

Винахід належить до чорної металургії, конкретно до виробництва сталі з залізорудної сировини методом відновлення оксиду заліза по одностадійній технології.

В світі існує велика кількість технологій та обладнання для отримання заліза прямого відновлення з різним рівнем промислового випробування та використання, про що свідчить безмежна кількість патентів багатьох країн. В одних мова іде лише про отримання різного виду напівпродуктів (металізованих окатишів, гарячебрикетованого заліза та інше), які далі використовують замість металобрухту при виготовлення сталі. В інших наведені приклади про дослідно-промислове випробування виробництва сталі по технології відновлення оксиду заліза, але масового використання нової технології ще не відбувається. Тому пошуки технології та обладнання для реального виробництва сталі з оксиду заліза по одностадійній технології в одному агрегаті продовжуються в різних країнах, в тому числі і в Україні.

Відомо про спосіб прямого відновлення оксидів заліза [Патент UA 63283. Спосіб прямого відновлення оксидів заліза. С21В 13/00. Опубл. 10.10.2011. Бюл. № 19], що включає відновлення заліза у псевдо зрідженому шарі відновним газом з вмістом водню. При цьому відновлення здійснюють, використовуючи оксиди заліза з розмірами шматків менше 50 мкм, в водневому середовищі при температурі $\leq 374^{\circ}\text{C}$ і оптимальному значенні абсолютного тиску, при якому забезпечується конденсація водяної пари, що утворюється при реакції відновлення. Запропонована технологія потребує значної кількості водню на відновлення оксидів заліза та великих витрат на подрібненням залізовмісної сировини до пилоподібного стану, що позначається на доцільності її використання.

Також відомо про спосіб прямого відновлення заліза [Патент UA 36157. Спосіб прямого відновлення заліза. С21В 13/00. Опубл. 10.10.2008. Бюл. № 19], що включає нагрівання шихти, яка складається із залізорудної сировини та вуглецевмісного відновлювача, до температури відновлення оксидів заліза, витримку при цій температурі й охолодження відновленого заліза, коли нагрівання шихти ведуть до температури $1050-1200^{\circ}\text{C}$, витримку здійснюють протягом 0,5-2,0 години, а як вуглецевмісний відновлювач використовують кокс із вугілля із низьким ступенем метаморфізму й показником реакційної здатності (CRI), що перевищує 45 %. При цьому цей спосіб включає операції дозованої подачі на змішування, попередньо здрібнених, складових компонентів шихти у вигляді залізовмісного концентрату, вуглецевого відновлювача і присадок, виготовлення брикетів розміром 50-100 мм з отриманої суміші, сушіння брикетів та їх наступне введення у процес рідкофазного прямого відновлення заліза в електродуговій печі. Недоліком цього способу є те, що процес відновлення оксидів заліза недостатньо ефективний, оскільки вуглецевмісний матеріал, у якості якого використовують коксовий дрібняк, бітумінозне вугілля, буре вугілля і його напівкокс, має невисоку реакційну здатність, що знижує швидкість відновлення й ступінь відновлення заліза. До недоліків процесу відноситься також високий вміст золи і сірки, 70 % обсягу якої переходить у відновлене залізо, і призводить до одержання багатосіркового заліза з великим вмістом порожньої породи з неоднорідними фізико-хімічними характеристиками, що вимагає додаткових витрат для одержання готового продукту (наприклад, сталі).

Також відомо про спосіб отримання сталі в рідкій ванні з застосуванням шихтових матеріалів, до складу яких входять залізовмісна сировина і шлакоутворюючі флюси [Похвиснеев А.Н. и др. Внедоменное получение железа за рубежом. М.: Металлургия, 1964, с. 314-315], що полягає в отриманні низьковуглецевої сталі шляхом взаємодії оксидів заліза з відновлювачем, спалюванні палива в кисневовмісному газі для забезпечення технологічного процесу теплом та введенні позапічним методом в низьковуглецеву сталь добавок, що забезпечують отримання заданого хімічного складу сталі. В цьому способі спочатку утворюють рідку ванну шляхом плавлення металевого заліза, наприклад сталевого брухту. Розплав заліза безперервно або періодично насичують вуглецем та відновником шляхом вдування в цей розплав вугільного порошку за допомогою метану. На поверхню залізовуглецевого розплаву безперервно або періодично завантажують куски залізної руди і шлакоутворюючих флюсів. В результаті тісного контакту з відновником вуглецем, розчиненим в залізному розплаві, залізо відновлюється, збільшуючи масу залізовуглецевого розплаву. При цьому окисли порожньої породи, що містяться в залізній руді, плавляться разом зі шлакоутворюючими флюсами, утворюючи на поверхні розплаву заліза шлаковий розплав. Процеси плавлення шихтових матеріалів і відновлення заліза забезпечуються теплом від спалювання палива в кисневовмісному газі над рідкою ванною. Перед випуском залізовуглецевий розплав зневуглецьовують, припиняючи заздалегідь подачу в нього вуглецю відновника. Отриману низьковуглецеву сталь направляють на коригування її хімічного складу до заданого, яку здійснюють позапічним методом. Тобто в іншому агрегаті, що є великим недоліком.

