

Даний винахід стосується способу одержання чавуну і способу одержання сталі з метою виробництва рафінованого від домішок заліза шляхом термічного відновлення оксидів заліза (таких, як залізні руди) у присутності вуглецевмісного відновника (такого, як вуглецевий матеріал). Більш конкретно, даний винахід стосується способу одержання чавуну і способу одержання сталі, в якому рідкий чавун одержують шляхом термічного відновлення формованих продуктів, що містять оксид заліза (гранули або брикети), які включають вуглецевмісний відновник і перебувають у твердому стані, з подальшим їх відновленням і плавленням. Ці способи дозволяють підвищити теплову ефективність на ряді стадій від термічного відновлення до відновної плавки, а також здатні ефективно провести відділення компонентів пустої породи.

В якості процесу прямого відновлення, використовуюваного для одержання заліза шляхом відновлення оксидів заліза, таких як залізні руди або гранули оксиду заліза, у присутності вуглецевого матеріалу або відновного газу, відомий спосіб із застосуванням шахтної печі, у типовому випадку, поданий способом МІДРЕКС (MIDREX). У способі прямого відновлення заліза даного типу, відновлене залізо одержують у процесі продування відновного газу, одержаного з природного газу або подібного матеріалу, через фурму в нижній частині шахтної печі, і відновлення оксиду заліза з використанням відновної сили відновного газу. Далі, в останні роки часто згадується процес одержання відновленого заліза з використанням в якості відновника замість природного газу такого вуглецевого матеріалу як вугілля і, особливо, вже знаходиться в практичному застосуванні так званий "SL/RN" спосіб термічного відновлення спечених гранул залізних руд у присутності дрібного вугілля в обертовій випалювальній печі.

Далі, в якості іншого способу виготовлення заліза в патенті США №3,443,931 описується процес одержання відновленого заліза, який включає змішування вуглецевого матеріалу і дрібних фракцій оксиду заліза в шихту та термічне її відновлення на обертовому поді. У цьому процесі дрібна руда і дрібне вугілля утворюють шихту і потім піддаються термічному відновленню у високотемпературній атмосфері.

Відновлене залізо, одержане у зазначений вище спосіб, використовується як джерело заліза при введенні його в тому вигляді, як його одержано або після формування в брикет при атмосферній температурі в електродугову плавильну піч. Оскільки відновлене залізо містить менше домішкових металевих компонентів, таких як елементи-домішки, в останні роки, коли переробка залізного скрапу стає все більш і більш активною, відновлене залізо служить в якості матеріалу, що розбавляє, для домішкових елементів, що містяться в скрапі.

Однак, через проникнення шлакових компонентів, таких як  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{CaO}$ , що містяться в оксидах заліза (залізна руда тощо) в якості компонентів пустої породи, а також проникання вуглецевих матеріалів (вугілля і подібний матеріал), якість продуктів за залізом (чистота рафінованого заліза) знижується. При практичному використанні, хоча шлакові компоненти відокремлюють і вилучають на подальшій стадії виплавки, збільшення кількості шлаків знижує вихід виплавленого рідкого чавуну, а також справляє помітний небажаний ефект на вартість експлуатації електродугової плавильної печі.

Потрібне відновлене залізо з високим вмістом заліза як хімічного елемента і меншим вмістом шлаку. Однак, для виконання такої вимоги в описаний вище відомий спосіб відновлення заліза, в якості сировини для його виготовлення повинні використовуватися залізні руди з високим вмістом заліза, що значно звужує діапазон вибору матеріалів, які служать для одержання заліза, що можуть використовуватися на практиці.

Далі, описаний вище відомий спосіб, врешті-решт, має на меті одержання відновленого твердого продукту в якості проміжного, і вимагає таких операцій, як брикетування, охолодження, транспортування і збереження продукту до його доставки на операцію відновної плавки, в якості заключної операції перед практичним використанням, під час якого мають місце великі втрати енергії або додаткове устаткування або витрати енергії на брикетування.

З іншого боку, в якості способу одержання попередньо відновленого заліза шляхом прямого відновлення оксидів заліза, відомий також такий спосіб відновлення випалкою (DIOS). Цей спосіб включає попереднє відновлення оксидів заліза на 30-50% в якості попереднього ступеня відновлення, і потім відновлення їх до рафінованого заліза реакцією прямого відновлення в присутності твердого вугілля і/або оксиду вуглецю у ванні зі шлаком і потім їх плавлення. Проте, оскільки для попереднього відновлення в посудині для відновлення випалкою потрібна система циркуляції відновного газу для його відтворення, а введення його в піч попереднього відновлення є складовою частиною цього способу, досягнення рівноваги процесу є проблематичним і надзвичайно важким. Крім того, оскільки в стані розплаву рідкі оксиди заліза ( $\text{FeO}$ ) і вогнетрививодяться в безпосередній контакт один з одним, слід відзначити проблему великої корозії вогнетривів.

Далі, в US 4701214 описані інші способи змішування дрібних руд і вуглецевого матеріалу, формування їх в агломерати, попереднього відновлення їх за допомогою нагрівальної печі, що належить до печі з обертовим подом, завантаження одержаних у такий спосіб попередньо відновлених продуктів без охолодження в плавильну піч, плавлення їх, попереднього відновлення з додаванням вуглецевого матеріалу і подальшого кисневого дуття для проведення виплавки. Оскільки в цьому способі продукти попереднього відновлення подаються в плавильну піч без охолодження і піддаються відновленню та плавленню, вважається, що він приводить до меншої втрати теплової енергії, забезпечує безперервний процес і є ефективним також з точки зору продуктивності.

У цьому способі виготовлення чавуну, кисень (або повітря) вдмухують у плавильну піч, що служить для нагрівання і виплавки, разом з великою кількістю вуглецевого матеріалу. Потім, оскільки в продуктах попереднього відновлення, які завантажуються в плавильну піч, як описано вище, у великій кількості міститься вуглецевий матеріал і компоненти пустої породи в залізній руді, у плавильній печі відбувається інтенсивне перемішування рідкого чавуну з великою кількістю шлаку. Оскільки в шлак проникає велика кількість оксидів заліза ( $\text{FeO}$ ), це приводить до серйозної практичної проблеми виникнення значної ерозії футерувальних вогнетривів, внаслідок чого важко застосувати даний спосіб на практиці в промисловому масштабі.

