



УКРАЇНА

(19) UA (11) 74565 (13) C2
(51) МПК (2006)
C21B 13/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІЗОВАНОГО ЗАЛІЗА

1

(21) 2002064931
(22) 09.08.2001
(24) 16.01.2006
(86) PCT/JP01/06863, 09.08.2001
(31) 2000-241485
(32) 09.08.2000
(33) JP
(46) 16.01.2006, Бюл. № 1, 2006 р.
(72) Хіно Міцутака, JP, Кобаясі Ісао, JP, Кікуті Соїті, JP
(73) КАБУСІКІ КАЙСЯ КОБЕ СЕЙКО СЕ, JP
(56) EP 0969105 A1, 05.01.2000
GB 922586 A, 03.04.1963
FR 1307112 A, 19.10.1962
US 6036744 A, 14.03.2000
JP 07238309 A, 12.09.1995
US 3452972 A, 01.07.1969
WO 9911826 A1, 11.03.1999
(57) 1. Спосіб виробництва металізованого заліза шляхом нагрівання, відновлення і плавлення суміші вихідних матеріалів, що включає в себе вуглецевмісні відновлювальні агенти, порідні домішки і речовину, яка містить оксид заліза, який **відрізняється** тим, що вміст порідних домішок, присутніх в суміші вихідних матеріалів, регулюють шляхом коректування складу суміші вихідних матеріалів так, щоб отримати оптимум рідкої фази шлаку в умовах заданої температури розплавлення або області визначеної робочої температури.
2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що вуглецевмісні відновлювальні агенти, присутні в рідкому шлаку, підтримують в кількості, достатній для прискорення науглецювання твердого металізованого заліза для зниження температури плавлення твердого металізованого заліза.
3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що при науглецюванні концентрацію вуглецю в металізованому залізі доводять до рівня від 0,5 до 4,3 мас.%, а температуру плавлення науглецюваного металізованого заліза доводять до рівня від 1147 до 1500°C.
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при одержанні суміші вихідних матеріалів температуру виробленого шлаку і рідку фазу визначають заздалегідь, виходячи зі складу шлакоутворюваль-

2

них компонентів у суміші вихідних матеріалів, і до суміші вихідних матеріалів додають інші шлакоутворювальні домішки, здатні змінити рідку фазу шлаку, регулюючи рідку фазу шлаку у попередньо визначеній ділянці робочої температури.
5. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-4, який **відрізняється** тим, що вказану вище рідку фазу регулюють за допомогою температури нагрівання суміші початкових матеріалів.
6. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-5, який **відрізняється** тим, що рідку фазу шлаку регулюють під час науглецювання і плавлення в ділянці від 50 до 100 мас.%.
7. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-6, який **відрізняється** тим, що суміш вихідних матеріалів агломерують перед нагріванням і відновленням.
8. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-7, який **відрізняється** тим, що рідку фазу виробленого шлаку регулюють на рівні не менше 50 мас.% контролюючи тим самим міру науглецювання виробленого твердого металізованого заліза.
9. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-8, який **відрізняється** тим, що металізоване залізо, сконденсоване при науглецюванні і плавленні, охолоджують до затвердіння з отриманням його у вигляді частинок металізованого заліза.
10. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-9, який **відрізняється** тим, що шлак, вироблений в твердій і рідкій співіснуючих фазах, охолоджують до затвердіння і розділяють на склоподібний гранульований шлак, який утворений з рідкої фази шлаку, і тонкий гранульований шлак, який утворений з твердої фази шлаку.
11. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-10, який **відрізняється** тим, що кількість розплавленого FeO у виробленому шлаку регулюють на рівні не більше ніж 50 мас.%.
12. Спосіб за п.11, який **відрізняється** тим, що кількість розплавленого FeO у виробленому шлаку становить, по суті, 0%.
13. Спосіб за будь-яким з пунктів 11 або 12, який **відрізняється** тим, що при нагріванні і відновленні швидкість нагрівання суміші вихідних матеріалів задають на рівні не менше ніж 300°C/хв. знижуючи тим самим кількість розплавленого FeO в шлаку.

(13) C2

(11) 74565

(19) UA

Даний винахід відноситься до удосконалення способу виробництва металевого заліза шляхом нагрівання і відновлення джерела оксиду заліза, наприклад, залізняка, за допомогою вуглецьвмісних поновлюючих агентів, таких як кокс, і до способу, поліпшеного з метою проведення ефективного відновлення оксиду заліза до металевого заліза простою обробкою, ефективного відділення виробленого металевого заліза від шлакоутворювального компонента, змішаного із залізняком, або тому подібного матеріалу, такого як компонент порідної домішки, для виробництва часток металевого заліза високої чистоти з високим виходом.

За останній час були проведені численні дослідження, що стосуються прямого способу виробництва заліза, що включає в себе утворення суміші початкових матеріалів (початкової сировини), що містить джерело оксиду заліза (таке, як залізняка) і вуглецьвмісні поновлюючі агенти (такі, як кокс), нагрівання першого для того, щоб відновити оксид заліза в джерелі оксиду заліза за допомогою вуглецьвмісних поновлюючих агентів, і відділення виробленого металевого заліза від побічного шлакового компонента з отриманням металевого заліза.

Дані заявники вже давно вивчали такого роду способи прямого виробництва (прямого відновлення) заліза, і описаний нижче спосіб був результатом цілого ряду досліджень і удосконалень.

Даний спосіб включає в себе - в процесі виробництва металевого заліза шляхом нагрівання і відновлення оксиду заліза пресованими вуглецьвмісними поновлюючими агентами - відновлення при нагріванні оксиду заліза в твердому стані для отримання і нарощування шара металевого заліза, продовження твердофазного відновлення доти, поки оксид заліза не буде, по суті, бути присутнім всередині і, крім того, продовження нагрівання для випуску виробленого шлаку з шара металевого заліза, а потім відділення металевого заліза від шлаку.

При виконанні вищезгаданого способу частина шара металевого заліза може бути розплавленою для того, щоб розплав міг витікати з шара металевого заліза. В той же час, для плавлення частини або всього шара металевого заліза вуглець, що походить з вуглецьвмісних поновлюючих агентів і присутній в шарі металевого заліза, може розчинятися (розчин) в металевому залізі (це явище іноді називають «науглецювання»), таким чином, знижуючи точку плавлення шара металевого заліза.

Металеве залізо високої чистоти, отримане вищезгаданим способом, і вироблений шлак охолоджують і піддають затвердінню, щоб розділити шлак, і частки металевого заліза, що затверділи піддають сортуванню за допомогою магнітної сепарації або просіювання, або металеве залізо відділяють від шлаку за допомогою нагрівання і плавлення завдяки різниці в питомій вазі, таким чином сприяючи отриманню матеріалу, що має високу чистоту понад 95мас.%, або понад 98мас.%. Крім того, описаний винахід пропонує спосіб проведення відновлення оксиду заліза в твердому стані, за допомогою якого можна знизити кількість розплав-

леного FeO у виробленому шлаку наскільки можливо, і в якому ерозія і/або корозія вогнетривів діючої печі, викликана розплавленим оксидом заліза FeO, навряд чи має місце, тому вищезгаданий спосіб можна розглядати з практичної точки зору як такий, що зберігає обладнання.

Серед згаданих вище способів спосіб охолодження і затвердіння виробленого металевого заліза і виробленого шлаку, дроблення виробленого шлаку і отримання часток металевого заліза за допомогою магнітної сепарації або просіювання є, мабуть, відповідним способом для застосування в промисловому масштабі в порівнянні зі способом відділення заліза і шлаку після плавлення на основі різниці в питомій вазі. Тобто в способі плавлення і розділення необхідно проводити нагрів до високої температури для здійснення плавлення, для чого потрібно багато теплової енергії і, крім того, коли розділяють залізо і шлак, частина розплавленого заліза захоплюється в розплавлений шлак у поверхні розділу, що знижує вихід металевого заліза. З іншого боку, в способі виробництва часток металевого заліза шляхом дроблення, магнітної сепарації або просіювання теплової енергії не потрібно і, крім того, розробка безперервної системи розділення відповідно масштабу обладнання, виробляючого залізо, являє собою більш легку задачу, і втрати заліза можуть бути знижені до мінімуму.