Із міжнародної заявки WO 2016/148555 від 22.09.2016 також відомо про спосіб відновлювальної плавки сталі, який включає завантаження шихти в шахтну відновлювально-плавильну піч, вдування в фурми збагаченого киснем дуття для створення факела горіння коксу і паливних добавок, де шихта представляє собою моношихту, що складається з вуглецьгранул оксидів заліза і легуючих металів, фракції 8-20 мм зі стехіометричним змістом вуглецьвмісних реагентів на повне відновлення оксидів

заліза і легуючих металів, нагрів шару шихти здійснюють противотоком гарячого газу-теплоносія, металізовані гранули періодично порціями випускають через шлюзову камеру в плавильну камеру і розплавляють продувкою високотемпературним факелом з температурою на вході 2200-2400 °C, газ що відходить змішують з низькотемпературним колошниковим газом з шахтної печі, суміш газового потоку з температурою 1150-1220 °C, як теплоносіє, вводять в нижню частину шару вуглецевомістних гранул в шахтній печі, виплавлений в плавильній камері розплав стали випускають через льотку. Недолік цього способу полягає в великій потребі газу, що спалюється для отримання високих температур при проведенні процесу, а також наявність двох агрегатів (шахтної відновлювально-плавильної печі та окремої плавильної камери).

Найбільш близьким за своєю технічною сутністю і результату який досягається, є спосіб прямого одержання заліза прямим відновленням у печі [Патент UA № 81737. МПК C21B13/00. Спосіб та піч для одержання заліза прямим відновленням. Опубліковано 25.01.2008, бюл. № 2], що включає завантаження зверху в піч вихідної сировини, що містить залізооксидний матеріал, подачу в піч окислювача й палива та одержання розплаву заліза за рахунок нагрівання й реагування залізооксидного матеріалу з вуглевмісним матеріалом і монооксидом вуглецю, де процес розплавлювання оксидів здійснюють окисним плазмовим струменем, одержуванням із плазмоутворюючого газу з масовим співвідношенням витрати кисню і витрати природного газу 1,5-2,5 при мінімальній робочій витраті плазмоутворюючого газу через плазмотрон, а після повного розплавлювання вихідної сировини додатково подають природний газ у плазмовий струмінь за зрізом сопла плазмотрона, здійснюють у струмені плазми конверсію природного газу на водень і піровуглець і вдувають їх у розплав вихідної сировини, при цьому витрату природного газу вибирають такою, щоб підтримувати температуру струменя з піровуглецем на 250-350 °C вище температури плавлення вихідної сировини, а перед зливом готового металу й у процесі зливу припиняють подачу природного газу на плазмовий струмінь, а склад плазмоутворюючого газу, що проходить через плазмотрон, установлюють із масовим співвідношенням витрати кисню і витрати природного газу 0,8-1.

Недоліком даного способу є висока енергоємність та відсутність можливості виробляти сталь в якості кінцевого продукту. Це обумовлено тим, що у одному робочому просторі печі де одержують залізо прямим відновленням не можливо його довести до стану сталі певного хімічного складу. Там відбувається неповне відновлення заліза, що приводить до підвищених втрат хімічно зв'язаного заліза (сировини), зниженню коефіцієнта корисної дії печі та ефективності даного способу. Недоліком вказаного способу також є те що, піч потрібно кожний раз підігрівати до 900 °C, очікувати поки розплавляться окатиші, відновитись залізо та знову завантажувати окатиші та повторювати цикл, це не дозволяє вийти на великі обсяги виробництва сталі. Енергетично цей спосіб не вигідний - димові гази містять багато не прореагованого водню та CO, та залишають піч з високою температурою зіставленою з температурою розплаву 1400 °C та вище, що суттєво знижує коефіцієнт корисної дії агрегату.

Задачею запропонованого винаходу є удосконалення процесу виробництва сталі з залізорудної сировини методом відновлення оксиду заліза по одностадійній технології, зниження капітальних витрат і зменшення собівартості виробництва, зниження навантаження на довкілля за рахунок зменшення шкідливих викидів CO₂ та інших газів і пилу в навколишнє середовище.