У будь-якому випадку, для того щоб одержати відновний газ, що має достатній відновний потенціал, необхідний для печі попереднього відновлення у верхньому потоці плавильної печі, потрібно подавати велику кількість кисню і вуглецевого матеріалу (кілька сотень кілограм на тонну одержуваного рідкого чавуну) у плавильну піч, що спалює їх, теплове навантаження на плавильну піч надзвичайно велике і

футерувальні вогнетриви піддаються значній ерозії при інтенсивному перемішуванні рідкого чавуну і шлаку. Далі, при стабільній подачі відновного газу відповідного складу і кількості, що вимагається в печі попереднього відновлення, надзвичайно проблематично досягти рівноваги по всьому об'єму установки і потрібна система керування високого рівня складності.

Даний винахід розроблено, зважаючи на вищеописані обставини. Задачею винаходу є створення способу одержання чавуну, який використовує оксид заліза з підвищеним вмістом заліза, або використовує залізні руди з відносно низьким вмістом заліза, який не викликає ерозії вогнетривів. Більше того, цей спосіб дозволяє одержати рідкий чавун із застосуванням простого устаткування і процесу, а також дозволяє одержати сталь з рідкого чавуну, одержаного у зазначений вище спосіб.

Спосіб одержання чавуну відповідно до винаходу, що здатний подолати вищеописані проблеми, являє собою спосіб одержання рідкого чавуну шляхом подачі твердого відновленого заліза, виготовленого в установці для одержання відновленого заліза з формованих продуктів, які містять оксид заліза, що включають вуглецьвмісний відновник, які використовуються в якості основного матеріалу, при високій температурі без істотного охолодження в плавильній печі з електродуговим нагріванням, і нагрівання заліза, що відновлюється, у плавильній печі, причому спосіб включає здійснення металізації твердого відновленого заліза до 60% і більше, підтримання вмісту вуглецю у твердому відновленому залізі на рівні 50% і вище відносно теоретичної еквівалентної кількості, необхідної для відновлення оксиду заліза, що залишається у твердому відновленому залізі, а питомої щільності твердого відновленого заліза - на рівні 1,7 або більше, та нагрівання твердого відновленого заліза в плавильній печі з електродуговим нагріванням для одержання рідкого чавуну з вмістом вуглецю від 1,5 до 4,5%.

При реалізації винаходу на практиці, для проведення ефективного відновлення при плавленні, і в той же час зниження до мінімуму ерозії футерувальних вогнетривів плавильної печі з електродуговим нагріванням, тверде відновлене залізо завантажують у плавильну піч з електродуговим нагріванням на рідкий шлак, основність рідкого шлаку, більш прийнятно, підтримують в діапазоні від 1,0 до 1,8, а вміст оксиду заліза в рідкому шлаку бажано обмежити до 9% і нижче, більш прийнятно 5% або менше, при перерахунку на Fe.

Коли вуглецьвмісний відновник додатково завантажується для компенсації нестачі у плавильну піч з електродуговим нагріванням, бажано додавати вуглецьвмісний відновник у місці завантаження твердого відновленого заліза для більш ефективної відновлювальної плавки.

Далі, кількість вуглецьвмісного відновника, завантаженого додатково у плавильну піч з електродуговим нагріванням, є важливою для регулювання вмісту вуглецю в рідкому чавуні, одержаному шляхом відновлення при плавленні в діапазоні від 1,5 до 4,5%, встановленому у цьому винаході. В якості способу контролю кількості додатково завантажуваного вуглецьвмісного відновника, рекомендується:

- 1) спосіб відбору проб рідкого чавуну з плавильної печі з дуговим нагріванням виконувати з безпосереднім аналізом рідкого чавуну і контролем додаткової кількості вуглецьвмісного відновника таким чином, щоб вміст вуглецю підтримувався в зазначеному вище діапазоні, або
- 2) спосіб вимірювання складу й кількості відхідних газів, що вийшли з плавильної печі з дуговим нагріванням, виконувати з визначенням вмісту вуглецю в рідкому чавуні шляхом обчислення, виходячи з еквівалентної кількості кисню у відхідному газі, розрахованої на основі виміряного значення, і контролю додаткової кількості вуглецьвмісного відновника.

Далі, основною відмінною рисою способу відповідно до винаходу є те, що вміст вуглецю в рідкому чавуні підтримується в зазначеному вище діапазоні, і можна одержати рідкий чавун, що містить 0,05% або менше Si, 0,1% або менше Mn, 0,1% або менше P і 0,20% або менше S. Рідкий чавун проходить десульфурізацію і дефосфоризацію у спосіб, який буде описано нижче. Вміст S знижується до, приблизно, 0,050% або менше, а вміст P знижується до, приблизно, 0,040% і менше, і можна одержати рідкий чавун з меншим вмістом домішок, який може застосовуватись в якості сировини для виробництва сталі в електродуговій плавильній печі або кисневому конвертері.

В якості способу десульфурізації і/або дефосфоризації, застосовуваного в цьому винаході, більш прийнятно рекомендується такий: спосіб передачі рідкого чавуну, одержаного в плавильній печі з електродуговим нагріванням, в окрему посудину, десульфурізації рідкого чавуну з додаванням вапняного десульфурізуючого флюсу (або введенням разом з газом) і/або дефосфоризації шляхом вдування вапняного флюсу, що містить тверде джерело кисню (оксид заліза, або подібний матеріал) і газоподібний оксид.

У способі відповідно до винаходу, відновний потенціал при відновленні джерела оксиду заліза, такого як залізна руда, нижчий порівняно з потенціалом у способі виготовлення чавуну в доменній печі, і  $\text{SiO}_2$  у пустопородному компоненті перетворюється на шлак як  $\text{SiO}_2$  без відновлення. Відповідно, оскільки вміст Si в одержаному рідкому чавуні є низьким (0,05% або менше), особливої десиліконізації не потрібно. Крім того, оскільки вміст Si у рідкому чавуні є низьким, то шляхом дефосфоризації, як описано вище, легко одержати рідкий чавун з низьким вмістом P і при цьому взагалі не потрібна попередня десиліконізація.

Одержаний у такий спосіб рідкий чавун з меншим вмістом домішок може завантажуватися в розплавленому стані в розташовану суміжно електродугову піч або кисневий конвертер як матеріал для виготовлення сталі, в результаті чого дана система може використовуватися на практиці як безперервний процес одержання чавуну й одержання сталі, або вироблений рідкий чавун може вивантажуватись з печі, і в якості матеріалу для одержання сталі в дугову електропіч або кисневий конвертер може подаватись рафіноване залізо, охолоджене до затвердіння. Зокрема, як надзвичайно ефективний також і з економічної точки зору, рекомендується використовувати саме спосіб одержання сталі з подачею, в якості матеріалу для виготовлення сталі, рідкого чавуну, одержаного у описаний вище спосіб, що має високу температуру і менший вміст домішок, що подається у розплавленому стані в електродугову піч або кисневий конвертер, при цьому тепла енергія, наявна в рідкому чавуні, може ефективно використовуватись як джерело тепла для рафінування.