Описаний вище винахід підкреслює, що на стадії нагрівання і відновлення виробляється шар металевого заліза і в шарі створюється у високій мірі поновлююча атмосфера, тим самим металізування протікає ефективно. Однак згідно з останнім дослідженням було показано, що коли простір, в якому знаходиться пресована початкова сировина, знаходиться в більш сильній поновлюючій атмосфері через велику кількість газу CO, виробленого при згорянні вуглецьвмісного поновлюючого матеріалу, включеного в пресовану початкову сировину, то такий шар металевого заліза не завжди необхідний.

З іншого боку, було запропоновано декілька способів регулювання складу виробленого шлаку для прискорення відділення металевого заліза при прямому способі виробництва заліза, описаному вище.

Наприклад, існує спосіб, в якому використовують пил від сталеливарного виробництва як джерело оксиду заліза, змішують його з вуглецьвмісним матеріалом (вуглецьвмісні поновлюючі агенти) і додатковим матеріалом (шлакоутворюючий агент), регулюють склад виробленого шлаку по співвідношенню CaO/SiO₂ (основність) в області від 1,4 до 1,6, піддають суміш нагріванню і відновленню при температурі від 1250 до 1350°C для отримання металевого заліза і відділення часток металевого заліза від шлаку, що має низьку точку плавлення із-за FeO, що міститься в ньому.

Однак даний спосіб являє собою такий спосіб, в якому використовують пил від сталеливарного виробництва як джерело оксиду заліза, і контроль основності, що застосовується в даному способі, здійснюють під час первинного приготування сировини. У даному способі не стежать за поведін-

кою шлаку, виробленого в процесі нагрівання і відновлення, тобто за тим, коли вироблений шлак починає плавитися з утворенням співіснуючих твердої і рідкої фаз і впливає на прискорення відділення виробленого металевго заліза. Крім того, в даному способі шлак, що має низьку точку плавлення через оксид заліза FeO, що міститься в ньому, використовують для прискорення відділення металевго заліза, однак, такий спосіб із застосуванням розплавленого шлаку, що містить FeO, стикається в процесі реалізації з багатьма вказаними нижче проблемами:

1) розплавлений шлак, що містить розплавлений FeO, значною мірою ушкоджує вогнетривку цеглу поду (печі);

2) розплавлений FeO приводять в контакт з вуглецевмісним матеріалом для проведення реакції відновлення, яка є ендотермічною реакцією, що робить температурний контроль ускладненим; і

3) оскільки металеве залізо, зроблене за допомогою контактної реакції між розплавленим FeO в шлаку і вуглецевмісним матеріалом, розсіюється у вигляді тонкої гранульованої фракції в шлаку, то виконання процедури охолодження і твердіння його разом і шлаком після витягання стає надто складним.

Таким чином, бажано ефективно виділити металеве залізо при одночасному придушенні освіти розплавленого FeO в побічному продукті (шлаку).

Крім того, є спосіб, що полягає в завантаженні суміші початкових матеріалів, утримуючій тонкоподрібнену залізну руду і тверді поновлюючі агенти, в рухомий під, і в проведенні нагрівання і відновлення цієї суміші з отриманням металевго заліза, в попередньому розміщенні тонких твердих поновлюючих агентів в поді, в проведенні нагрівання і відновлення таким чином, що початкову залізну руду вміщують в невелике відділення поду без прямого контакту з подом, і в плавленні відновленого заліза в поді, щонайменше, один раз. У даному способі причина «приміщення в невелике відділення» згідно з вжитим в даному тексті терміном полягає в тому, що необхідно перешкодити розплавленій речовині, що містить зроблене шляхом нагрівання і відновлення металеве залізо і побічний продукт шлак і що знаходиться в розплавленому або прилиплому на поверхню поду стані, кородувати під. Однак для виконання способу, описаного вище, потрібне не тільки складне обладнання, щоб створити невелике відділення або завантажити сировину в невелике відділення, але, крім того, потрібна велика кількість тонкоподрібнених твердих поновлюючих речовин, тому, беручи до уваги вартість такої сировини, даний спосіб не треба розглядати як практично застосовний спосіб. Крім того, в даному способі створення невеликого відділення швидше прискорює плавлення і налипання розплавленої речовини на поверхні поду, що заважає вивантаженню отриманих речовин.

Крім того, описаний вище винахід пропонує заходи по попередженню пошкоджень, засновані на припущенні, що розплавлена речовина, отримана шляхом нагрівання і відновлення, може нанести пошкодження вогнетривкому матеріалу поду. Однак більш важливим чинником при

практичній реалізації процесу є зниження великої кількості тонко подрібнених твердих поновлюючих агентів. А вже потім також бажано, щоб з точки зору економії і конструкції обладнання спосіб був направлений на зниження пошкодження вогнетривкого матеріалу поду самим шлаком, так що навіть після охолодження і затвердіння шлак або металеве залізо не прилипали б на поверхні.

Існує інший спосіб регулювання основності шлакового компонента в сировині в області від 0,4 до 1,3, причому регулювання проводять протягом не менш, ніж 1/3 часу, необхідного для процедури нагрівання і відновлення в поді в області температур від 1200 до 1350°C, з метою досягнення міри відновлення оксиду заліза від 40 до 80% і, згодом, розплавлення відновленої речовини.

Регуляцію основності, що застосовується в даному способі, виконують з допомогою обчислення основності на стадії приготування сировини, а також основність визначають, виходячи з припущення, що всі шлакові компоненти в сировині є розплавленими. Однак чи є всі шлакові компоненти розплавленими, залежить від умов роботи (зокрема, від температури). Крім того, не розглядають питання, як динамічна поведінка від початку плавлення шлаку до плавлення всієї маси через стан співіснування твердої і рідкої фаз впливає на умови відділення виробленого металевго заліза і корозію і/або корозію вогнетривку поду. При цьому зовсім не розглядають того факту, що рідка фракція, присутня в суміші твердої і рідкої співіснуючих фаз, може регулюватися, або що таким чином можна прискорювати плавлення металевго заліза.

Відносно способів проведення нагрівання, відновлення і плавлення суміші, що містить джерело оксиду заліза і вуглецевмісні поновлюючі агенти, з метою промислового виробництва металевго заліза, описаних вище, була зроблена множина припущень. Останні з них, що розглядається в зв'язку з відомим рівнем техніки, включаючи все вищезазначене, класифіковані і підсумовані таким чином:

1) в процесі нагрівання, відновлення і плавлення суміші, що містить джерело оксиду заліза і вуглецевмісні поновлюючі агенти, з метою промислового виробництва металевго заліза необхідно створити таку технологію виробництва, за допомогою якої можна здійснювати плавлення твердого отриманого металевго заліза шляхом ефективного відновлення при низькій температурі, успішне його відділення від побічного продукту шлаку і витягання металевго заліза високої міри чистоти при низькій температурі і з високою ефективністю.

2) Для створення вищезазначеної технології бажано, щоб науглецювання твердого металевго заліза, отриманого нагріванням і відновленням, було прискорено з метою ефективного плавлення заліза при низькій температурі, а успішне відділення його від побічного продукту шлаку могло бути виконане ефективно при промисловому отриманні металевго заліза високої міри чистоти. Більш того регулювання концентрації вуглецю, яка є важливим чинником для практичного застосування металевго заліза, було б дуже доцільно використати на практиці при виробництві стали для електродових і інших матеріалів.

3) У даній області техніки було запропоновано декілька способів регулювання шлакового компонента в сировині по основності або подібним чинникам, як було детально згадано вище. Всі вони запропоновані для кінцевого продукту шлаку. Однак, якби металеве залізо могло бути розплавлене і ефективно відділене з використанням необхідної, але мінімальної кількості шлаку без плавлення всього шлаку, що є побічним продуктом на стадії нагрівання і відновлення, то шкідливий вплив на вогнетривку поду надалі міг би бути знижений і, крім того, це було б сприятливим відносно теплової ефективності і збереженні обладнання.

4) Добре відомо, що розплавлений FeO в шлаку сильно впливає на під, ушкоджуючи вогнетривкий матеріал. Для придушення такого пошкодження бажано знизити кількість розплавленого FeO в отриманому шлаку до можливого найменшого рівня. Якби вдалося досягнути зниження кількості розплавленого FeO, то, відповідно, пошкодження поду значною мірою поменшали б, що дозволило б зменшити механічні або операційні зусилля, необхідні для захисту поду.