Поставлена задача вирішується тим, що в запропонованому способі виробництва сталі з залізорудної сировини методом прямого відновлення оксиду заліза, що включає переробку сировини в печі протитечією сировини, що завантажуються зверху і гарячого відновлювального газу, що рухається знизу при подальшому нагріванні та плавленні сировини плазмовим струменем з отриманням розплаву заліза, де процес нагріву та розплавлювання оксидів здійснюють плазмовим струменем, коли використовують піч, яка має вертикальну камеру попереднього відновлення (А), горизонтальні камеру до-відновлення (Б) та камеру накопичення рідкого металу (В), котрі сполучені перехідними каналами, де у якості сировини використовують окатиші з сировини які не містять в своєму складі домішок вуглецю, нагрівання, відновлення та плавлення сировини здійснюють за рахунок тепла від низькотемпературної плазми, яку наводять плазмотронами, через які також подають відновлювальний газ, при цьому енергію для реалізації процесу виробництва забезпечують шляхом застосування малого модульного реактора, який виробляє електричну енергію для живлення плазмотрон і в та генерації відновлювального газу у вигляді водню, коли нагрівання та попереднє відновлення сировини здійснюють струменем плазми забезпечуючи середньомасову температуру газу в інтервалі 2500-3000 °C при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т сировини у камері попереднього відновлення (А), нагрівання і кінцеве відновлення заліза до отримання рідкої фази розплаву здійснюють струменем плазми забезпечуючи температуру розплаву в інтервалі 1400-1600 °C при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т розплаву у камері довідновлення (Б), при цьому надлишки нагрітого відновлювального газу з камери Б спрямовують на фурми в камері А, які розміщені вище рівня розташування плазмотронів, доведення рідкої фази розплаву заліза до заданого хімічного складу сталі здійснюють в камері накопичення рідкого металу (В) шляхом введення необхідних

елементів та феросплавів у розплав, підтримуючи температуру розплаву в інтервалі 1550-1650 °С пристроєм-нагрівачем СВЧ, після контролю хімічного складу розплаву та за його відповідності заданому, підвищують температуру розплаву до 1560-1580 °С та зливають сталь та шлак.

Загальними ознаками найближчого аналогу та запропонованого винаходу є використання та переробка залізовмісної сировини шляхом прямого відновлення оксиду заліза в печі протитечією сировини, що завантажується зверху і гарячого відновлювального газу, що рухається знизу при подальшому нагріванні та плавленні сировини, плазмовим струменем з отриманням розплаву заліза.

Відмінними ознаками пропонованого способу є наступне:

- використовують піч, яка має вертикальну камеру попереднього відновлення (А), горизонтальні камеру довідновлення (Б) та камеру накопичення рідкого металу (В), котрі сполучені перехідними каналами;

- у якості сировини використовують окатиші з сировини які не містять у своєму складі домішок вуглецю;

- нагрівання, відновлення та плавлення сировини здійснюють за рахунок тепла від низькотемпературної плазми, яку наводять плазмотронами, через які також подають відновлювальний газ;

- енергію для реалізації процесу забезпечують шляхом застосування малого модульного реактора, який виробляє електричну енергію для живлення плазмотронів та генерації відновлювального газу;

- у якості відновлювального газу використовують водень;

- нагрівання та попереднє відновлення сировини здійснюють струменем плазми забезпечуючи середньомасову температуру газу в інтервалі 2500-3000 °С при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т сировини у камері попереднього відновлення (А);

- нагрівання і кінцеве відновлення заліза до отримання рідкої фази розплаву здійснюють струменем плазми забезпечуючи температуру розплаву в інтервалі 1400-1600 °С при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т розплаву у камері довідновлення (Б);

- надлишки нагрітого відновлювального газу з камери Б спрямовують на фурми в камері А, які розміщені вище рівня розташування плазмотронів;

- доведення рідкої фази розплаву заліза до заданого хімічного складу сталі здійснюють в камері накопичення рідкого металу (В) шляхом введення необхідних елементів та феросплавів у розплав;

- підтримку температуру розплаву в інтервалі 1550-1650 °С в камері накопичення рідкого металу (В) здійснюють пристроєм-нагрівачем СВЧ;

- після контролю хімічного складу розплаву та за його відповідності заданому, підвищують температуру розплаву до 1560...1580 °С та зливають сталь та шлак.

Технічним результатом запропонованого винаходу є розробка способу (технології) виробництва сталі, що дозволяє реалізувати пряме відновлення заліза та за одну стадію отримати готовий продукт з залізовмісної сировини, вилучивши процес одержання чавуну при доменному виробництві, що відібрається на знижені собівартості та покращені екологічного стану навколишнього середовища.

Досягнення зазначеного технічного результату забезпечується тим, що в запропонованому способі виробництва сталі з залізорудної сировини методом відновлення оксиду заліза у якості сировини використовують окатиші з сировини які не містять в своєму складі домішок вуглецю;

- для здійснення процесу використовують піч, яка має вертикальну камеру попереднього відновлення (А), горизонтальні камеру довідновлення (Б) та камеру накопичення рідкого металу (В), котрі сполучені перехідними каналами;

- нагрівання, відновлення та плавлення сировини здійснюють за рахунок тепла від низькотемпературної плазми, яку наводять плазмотронами, через які також подають відновлювальний газ;

- енергію для реалізації процесу забезпечують шляхом застосування малого модульного реактора, який виробляє електричну енергію для живлення плазмотронів та генерації відновлювального газу;

- у якості відновлювального газу використовують водень;

- нагрівання та попереднє відновлення сировини здійснюють струменем плазми забезпечуючи середньомасову температуру газу в інтервалі 2500-3000 °С при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т сировини у камері попереднього відновлення (А);

