

Винахід відноситься до способу виробництва ливарного чавуну, який ще називають чушковим чавуном (рідким металом), і до способу виробництва сталі з такого ливарного чавуну.

Зараз сталь можна виробляти за двома основними виробничими маршрутами. Зараз найбільш часто використовуваний виробничий маршрут під назвою "BF-BOF маршрут", який полягає у виробництві рідкого чавуну в доменній печі з допомогою відновника, головним чином коксу, для відновлення оксидів заліза, а потім перетворення рідкого чавуну на сталь в конвертерному процесі або в Базовій Кисневій Печі (BOF). Цей маршрут, як під час виробництва коксу з вугілля в коксовій установці, так і при виробництві чавуну, вивільняє значні кількості CO₂.

Другий основний виробничий маршрут застосовує так звані "способи прямого відновлення". Серед них способи брендів MIDREX®, FINMET®, ENERGIRON®/HYL, COREX®, FINEX® та ін., в яких губчасте залізо виготовляється у вигляді HDRI (Гаряче Залізо Прямого Відновлення), CDRI (Холодне Залізо Прямого Відновлення) або HBI (Гаряче брикетоване Залізо) шляхом прямого відновлення носіїв оксиду заліза. Губчасте залізо у вигляді HDRI, CDRI та HBI проходить подальшу обробку в електропечах для виробництва сталі.

Таким чином, одним з основних варіантів, обраних виробниками сталі для зменшення викидів CO₂, є перехід від маршруту BF-BOF до маршруту DRI. Однак використання продуктів DRI в класичних електроплавильних печах разом із бруктом чорних металів має деякі обмеження. Дійсно, брукт містить багато домішок, а одержану рідку сталь треба буде додатково обробити для одержання високоякісних марок сталі. Тому будуть необхідні інвестиції в нові інструменти для обробки рідкої сталі.

Таким чином, метою цього винаходу є усунення недоліків маршрутів виробництва ливарного чавуну і сталі шляхом створення нового маршруту, який ефективно мінімізує вплив такого виробництва на довкілля.

Ця проблема вирішується з допомогою способу виробництва ливарного чавуну, як детально описано в п. 1.

Такий спосіб може також включати необов'язкові ознаки пп. 2-10, розглянуті окремо або у будь-яких можливих технічних комбінаціях.

Винахід також відноситься до способу виробництва сталі за п. 11.

Такий спосіб також може включати додаткові характеристики п. 12.

Інші ознаки і переваги винаходу будуть чітко висвітлені в його описі, який наведений нижче для пояснення і який жодним чином не є обмежувальним, з посиланням на додані фігури, на яких:

- Фіг. 1 ілюструє процес виробництва ливарного чавуну і сталі відповідно до маршруту плавлення/BOF.

- На Фіг. 2 зображено плавильну піч.

Елементи на фігурах є ілюстративними і можуть бути зображені не в масштабі.

На Фіг. 1 показаний маршрут виробництва сталі відповідно до маршруту DRI, від відновлення заліза до лиття сталі у напівпродукти, такі як-от сляби, заготовки, блюми або смуги.

Залізну руду 10 спочатку відновлюють в установці 11 прямого відновлення. Ця установка 11 прямого відновлення може бути розроблена для впровадження до будь-якої технології прямого відновлення, такої як-от технологія MIDREX® або Energiron®. Процес прямого відновлення може бути, наприклад, традиційним на основі природного газу або процесом на основі біогазу.

У переважному варіанті здійснення продукт DRI, який використовується в способі цього винаходу, виготовляється з використанням відновного газу на основі біогазу, який надходить від спалювання біомаси.

Біомаса це відновлюваний органічний матеріал, який походить від рослин і тварин. Джерела біомаси включають, зокрема, деревину і відходи деревообробки, як-от дрова, деревні гранули і деревну тріску, тирсу і відходи лісоматеріалів і меблевих комбінатів, чорний луг від целюлозно-паперових комбінатів, сільськогосподарські культури і відходи, як-от кукурудза, соєві боби, цукрова тростина, просо, деревні рослини і водорості, а також залишки рослинництва і харчової промисловості, біогенні матеріали від твердих побутових відходах, як-от папір, бавовна і вироби з вовни, а також харчові, дворові і деревні відходи, а також тваринний гній і міські стічні води. В сенсі винаходу біомаса також може охоплювати залишки пластику, такі як перероблені пластикові відходи, такі як-от Паливо з Твердих Відходів (Solid Refuse Fuels) або SRF.