Даний винахід був виконаний з урахуванням проблем, вказаних вище. Метою винаходу є створення способу, за допомогою якого можна подолати проблеми, які згадані вище в пунктах 1)-4), для ефективного виробництва металевого заліза високої міри чистоти в умовах стабільної роботи при придушенні пошкодження вогнетриву печі до можливого мінімального рівня.

Спосіб виробництва металевого заліза згідно з даним винаходом є способом нагрівання, відновлення і плавлення суміші початкових матеріалів (сировина), в якій присутні вуглецьовмісні поновлюючі агенти і речовина, що включає в себе оксид заліза, з метою виробництва металевого заліза, що містить в собі: регулювання рідкої фракції шлаку, що виробляється, співіснуючого одночасно в твердій і рідкій фазах і що містить багатокомпонентну систему порідної домішки (пустої породи) з метою прискорення плавлення виробленого твердого металевого заліза і ефективного відділення заліза від побічного продукту шлаку при низькій робочій температурі і з меншим часом для промислового виробництва металевого заліза високої міри чистоти.

При виконанні даного способу регулюють рідку фракцію шлаку, що виробляється, присутнього одночасно (співіснуючого) в твердій і рідкій фазах і що містить багатокомпонентну систему порідної домішки і вуглецьовмісні поновлюючі агенти вводять в шлак в рідкому і твердому стані для того, щоб прискорити науглецювання твердого металевого заліза, таким чином виконуючи плавлення відновленого заліза. Бажано для ефективної реалізації такої операції, яка описана вище, регулювати кількість вуглецьовмісних поновлюючих агентів, введених в суміш початкових матеріалів, так, щоб концентрація вуглецю в металевому залізі складала від 0,5 до 4,3мас.%, і контролювати так, щоб температура плавлення металевого заліза, підданого науглецюванню, складала від 1147 до 1500°C.

Крім того, рідку фракцію виробленого шлаку можна регулювати шляхом змішування початкової

сировини на стадії його приготування. Точніше, існує спосіб, в якому співвідношення між температурою отриманого шлаку і рідкою фракцією обчислюють заздалегідь до приготування суміші, виходячи з складу суміші початкової сировини, і інший шлаковий компонент додають до компонентів початкової сировини, тим самим отримуючи оптимум рідкої фракції шлаку в заздалегідь визначеній області робочої температури; або, крім того, існує спосіб, в якому рідку фракцію регулюють за допомогою заданої початкової температури плавлення після того, як початкова сировина була відновлена.

Для досягнення мети даного винаходу з більшою ефективністю бажано регулювати рідку фракцію шлаку під час науглецювання і плавлення в області від 50 до 100мас.%, більш переважно, в області від 70 до 100мас.%. Як суміш початкової сировини використовують суміш початкової сировини без модифікації або її використовують у відповідному спресованому стані. Однак більш переважно, щоб суміш спікалася («агломерувалася») в частки сферичної, брикетоподібної або гранулоподібної форми для проведення нагрівання і відновлення.

Згідно з даним винаходом рідку фракцію виробленого шлаку регулюють, тим самим сприяючи регулюванню міри науглецювання твердого металевого заліза, що виробляється, внаслідок чого також можна регулювати концентрацію вуглецю у виробленому металевому залізі. Крім того, згідно з даним винаходом металеве залізо, конденсоване (злиттям крапель) при науглецюванні і плавленні, охолоджують і піддають твердінню, тим самим сприяючи отриманню часток металевого заліза. Частки металевого заліза можна відділити від охолодженого і коагульованого, але неміцного побічного продукту шлаку за допомогою сита або магнітної сепарації, тобто частки металевого заліза можна легко витягнути.

Крім того, даний винахід відрізняється тим, що металеве залізо виробляють з великою ефективністю, переважно, у вигляді часток. Як повторний ефект, що є результатом регулювання рідкої фракції виробленого шлаку, що застосовується в промисловому способі, шлак, що є побічним продуктом, можна відділити і витягнути у вигляді гранул або часток з відносно однорідним розподілом по розміру. Точніше, шлак, вироблений з мінералів порідної домішки (або пустої породи), що знаходяться в сировині, охолоджують після нагрівання, відновлення і плавлення, потім сортують на склоподібний гранульований шлак, отриманий з рідкої фракції, присутнього одночасно в твердій і рідкій фазах шлаку, і на гранульований порошок шлак, отриманий з твердої фракції для розділення і витягання. Потім гранульований шлак однорідного розміру і гранульований порошок шлак можна отримати нескладним шляхом.

Крім того, згідно з даним винаходом кількість розплавленого FeO в продукті-шлаку може бути знижена не більш, ніж до 50мас.%, переважно до 0%, щоб таким чином подавити наскільки можливо ерозію/корозію вогнетриву поду (печі), викликану змішуванням великої кількості розплавленого оксиду FeO в шлаку. Зокрема, якщо швидкість нагрі-

вання суміші початкової сировини збільшиться до менш, ніж 300°C/хвилина, то при нагріванні і відновленні суміші початкової сировини кількість розплавленого FeO в отриманому шлаку може бути значною мірою знижено, що є переважним.

Як описано вище, даний винахід має прекрасні характеристики нагрівання, відновлення і плавлення пресованої початкової сировини, що містить матеріал, що включає в себе оксид заліза (який в даному тексті іноді називається залізною рудою і тому подібне), такий як залізна руда, оксид заліза або його частково відновлені речовини (форми), і вуглецевмісні поновлюючі агенти, такі як кокс і вугілля (що в даному тексті іноді позначаються, як вуглецевмісний матеріал) при промисловому виробництві металевго заліза, при цьому рідку фракцію побічного продукту шлаку, присутнього в твердій і рідкій співіснуючих фазах, що містить багатоконпонентну систему порідної домішки і що походить із залізної руди або подібного матеріалу, регулюють з метою ефективного проведення науглецювання отриманого металевго заліза, таким чином, сприяючи швидкому зниженню точки плавлення заліза, тобто прискорюючи плавлення (яке в даному тексті іноді називається як «розплавлення»).

Як описано раніше, в даній області техніки був запропонований спосіб регуляції основності (або тому подібне) побічного продукту шлаку, беручи до уваги точку плавлення у випадку, коли компонент порідної домішки, вироблений із залізної руди або тому подібного матеріалу, є повністю розплавленим. З іншого боку, згідно з даним винаходом побічний продукт шлак не завжди повністю розплавлений, але згідно з новою концепцією, що пропонується, рідку фракцію шлаку, присутнього в твердій і рідкій співіснуючих фазах, вводять для проведення ефективного регулювання; таким чином, винахід виконують на основі нового знання про те, що рідка фракція тісно пов'язана з розплавом заліза. Тобто в даному винаході рідка фракція є регульованою властивістю, тим самим точка плавлення твердого металевго заліза, виробленого нагріванням і відновленням, може бути знижена при проведенні науглецювання при низькій робочій температурі, тим самим сприяючи розплавленню металевго заліза при низькій температурі. Таким чином, відділення від побічного продукту шлаку може бути ефективно проведене при низькій температурі, при цьому також можна регулювати концентрацію вуглецю, що значною мірою впливає на якість металевго заліза, що отримується.

Фіг.1 являє собою графік, що зображає залежність між температурою плавлення і вмістом вуглецю, побудований для температури плавлення у випадку, коли суміш нагрівають електролітичним залізом і різними вуглецевмісними матеріалами і спостерігають за допомогою високотемпературного лазерного мікроскопа за фазовою діаграмою термодинамічної рівноваги Fe-C.

Фіг.2 являє собою графік, що показує залежність між температурою розплавлення сировини і рідкою фракцією для випадку, коли суміш електролітичного заліза і комерційно доступного вуглецевмісного матеріалу використовують, щоб змінити

ти кількість доданого оксиду кальцію CaO (кількість CaO в золі, що з'являється з вуглецевмісного матеріалу) до суміші.

Фіг.3 являє собою графік, що показує залежність між температурою розплавлення сировини і рідкою фракцією для випадку, коли суміш електролітичного заліза і іншого комерційно доступного вуглецевмісного матеріалу використовують, щоб змінити кількість доданого оксиду кальцію CaO (кількість CaO в золі, отриманій з вуглецю) до суміші.