На фіг.1 показаний приклад виконання способу відповідно до винаходу шляхом безперервного відновлення формованого продукту, що містить оксид заліза, об'єднаного з вуглецевим матеріалом, плавлення з електродуговим нагріванням і одержання сталі;

фіг.2 пояснює механізм відновної плавки твердого відновленого заліза, вивантаженого на рідкий шлак у плавильній печі з електродуговим нагріванням;

фіг.3 являє собою графік, що ілюструє приклад взаємозв'язку між рівнем відновлення і часом відновлення для твердого відновленого заліза, одержаного в експерименті;

фіг.4 являє собою графік, що ілюструє приклад взаємозв'язку між рівнем відновлення і витратою енергії в електродуговій плавильній печі для твердого відновленого заліза;

фіг.5 являє собою графік, що ілюструє приклад металізації і розкиду її значень для твердого відновленого заліза;

фіг.6 являє собою графік, що ілюструє взаємозв'язок між вмістом вуглецю у твердому відновленому залізі й вмістом оксиду заліза ( $T. Fe - \text{сумарне } Fe$ ) в рідкому шлаку;

фіг.7 являє собою графік, який ілюструє взаємозв'язок між швидкістю плавлення окремого зразка з твердого відновленого заліза і граничною швидкістю плавлення при безперервному завантаженні;

фіг.8 являє собою графік, який ілюструє взаємозв'язок між вмістом вуглецю і ступенем десульфурізації в рідкому чавуні;

фіг.9 являє собою графік, який ілюструє взаємозв'язок між основністю та температурою плавлення шлаку;

фіг.10 являє собою графік, який ілюструє вагу окремого зразка з твердого відновленого заліза і питомої щільності твердого відновленого заліза.

Нижче винахід буде схематично описано за допомогою повної блок-схеми, яка ілюструє більш прийнятний варіант виконання, а причини визначення параметрів на кожній операції будуть пояснені особливо.

На фіг.1 зображена схематична блок-схема, яка ілюструє безперервний спосіб одержання чавуну і спосіб одержання чавуну/одержання сталі відповідно до винаходу, на якій показані: секція 1 для виготовлення з матеріалу формованого продукту, установка 2 для одержання відновленого заліза, плавильна піч 3 з електродуговим нагріванням і піч 4 для одержання сталі, відповідно. Ряд операцій, показаних стрілкою А, відповідає способу одержання чавуну (виробництва відновленого заліза), у той час як операції, показані стрілкою В відповідають способу виготовлення сталі.

Спочатку, у способі одержання чавуну, у секції виготовлення з матеріалу формованого продукту 1 з використанням в якості сировини джерела оксиду заліза, такого як залізна руда, і порошку вуглецьвмісного відновника, такого як дрібне вугілля або дрібний кокс, виробляються формовані продукти, що містять оксид заліза, об'єднані з вуглецевим матеріалом (гранула або брикет), після чого виготовлені формовані продукти послідовно подаються в установку 2 для відновлення заліза. В якості установки 2 може застосовуватись будь-яка установка, якщо вона має функцію нагрівання формованого продукту, що містить оксид заліза, об'єднаного з вуглецевим матеріалом, (що далі іноді називається просто формованим продуктом) і здійснення відновлення оксиду заліза, що є компонентом формованого продукту, відновною енергією включеного вуглецевого матеріалу і відновною енергією газу  $CO$ , який утворився при згорянні вуглецевого матеріалу, але з обов'язковим зберіганням вихідного твердого стану. Наприклад, може використовуватись установка будь-якої конструкції, наприклад, обертова випалювальна піч або піч з обертовим подом. Установку 2 забезпечено засобами для транспортування формованих продуктів, а також джерелом нагрівання, наприклад пальником, секцією для подачі кисню для горіння і, у разі необхідності, пристроєм для подачі відновного газу, крім того, в установці є термометр або засоби контролю температури, для того, щоб контролювати режим проведення відновлення. На фіг.1 показаний пристрій з обертовим подом, у якому відбувається термічне відновлення формованих продуктів, завантажених з секції завантаження 2a, з одночасним їх переміщенням разом з рухом обертового поду і вивантаженням їх у тому ж твердому стані через наступну секцію вивантаження 2b у момент досягнення попередньо визначеного ступеня відновлення.

Тверде залізо, відновлене в установці 2 для одержання відновленого заліза і вивантажене з неї, потім послідовно, без істотного охолодження, подається в плавильну піч 3 з електродуговим нагріванням, в якій відбувається термічне відновлення оксидів заліза, що залишаються невідновленими у формованих продуктах, і одночасно плавиться відновлене залізо. Оскільки тверде відновлене залізо, вивантажене з установки 2 для одержання відновленого заліза, звичайно нагрівається приблизно, від  $700$  до  $1300^{\circ}C$  і це тепло використовується, в якості джерела нагрівання для плавильної печі з електродуговим нагріванням 3, це може зробити внесок у зниження витрати енергії для електродугового нагрівання.

У використовуваній тут плавильній печі 3 з електродуговим нагріванням здійснюється нагрів рідкого чавуну без посиленого перемішування завдяки застосуванню тепла електричних дуг, ефективного здійснення відновлення і плавлення з одночасним обмеженням, наскільки це можливо, ерозії футерувальних вогнетривів, а дуга включає занурену дугу, що створюється зануренням електродів 3a в шлак, який плаває в плавильній печі 3 на поверхні рідкого чавуну, і подачею електричного струму. Потім, секція завантаження матеріалу (твердого відновленого заліза) 3b розташовується в безпосередній близькості до секції електродугового нагрівання (тобто, в області введення електрода 3a) таким чином, що тверде відновлене залізо, яке завантажується в плавильну піч 3 з електродуговим нагріванням, під дією електродуги швидко відновлюється і плавиться. Далі, навпроти місця завантаження твердого відновленого заліза розташовується секція 3c для додаткового завантаження вуглецьвмісного відновника.

Потім у плавильній печі з дуговим нагріванням 3 при відновленні і плавленні завантаженого твердого відновленого заліза А утворюється рідкий чавун (які іноді також називається "рідкий метал" або "рідке залізо"), який послідовно об'єднується з рідким чавуном, раніше утвореним і накопиченим, а пустопородні компоненти, наявні спільно у твердому відновленому залізі А, перетворюються на рідкий шлак і приєднуються до рідких шлаків, які плавають на поверхні рідкого чавуну. Відповідно, у момент, коли в плавильній печі 3 з електродуговим нагріванням накопичується попередньо визначена кількість рідкого чавуну і рідкого шлаку, рідкий чавун може бути злитим відповідним чином з нижньої позиції на боковій стінці плавильної печі 3, а рідкий шлак може бути злитим відповідним чином з позиції дещо вищій від межі між рідким шлаком і рідким чавуном.