- нагрівання і кінцеве відновлення заліза до отримання рідкої фази розплаву здійснюють струменем плазми забезпечуючи температуру розплаву в інтервалі 1400-1600 °С при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т розплаву у камері довідновлення (Б);

- надлишки нагрітого відновлювального газу з камери Б спрямовують на фурми в камері А, які розміщені вище рівня розташування плазмотронів;

- доведення рідкої фази розплаву заліза до заданого хімічного складу сталі здійснюють в камері накопичення рідкого металу (В) шляхом введення необхідних елементів та феросплавів у розплав;

- підтримку температуру розплаву в інтервалі 1550-1650 °С в камері накопичення рідкого металу

(В) здійснюють пристроєм-нагрівачем СВЧ;

- після контролю хімічного складу розплав та за його відповідності заданому, підвищують температуру розплаву до 1560...1580 °С та зливають сталь та шлак.

Всі відмітні ознаки винаходу взаємопов'язані і сприяють досягненню поставленого завдання.

1. Так, як що у якості сировини використовують залізовмісні окатиші, які не містять в своєму складі домішок вуглецю, отримують кінцевий продукт (сталь) з низьким вмістом вуглецю, що дозволяє виробляти широкий спектр марочного складу сталей без зайвих витрат на видалення вуглецю з розплаву заліза при низьких показниках шкідливих викидів у довкілля.

2. Коли для здійснення процесу використовують піч, яка має вертикальну камеру попереднього відновлення (А), горизонтальну камеру довідновлення (Б) та камеру накопичення рідкого металу (В), котрі сполучені перехідними каналами є можливість здійснювати процес виробництва сталі в режимі безперервного процесу, поступово завантажуючи сировину (окатиші) та порційно зливаючи готовий продукт (сталь).

3. Коли нагрівання, відновлення та плавлення сировини здійснюють за рахунок тепла від низькотемпературної плазми, яку наводять плазмотронами, через які також подають відновлювальний газ, то відпадає потреба застосовувати для нагріву та плавлення сировини коксу, мазуту та інших енергоносіїв, що супроводжується дуже шкідливими викидами в довкілля.

4. Як що, енергію для реалізації процесу виробництва сталі забезпечують шляхом застосування малого модульного атомного реактору реактора, який виробляє електричну енергію для живлення плазмотронів та генерації відновлювального газу та живлення іншого устаткування, то це робить процес автономним та незалежним від сусідніх зовнішніх споживачів (підприємств, електричного транспорту та інші).

5. Як що, у якості відновлювального газу використовують водень, то це робить процес екологічно чистим, так як у довкілля виходить зайва водяна пара, кисень та водень.

6. Нагрівання та попереднє відновлення сировини здійснюють струменем плазми забезпечуючи середньомасову температуру газу в інтервалі 2500-3000 °С при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т сировини у камері попереднього відновлення (А), що призводить до оплавлення окатишів та виділення крапель заліза, яке поступово перетікає в камеру Б. Вибір середньомасової температури газу в інтервалі 2500-3000 °С обумовлено тим, температура менш 2500 °С не забезпечить своєчасного прогріву окатишів навколо факелу горіння плазмотрону і не буде відбуватися процес відновлення заліза, температура більш 3000 °С призведе до надмірного перегріву і випаровування заліза, що є енергетично не ефективно. Подача потоку відновлювального газу, коли у складі буде до 100 % водню прискорить процес відновлення. Також можливо в складі відновлювального газу мати невелику кількість інших газів, наприклад продукти конверсії природного газу СО до 30 %. Кількість подачі водню в камеру попереднього відновлення (А) у розрахунку 500-700 м³ на одну тону сировини (окатишів) обумовлена наступним. При обсязі менш 500 м³/т його буде недостатньо для процесу відновлення заліза, а при обсязі більш 700 м³ будуть залишки, які не задіяні в технологічному процесі.

7. Нагрівання і кінцеве відновлення заліза до отримання рідкої фази розплаву здійснюють струменем плазми забезпечуючи температуру розплаву в інтервалі 1400-1600 °С при подачі потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т розплаву у камері довідновлення (Б). Вибір забезпечення температури розплаву не менш 1400 °С обумовлено своєчасним довідновленням заліза та його очищенням від зайвих домішок, а температура не більш 1600 °С обумовлена утриманням його від надмірного перегріву та окислення.

8. Перенаправлення надлишків нагрітого відновлювального газу з камери Б на фурми в камері А, які розміщені вище рівня розташування плазмотронів обумовлено зменшенням енергетичних втрат за рахунок утилізації тепла від розігрітого в камері А відновлювального газу. Подача цього розігрітого відновлювального газу у фурми, що розташовані в камері А вище рівня розташування плазмотронів буде сприяти більшому підігріву окатишів і попередньому відновлюванню їх (сировини) на ділянці камери А, ще до зони де розігрів відбувається за рахунок діючих плазмотронів.