Фіг.4 являє собою графік, що показує залежність між температурою розплавлення сировини і рідкою фракцією для випадку, коли суміш електролітичного заліза і іншого комерційно доступного вуглецевмісного матеріалу використовують, щоб змінити кількість доданого оксиду кальцію CaO (кількість CaO в золі, що виходить з вуглецю) до суміші.

Фіг.5 являє собою графік, що показує вплив вмісту FeO в шлаку на рідку фракцію отриманого шлаку при зміні швидкості нагрівання для випадку, коли суміш оксиду заліза з постійною кількістю компонента порідної домішки і вуглецевмісного матеріалу нагрівають і відновлюють.

Даний винахід буде пояснений детально з посиленням на деталі експериментів.

Заявники в процесі нагрівання, відновлення і плавлення суміші початкової сировини для промислового виробництва металевго заліза стежили за поведінкою побічного продукту шлаку в даній системі вуглецевмісних поновлюючих агентів, а також за мірою науглецювання і плавлення отриманого металевго заліза і підтвердили наступний факт.

Для того, щоб піддати металеве залізо, отримане нагріванням і відновленням, науглецюванню, необхідно, щоб вуглецевмісні поновлюючі агенти були присутніми в системі. Однак згідно із твердженням заявників, заснованим на результатах експериментів, навіть у випадку, якщо вуглецевмісні поновлюючі агенти присутні, але присутні тільки в твердому вигляді в стані (позиції), близькому до твердого металевго заліза, науглецювання протікає погано, тому не можна чекати прискорення плавлення, викликаного зниженням точки плавлення твердого відновленого заліза.

Однак було показано, що, коли вуглецевмісні поновлюючі агенти присутні разом з шлаком в розплавленому стані, науглецювання твердого металевго заліза може протікати вельми ефективно. Це стається внаслідок того, що розплавлений шлак, що має текучість, виявляє дію, подібну носієві, так що він швидко приходить в контакт з твердим залізом нарівні з твердими поновлюючими агентами, тим самим прискорюючи науглецювання. Було показано, що науглецювання, що прискорюється, викликане співіснуванням розплавленого шлаку, не виявляється ефективним тільки у випадку, коли весь шлак знаходиться в розплавленому стані, але така дія (шлаку) змінюється в залежності від рідкої фракції шлаку (його кількості), присутнього в твердій і рідкій співіснуючих фазах.

Отже, для вивчення впливу рідкої фракції шлаку, що є побічним продуктом, на міру наугле-

цювання металевго заліза застосовують пресовану речовину (брикет), отриману шляхом змішування порошкового оксиду і поновлюючого вуглецьвмісного матеріалу у вигляді порошку, і спостерігають за поведінкою цієї речовини в процесі нагрівання, відновлення і плавлення за допомогою високотемпературного лазерного мікроскопа і потім оцінюють кількісно поведінку розплавленої речовини за допомогою аналізу зображення. Тобто в цьому спостереженні в ході нагрівання і зростання температури отримують рідку фракцію пресованої сировини шляхом аналізу зображення з тим, щоб визначити міру розплавлення речовини. Далі, температура, при якій рідка фракція становить 100% в процесі нагрівання, була визначена як температура розплавлення.

Рідка фракція, як її називають в даному тексті, розташована між солідусом і ліквідусом і визначається як масове співвідношення рідини і твердого в полі «тверде + рідке» (тобто «тверда фаза + рідка фаза»). У вищеописаному експерименті,

проведеному за допомогою високотемпературного лазерного мікроскопа, масове співвідношення було замінене на співвідношення площ, отримане при аналізі зображення. Крім того, передбачена рідка фракція, описана пізніше, означає величину, передбачену з урахуванням складу компонентів порідної домішки і температури за допомогою мультисистемної фазової діаграми.

По-перше, С% були досліджені (міра науглецювання) в металевому залізі і температура розплавлення заліза (тобто точка плавлення). Для цього використали порошок електролітичного заліза як металеве залізо, а графіт і 4 типи вугільного порошку, представлені в таблиці 1, використали як вуглецьвмісний матеріал, і змішування було зроблене так, що концентрації нелеткого (пов'язаного) вуглецю по відношенню до порошку електролітичного заліза становлять 1% (який означає мас.%, те саме стосується і наступних значень), 2%, 3% і 4,3%. Виміряні температури плавлення показані на фазовій діаграмі Fe-C на Фіг. 1.

Таблиця 1

Тип вуглецьвмісного матеріалу	Величина, що аналізується (мас.%)			
	Кількість нелеткого вуглецю	Кількість леткого вуглецю	Кількість золи	Вміст сірки
A	69,39	21,25	9,36	0,334
B	71,6	19,6	8,8	0,53
C	53,63	36,41	9,95	0,32
D	77,1	5,9	17	0,21

З фігури 1 видно, що у випадку, коли використовують графіт як вуглецьвмісний матеріал, він розплавляється, по суті, вздовж лінії ліквідусу на фазовій діаграмі, і температуру розплавлення значною мірою вибирають згідно з концентрацією вуглецю в металевому залізі, яке піддавали науглецюванню. З іншого боку, у випадку, коли вугілля, що містить золу, використовують як вуглецьвмісний матеріал, температура розплавлення знаходиться на високотемпературній стороні від лінії ліквідусу на фазовій діаграмі, що дозволяє передбачити, що зола у вугіллі впливає на температуру розплавлення металевго заліза, тобто на міру науглецювання.

Далі, порошок електролітичного заліза і вуглецьвмісний матеріал, що має склад, показаний в таблиці 1, об'єднують і для зміни рідкої фракції шлаку, отриманої із золи у вугіллі, CaO (реагент) додають до вугільного порошку і тим самим змінюють CaO% виробленого шлаку. Кількість вуглецьвмісного матеріалу, що змішується доводили до значення, яке при перерахунку на концентрацію вуглецю в електролітичному залізі становитиме 4,3%.

За зразком спостерігали за допомогою високотемпературного лазерного мікроскопа способом, подібним тому, який описаний вище, для вимірювання температури розплавлення кожної суміші електролітичного заліза і вуглецьвмісного матеріалу. Крім того, рідка фракція при 1300°C у відповідній композиції шлакових компонентів була розрахована з фазової діаграми. Оскільки рідку фракцію визначають як масове співвідношення між ліквідусом і солідусом, як указано вище, то рідку фракцію кожного шлаку можна розраховувати, виходячи з

складу шлакових компонентів і температури, використовуючи фазову діаграму багатокомпонентної системи.

Результати показані на фігурах 2-4 і на основі цих фігур може бути зроблений наступний аналіз:

1) Навіть у випадку, коли використовують будь-який з вуглецьвмісних матеріалів, температура розплавлення знижується по мірі того, як концентрація CaO в шлакоутворюючих компонентах (зола і доданий окисел кальцію CaO) зростає, і рідка фракція отриманого шлаку при 1300°C збільшується по мірі того, як зростає концентрація CaO.

2) Температура розплавлення металевго заліза знижується по мірі того, як рідка фракція отриманого шлаку зростає. Оскільки той факт, що температура розплавлення металевго заліза залежить від міри науглецювання, вже був підтверджений даними на Фіг.1, тепер можна підтвердити, що міра науглецювання металевго заліза збільшується по мірі того, як зростає рідка фракція шлаку, а також той факт, що температура розплавлення знижується із збільшенням концентрації вуглецю в залізі.

Тобто з результатів, проведених експериментів видно, що коли вуглецьвмісний матеріал, що включає в себе золу, використовують як вуглецьвмісний поновлюючий агент для того, щоб зробити нагрівання, відновлення і плавлення суміші початкової сировини, що складається з вуглецьвмісних поновлюючих агентів і оксиду заліза, температура розплавлення виробленого металевго заліза змінюється значною мірою відповідно до кількості CaO, доданий до суміші початкової сировини, і температура розплавлення швидко знижується по

мірі того, як збільшується кількість CaO . З іншого боку, навпаки, рідка фракція виробленого шлаку швидко збільшується по мірі того, як збільшується кількість CaO . Виходячи з описаних вище даних, можна прослідити за тим, як рідка фракція виробленого шлаку збільшується при доданні CaO , при цьому температура розплавлення виробленого металевго заліза швидко знижується. Тобто можна показати, що по мірі того, як рідка фракція виробленого шлаку зростає, науглецювання твердого відновленого заліза за допомогою вуглецьвмісного матеріалу, що залишається в сировині, прискорюється. Виходячи з отриманих даних ясно, що вуглецьвмісний матеріал залишається в початковій сировині після того, як походить відновлення твердої речовини за допомогою розплавленого шлаку, і ефективно контактує з твердим відновленим залізом, внаслідок чого науглецювання твердого відновленого заліза прискорюється, і температура розплавлення може знизитися внаслідок швидкого зниження точки плавлення твердого відновленого заліза.