Одержаний у такий спосіб рідкий чавун спрямовується в якості матеріалу для виготовлення сталі, після

очищення, наприклад, відповідної необхідної десульфуризації і дефосфоризації, у піч 4 для одержання сталі. В якості печі 4 для одержання сталі, використовується електродугова піч 4а або кисневий конвертер 4б, в яких виплавка проводиться з завантаженням скрапу або передільного чавуну. У цьому випадку, якщо піч 4 для одержання сталі встановлена суміжно з плавильною піччю 3 з електродуговим нагріванням, рідкий чавун, що знаходиться при високій температурі, може подаватись без істотного зниження температури в якості матеріалу в піч 4 для одержання сталі, в якій наявне в рідкому чавуні тепло може використовуватись в якості джерела тепла при плавленні, і це є найбільш прийнятним з точки зору ефективності нагрівання. Залежно від обставин, рідкий чавун, одержаний у плавильній печі 3 з електродуговим нагріванням, може заливатись в ливарну форму або подібний пристрій, охолоджуватись для затвердіння і з нього може бути одержана готова продукція як вихідний напівфабрикат для виготовлення сталі, або він може завантажуватись в якості матеріалу для одержання сталі в печі, розташованій в іншому місці.

Оскільки рідкий чавун, одержаний у спосіб відповідно до винаходу, як описано раніше, містить меншу кількість домішкових металевих компонентів порівняно з скрапом, він може ефективно використовуватись в якості розріджувача для домішкових металевих компонентів у скрапі шляхом спільного використання у відповідній кількості разом зі скрапом.

Описані вище операції є основними операціями у спосіб відповідно до винаходу і, для ефективного застосування подібних операцій на практиці в промисловому масштабі, надзвичайно важливо контролювати металізацію твердого відновленого заліза, вміст вуглецю у твердому відновленому залізі і питому щільність твердого відновленого заліза в установці для його одержання, також надзвичайно важливо у належний спосіб контролювати вміст вуглецю в рідкому чавуні, одержаному відновною плавкою у плавильній печі 3 з електродуговим нагріванням. Далі це буде описано більш докладно.

Спочатку, коли формовані продукти, що містять оксид заліза, які мають надійти в установку 2 для одержання відновленого заліза, формуються, джерело оксиду заліза, наприклад залізна руда, і кожен з порошків вуглецьвмісних відновників, таких як вугілля або кокс, що виступають в якості матеріалу для формування, змішуються, можливо, разом з відповідною кількістю зв'язуючого, змішаним продуктам надається певна форма з використанням будь-якого пристрою для гранулювання або гранулятора і вони піддаються попередньому спіканню згідно з відповідною відомою технологією. При виготовленні формованих продуктів, для ефективного здійснення відновлення в установці 2 для одержання відновленого заліза, бажано змішувати вуглецьвмісний відновник, що вимагається для одержання заданої кількості вуглецю, разом з джерелом оксиду заліза з урахуванням теоретичної еквівалентної кількості, яка необхідна для відновлення оксиду заліза, і характеристик відновної реакції установки для одержання відновленого заліза. Для одержання твердого відновленого заліза з "металізацією 60% або вище", що важливо для здійснення стабільної роботи у спосіб відповідно до винаходу, домішується вуглецевий матеріал, необхідний для одержання попередньо заданої металізації, а температура атмосфери і час реакції у відновній печі можуть належним чином контролюватися.

Отже, у даному винаході важливим є фактор здійснення металізації до 60% і вище для твердого відновленого заліза, одержаного при попередньому відновленні в установці 2 для одержання відновленого заліза. Тобто, для стабільного й ефективного проведення попереднього відновлення на установці 2 для одержання відновленого заліза і відновлення плавленням у плавильній електродуговій печі 3 на подальшій операції в безперервному процесі, істотним є зниження до мінімуму розкиду значень металізації твердого відновленого заліза, що подається від установки 2 для одержання відновленого заліза до електродугової плавильної печі 3. Якщо металізація значно варіюється, важко контролювати робочі параметри, такі як вуглецьвмісний відновник, додатково завантажений у плавильну піч 3 і робочі параметри, наприклад, параметр нагрівання, і, отже, це ускладнює швидку відновну плавку твердого відновленого заліза і також ускладнює контроль за вмістом вуглецю в рідкому чавуні.

Тобто, якщо металізація твердого відновленого заліза, що подається в плавильну електродугову піч 3, складає 60% або менше, для компенсації теплоти, необхідної для відновлення (ендотермічна реакція) невідновленого оксиду заліза, що залишається у твердому відновленому залізі, у плавильну піч 3 потрібно подавати велику кількість тепла. Якщо говорити більш конкретно, на електрод для дугового нагрівання має подаватись велика кількість електричної енергії, що значно збільшує навантаження на плавильну піч по операції відновлення; також стає значною ерозія вогнетривкої футерівки плавильної печі, що призводить до дуже сильного скорочення терміна служби плавильної печі 3, ускладнюючи її практичне застосування в промисловому масштабі. При цьому, якщо металізація твердого відновленого заліза збільшується до 60% і вище, а більш прийнятно до 70% і вище, у плавильній електродуговій печі 3 не виникає зайвого навантаження, пов'язаного з операцією відновлення, вищевказані проблеми можуть бути усунені і може проводитися м'яка відновна плавка.

Не існує особливих обмежень на конкретні засоби збільшення металізації твердого відновленого заліза, одержаного в установці 2 для одержання відновленого заліза, до 60% і більше, це може досягатись відповідним контролем домішуваної кількості вуглецьвмісного відновника при виробництві формованих продуктів (еквівалентне співвідношення відносно компонента оксиду заліза) і параметрів попереднього відновлення в установці 2 для одержання відновленого заліза (температура, відновний потенціал, час обробки тощо). Що стосується параметрів, якщо взаємозв'язок між параметрами і металізацією раніше досліджено в попередньому експерименті, і вони застосовані в реальному процесі, попередньо визначену металізацію можна легко досягти без виникнення значного розкиду значень.

Далі, для твердого відновленого заліза, що подається в плавильну піч 3 з електродуговим нагріванням, важливо контролювати його питому щільність, яка повинна мати значення 1,7 або вище, та забезпечити вміст вуглецю у твердому відновленому залізі на рівні 50% або вище відносно теоретичної еквівалентної кількості, необхідної для відновлення оксиду заліза, що залишається у твердому відновленому залізі.