9. Доведення рідкої фази розплаву заліза до заданого хімічного складу сталі здійснюють в камері накопичення рідкого металу (В) шляхом введення необхідних елементів та феросплавів у розплав в необхідних обсягах.

10. Підтримка температури розплаву в інтервалі 1550-1650 °С в камері накопичення рідкого металу (В) здійснюють пристроєм-нагрівачем СВЧ. Додаткова енергія потрібна для плавлення необхідних елементів та феросплавів, що додаються до розплаву заліза для отримання певного хімічного складу сталі. Потрібна температура (1550-1650 °С) підтримується для прискорення розчину введених компонентів, а її рівень залежить від кількості останніх.

11. Після контролю хімічного складу розплаву та за його відповідності заданому, підвищують температуру розплаву до 1560-1580 °С та зливають сталь та шлак. Рівень температури готової сталі, що зливають в ківш обумовлюється подальшим регламентом переробки (розливка в виливниці, розливка на МБРЗ в заготовку різної форми та перетину).

Послідовне здійснення всіх етапів, які необхідні для перетворення оксиду заліза в кінцеву продукцію: подача сировини (загрузка окатишів) → відновлювальний процес → отримання напівфабрикату (розплав заліза) → отримання кінцевого продукту (сталі) → злив продукту (сталі), дозволяють реалізувати запропоновану технологію виробництва сталі.

Виходячи з запропонованої технології виробництва сталі шляхом прямого відновлення оксиду заліза зрозуміло, що для її реалізації потрібен певний набір устаткування та агрегатів, тобто відповідна мережа установок.

Відомо про мережу установок для виробництва сталі шляхом відновлення оксиду заліза [Заявка UA № а202403589. МПК C21B 5/00, C21B 13/00, C21C 5/52, C21B 5/06, C21B 7/00, C21C 5/28. Спосіб виробництва сталі та відповідна мережа установок. Опубл. 11.09.2024. Бюл. № 37/2024], яка в своєму составі налічує наступні елементи (пристрої):

а) установку прямого відновлення, яка виробляє залізо прямого відновлення і відновний колошниковий газ з використанням відновного газу;

б) доменну піч, яка виробляє розплавленим чавун і колошниковий газ доменної печі з використанням відновників;

с) електричну піч, яка виробляє розплавлений метал і газ електричної печі, з використанням принаймні частини виробленого заліза прямого відновлення; d. установку для газифікації відходів, яка виробляє сингаз від газифікації палива з твердих відходів;

е) газову мережу, яка сполучає принаймні установку прямого відновлення з установкою для газифікації відходів і доменною піччю, щоб відновний газ містив принаймні частину сингазу і колошниковий газ доменної печі щонайменше частково використовується в установці прямого відновлення. Недоліком такої мережі установок для виробництва сталі є наявність доменної та електричної печей, що ускладнюють процес виробництва сталі та суттєво відбивається на собівартості продукції. Також викиди з доменної печі шкодять навколишньому середовищу.

Також відомо про мережу установок для виробництва сталі шляхом відновлення оксиду заліза [Заявка UA № а202403617. МПК C21B 5/00, C21B 5/06, C21B 7/00, C21B 13/00, C21C 5/28, C21C 5/52. Спосіб виробництва сталі та відповідна мережа установок. Опубл. 18.09.2024. Бюл. № 38/2024], яка в своєму составі налічує наступні елементи (пристрої):

а) установку прямого відновлення, яка виробляє залізо прямого відновлення і відновний колошниковий газ з використанням відновного газу;

б) доменну піч, яка виробляє рідкий чавун, і доменний газ, забезпечену засобами для вдування певної кількості водню на тонну одержуваного рідкого чавуну;

с) електричну піч, яка виробляє розплавлений метал і газ електричної печі, з використанням принаймні частини виробленого заліза прямого відновлення, d. біохімічну установку, здатну виробляти вуглеводні;

е) газорозподільну систему, розроблену так, щоб дозволити: 1. повторне використання відновного колошникового газу принаймні його частини як відновного газу в установці прямого відновлення; 2. подачу водню до засобів вдування водню в доменну піч; 3. направлення принаймні частини колошникового газу на біохімічну установку для виробництва вуглеводнів.

Ця запропонована мережа установок для виробництва сталі теж має недоліки у вигляді доменної та електричної печей, що ускладнюють процес виробництва сталі та суттєво відбивається на собівартості продукції. Також присутня наявність шкідливих викидів з доменної печі до навколишнього середовища.

З рівня техніки не виявлено прикладів технічного рішення та відповідного набору устаткування, для реалізації тотожного процесу в запропонованому способі.

В основу технічного рішення, що заявляється, поставлена завдання розробки відповідної мережі установок, яка при своєму функціонуванні забезпечить ефективне виробництво сталі шляхом прямого відновлення оксиду заліза без використання екологічно брудних та енерговитратних доменних печей. Тобто з вилученням процесу плавки сировини в доменній печі, що забезпечить зниження капітальних витрат, зменшення собівартості виробництва сталі та зменшить забруднення навколишнього середовища.