Для ефективного вияву науглецювання, що прискорюється супутніми вуглецьвмісними поновлюючими агентами рідка фракція виробленого шлаку є надто важливою. Деяка різниця у в'язкості (текучості) рідкого шлаку існує, але було показано, що якщо деяка частка розплавленого шлаку знаходиться у виробленому шлаку, що знаходиться в твердому і рідкому співіснуючих станах, тобто, якщо рідка фракція складає не менш ніж 50%, більш переважно не менш ніж 70%, то зниження точки плавлення твердого відновленого заліза, викликане науглецюванням, проходить швидко, і швидке розплавлення може бути досягнуте при відносно низькій температурі.

Рідку фракцію виробленого шлаку можна регулювати шляхом змішування початкової сировини (вміст і склад шлакових компонентів в оксиді заліза і золи у вуглецьвмісному матеріалі) на стадії приготування суміші сировини таким чином, щоб досягнути відповідного складу шлаку згідно із заданою робочою температурою (зокрема, задана температура розплавлення). Більш переважно, коли відповідну шлакову рідку фракцію можна отримати в області заданої температури розплавлення з урахуванням зв'язку між температурою виробленого шлаку і рідкою фракцією на основі складу шлакових компонентів в суміші початкової сировини і шляхом додання і регулювання іншого шлакоутворювального компонента по мірі необхідності.

Іншими словами, згідно з даним винаходом температуру розплавлення можна регулювати з урахуванням шлакового складу в початковій сировині, або шлаковий склад можна регулювати з метою отримання попередньо визначеної рідкої фракції при заданій температурі розплавлення, яку встановлюють заздалегідь.

Таке явище, як описано вище, має місце, мабуть, у випадку, коли залізна руда, що використовується як джерело оксиду заліза містить значну кількість компонентів порідної домішки. Якщо рідку фракцію багатокомпонентного шлаку, утвореного з компонентів порідної домішки і золи у вуглецьвмісному матеріалі, регулюють в умовах робочої тем-

ператури, то науглецювання твердого виробленого металевго заліза може протікати вельми ефективно, і температура розплавлення твердого металевго заліза може бути знижена значною мірою.

При виконанні даного винаходу регуляція рідкої фракції виробленого шлаку може бути здійснена шляхом змішування декількох залізних руд таким чином, щоб отримати відповідний склад шлаку з урахуванням компонентів порідної домішки, що містяться в руді, яку застосовують як джерело оксиду заліза. Переважно, є спосіб, в якому додають один або не менш двох з наступних: вапно (CaO), вапняк (CaCO_3), двоокис кремнію (SiO_2), серпентин (MgO), марганцеву руду (MnO), боксит (Al_2O_3) і т.д. як добавки, здатні змінити рідку фракцію згідно з компонентами порідної домішки, що містяться в початковій сировині - руді. Точніше, коли джерело оксиду заліза і вуглецьвмісні поновлюючі агенти і зв'язуючий компонент, якщо він необхідний, змішують з метою приготування суміші початкової сировини, то зв'язок між температурою і рідкою фракцією встановлюють на основі фазової діаграми багатокомпонентної системи, виходячи з складу порідної домішки, що міститься в сировині, і відповідну кількість оксиду, як описано вище, змішують як добавки так, щоб отримати відповідну рідку фракцію, як указано вище, в умовах заданої температури розплавлення.

Для ефективного проведення прискореного науглецювання за допомогою супутнього розплавленого шлаку і зниження температури розплавлення, як указано вище, необхідно досягнути достатнього зниження точки плавлення твердого металу шляхом науглецювання. Було показано, що самим ефективним є контролювання концентрації вуглецю в металевому залізі після науглецювання в області від 0,5 до 4,3%, більш переважно, від 1,5 до 3,5%, а також контролювання температури розплавлення в області від 1147 до 1500°C, більш переважно, в області від 1200 до 1450°C. Переважну концентрацію вуглецю в металевому залізі можна відрегулювати згідно з кількістю вуглецьвмісних поновлюючих агентів, змішаних з початковою сировиною на стадії приготування суміші початкової сировини. Конкретно, вуглецьвмісні поновлюючі агенти, необхідні для науглецювання, додають в кількості, яка теоретично потрібна для відновлення джерела оксиду заліза. Однак при нормальних робочих умовах частина вуглецьвмісних поновлюючих агентів поглинається окислювальним газом, що виробляється при згорянні в процесі нагрівання і відновлення, тому, щоб фактично підібрати кількість вуглецьвмісного матеріалу, що змішується, цю кількість, що змішується потрібно відрегулювати на основі споживаної кількості, як описано тут.

Крім того, якщо кількість вуглецьвмісних поновлюючих агентів, що змішується регулюють, як описано вище, на стадії приготування сировини, то міру науглецювання металевго заліза можна регулювати, тим самим можна навмисно регулювати кінцевий вміст вуглецю в металевому залізі.

Для приготування суміші початкової сировини, що застосовується в даному винаході, переважно використовують як джерело оксиду заліза, так і

вуглецьвмісні поновлюючі агенти у вигляді порошку. Суміш початкової сировини може бути подана в під (печі) в злегка спресованому стані, але переважно, якщо її використовують у вигляді пресованої маси, в якій суміш сплавляють ("агломерують") до часток відповідної форми, такої як сферична, у вигляді брикету або котуна, при цьому металевий шар твердого відновленого заліза утвориться на поверхні пресованої маси в процесі відновлення твердої речовини при нагріванні для того, щоб всередині шару створити умови високого потенціалу відновлення, і переважним є те, що міра металізації може бути збільшена з великою ефективністю.

Крім того, піч, що застосовується в даному випадку, є, переважно, піччю з рухомим подом, особливо переважно, піччю з подом, що обертається. У цьому випадку початкову сировину, задану таким чином, щоб виробити надалі бажану рідку фракцію, вміщують в під (печі) за допомогою трубоподібного або жолобоподібного живильного пристрою так, щоб утворити не більш, ніж два шари у випадку більш широких і великих по діаметру часток пресованої маси. Матеріал нагрівають зверху за допомогою запальника або подібного пристрою для його відновлення і плавлення і після охолодження його випускають з допомогою скрепера або пристрою для випуску типу шнеку. Якщо до подачі початкової сировини утворюють шар порошку вуглецьвмісних речовин або шар порошку вогнестійких речовин, таких як оксид алюмінію, то це є переважним для захисту поду (печі), для більш рівного випуску продукту і попередження переокислення від кінця відновлення до плавлення.

Коли металеве залізо, яке навуглицьовують і розплавляють і коагулюють (з розплавлених часток) після нагрівання і відновлення, а потім охолоджують і піддають затвердінню, то можуть бути отримані частки металевого заліза і їх можна одночасно відділити від виробленого шлаку шляхом просіювання або магнітної сепарації.

Як описано вище, даний винахід відрізняється тим, що рідку фракцію шлаку, що є побічним продуктом, регулюють і, тим самим, прискорюють навуглицьовання і сприяють ефективному розплавленню металевого заліза при низькій температурі, і, нарешті, частки металевого заліза з високою мірою металізації, тобто з високою чистотою по Fe, можуть бути зроблені з великою ефективністю. Було показано, що представлений нижче повторний ефект також може бути отриманий при регуляції рідкої фракції шлаку, що є побічним продуктом.