Причини задання визначених вище показників описані нижче. Зокрема: тверде відновлене залізо А, яке повинно бути завантажене в плавильну електродугову піч 3, завантажується, наприклад, як показано на фіг.2, на рідкий шлак S, який вже утворився в плавильній печі 3 і плаває на поверхні рідкого металу. Для швидкого здійснення відновлення шляхом ефективного нагрівання твердого відновленого заліза А електродугою, необхідно, щоб тверде відновлене залізо А було занурене в рідкий шлак S і сприймало

тепло всією поверхнею. В результаті різних експериментів підтверджено, що тверде відновлене залізо А швидко занурюється в рідкий шлак і відновлення може відбуватися швидко, якщо його питома щільність становить 1,7 або вище, вміст вуглецю в твердому відновленому залізі складає 50% або вище відносно теоретичної еквівалентної кількості, яка потрібна для відновлення оксиду заліза, що залишилося у твердому відновлюваному залізі А.

Питома щільність шлаку в основному складає, приблизно, від 2,4 до 2,7, і причина, у силу якої тверде відновлене залізо А, що має питому щільність близько 1,8, занурюється в рідкий шлак S, як передбачається, є такою. А саме: тверде відновлене залізо А, завантажене в рідкий шлак S у плавильній печі 3, сприймає тепло від поверхні рідкого шлаку S і переважна кількість газу CO і менша кількість газу CO<sub>2</sub> вивільнюється по периферії твердого відновленого заліза А в результаті реакції відновлення, зумовленої вуглецьвмісним відновником, що залишається всередині, та ці гази потім перемішуються в рідкому шлаку S з утворенням піни (див. фіг.2А) і питома щільність рідкого шлаку S знижується. Потім, у міру того, як тверде відновлене залізо А далі занурюється в рідкий шлак S (фіг.2В), кількість газу, що виділяється з твердого відновленого заліза, збільшується, і із збільшенням кількості газу, вивільненого з твердого відновленого заліза А, піноутворення в рідкому шлаку S стає більш інтенсивним. Потім питома щільність знижується, а тверде відновлене залізо А все глибше опускається в рідкий шлак S і в момент повного занурення в шлак сприймає тепло рідкого шлаку S вже усією своєю поверхнею (фіг.2С), і тверде відновлене залізо А швидко відновлюється і плавиться. Потім розплавлене залізо послідовно потрапляє в розплавлене залізо Fe, а побічні шлакові компоненти, що утворилися при цьому, послідовно потрапляють у розплавлений шлак S.

У цьому випадку, якщо питома щільність твердого відновленого заліза становить менше 1,7, тверде відновлене залізо А, вивантажене на рідкий шлак S під час нагрівання в електродуговій плавильній печі 3, не занурюється в рідкий шлак S, а плаває у вихідному стані на його поверхні, як показано на фіг.2А, при цьому область контакту з рідким шлаком S зменшується, знижуючи теплову ефективність, і швидкість реакції відновлення знижується, збільшуючи час обробки. В результаті продуктивність значно знижується і стає важко застосувати процес на практиці з досягненням промислової й економічної ефективності.

І навпаки, якщо питома щільність твердого відновленого заліза А становить 1,7 або більше, а більш прийнятно 1,8 або вище, і ще більш прийнятно 1,9 або вище, то тверде відновлене залізо А, завантажене на рідкий шлак S опускається в нього за надзвичайно короткий період часу, завдяки різниці питомих щільностей, як показано на фіг.2В і фіг.2С, та сприймає тепло рідкого шлаку S усією своєю поверхнею і відновлення відбувається швидко, при цьому ефективність відновлення значно покращується й у результаті відновна реакція завершується швидко. Тим часом, кількість оксиду заліза, що розплавився в рідкому шлаку, S також знижується до мінімуму й ерозія футерувальних вогнетривів також може бути зведена до мінімуму.

Для ефективності відновлення твердого відновленого заліза А надзвичайно важлива ефективність передачі тепла дуг, яке, як описано вище, передається рідким шлаком S. Навіть коли питома щільність є задовільною, якщо кількість вуглецьвмісного відновника, що міститься у твердому відновленому залізі А, є недостатньою, задовільна ефективність відновлення не може бути досягнута. У плавильну піч 3 також можна додатково завантажувати вуглецьвмісний відновник, що потрібен для відновлення, окремо від твердого відновленого заліза А, але вуглецьвмісний відновник, завантажений додатково, подається, переважно, на периферію твердого відновленого заліза А, і не проникає всередину твердого відновленого заліза А, тому, якщо воно не знаходиться в розплавленому стані, не може досягати ефективна відновна сила, і рівень відновлення твердого відновленого заліза А залежить від кількості вуглецьвмісного відновника, присутнього в твердому відновлюваному залізі А.

З описаної вище точки зору, в результаті вивчення впливу кількості вуглецьвмісного відновника, що міститься у твердому відновленому залізі А, як іншого чинника для ефективного проведення термічного відновлення твердого відновленого заліза А, завантаженого в плавильну піч 3, за короткий період часу, виявлено, що відновлення оксиду заліза у твердому відновленому залізі А відбувається швидко, при підведенні тепла ззовні для досягнення високої ефективності відновлення і плавлення, якщо вміст вуглецю у твердому відновленому залізі А задається на рівні 50% або більше, і більш прийнятно 70% або більше відносно теоретичної еквівалентної кількості, необхідної для відновлення оксидів заліза, які залишаються у твердому відновленому залізі А.

Як варіант, можна задати вміст вуглецю на рівні 100% або більше. Однак, підтверджено, що, якщо існує нестача вмісту вуглецю, що дорівнює близько 50%, то навряд чи виникають практичні проблеми, оскільки оксид заліза в невідновленому стані, який переходить у рідкий стан при плавленні твердого відновленого заліза А, швидко відновлюється завдяки окремому додатковому завантаженню вуглецьвмісного відновника з метою компенсації нестачі вуглецевого компонента. Відповідно, якщо вміст вуглецю у твердому відновленому залізі А, подаваному в плавильну піч з дуговим нагріванням 3, менше 100% відносно теоретичного еквівалентного компонента, необхідного для відновлення оксиду заліза, що залишається в невідновленому стані, то компенсуючий нестачу об'єм вуглецю може завантажуватись додатково як вуглецьвмісний відновник окремо в безпосередній близькості від області завантаження твердого відновленого заліза А.

Оскільки питома щільність твердого відновленого заліза, одержаного в установці для одержання відновленого заліза, змінюється залежно від властивостей і міри перемішування сировини, що подається в цю установку, та параметрів відновлення в цій установці (особливо температури атмосфери або часу), взаємозв'язок між параметрами і питомою щільністю заздалегідь підтверджується попереднім експериментом і відповідно до цього можуть бути встановлені оптимальні параметри.

