

Корисна модель належить до металургійної галузі промисловості, підприємства якої здійснюють відновлення металів із руд та переробляють отримані сплави на кінцеву металопродукцію.

Відомий спосіб прямого відновлення залізних руд [1], за яким частину відновного газу вилучають з шахтної печі, нагрівають та знов повертають у шахтну піч для підвищення температури в реакційній зоні та/або використання нагрітого газу безпосередньо для відновлення. Додаткові операції з відновним газом ускладнюють процес, вимагають встановлення додаткового устаткування, що збільшує операційні витрати.

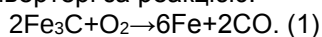
Також відомий комплекс для прямого відновлення заліза [2], який включає склад сировини та матеріалів, бункери для шихтових компонентів, збірний конвеєр, устаткування для подрібнення шихтових компонентів та їх брикетування, сушарку брикетів, піч для відновлення брикетів, пилоочисне обладнання. Як сировину використовують сталевий пил та/або шлам, а також окалину від прокатного виробництва, тобто комплекс не дає можливості отримувати залізо безпосередньо з руди, яка є головним джерелом виплавлення металів. Як відновник використовується антрацитовий штиб, отже, як і в традиційному доменному процесі, відновлення супроводжується значним вуглецевим слідом, а використання твердого відновника уповільнює процес, оскільки за інших рівних умов швидкість твердофазної реакції, яка відбувається лише на поверхнях контакту кусочків окисненого матеріалу та відновника, завжди менша, ніж реакції з газовим відновником, який оточує усю доступну поверхню окисненого матеріалу та контактує з нею.

Найближчим аналогом до запропонованої корисної моделі є спосіб прямого відновлення заліза, система для здійснення якого містить шахтну піч прямого відновлення оксидів заліза до металевого заліза, в якій для його відновлення використовують одержувані в системі відновлювальний газ та з якої після відновлення видаляють відхідний газ [3]. При цьому зовнішні джерела відновників є коксовим газом та/або газом, що відходить з кисневої конвертерної печі. З суміші відхідних газів шахтної печі та конвертерного газу видаляють діоксид вуглецю, змішують з чистим коксовим газом, зволожують, нагрівають та знову спрямовують до шахтної печі для використання. Відпрацьований гарячий відновний газ виходить з шахтної печі. Частина його спрямовується до нагрівальних пальників, а решта охолоджується з утворенням пари в котлі-утилізаторі надлишкового тепла, очищується в скрубєрі-холодильнику та рециркулює для об'єднання зі свіжим конвертерним газом.

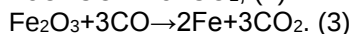
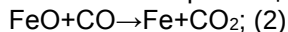
Головними недоліками цього способу є:

- пряме відновлення заліза є альтернативою традиційному доменному процесу, що використовує кокс, а коксовий газ отримують одночасно з коксом. Отже, цей спосіб прямого відновлення може лише частково замінити доменний процес;

- використання газу від кисневих конвертерів також не дозволяє забезпечити сировиною пряме відновлення, оскільки відновний газ - монооксид вуглецю - утворюється за виплавлення сталі в конвертері за реакцією:



В той же час пряме відновлення заліза монооксидом вуглецю відбувається згідно з рівняннями:



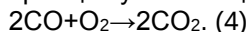
З цих реакцій видно, що кількість утворюваного відновника в кілька разів (3-4,5 разу) менша за потребу в цьому відновнику для отримання заліза.

В основу корисної моделі поставлена задача зменшити вуглецевий слід та витрати відновника на пряме відновлення заліза.

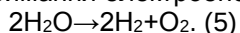
Поставлена задача вирішується тим, що за способом прямого відновлення заліза, за яким використовують систему, яка містить шахтну піч прямого відновлення оксидів заліза до металевого заліза, в якій для його відновлення використовують одержуваний в системі відновний газ та з якої після відновлення видаляють відхідний газ, згідно з корисною моделлю відновний газ отримують шляхом газифікації вугілля, а відхідний газ, який не прореагував, використовують для одержання електроенергії, за допомогою цієї електроенергії здійснюють електроліз води, а отриманий водень додають до відновного газу.