Так, при виконанні способу згідно з даним винаходом для регуляції рідкої фракції виробленого шлаку з тим, щоб контролювати температуру розплавлення металевого заліза, вироблений шлак в умовах температури розплавлення знаходиться одночасно в твердому і рідкому станах, тому, коли його охолоджують і піддають твердінню, коагульований шлак, вироблений з рідкої фракції шлаку, існуючого одночасно в твердому і рідкому станах, конденсується за допомогою поверхового натягнення у вигляді скловидної гранульованої речовини, в той час як коагульований шлак, вироблений з

твердої фракції шлаку, існуючого одночасно в твердому і рідкому станах, перетворюється в тонкий гранульований шлак. Таким чином, коли вказані шлаки сортують за допомогою відповідного сита, вони можуть бути розділені на скловидний гранульований шлак і тонкий гранульований шлак. Оскільки розділений таким чином шлак може бути утилізований як шлак, в якому частки є однорідними по розміру, і тому діапазон розподілу часток по розміру є вузьким, то цей розділений шлак є великим вигідним при використанні його як вторинних ресурсів, такі як матеріал для дорожнього полотна або заповнювач для бетону у вигляді тонкого заповнювача або грубого заповнювача.

Крім того, дані заявники також вивчили розплавлений вюстит (FeO), вироблений в процесі нагрівання і відновлення, з метою придушення пошкодження вогнетривів, викликаного розплавленим FeO в шлаку, який виробляється як побічний продукт в ході нагрівання і відновлення, причому результат вивчення також буде представлений.

В експериментах досліджували зв'язок між швидкістю нагрівання і рідкою фракцією в процесі нагрівання, передбачаючи, що шлак складається з джерела оксиду заліза і вуглецьвмісного матеріалу, і з використанням синтетичного шлаку, в якому оксид заліза FeO додавали до основного шлаку з $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{CaO}=70:2:5$ (масове відношення).

Результати представлені на Фігурі 5. На фігурі показана зміна концентрації FeO і частки рідини (тобто рідкої фракції) при постійній температурі нагріву, що становить 1156°C , при цьому швидкість нагрівання використали як параметр і змінювали до $100^\circ\text{C}/\text{хв.}$, $300^\circ\text{C}/\text{хв.}$, $500^\circ\text{C}/\text{хв.}$ Як видно з цієї фігури, спостерігається така тенденція, що рідка фракція збільшується по мірі того, як концентрація FeO зростає, але при цьому рідка фракція змінюється значною мірою і в залежності від швидкості нагрівання: рідка фракція швидко збільшується по мірі того, як швидкість нагрівання сповільнюється.

Отримані дані вказують на те, що при нагріванні, відновленні і плавленні суміші початкової сировини, коли швидкість нагрівання є повільною на стадії відновлення FeO , то FeO змішується з компонентом порідної домішки, розплавляється і виробляє рідину, тобто легко виробляється розплавлений шлак, що містить велику кількість FeO .

Навпаки, коли швидкість нагрівання зростає, втрачається час для розплавлення FeO в шлаку, і в умовах високої швидкості нагрівання змішування розплавленого FeO в шлаку придушується як наслідок швидкого відновлення оксиду заліза до металевого заліза.

Було показано, що зниження вмісту розплавленого оксиду заліза FeO в шлаку, викликане високою швидкістю нагрівання, як описано вище, може бути виконане з великою ефективністю шляхом збільшення швидкості в процесі нагрівання і відновлення не менш, ніж $300^\circ\text{C}/\text{хв.}$, переважно не менш, ніж $400^\circ\text{C}/\text{хв.}$, більш переважно не менш, ніж $500^\circ\text{C}/\text{хв.}$

Крім того, даними заявниками було показано на основі окремо виконаних досліджень, що пошкодження вогнетривів, викликане розплавленим FeO , що знаходиться в шлаку, значно змінюється

при умові, що кількість розплавленого оксиду FeO в шлаку становить приблизно 50%, і, якщо швидкість нагрівання регулюють так, що кількість розплавленого оксиду FeO становить не більш приблизно 50%, переважно не більше за 20%, більш переважно в основному 0%, то пошкодження вогнетриву поду, створене розплавленим шлаком, може бути пригнічене настільки, наскільки це можливе, і таким чином можна спростити ті заходи проти пошкодження вогнетривів, які застосовують в даній області техніки.

Крім того, переважними умовами досягнення кількості FeO в розплавленому шлаку, що складає переважно не більш ніж приблизно 20% або, в основному, нуль, є такі умови, в яких в процесі нагрівання і відновлення температури в області від 600 до 1350°C, переважно від 500 до 1250°C, зростають з швидкістю не менш, ніж 300°C/хв., переважно не менш, ніж 500°C/хв.

Зниження вмісту FeO в розплавленому шлаку, як описано вище, ефективно впливає на запобігання пошкодженню вогнетривів поду, що є великим важливим при фактичній роботі, і, крім того, збільшує вихід металевого заліза; крім того, збільшення швидкості нагрівання укорочує час нагрівання і відновлення і підвищує продуктивність даної операції.

Коли рідка фракція виробленого шлаку стає понадміру великою на стадії відновлення твердої речовини, пресована сировина починає розплавлятися до того, як протікає відновлення твердої речовини, так що невідновлений оксид FeO має тенденцію плавитися в розплавленому шлаку, і в такому випадку, який тут описаний, потрібно додати флюс у відповідній кількості на стадії підготовки початкової сировини для регуляції складу шлаку (оксиди, згадані вище), і таким чином проведення плавлення в області низької температури придушується із збільшенням температури відновлення, збільшуючи при цьому швидкість відновлення твердої речовини. Тобто при виконанні даного винаходу регулювання рідкої фракції виробленого шлаку може бути ефективно використане як засіб для підвищення продуктивності шляхом збільшення температури, при якій виробляється рідина (тобто початкова температура науглецювання), і збільшення швидкості відновлення твердої речовини шляхом підняття температури відновлення на додаток до випадку, коли знижують робочу температуру шляхом зменшення температури науглецювання, відповідної температурі плавлення.

Приклади

Структура, процес і здійснення даного винаходу будуть детально обговорені з посиланням на

прикладі. Звичайно, даний винахід не обмежується наступними прикладами, і відповідні модифікації можуть бути зроблені в даній області, які пристосовані до цілей, описаних раніше і пізніше, які включені в суть даного винаходу.

Руда, компонентний склад якої представлений в таблиці 2 нижче, і вуглецьвмісний матеріал, компонентний склад якого представлений в таблиці 3, були використані з метою виконання наступних експериментів.

Таблиця 2

Тип руди	Склад компонентів (мас.%)				
	Всього Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
A	68,06		1,36	0,52	
B	69,2	30,56	1,81	0,51	0,45

Таблиця 3

Тип вуглецьвмісного матеріалу	Склад компонентів (мас.%)		
	Зола	Леткі	Нелеткий вуглець
A	8,80	19,60	71,60
B	9,36	21,25	69,39
C	12,36	17,77	69,87
D	17,0	5,90	77,1

Приклад 1

(Експериментальний приклад, в якому робоча температура змінювалася при однаковій початковій суміші)

Сировину приготувляли шляхом рівномірного змішування 83,5мас.% руди B (середній діаметр гранул: 21мкм), показаної в таблиці 2, 18,5мас. % вуглецьвмісного матеріалу C (середній діаметр гранули: 45мкм), показаного в таблиці 3, і 1,0мас.% бентоніту (середній діаметр гранули: 9мкм) як зв'язуючої речовини, сплавлення у вигляді сферичних часток, що мають діаметр приблизно 17мм (в даному тексті матеріал названий як пресована маса), після чого сировину заздалегідь сушили при 120°C. Пресовану сировину завантажували в експериментальну піч для того, щоб матеріал нагрівався, а температура зростала, і спостерігали за розплавленням пресованої сировини при даній температурі з метою дослідження залежності рідкої фракції отриманого шлаку від компонентів сировини. У випадку, коли розплавлення не відбувається, спостерігали за станом поверхні і внутрішнім профілем. Отримані результати показані в таблиці 4 нижче.