Далі залишкова кількість вуглецю у твердому відновленому залізі може бути відрегульована за допомогою точно відомих характеристик відновлення в установці для одержання відновленого заліза, визначення змішуваної кількості з одночасним урахуванням характеристик відновної реакції, що відповідають їй, виходячи з типів і складів змішуваних матеріалів, і належного контролю параметрів відновлення (температура, час, склад газу атмосфери).

Далі необхідно пояснити причину регулювання вмісту вуглецю в рідкому чавуні А, одержаному в плавильній печі з дуговим нагріванням 3, в діапазоні від 1,5 до 4,5%.

При одержанні відновленого заліза з формованих продуктів, що містять оксид вуглецю, об'єднаних з вуглецьвмісним відновником, приблизно 70% вмісту сірки, наявної у вуглецьвмісному відновнику, такому як вугілля, звичайно залишається у відновленому залізі. Отже, коли відновлене залізо розплавляється у плавильній печі, особливо, коли плавиться відновлене залізо з низькою металізацією, важко очікувати десульфурізації в плавильній печі, і, таким чином, велика частина сірки, внесеної в плавильну піч, переноситься в рідкий чавун, що призводить до виробництва рідкого чавуну з високим вмістом S.

Сірка, що міститься в рідкому чавуні, може бути вилучена після випуску плавки з плавильної печі в ковші, головним чином, з використанням вапняного флюсу. Однак, якщо вміст вуглецю [C] у розплавленому чавуні менше 1,5%, то рівень вмісту кисню [O], наявного у рівноважному стані в рідкому чавуні збільшується, ефективність наступної десульфурізації значно погіршується. Відповідно, щоб підвищити ефективність десульфурізації і сприяти виробництву рідкого чавуну з низьким вмістом S, необхідно збільшити [C] у рідкому чавуні, зробленому в плавильній печі з дуговим нагріванням 3, до 1,5% або вище. Однак, [C] у рідкому чавуні досягає по суті насичення при величині близько 4,5% і, для стабільного одержання рідкого чавуну з насиченим [C], необхідно завантажувати надто зайву кількість вуглецьвмісного відновника у плавильну піч, так що вуглецьвмісний відновник завжди є присутнім у кількості, приблизно, 10% і вище в шлаку печі, що збільшує витрати на вуглецьвмісний відновник і також збільшує навантаження з зневуглюцювання при подальшій виплавці, що є небажаним. Для підвищення стабільності процесу, особливо прийнятною нижньою межею для вмісту вуглецю в рідкому чавуні є 2,0%, а більш прийнятною верхньою межею - 3,5%.

Не існує особливих обмежень щодо конкретного способу контролю кількості вуглецю в рідкому чавуні, одержаному в плавильній печі з електродуговим нагріванням 3 у зазначеному вище діапазоні від 1,5 до 4,5%. Можна попередньо визначити оптимальні параметри для забезпечення необхідної кількості вуглецю за допомогою попереднього експерименту (кількість вуглецевого матеріалу, включеного при виробництві формованих продуктів, параметри попереднього відновлення в установці для одержання відновленого заліза, кількість додатково завантажуваного вуглецьвмісного відновника і робочі параметри плавильної печі з електродуговим нагріванням), та проводити процес з додержанням визначених у такий спосіб параметрів. Однак якість джерела оксиду заліза і вуглецьвмісного відновника як сировини для формованих продуктів не завжди є стабільною і звичайно значно коливається, так що, для одержання рідкого чавуну з стабільним вмістом вуглецю в підходящому діапазоні незалежно від подібного чинника мінливості, бажано застосовувати, наприклад, такі способи.

1. Спосіб відбору проб рідкого чавуну з плавильної печі з електродуговим нагріванням з контролем додаткової кількості вуглецьвмісного відновника при аналізі рідкого чавуну і вимірюванням фактичної кількості вуглецю в рідкому чавуні.

2. Спосіб вимірювання складу і кількості відхідних газів, які вийшли з плавильної печі з електродуговим нагріванням, з визначенням вмісту вуглецю в рідкому чавуні шляхом обчислення, виходячи з еквівалентної кількості кисню у відхідних газах, розрахованої на основі виміряного значення, і контролем кількості вуглецьвмісного відновника, що повинен додатково завантажуватись відповідно до вмісту вуглецю.

До речі, коли тверде відновлене залізо одночасно відновлюється і плавиться в плавильній печі з електродуговим нагріванням, рідкі шлаки, утворені з пустої породи компонентів у твердому відновленому залізі, спливають на поверхню рідкого чавуну. На практиці є надзвичайно ефективним здійснювати відповідний контроль основності рідкого шлаку й вмісту в ньому оксиду заліза для підвищення таких якостей рідких шлаків плавильної печі, як ефективність відновлення й ефективність відділення, або для пригнічення ерозії вогнетривкої футерівки плавильної печі. При застосуванні даного винаходу на практиці, бажано, щоб основність рідкого шлаку підтримувалася в діапазоні від 1,0 до 1,8 (більш прийнятною нижня межа дорівнює 1,1 і більш прийнятною верхня межа становить 1,5), сумарний вміст заліза (T. Fe) (сумарне вміст заліза, наявного як оксид заліза) у рідкому шлаку підтримується на рівні до 9% або нижче, більш прийнятно 5% або нижче.

Основність шлаку є одним з фундаментальних і типових показників, що характеризують властивості шлаку, і подається співвідношенням  $\text{CaO}$  і  $\text{SiO}_2$ , як типових інгредієнтів, що містяться в рідкому шлаку, а саме:  $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ . Якщо основність розплавленого шлаку перевищує 1,8, температура плавлення шлаків різко підвищується з результатом зниження рідкоплинності, і м'яке проведення відновлення і плавки в плавильній печі ускладнюється, якщо спеціально не підвищити температуру рідкого чавуну. Далі, якщо основність менша від 1,0, то збільшується ерозія футерувальних вогнетривів. Далі, ерозія футерувальних вогнетривів у плавильній печі збільшується в міру того, як збільшується кількість оксиду заліза в рідкому шлаку. Така тенденція помітно розвивається, якщо (T. Fe) у рідкому шлаку перевищує 9%. Відповідно, для ефективного продовження відновлення і плавлення твердого відновленого заліза в плавильній печі за короткий період часу і збільшення терміну служби плавильної печі шляхом зниження до мінімуму ерозії вогнетривкої футерівки в плавильній печі, бажано відбирати проби рідких шлаків належним чином на етапі відновної плавки твердого відновленого заліза в плавильній печі з дуговим нагріванням, вимірювати основність і кількість (T. Fe), належним чином підтримувати основність шлаку в потрібному діапазоні шляхом додавання регулюючих її агентів ( $\text{CaO}$  або  $\text{SiO}_2$ ), або контролювати кількість додаткового вуглецьвмісного відновника для стримування кількості (T. Fe) у розплавленому шлаку.

