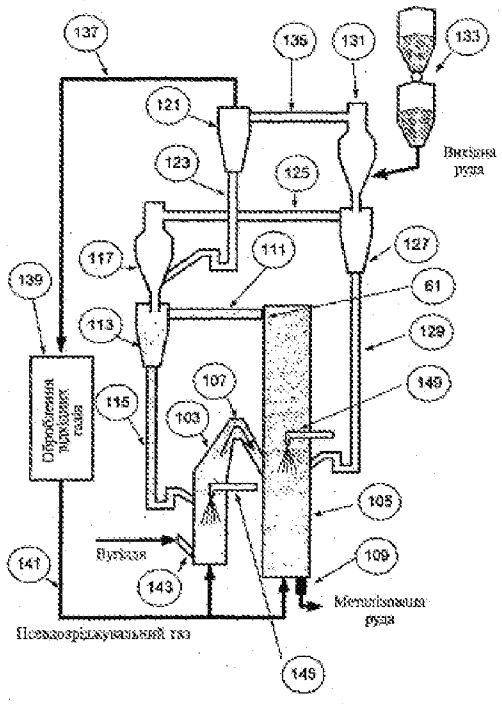
Фіг.1



Фіг.2


73
N2
N2
O2
174
75
75
176

Фіг.3


137
135
131
133
121
123
125
127
117
111
139
61
113
129
149
107
115
103
105
109
141
143
145
Обробництва відхідних газів
Вихідна руда
Відхідний газ
Металізована руда

Фіг.4