Таблиця 4

Температура зразка, оцінка рідкої фракції і режим розплавлення

Температура зразка (°C)	Оцінка рідкої фракції (%)	Режим розплавлення пресованої маси
1280	0	Речовина не розплавлена всередині відновленого заліза
1330	24,7	Збереження профілю поверхні і сліди виробленої всередині рідини
1370	55,3	Збереження профілю поверхні, а всередині розплавлений стан
1400	77,0	Повне розплавлення
1450	100	Повне розплавлення

Як видно з таблиці 4, коли певна рідка фракція становила 0%, то слідів розплавленої речовини в пресованій масі не спостерігали; коли певна рідка фракція становила приблизно 25%, то сліди розплавленої речовини виявили всередині, але пресована маса зберігала при цьому свою первинну форму і розплавлення не спостерігали. Крім того, коли рівень певної рідкої фракції зріс до 55%, утворення значної кількості розплавлених речовин було виявлене, але пресована маса зберігала при цьому свою первинну форму і не розплавлялася (науглецювання і плавлення чистого заліза, і розтікання вниз). З іншого боку, було показано, що коли певна рідка фракція досягла 100%, пресована маса розплавилася з утворенням розплаву, але навіть в той час, коли рідка фракція досягла 77%, тверде відновлене залізо в пресованій масі починає плавлення і закінчує розплавлення. Тобто було показано, що нагрівання і відновлення пресованої маси протікає по мірі того, як зростає температура нагрівання, і в той же час, певна рідка фракція також збільшується, але коли рідка фракція перевищує приблизно 70%, швидко відбувається розплавлення. З експериментальних результатів видно, що якщо регулювати температуру отримання рідкої фракції, рівень якої становив 70%, то можна досягнути достатнього розплавлення, і робочу температуру можна знизити приблизно на 50°C шляхом установки температури

нагрівання до 1400°C і зберегти рівень рідкої фракції від 70 до 80% без збільшення рівня рідкої фракції до 100%, що досягається підвищенням температури нагрівання до 1450°C.

Приклад 2

(випадок, при якому додають двоокис кремнію для зміни рідкої фракції)

До 74,6мас.% руди А (середній діаметр гранули: 38мкм), склад якої приведений в таблиці 2, 23,4мас.% вуглецьвмісного матеріалу А (середній діаметр гранули: 37мкм), склад якого приведений в таблиці 3, і 2,0мас.% бентоніту (середній діаметр гранули: 9мкм) як зв'язуючої речовини, які є основними компонентами, домішували двоокис кремнію (вміст SiO_2 : 92,7мас.%) у відповідній кількості з тим, щоб задати температуру розплавлення шлаку. Рівень рідкої фракції при 1200°C, визначений з фазової діаграми на основі шлакового складу в змішаній сировині, приведений в таблиці 5. Пресована сировина була використана після змішування вказаних вище речовин у вигляді однорідної суміші і її сплавлення до часток сферичної форми діаметром 17мм, і висушування при 120°C. Компактну сировину завантажували в експериментальну піч для нагрівання і відновлення, і при цьому визначали температуру середовища, що оточувало початкову сировину, і отримані результати представляли в таблиці 5.

Таблиця 5

Зміна рівня рідкої фракції, викликана домішуванням двоокису кремнію, і температури середовища навколо сировини при розплавленні

Витрата двоокису кремнію, що домішується (мас.%)	0	0,8	2,4
Рівень рідкої фракції (%) при 1200°C	77	85	96
Температура середовища при розплавленні	1435	1425	1405

Як видно з таблиці 5, при збільшенні витрати двоокису кремнію, що домішується рівень рідкої фракції при 1200°C отриманого шлаку зростає, і відповідно знижувалася температура розплавлення пресованої сировини. Тобто з отриманих результатів слідує, якщо відповідну кількість джерела SiO_2 (або іншого окислу) домішували до компонентів сировини для регуляції рівня рідкої фракції при робочій температурі, то температура розплавлення пресованої маси, що відновлюється і нагрівається, тобто робоча температура, може

бути знижена. Крім того, додаткову кількість флюсу (такого, як джерело SiO_2) регулювали так, що, якщо задана робоча температура була визначена, то утворювалася рідка фракція, достатня для розплавлення при робочій температурі, і таким чином сприяли регулюванню значною мірою температури розплавлення до робочої температури.

Приклад 3

(випадок, в якому температуру, при якій утворюється рідка фракція, підвищують, щоб прискорити протікання відновлення твердої речовини)

Як описано раніше, у випадку, де рідка фракція шлаку, що виробляється, утворюється при низькій температурі, розплавлення пресованої маси відбувається до того, як в достатній мірі протікає відновлення оксиду заліза, що міститься в твердій фазі, і невідновлений FeO стає розплавленим і істотно підмішується в шлак, тим самим сприяючи прискоренню ерозії і/або корозії вогнетривів поду (печі). Таким чином, з точки зору запобігання пошкодженню вогнетривів поду, був проведений експеримент для випадку використання даного винаходу.

Сировина була приготована шляхом змішування у відповідності до випадків А і В, приведеними в таблиці 6 нижче, і отримана у вигляді сферичних часток подібно тому, як описано вище; експеримент, що включає в себе нагрівання, відновлення і плавлення, був проведений з метою отримання тих результатів, які представлені в таблиці 6, після висушування пресованої маси.

Таблиця 6

Суміш компонентів сировини, температура, при якій утворюється рідка фаза, і т.д.

	Руда С	Вуглецьвмісний матеріал В	Зв'язуюча речовина	Доданий СаО	Температура утворення рідкої фази (°C)	Температура відновлення (°C)	Температура плавлення (°C)
Випадок А	76,54	21,81	1,65	-	1177	1320	1430
Випадок В	72,51	20,99	1,5	5	1332	1340	1430

З таблиці 6 видно, що у випадку А температуру утворення рідкої фази була такою низькою (1177°C) і рідина утворювалася до того, як відновлення твердої речовини протікало в достатній мірі, а домішування невідновленого FeO в шлак створювало пошкодження вогнетривів поду. Температура нагрівання і відновлення дещо знижувалася до 1320°C, внаслідок чого темп відновлення твердої речовини знижувався, і швидкість виробництва знижувалася значною мірою. Таким чином, пропорцію компонентів, що змішуються змінювали, як у випадку В (додаткове підмішування вапняку) і температуру утворення рідкої фази підіймали до 1332°C. Потім, було показано, що при встановленні температури нагрівання і відновлення, а також температури розплавлення на рівні 1340°C і 1430°C, відповідно, можна підтримати безперебійний режим роботи без пошкодження вогнетривів поду.

Крім того, речовину, отриману у випадку В вище, охолоджували і згодом піддавали магнітній

сепарації, потім її можна було повністю розділити на метал і шлак. У таблиці 7 представлені дані розподілу діаметру часток металу і шлаку. Зрозуміло, що частки металу, що мають діаметр (значною мірою кругла форма характеризується діаметром, і еліпсоїдальна або овальна форма характеризуються середньою величиною між діаметром в довжину і діаметром завширки) не менш, ніж 3,35мм можуть бути витягнуті з виходом 94,3%. З іншого боку шлак, в основному, розділяти на два види, скловидний гранульований шлак, що має діаметр часток не менш, ніж 3,35мм, і гранульований порошковий шлак, що має діаметр часток менш, ніж 3,35мм. Було показано, що гранульований порошковий шлак повертають у виробничий цикл і змішують з початковою сировиною з метою витягання і використання залишкового вуглецьвмісного матеріалу і заліза, а скловидний гранульований шлак може бути ефективно використаний як дрібні агрегати, що не містять заліза.

Таблиця 7

Розподіл часток металу і шлаку по діаметру після магнітної сепарації продуктів

Діаметр часток (мм)	Вище за 6,7	Від 3,35 до 6,7	Менш, ніж 3,35
Метал (мас.%)	84,3	10,0	5,7
Шлак (мас.%)	34,4	17,5	48,1

У даному винаході, представленому так, як описано вище, показано, що в процесі нагрівання, відновлення і плавлення суміші, що містить джерело оксиду заліза і вуглецьвмісні поновлюючі агенти, для виробництва металевого заліза рідку фракцію виробленого шлаку, що знаходиться одночасно в твердому і рідкому станах, регулювали з тим, щоб зробити відповідне регулювання початкової температури науглецювання твердого металевого заліза. Також нижче показані різні виконані операції і отримані результати:

1) Співвідношення між температурою і рідкою фракцією виробленого шлаку визначали з урахуванням шлакоутворювального компонента в сировині і кількості доданого до нього флюсу, рідку фракцію регулювали, регулюючи тим самим початкову температуру науглецювання; тобто, температуру розплавлення сировини можна регулювати, і температуру розплавлення знижували таким чином, щоб сприяти зниженню робочої температури з метою підвищення ефективності використання теплової енергії і придушення пошкодження жароміцної структури.

2) Якщо рідку фракцію виробленого шлаку отримували в заздалегідь визначеній області температури на стадії змішування сировини, то заданої температури розплавлення можна досягнути, і температуру можна регулювати до відповідної

температури розплавлення відповідно до теплової ефективності діючого обладнання і жароміцності обладнання, таким чином сприяючи відповідності різному діючому обладнанню.