Шляхом описаного вище відновлення і плавлення в плавильній печі з електродуговим нагріванням 3, може бути одержаний рідкий чавун з вмістом вуглецю від 1,5 до 4,5% і вмістом Si приблизно 0,05% або менше. Хоча якісь моменти можуть змінитися залежно від вмісту [C] у рідкому чавуні, рідкий чавун може відразу ж подаватись у розплавленому стані при температурі близько 1350°C і вище, у піч для одержання сталі, наприклад, електродугову електропіч або кисневий конвертер, або може заливатись у форму, охолоджуватись для затвердіння і потім використовуватись як напівфабрикат для виготовлення сталі, як пояснено з посиланням на фіг.1. Однак, оскільки в рідкому чавуні, одержаному як описано вище, міститься багато сірки і фосфору, бажано, перед доставкою на стадію одержання сталі попередньо вилучити сірку і фосфор.

В якості більш прийнятного способу десульфурізації, що підходить для цієї цілі, можна згадати, наприклад, спосіб випуску рідкого чавуну, одержаного в плавильній печі 3, у ківш або подібний пристрій,

додавання до нього вапняного флюсу для десульфуризації, більш прийнятно введення вапняного флюсу разом з інертним газом у рідкий метал, використовуючи занурену продувну трубку, поглинання сірки флюсом, і подальшого відділення і вилучення як шлаків з поверхні рідкого чавуну. Далі, в якості більш прийнятного способу дефосфоризації, тут може згадуватись, наприклад, спосіб подачі твердого джерела кисню (оксид заліза або подібний матеріал) або газоподібного джерела кисню (кисень, повітря і т.і.) разом з вапняним флюсом у рідкий чавун, випущений у ківш або подібний пристрій, більш прийнятного окислювання фосфорного компонента, поглинання його флюсом з подальшим спливанням на поверхню рідкого чавуну для відділення. Не існує особливих обмежень для описаних вище способів десульфуризації і дефосфоризації, але, звичайно, можливо застосувати й інші відомі способи десульфуризації і дефосфоризації. Проте, використання останнього способу дефосфоризації є більш прийнятним, оскільки [Si] у рідкому чавуні, одержаному в плавильній печі, на відміну від відомого доменного передільного чавуну, складає усього лише 0,05% або нижче, як зазначено раніше, і може забезпечуватись високий рівень дефосфоризації без особливої десиліконізації.

Проведення описаних вище десульфуризації і дефосфоризації може дати рідкий чавун високої чистоти, що містить від 1,5 до 4,5% [C], близько 0,05% або менше [Si], близько 0,1% або менше [Mn], близько 0,05% або менше [S], близько 0,04% або менше [P] і по суті рівноважне Fe, який надзвичайно ефективно може використовуватись в якості сировини для виготовлення сталі. Зокрема, оскільки одержаний у такий спосіб рідкий чавун має високу чистоту заліза з надзвичайно малим вмістом інших домішкових металевих компонентів, то, якщо він використовується як матеріал для виготовлення сталі, наприклад, з часткою близько 20-50% разом з іншим джерелом заліза (скрап або передільний чавун), він діє як розріджувач для домішкових металевих компонентів, які надходять з скрапу з метою одержання сталей з меншим вмістом домішкових металевих компонентів. Звичайно, частка відновленого заліза, що використовується в комбінації, може вибиратись поза зазначеним вище діапазоном, залежно від вмісту домішкових металевих компонентів у використовуваному разом з ним скрапі, або може використовуватись 100-відсоткове відновлене залізо для ефективного одержання сталей з високою чистотою заліза, і далі, на останній стадії виготовлення сталі з використанням електродугової печі або кисневого конвертера, для виробництва легованих сталей, безсумнівно, додаються інші металеві компоненти.

У будь-якому випадку, оскільки відновлене залізо, одержане відповідно до винаходу, має істотну відмінність, яка полягає в тому, що вміст домішкового металу надзвичайно малий, перевага такої особливості дозволяє використовувати його в основному при одержанні сталей або різних сортів легованих сталей.

Далі буде більш докладно описане обґрунтування для задання відповідно "металізації твердого відновленого заліза: 60% або вище", "вмісту вуглецю у твердому відновленому залізі: 50% або більше від теоретичної еквівалентної кількості, що потрібна для відновлення оксиду заліза, що залишається у твердому відновленому залізі (яка далі іноді називається "кількість вуглецю, еквівалентна необхідній для відновлення FeO)", "питомої щільності твердого відновленого заліза: 1,7 або вище" і "вмісту вуглецю в рідкому чавуні, виробленому в плавильній печі з дуговим нагріванням: 1,5%-4,5%".

Обґрунтування задання "металізації твердого відновленого заліза: 60% або вище"

Крива металізації твердого відновленого заліза, виготовленого в установці для одержання по виробництву відновленого заліза, зрозуміло, змінюється залежно від складу і співвідношення змішування сировини оксиду заліза і вуглецьвмісного відновника і далі від параметрів відновлення. Крива металізації виявляє тенденцію, наприклад, як показано на фіг.3.

На кривій 1 на фіг.3, точка А означає металізацію 76% і кількість залишкового вуглецю 4,8%, а точка В означає металізацію 85% і кількість залишкового вуглецю 1,6%. Кількість залишкового вуглецю становить 142% у точці А і 63,5% у точці В відносно кількості вуглецю, еквівалентній потрібній для відновлення FeO, і залишкова кількість вуглецю в процесі відновлення згодом знижується. Крива 2 на фіг.3 являє приклад установки більш низького рівня металізації твердого відновленого заліза шляхом зміни співвідношення змішування вихідних матеріалів. У будь-якому випадку, металізація спочатку різко зростає в міру проходження часу відновлення, і темп зростання сповільнюється в міру збільшення металізації з часом.

До речі, у безперервному процесі одержання твердого відновленого заліза і його відновної плавки, застосованому в даному винаході, металізація твердого відновленого заліза, виготовленого в установці для одержання відновленого заліза, справляє значний ефект на працездатність плавильної печі з дуговим нагріванням (яка далі називається "електродуговою плавильною піччю"). Наприклад, на фіг.4 поданий графік, який ілюструє взаємозв'язок між металізацією твердого відновленого заліза і споживанням енергії в процесі відновної плавки оксиду заліза в електродуговій плавильній печі. При проведенні безперервного процесу в установці для одержання відновленого заліза і електродуговій плавильній печі, важливо забезпечити стабільну роботу електродугової плавильної печі. В міру збільшення електричної енергії, що надходить в електродугову плавильну піч, теплове навантаження на електрод неминуче зростає і збільшує термічний вплив, що справляється на вогнетривку футерівку плавильної печі. Отже, розмір корпусу печі повинен бути збільшений для того, щоб зменшити термічний вплив на електродний пристрій і стінку печі, що погано як з практичної, так і з економічної точок зору.