Поставлена задача в запропонованому винаході вирішується тим, що для виробництва сталі з залізорудної сировини методом відновлення оксиду заліза запропонована мережа установок, яка у своєму складі налічує:

а) пристрій прямого відновлення заліза у вигляді печі (1), у якій виробляють розплавлене залізо прямого відновлення з оксиду заліза з використанням відновників, що має горловину (5) для завантаження залізорудного матеріалу-окатишів, вертикальну камеру попереднього відновлення (А), горизонтальні камери довідновлення (Б) та камери накопичення рідкого металу (В), які сполучені перехідними каналами (6), при цьому в бічних стінках камер А і Б встановлені дугові плазмотрони одностороннього витікання (7), які є апаратами для конверсії відновлювального газу, а також джерелами теплової енергії та генераторами плазмового газу, крім того в бічних стінках камері А вище рівня розташування плазмотронів розміщені фурми (13), в які спрямовують надлишки нагрітого газу з

камери Б, а сама піч має принаймні дві камери накопичення рідкого металу (В), де здійснюється легування сталі та підтримка температури розплаву в інтервалі 1550-1650 °С пристроєм-нагрівачем СВЧ (16), в яких метал по черзі накопичується та після доведення до заданого хімічного складу у вигляді сталі випускається через отвір (17) в розливний ківш (18);

б) окремий малий модульний реактор (2), що виробляє електроенергію;

с) установку гідролізу води (3), що виробляє відновлювальний газ (водень);

д) окремий накопичувач-сховище (4) відновлювального газу (водню);

ф) систему електропостачання (8), тобто електричну мережу, що з'єднує всі плазмотрони, пристрій-нагрівач СВЧ, насоси, компресори, з малим модульним реактором, що виробляє електроенергію;

г) систему газопостачання (9), тобто газову мережу з трубопроводів та газорозподільну систему, що забезпечують подачу водню з накопичувача відновного газу (4) у засоби нагріву та вдування водню, тобто плазмотрони (7), які розміщені у камерах попереднього відновлення (А) і довідновлення (Б);

h) систему водопостачання (10), що складається з резервуару, насосів та трубопроводів (11) та служить для охолодження стінок шахтної печі (1), камер попереднього відновлення (А), довідновлення (Б) та накопичення рідкого металу (В);

і) систему газоочищення (12), що складається з трубопроводів, насосів, фільтрів та служить для очищення відхідних газів перед їх поверненням до накопичувача-сховища (4) відновлювального газу (водню) або перед викидами в довкілля.

Всі відмітні ознаки запропонованого обладнання (пристрої, агрегати, системи електро-, газо-, водопостачання) взаємопов'язані між собою і сприяють досягненню поставленого завдання.

1. Коли пристрій прямого відновлення заліза у вигляді печі (1), у якій виробляють розплавлене залізо прямого відновлення з оксиду заліза з використанням відновників, має горловину (5) для завантаження залізрудного матеріалу-окатишів, вертикальну камеру попереднього відновлення А, горизонтальні камери довідновлення Б та камери накопичення рідкого металу В, які сполучені перехідними каналами 6, то є можливість мимоволі переміщуватися сировині (окатишам) згори вниз в камері А з одночасним нагріванням, де відбувається її підігрів та початкове відновлення заліза. Далі краплі розігрітого заліза по перехідному каналу 6 прямою током переміщуються в камеру довідновлення Б, збираються в певний об'єм, а після довідновлення самотоком переміщуються до камери накопичення рідкого металу В.

2. Плазмотрони одностороннього витікання 7, які встановлені в бічних стінках камер А і Б є апаратами для конверсії відновлювального газу, а також джерелами теплової енергії та генераторами плазмового газу, що забезпечують відновлення заліза в процесі нагрівання та плавлення сировини. Кількість плазмотронів залежить від об'єму камер А і Б, потужності виробництва.

3. В бічних стінках камері А розміщені фурми 13. (по колу вище рівня розташування плазмотронів), в які спрямовують надлишки нагрітого відновлювального газу з камери Б. Це дозволяє спрямувати потік гарячого газу на сировину для її підігріву, тим самим за рахунок утилізації тепла заощадити надлишкову енергію. Кількість фурм в бічних стінках камері А залежить від об'єму камери А та потужності виробництва.

4. Наявність в печі 1 принаймні двох камер накопичення рідкого металу В, де здійснюється легування сталі та підтримка температури розплаву в інтервалі 1550-1650 °С дозволяє синхронізувати процес накопичення певного об'єму розплаву заліза, доведення його до заданого хімічного складу у вигляді сталі, що далі буде через отвір 17 направлена в розливний ківш 18. Операція розкислення та легування сталі триває впродовж певного часу, тому потрібно декілька камер В (не менш двох), щоб в той момент, коли в одній здійснюється розкислення та легування в неї не надходило розплавлене чисте залізо з камери А, а поступало в іншу камеру В. Тобто розкислення та легування сталі та її злив в ківш 18 відбувається по черзі з одної або іншої камери В.