Щоразу, коли природний газ або біогаз використовується як відновний газ, вміст вуглецю в продукті DRI може бути встановлений на максимум 3 % мас., а зазвичай в діапазоні від 2 до 3 % мас.

В іншому переважному варіанті здійснення продукт DRI, який використовується в способі винаходу, виготовляється з допомогою так званого процесу H₂-DRI, в якому відновний газ містить більше ніж 50 %, а переважно більше ніж 60, 70, 80 або 90 % об. водню або навіть повністю складається з водню. Продукт H₂-DRI міститиме набагато нижчий рівень вуглецю, ніж природний газ або біогаз DRI, зазвичай менше 1 % мас. або навіть ще менше.

У переважному варіанті здійснення водень, який використовується у відновному газі DRI, походить від електролізу води, який переважно живиться частково або повністю від CO₂ нейтральної

електроенергії. CO₂ нейтральна електроенергія включає, зокрема, електроенергію від відновлюваних джерел, яка визначається як енергія, зібрана з відновлюваних ресурсів, які природним чином поповнюються в людському часовому масштабі, включаючи такі джерела, як сонячне світло, вітер, дощ, припливи, хвилі і геотермальне тепло. В деяких варіантах можна використовувати електроенергію, яка надходить з ядерних джерел, оскільки вони не виділяють CO₂ у її виробництві.

Незалежно від використовуваного процесу DRI, одержаний продукт 12 прямого відновлення заліза (DRI) потім завантажують у плавильну піч 13, в якій завершується відновлення оксиду заліза, і продукт плавлять для одержання ливарного чавуну.

Продукт DRI можна передавати у плавильну піч в різних формах. Переважно продукт прямого відновлення заліза (продукт DRI) подається в плавильну піч в гарячій формі як продукт HDRI (так званий гарячий DRI), або в холодній формі як продукт CDRI (так званий холодний DRI), або в у формі гарячих брикетів у вигляді HBI продукту (так званого залізо гарячого брикетування) і/або у формі частинок, переважно із середнім діаметром частинок не більше 10,0 мм, більш переважно середній діаметр частинок не більше 5,0 мм.

Його переважно завантажують безпосередньо на виході з установки 11 прямого відновлення у вигляді гарячого продукту з температурою від 500 °C до 700 °C. Це дозволяє зменшити кількість енергії, необхідної для його плавлення. Коли гаряче завантаження неможливе, наприклад, якщо установка прямого відновлення 11 і плавильна піч 13 розташовані не в одному місці, або якщо плавильна піч 13 зупинена для технічного обслуговування, і таким чином, продукт DRI потрібно зберігати, тоді для продукту DRI може бути виконаний етап попереднього нагрівання.

Плавильна піч 13 використовує електричну енергію, яка постачається декількома електродами, для плавлення продукту 12 DRI і виробництва ливарного чавуну 14. У переважному варіанті здійснення частина або вся необхідна електроенергія надходить від CO₂ нейтральної електроенергії. Подальший детальний опис плавильної печі буде надано пізніше на основі Фіг. 2.

У переважному варіанті здійснення брутх також завантажуються разом з DRI в плавильну печі, причому масова частка брутх чорних металів становить від 1 % до 20 % мас. виходячи з кількості завантажених продуктів DRI.

У переважному варіанті здійснення брутх є сталевим брутхом E40 відповідно до специфікації сталевого брутху EU-27, останнє оновлення від травня 2007 року.

Необов'язково ливарний чавун 14 може бути направлений на станцію 15 десульфурзації для виконання етапу десульфурзації. Цю стадію десульфурзації можна виконувати у спеціальному резервуарі або переважно безпосередньо в чавунному ковші, щоб уникнути перенесення розплавленого металу і пов'язаних з цим втрат тепла. Ця стадія десульфурзації необхідна для виробництва марок сталі, які потребують низького вмісту сірки, наприклад, встановлений на рівні максимум 0,03 % мас. сірки. Десульфурация в окиснювальних умовах не є ефективною і тому переважно виконується або в ливарному чавуні перед кисневим рафінуванням, або в сталеливарному ковші після розкиснення сталі. Для дуже низького вмісту сірки, наприклад, нижче 0,004 % мас. сірки, розкиснення і десульфурация комбінуються для підвищення загальної продуктивності. Таким чином, сорти з низьким вмістом сірки виграють від проведення десульфурзації ливарного чавуну перед етапом конверсії.