3) Початкову температуру науглецювання, тобто температуру розплавлення, можна регулювати шляхом зміни рідкої фракції без плавлення всієї маси виробленого шлаку з метою зниження внаслідок робочої температури і економії необхідної енергії і підвищення теплової ефективності.

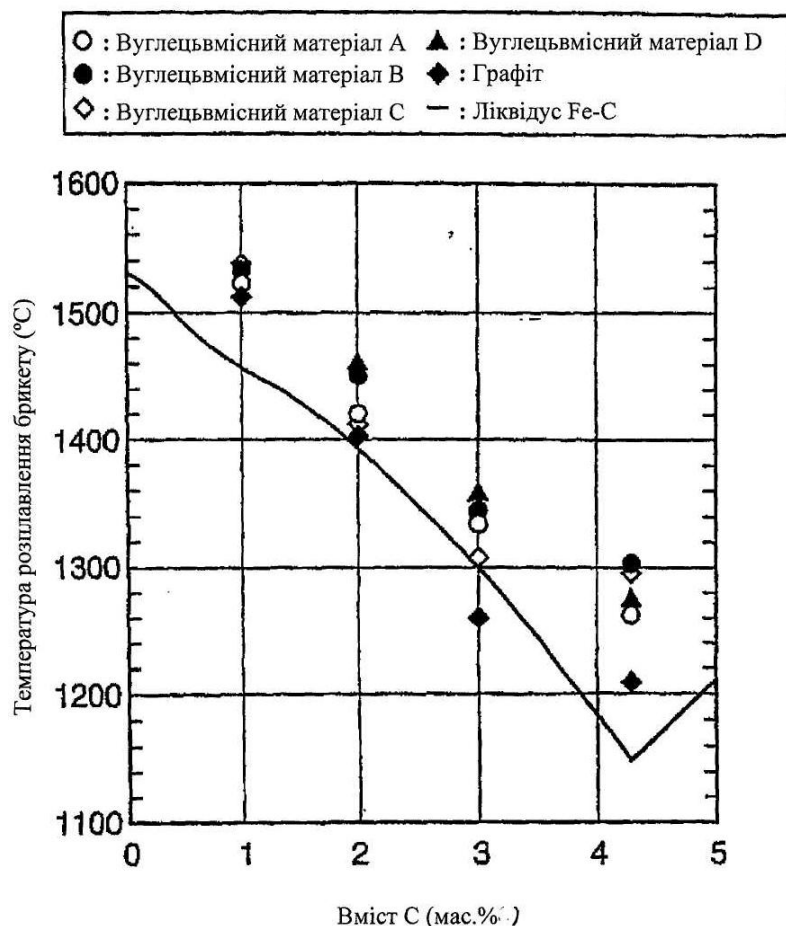
4) Якщо кількість вуглецьвмісних поновлюючих агентів, що змішується регулювали на стадії приготування початкової сировини, то значною мірою можна регулювати вміст вуглецю в виробленому металевому залізі.

5) Рідку фракцію виробленого шлаку регулювали, тим самим встановлюючи оптимум температури розплавлення, змінюючи температуру нагрівання і відновлення, внаслідок чого може бути подавлене, наскільки можливо, змішування розплавленого оксиду заліза FeO з розплавленим шлаком. Зокрема, якщо швидкість нагрівання в процесі нагрівання і відновлення регулювали, то утворення розплавленого шлаку можна було по-

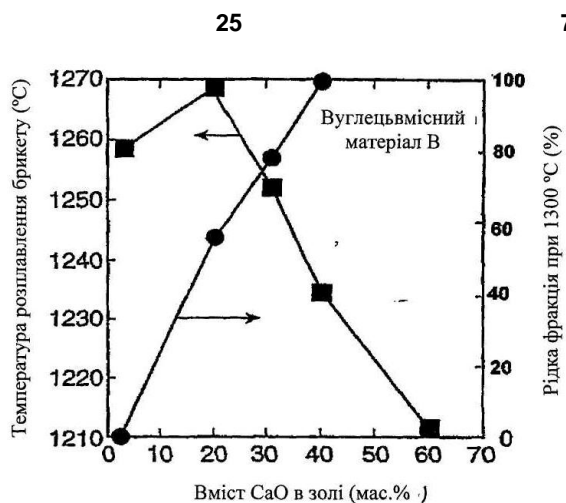
давити, наскільки можливо, для того, щоб сприяти запобіганню розплавленню і налипанню вироблених речовин на або до поду печі, що викликано виробництвом шлаку, що має низьку точку плавлення через розплавлений оксид заліза FeO , що міститься в ньому, а також сприяти ефективному придушенню ерозії і/або корозії вогнетривів поду печі.

6) Як повторний ефект даного винаходу шлак, що є побічним продуктом, розділяють на скловидний гранульований шлак, отриманий з рідкої фази, і гранульований шлак, отриманий з твердої фази з метою застосування цих шлаків як побічних продуктів, що мають вузький діапазон розподілу часток по розміру, які можуть бути ефективно використані для різних цілей як тонкі агрегати або грубі агрегати.

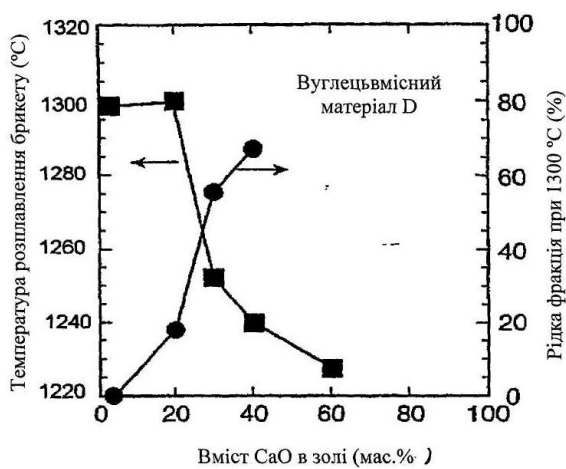
Даний винахід являє собою вигідний діючий спосіб виробництва металевого заліза і часток металевого заліза високої міри чистоти з високим виходом шляхом ефективного відновлення і ефективного відділення металевого заліза від шлаку при стабільних умовах роботи з придушенням наскільки можливо пошкодження вогнетривів поду.



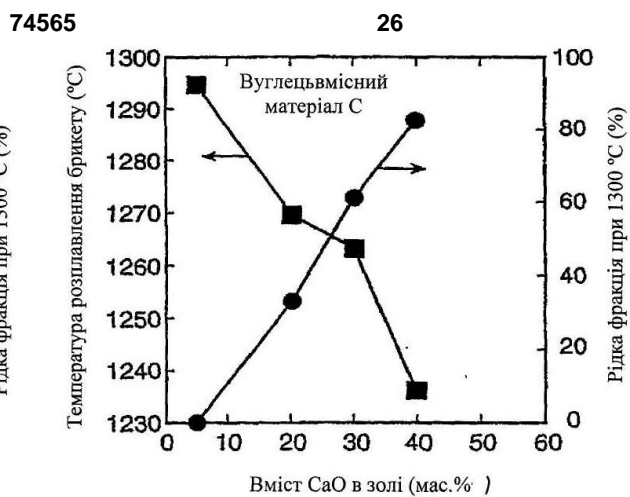
Фіг. 1



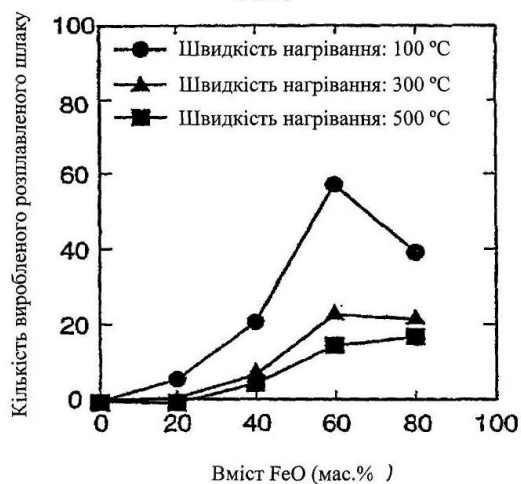
Фіг. 2



Фіг. 4



Фіг. 3



Фіг. 5