5. Виходячи з попереднього зрозуміло, що операція розкислення та легування сталі протікає з енергетичними витратами за рахунок завантаження холодних компонентів, тому для підтримання потрібної температури розплаву камера В оснащена пристроєм-нагрівачем СВЧ 16.

6. Наявність окремого малого модульного реактору 2 обумовлена потребою великої кількості електроенергії для забезпечення усього циклу виробництва сталі. Прикладом такої установки може бути реактор X-energy, NuScale Power Module (NPM) або SPARC, що виробляє енергію завдяки технології термоядерного синтезу [[https://sstc.ua/news/nuscale-power-module-pershij-sertifikovaniy-mmru-ssha-NuScale-Power-Module-\(NPM\)-maliiy-modulnyi-reaktor-\(MMP\)-z-vodoiu-pid-tiskom,-de-v-yakosti-teplo-nosia-vikoristovuyetsya-legka-voda](https://sstc.ua/news/nuscale-power-module-pershij-sertifikovaniy-mmru-ssha-NuScale-Power-Module-(NPM)-maliiy-modulnyi-reaktor-(MMP)-z-vodoiu-pid-tiskom,-de-v-yakosti-teplo-nosia-vikoristovuyetsya-legka-voda)]. 19 січня 2023 року - конструкцію MMP сертифіковано Комісією ядерного регулювання (КЯР) США, в лютому 2023 - сертифікат набрав чинності. Доступ до сторінки 07.04.2023; https://tsn.ua/nauka_it/ussha-stvoryuyut-ustanovku-yaka-zabezpechit-bezkinechnu-chistu-energiyu-dlya-domogospodarstv-2735733.html - У США створюють установку, яка забезпечить безкінечну чисту енергію для домогосподарств. Доступ до сторінки 02.01.2025,].

7. Наявність установки гідролізу води 3 обумовлена потребою великої кількості відновлювального газу у вигляді водню, що буде забезпечуватися цією установкою.

8. Наявність окремого накопичувача-сховища 4, обумовлена великими потребами у водню при його подачі у камери А і Б на різних етапах відновлювального процесу. Тому потрібно підтримувати певний запас для своєчасного забезпечення виробництва.

9. Система електропостачання 8, тобто електрична мережа, яка з'єднує всі плазмотрони, пристрій-нагрівач СВЧ, насоси, компресори та інше, з малим модульним реактором, що виробляє електроенергію необхідна для забезпечення функціонування всіх наявних енергоспоживаючих пристроїв.

10. Система газопостачання 9, тобто газова мережа з трубопроводів та газорозподільної системи, що забезпечують подачу водню з накопичувача відновного газу 4 у засоби нагріву та вдування водню, тобто плазмотрони 7, які розміщені у камерах попереднього відновлення А і довідновлення Б необхідна для забезпечення відновлення оксиду заліза та отримання його розплаву.

11. Система водопостачання 10, що складається з резервуару, насосів та трубопроводів 11 та служить для охолодження стінок шахтної печі 1, камер попереднього відновлення А, довідновлення Б та накопичення рідкого металу В необхідна для збереження працездатності основного обладнання (печі 1).

12. Система газоочищення 12, що складається з трубопроводів, насосів, фільтрів та служить для очищення відхідних газів перед їх поверненням до накопичувача-сховища 4 відновлювального газу (водню) або перед викидом надлишків інших газів в довкілля необхідна для зниження забруднення та підвищення екологічної складової виробництва сталі.

Порівняльний аналіз запропонованого винаходу з найближчими аналогами дозволяє зробити висновок, що всі заявлені ознаки є відмінними.

Аналіз патентної і науково-технічної інформації не виявив подібних рішень, що мають аналогічну сукупність ознак, за якими можливо реалізувати виробництво сталі з залізорудної сировини методом відновлення оксиду заліза в запропонованій мережі установок (агрегаті), та отримати готовий продукт (сталь), вилучивши процес одержання чавуну при доменному виробництві. Таким чином, рішення, що заявляється відповідає критерію "новизна".

На підставі вищенаведеного аналізу відомих джерел інформації можна зробити висновок, що для фахівця спосіб виробництва сталі з залізорудної сировини методом відновлення оксиду заліза з використанням мережі установок, що заявляється явно не випливає з відомого рівня техніки, а отже, відповідає умові патентоспроможності "винахідницький рівень".

Приклад здійснення запропонованого способу.

Спосіб виробництва сталі, який пропонується може бути здійснено з використанням мережі установок (обладнання), що забезпечить реалізацію технологічного процесу.