Десульфурацию ливарного чавуну можна здійснити шляхом додавання в чавун реагентів, зокрема на основі сполук кальцію або магнію, таких як-от карбонат натрію, вапно, карбід кальцію і/або оксид магнію. Це можна зробити, наприклад, впорскуванням цих реагентів у ківш ливарного чавуну. Десульфурований ливарний чавун 16 переважно має вміст сірки нижче 0,03 % мас. і переважно нижче 0,004 % мас.

Потім десульфурований ливарний чавун 16 може бути переміщений в конвертер 17. Конвертер в основному перетворює розплавлений чавун на рідку сталь шляхом продування кисню через розплавлений чавун для його зневуглицювання. Його (конвертер) зазвичай називають основною кисневою піччю (BOF). Брутх 18 чорних металів, одержаний від вторинної переробки сталі, також можуть бути завантажені в конвертер 17, щоб скористатися теплом, яке виділяється екзотермічними реакціями в результаті введення кисню в ливарний чавун.

За необхідності, утворену таким чином рідку сталь 19 можна потім передавати до одного або кількох вторинних металургійних інструментів 20A, 20B, таких як-от печі-ковші, вакуумний резервуар RH (Ruhrstahl-Heareus), дегазатор у вакуумному резервуарі, станції легування і перемішування та ін., для проведення обробки, щоб одержати необхідний склад сталі відповідно до марок сталі, які будуть вироблятися. Потім рідку сталь необхідного складу 21 можна перенести в установку 22, для розливання, де її можна перетворити на тверді вироби, такі як-от сляби, заготовки, блюми або смуги.

Як показано на Фіг. 2, плавильна піч 13 складається з резервуара 20, здатного вміщувати рідкий чавун. Резервуар 20 може мати, наприклад, круглу або прямокутну форму. Цей резервуар 20 закритий кришкою, яка забезпечена декількома отворами для прийому електродів 22, які вставляються в резервуар 20, та іншими отворами, що дозволяють завантажувати сировину в резервуар 20.

Плавильна піч 13 може бути, наприклад, відкритою шлаковою ванною або OSBF.

Резервуар 20 також забезпечений щонайменше однією льоткою 25, щоб дозволити виведення виробленого ливарного чавуну. Такі льотки 25 розташовані в нижній частині резервуара 20. Вони можуть розташовуватися в бічних стінках резервуара або в низу його стінки.

Електроди 22 забезпечують необхідну електроенергію для плавлення завантажених сировинних матеріалів і формування ливарного чавуну. Переважно це електроди типу Седерберга.

Під час плавлення сировини утворюються два шари: шар ливарного чавуну 14, який є найбільш густішим і тому розташований на дні резервуару 20, і шар шлаку 23, розташований над шаром ливарного чавуну 14. Шар шлаку 23 може бути частково покритий пакетами з сировиною 24, яка очікує розплавлення.

Плавильна піч 13 може бути SAF ((Submerged-Arc Furnace) дугова піч із зануреним електродом), в якій електроди занурені у шар шлаку 23, або OSBF (піч з відкритою шлаковою ванною), в якій електроди 22 розташовані над шаром шлаку 23. Переважно це OSBF, як показано на фігурах.

В способі винаходу, щонайменше один сталеливарний або чавуноливарний, побічний продукт на основі матеріалу, що містить понад 20 % мас. причому, щонайменше, частина зазначеного заліза, яке знаходиться в окисній формі, також завантажують в плавильну піч 13.

Це дозволяє відновити залізо, яке міститься в цих матеріалах, і, таким чином, покращити загальний вихід заліза процесу.

Зараз переробка побічних продуктів, які містять залізо, проводиться в самих сталеливарних резервуарах (BOF/ЕАF) або повертається для спікання. Залізо, що міститься в цих матеріалах, окиснюється і сильно ендотермічне відновлення проводиться в резервуарах, в яких енергія забезпечується спалюванням вуглецю, тим самим обмежуючи екологічну користь від такої переробки. З допомогою способу винаходу хімічне відновлення здійснюється вуглецем, а тепловий вплив компенсується електроенергією.