Таким чином, спільним ознаками із найбільш близьким аналогом є отримання заліза прямого відновлення в вертикальній шахтній печі за допомогою отриманого в самій системі відновного газу, видалення відхідного газу з печі після відновлення. Відмінним є отримання відновного газу шляхом газифікації вугілля, використання відхідного газу, який не прореагував за відновлення, для одержання електроенергії, за допомогою цієї електроенергії здійснюється електроліз води, а отриманий водень додається до відновного газу.

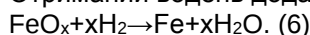
Пряме відновлення заліза здійснюють відновним синтез-газом, отримуваним за кисневої газифікації вугілля. Надлишковий газ, який не прореагував, допалюють:



Тепло продуктів спалювання разом з теплом отриманого з вугілля газу використовується для отримання електроенергії. За допомогою цієї електроенергії здійснюється електроліз води:



Отриманий водень додається до відновного газу та бере участь в процесах відновлення:



В цьому рівнянні суміш оксидів двох- та тривалентного заліза FeO та Fe_2O_3 , яка міститься в руді, умовно показана як сполука змінного складу FeO_x .

Отримання відновного газу шляхом газифікації вугілля дозволяє відмовитись від використання з цієї метою імпортного та дороговартісного природного газу і застосовувати викопне вугілля, сумарні дійсні геологічні запаси якого (сумарно за категоріями $A+B+C_1$) становлять в нашій країні майже 45 млрд т. Компонентами отриманого генераторного газу, що мають відновні властивості, є монооксид вуглецю CO та водень H_2 , причому реакція з останнім відбувається значно швидше. Тому відпрацьований газ після прямого відновлення заліза завжди містить певну кількість монооксиду вуглецю, що не прореагувала. Це - надзвичайно шкідлива речовина, яку згідно з екологічними вимогами слід допалювати перед скиданням у довкілля. Отримувана при цьому теплова енергія разом з тепловою енергією отриманого з вугілля генераторного газу перетворюється на електричну енергію, яка використовується для електролізу води. Отримуваний при цьому водень також разом з відновлювальним газом спрямовується на пряме відновлення заліза. Внаслідок цього знижуються витрати отриманого з вугілля генераторного відновлювального газу на виплавку заліза, вугілля на одержання генераторного газу, що знижує вуглецевий слід від отримання заліза прямого відновлення.

Приклад

Для газифікації використовують малометаморфзоване довгополум'яне вугілля Західного Донбасу, оскільки саме таке вугілля складає майже дві третини в наявних геологічних запасах нашої країни. Характеристика вугілля наведена в табл. 1.

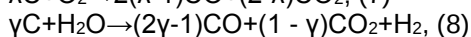
Таблиця 1

Характеристика вугілля

Показники та позначення	Одиниці виміру	Числові значення
Технічний аналіз:	%	
Вологість робочої маси W_t		10,0
Зольність сухої маси A^d		15,0
Вихід летких речовин із сухої знезоленої (горючої) маси V^{daf}		44,1
Сірчистість загальна сухої маси S_t^d		1,4
Елементний склад органічної маси:	%	
Вуглець C^{daf}		80,9
Водень H^{daf}		5,3
Сірка загальна S^{daf}		1,7
Азот N^{daf}		1,1
Кисень O^{daf}_d		11,0

Вугілля подрібнюють в кульовому млині мокрого подрібнення до крупності $<0,08$ мм з отриманням водовугільної пульпи, для приготування якої використовують прісну воду без особливих вимог до її якості. Можливе використання води з органічними забруднювачами, які потім піддаються газифікації (стічна вода нафтопереробних, коксохімічних виробництв, підприємств органічного синтезу, господарсько-фекальні води тощо).

Отримана пульпа вприскується у верхню частину реактора крізь центр спеціальної форсунки, за периферією якої подається кисень, кількість якого є меншою, ніж потрібно для спалювання вугілля. За нестачі кисню в реакторі відбуваються наступні узагальнені реакції:

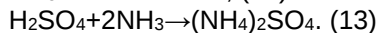
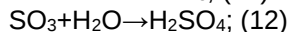
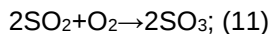
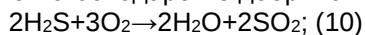


де λ та γ - числові коефіцієнти, що характеризують співвідношення кількостей CO та CO_2 в продуктах реакції. Їх значення залежать від умов проведення процесу та знаходяться в наступних межах:

$$1 \leq \lambda \leq 2, 0,5 \leq \gamma \leq 1. \quad (9)$$

Температура в реакторах з прямоточною кисневою газифікацією водовугільної пульпи сягає 1600°C , тому отриманий газ охолоджується в міжтрубному просторі двоступеневого котла-утилізатору, до трубок якого подається хімічно очищена вода, яка перетворюється на перегріту пару високого тиску з параметрами $4,0$ МПа та 440°C . З нижньої частини котла-утилізатору у гранульованому вигляді відводять шлак газифікації, на який перетворюється мінеральна частина вугілля. Цей шлак використовують в будівництві та для інших цілей.