Структурна схема запропонованої мережі установок для виробництва сталі наведена на Фігурі, де представлено: 1 - піч з верхнім завантажуванням сировини, яка складається з: А - вертикальна камера попереднього відновлення оксиду заліза; Б - горизонтальна камера довідновлення оксиду заліза; В - горизонтальна камера накопичення рідкого заліза; 2 - окремий малий модульний реактор; 3 - установка гідролізу; 4 - ємність накопичення водню; 5 - горловина для завантаження залізорудного матеріалу; 6 - перехідні канали, що з'єднують камери А з Б та Б з В; 7 - плазмотрони з прискорювачем іонізованих частинок; 8 - система електропостачання; 9 - система газопостачання; 10 - система водопостачання; 11 - трубопроводи для подача води на систему охолодження футеровки камер А, Б і В; 12 - система газоочистки; 13 - фурми, що розташовані в бокових стінках камери А; 14 - газопровід для відводу гарячих газів з камери В та їх подачі на фурми 13 в камері А; 15 - люк для заправки необхідних елементів та феросплавів у розплав заліза; 16 - індуктор-нагрівач СВЧ для підігріву розплаву; 17 - отвір для зливу сталі або шлаку; 18 - ківш для прийому сталі або шлаку.

Технологічні операції виробництва сталі відбуваються в такій послідовності. Проводиться підготовка до роботи всіх основних установок. Відбувається загрузка камери А печі 1 окатишами. Окремий малий модульний реактор 2 починає виробляти електроенергію та через систему електропостачання 8 живлення усіх споживачів (установку гідролізу 3, плазмотрони 7, пристрій-нагрівач СВЧ 16 та інші). Установка гідролізу 3 виробляє водень та наповнює їм ємність накопичення водню 4 (сховище). В цей час запускаються плазмотрони 7, які в певному просторі навколо себе нагрівають окатиші, що призводить до розплавлення останніх. При одночасній подачі через плазмотрони 7 потоку відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т сировини (з ємності накопичення водню 4) розпочинається процес відновлення оксиду заліза, що містився в окатишах. Частина розігрітого відновлювального газу підіймається вгору по камері попереднього відновлення А та підігріває окатиші, що рухаються вниз та займають простір де раніше були окатиші які вже розплавилися, коли краплі заліза через перехідний канал 6, перетекли в камеру довідновлення Б. При поступовому завантаженні камери А печі 1 окатишами, безперервній роботі плазмотронів 7 і подачі відновлювального газу відбувається безперервний процес попереднього відновлення заліза та його перетікання і накопичення в камері довідновлення Б. В цій камері за рахунок роботи плазмотронів 7 на подачі відновлювального газу складу до 100 % водню у розрахунку 500-700 м³/т розплаву при температурі 1400-1600 °С відбувається повне відновлення оксиду заліза та

отримання розплаву заліза та шлаку. Частина залишкового розігрітого відновлювального газу з камери Б по газопроводу 14 подається на фурми 13, що розміщені в камері А та підігріває нові порції окатишів (утилізація залишків тепла). Згодом розплав заліза та шлаку з камери довідновлення Б через перехідний канал 6 потрапляє в одну з камер (перша) накопичення рідкого металу В. В цей час доступ розплаву заліза до іншої (друга) камер накопичення рідкого металу В перекрито шиберною засувкою (на схемі не показано). При наповненні достатньої (необхідної) кількості рідкого заліза в першій камері накопичення рідкого металу В доступ нових порцій рідкого заліза перекривається шиберною засувкою. В цей же час відкривається інша шиберна засувка і рідке залізо починає потрапляти (наповнювати) іншу (другу) камеру накопичення рідкого металу В, а в першій камері накопичення рідкого металу В починається доводка розплаву заліза до запланованої марки сталі шляхом введення (засипки) необхідних елементів та феросплавів у розплав через люк 15. Температуру розплаву на потрібному рівні (1550 - 1650 °С) підтримують працюючим індуктор-нагрівачем СВЧ 16. Після контролю хімічного складу розплаву та за його відповідності запланованій марці сталі, підвищують температуру розплаву до 1560. ...1580 °С та зливають по чергово через отвір 17 сталь та шлак в ківш 18. Весь процес виробництва сталі відбувається при синхронізації та злагодженій роботі всіх запропонованих установок та допоміжного обладнання.

Виробництво сталі з залізорудної сировини методом відновлення оксиду заліза відбувається в мережі установок без використання природного газу, чавуну (вилучення процесу плавки сировини в доменній печі) та металобрухту, що призводить до зниження капітальних витрат і зменшення собівартості виробництва, а також покращенню екологічного стану за рахунок зменшення шкідливих викидів CO₂ та інших газів і пилу в навколишнє середовище. Переваги нового способу також приведуть до збільшення конкурентоспроможності отриманої сталі в порівнянні з усіма технологіями, які присутні на сьогодні на металургійному просторі.

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що запропонований спосіб прямого відновлення заліза працездатний, відповідає критерію "промислова придатність" та усуває недоліки, що мають місце в наведених відомих аналогах.

Запропонований спосіб може знайти широке застосування в галузі чорній металургії для прямого отримання якісних сталей необхідних марок, що відіб'ється на конкурентоздатності готової продукції та екологічній привабливості самої технології виробництва сталі.