Ще одна перевага полягає в тому, що винахідники виявили, що ступінь відновлення заліза при операціях плавлення є дуже високою, понад 90 %, що набагато вище, ніж в сучасних технологіях переробки. Наприклад, переробка в сучасних сталеливарних резервуарах може призвести до часткового або низького відновлення заліза, тим самим збільшуючи масу шлаку і швидкість окиснення, що означає додаткові витрати енергії для нагрівання і плавлення, які не відновлюють залізо.

Побічні продукти, що використовуються для утворення матеріалу на основі побічних продуктів, можуть бути обрані щонайменше з агломератного пилу або шлаків, сталеливарних шлаків або пилу, шлаків або пилу від плавлення металу, шлаку електродугової печі, шлаку базової кисневої печі, шлаку вторинної металургії або прокатної окалини. Це також може бути сумішшю цих різних побічних продуктів.

Пил/шлами агломераційного або сталеплавильного виробництва або плавильний пил/шлами являють собою шлами, що утворюються в результаті знепилення відхідних газів від розглянутих печей, таких як-от киснево-конвертерні печі, електродугові печі, агломераційні установки та плавильні печі. Вони можуть бути у вигляді шлаків або пилу залежно від обробки, що застосовується до відхідного газу, як сухої обробки, наприклад, використання тканих фільтрів або мокрої обробки, наприклад, розпиленням води. Шлак електродугової печі і шлак основної кисневої печі або шлаки вторинної металургії, які утворюються під час виробництва рідкої сталі. Окалина або прокатна окалина, це лускоподібна поверхня гарячої прокатної сталі, яка складається із суміші оксидів: оксиду заліза (II) (FeO), оксиду заліза (III) (Fe₂O₃) і оксиду заліза (II, III) (Fe₃O₄, магнетиту). Прокатна окалина утворюється на зовнішніх поверхнях сталевих плит, листів або профілів, коли вони виробляються шляхом прокату сталевих напівпродуктів на прокатних станах.

Типові композиції деяких побічних продуктів наведені в таблиці 1 нижче. Всі відсотки виражені у масових відсотках. Для заліза (Fe) вміст охоплює вміст металевого заліза (Fe) або будь-яких оксидів (Feo, Fe₂O₃, Fe₃O₄).

Таблиця 1

	Fe	P	S	Mg	SiO ₂	Al	Zn	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO
Шлак BOF	10-35	0-2,5	<0,15		8-24			1-6	0,4-2	30-55	5-15
Шлак EAF	20-63	<2	<0,2		9-26			2-16,5		28-64	5-15,5
Шлам EAF	20-40		0,1-2		5-14		2-30				
Шлам BOF	48-80				<3					3,0-17	
Окалина	33-72									0,4-16	
Агломератний пил	44-50	0,01-0,25	0,2-4,1	0-1		0,4-2,2					
Шлак від вторинної металургії	0,1-20				1-40					20-65	2-20

У переважному варіанті здійснення побічний продукт містить також щонайменше 10 % мас шлакоутворювального агента. Це дозволяє сприяти необхідному контролю шлаку в процесі плавки. Цей шлакоутворювальний агент переважно є СаО або глиноземом, який дозволяє отримати композицію шлаку, придатну для використання в цементній промисловості.

У переважному варіанті здійснення побічні продукти подаються в плавильну піч у вигляді брикетів або гранул. Перед брикетуванням або грануляцією вони спочатку можуть піддаватися таким підготовчим етапам, включаючи, але не обмежуючись ними дроблення і просіювання обраних побічних продуктів, а потім змішуванням просіяних продуктів, щоб одержати необхідний склад матеріалу, а саме 20 % мас. заліза і за необхідності щонайменше 10 % мас. шлакоутворювальних агентів. Це дозволяє підвищити універсальність в джерелах і поєднання різних зазначених матеріалів для формування змішаних брикетів або гранул.