Охолоджений до 180 °С газ очищується від шкідливих домішок (сполук сірки та азоту - сірководню H_2S та аміаку NH_3). Вилучені домішки використовують для отримання сірчаної кислоти для потреб хімічної промисловості, частина якої за взаємодії з аміаком утворює сульфат амонію - сільськогосподарське добриво:



Очищений газ надходить до нижньої частини реактора відновлення. У верхню частину реактора завантажуються залізорудна сировина - офлюсовані окатиші Південного ГЗК (Полтавська обл.) із вмістом заліза 55 %. Сталий розмір окатишів (10-15 мм) дає можливість досягти рівномірного розподілу відновного газу за перерізом реактора та здійснення реакцій відновлення (2), (3), (6).

Залишок газу після відновлення, який, окрім вуглекислого газу, містить гази-відновники, які не прореагували (переважно монооксид вуглецю), надходить до енергетичної установки, де спалюється. Продукти спалювання віддають своє тепло хімічно очищеній воді, яка перетворюється на пару, та скидаються в атмосферу крізь димар (на схемі не показаний).

Пара з котлів-утилізаторів та енергетичної установки надходить до турбіни, де кінетична та внутрішня енергія пари трансформуються в електричну енергію, яка живить електролізер, де відбувається електроліз технічної води з отриманням кисню (використовують для забезпечення потреб газифікації) та водню, який надходить до реактора відновлення для збагачення відновного газу. Залишок після електролізу - розсіл - відводиться на переробку для отримання шляхом випарювання технічного хлориду натрію, якій після очищення шляхом перекристалізації може використовуватись як харчова кухонна сіль.

Корисна модель пояснюється кресленням укрупненої схеми матеріальних потоків. Порівняльна характеристика результатів, отриманих при застосуванні запропонованого способу та найбільш близького аналога, наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика результатів, отриманих
за запропонованим способом та найбільш близьким аналогом

Показники	Одиниці виміру	Числові значення:	
		Найбільш близький аналог	Запропонований спосіб
1	2	3	4
Розрахункова одиниця переробки вугілля	т	1,0	1,0
Витратні коефіцієнти на газифікацію:			
кисень (за 0 °С та 101,3 кПа)	м ³	0,856	0,856
вода на утворення пульпи	м ³	4,28	4,28
електроенергія	кВт·годин	124	124
Кількість отриманого газу (за 0 °С та 101,3 кПа)	м ³ /т	2140	2140
Склад газу:	% об.		
CO ₂		11	11
CO		55	55
H ₂		30	30
N ₂ +Ar та сполуки азоту		2	2
CH ₄		1	1
H ₂ S		1	1
Кількість електроенергії, отримуваної за газифікації (за вирахуванням споживання на власні потреби)	кВт·годин	4996	4996
Кількість електроенергії, отримуваної за допалювання залишку відновного газу, що не прореагував	кВт·годин	1260	1260
Кількість водню, отримуваного за електролізу води (за 0 °С та 101,3 кПа)	м ³	-	9930
Кількість отриманого заліза прямого відновлення	кг	2486	98311
Кількість відновлених окатишів	кг	4475	176978

Витрата вуглецю на отримання заліза прямого відновлення	т/т	0,248	0,00629
Кількість утвореного CO ₂ за отримання заліза прямого відновлення	т/т	0,909	0,0231

Наведені дані свідчать, що застосування запропонованої корисної моделі дозволяє внаслідок використання для відновлення заліза з руди отриманого електролітичного водню значно (майже в 40 разів) збільшити вихід заліза прямого відновлення в розрахунку на 1 т вугілля та, відповідно, зменшити кількість використаного вуглецю та утвореного парникового вуглекислого газу. Це свідчить про технічну, екологічну та економічну ефективність запропонованого способу.

Джерела інформації:.

1. Патент США 3954444А1.
2. Патент України 132369.
3. Патент України 108803.