У переважному варіанті здійснення до плавильної печі також додається вуглецевмісний матеріал. Реакція вуглецю з киснем в конвертері створює газ монооксиду вуглецю, який забезпечує інтенсивне і ефективне перемішування розплавленого металу і, в такий спосіб, покращує видалення домішок із сталі. Ця реакція є також екзотермічною і тому забезпечує додаткову енергію для плавлення брухту. Що більше брухту використовується, тим менший екологічний слід процесу.

Вміст вуглецю у ливарному чавуні 14, виробленому за маршрутом DRI, зазвичай буде нижчим за 3 % мас. Однак, щоб відповідати вимогам подальшого сталеплавильного процесу в конвертері, чавун переважно повинен мати вміст вуглецю якомога ближче до 4,5 % мас., що є рівнем насичення. У переважному варіанті здійснення вміст вуглецю у ливарному чавуні встановлюється в діапазоні від 4,0 до 4,5 % мас. через додавання вуглецевмісного матеріалу.

Вуглецевмісний матеріал може походити від різних джерел. Він може бути обраний, наприклад, серед коксу, антрациту, карбіду кремнію, карбіду кальцію або суміші будь-яких з цих джерел, але також може переважно надходити з відновлюваних джерел, таких як біомаса, для часткового або всього вуглецевого навантаження. Зокрема, можна використовувати біовугілля. Додавання карбіду кальцію є особливо вигідним, оскільки атоми кальцію можуть забезпечити ефект десульфурзації.

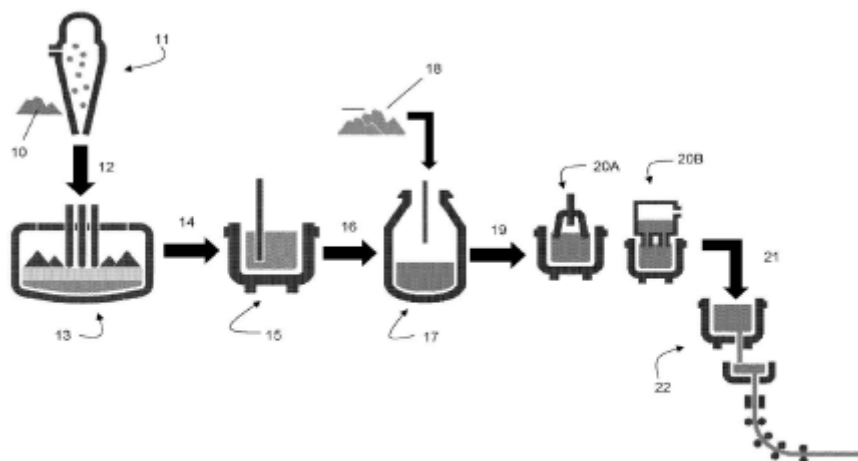


Fig. 1

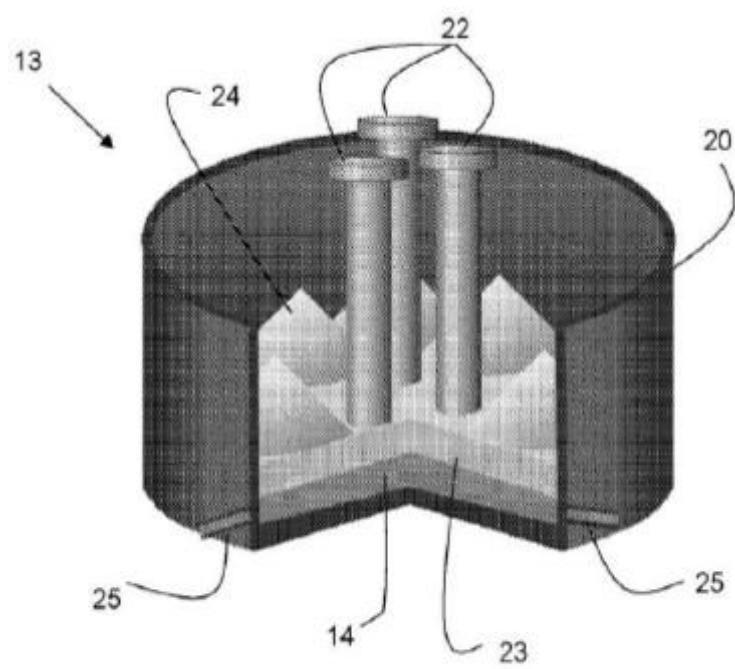


Fig. 2