У звичайній електродуговій плавильній печі така проблема стає помітною, коли споживання енергії перевищує 800кВт-год на тонну рідкого чавуну. Відповідно, щоб усунути описану вище проблему, металізація твердого відновленого заліза, що подається в електродугову плавильну піч, підтримується на рівні 60% або вище, більш прийнятно 70% або вище.

Далі, розкиди значень металізації твердого відновленого заліза, одержаного в установці для одержання відновленого заліза, значною мірою піддаються впливу абсолютного значення металізації і збільшуються в міру зниження металізації. До речі, на фіг.5 поданий графік, який ілюструє результат дослідження розкидів значень металізації для твердого відновленого заліза з середнім значенням металізації 62,8% і 80,2%. Можна підтвердити, що розкид стає значним у міру зниження металізації. У реальному процесі, оскільки намічена металізація сама по собі стає нестабільною в міру збільшення розкиду її значень, необхідно встановлювати більш високу металізацію для того, щоб забезпечити досягнення стабільної наміченої металізації. У результаті різних експериментів підтверджено, що середнє значення металізації повинно

бути 60% або вище, а більш прийнятно 70% або вище, щоб обмежити розкид її значень до рівня, при якому можливий реальний процес.

Обґрунтування завдання "вміст вуглецю у твердому відновленому залізі: 50% і вище від кількості вуглецю, еквівалентної необхідній для відновлення FeO"

На фіг.6 поданий графік, що показує результат дослідження взаємозв'язку між кількістю вуглецю, еквівалентною необхідній для відновлення FeO, у твердому відновленому залізі й вмістом оксиду заліза в рідкому шлаку, для твердого відновленого заліза, одержаного в різних умовах. У цьому експерименті, використовується тверде відновлене залізо, що має металізацію від 78 до 82% і різну частку вуглецю від еквівалентної кількості, потрібної для відновлення FeO, а вміст оксиду заліза (Т. Fe) у рідкому шлаку виміряний при плавленні в 20-тонній електродуговій плавильній печі. Як очевидно також і з креслення, можна підтвердити, що коли кількість вуглецю, еквівалентна необхідній для відновлення FeO (теоретична еквівалентна кількість вуглецю, потрібна для відновлення невідновленого оксиду заліза) міститься у твердому відновленому залізі, (Т. Fe) у рідкому шлаку обмежується низьким рівнем, але якщо вміст вуглецю менший від 50% від кількості вуглецю, еквівалентної необхідній для відновлення FeO (кількість вуглецю, еквівалентна необхідній для відновлення FeO  $\times 0,5$ ), то (Т. Fe) у розплавленому шлаку різко підвищується і, отже, стає значною ерозія футерувальних вогнетривів. Відповідно, для зниження ерозії футерувальних вогнетривів до мінімуму, щоб забезпечити стабільну роботу, вміст вуглецю у твердому відновленому залізі повинен бути 50% або вище від кількості вуглецю, еквівалентної потрібній для відновлення FeO.

У цьому експерименті, для підтримання вмісту вуглецю в рідкому чавуні, одержаному в електродуговій плавильній печі, у діапазоні від 2,1 до 2,4, для компенсації нестачі в електродугову плавильну піч додатково завантажуються вуглецевий матеріал, але (Т. Fe) у рідкому шлаку не може бути значно зменшений, якщо залишковий рівень вуглецю в самому твердому відновленому залізі не становить 50% і вище від кількості вуглецю, еквівалентної необхідній для відновлення FeO, більш прийнятно, незважаючи на таку ж кількість додаткового вуглецевого матеріалу. Можна, звичайно, вважати можливим знизити (Т. Fe) у рідкому шлаку шляхом додаткового завантаження для оксиду заліза, що залишається у твердому відновленому залізі, вуглецевого матеріалу, у кількості, достатній для забезпечення кількості вуглецю, еквівалентної потрібній для відновлення, і забезпечення наміченого вмісту вуглецю у відновленому рідкому чавуні. Однак, насправді надзвичайно важко підтримувати вміст вуглецю в рідкому чавуні на постійному рівні, меншому, ніж рівень насичення вуглецем, вміст вуглецю в рідкому чавуні збільшується поступово по ходу часу обробки, роблячи неможливим одержати розплавлений чавун з наміченим вмістом вуглецю, що є небажаним.

Обґрунтування завдання "питомої щільності твердого відновленого заліза: 1,7 або вище"

У випадку застосування способу, запропонованого відповідно до винаходу, для одержання твердого відновленого заліза шляхом попереднього відновлення у твердому стані формованого продукту, що містить оксид заліза, об'єднаного з вуглецевим матеріалом, оскільки при здійсненні попереднього відновлення всередині кожного з формованих продуктів утворюються порожнечі, кількість яких залежить від того, скільки вуглецевого або подібного матеріалу домішано, то питома щільність твердого відновленого заліза є значно нижчою порівняно з питомою щільністю попередньо відновленого заліза, виготовленого, наприклад, MIDREX - процесом.

З іншого боку, як пояснено на фіг.2, для того, щоб підвищити ефективність відновлення та плавлення твердого відновленого заліза при відновленні і плавленні його в електродуговій плавильній печі, необхідно, щоб тверде відновлене залізо, завантажене в електродугову плавильну піч, швидко опускалося в рідкий шлак, який плаває на поверхні рідкого чавуну, і ефективно сприймало тепло, створюване електричною дугою всією поверхнею. Для цієї мети питома щільність твердого відновленого заліза має велике значення. До речі, на фіг.7 поданий графік, який показує результат дослідження впливу питомої щільності твердого відновленого заліза на швидкість відновлення і плавлення при проведенні відновлення і плавлення в електродуговій плавильній печі з використанням твердого відновленого заліза, що має питому щільність від 1,60 до 1,75 (середня питома щільність: 1,65) та від 1,8 до 2,3 (середня питома щільність: 2,1), на графіку абсциса представляє швидкість плавлення, коли кожен з зразків твердого відновленого заліза вивантажується окремо на рідкий шлак, а ордината представляє граничну швидкість плавлення, при якій зразки можуть вивантажуватися для відновної плавки безперервно.

Як видно з креслення, у випадку твердого відновленого заліза з середньою питомою щільністю 1,65, якщо воно вивантажується на рідкий шлак безперервно, явище занурення твердого відновленого заліза в шлак не спостерігається і велика його частина піддається відновленню і плавленню на поверхні рідкого шлаку. Відповідно, швидкість плавлення при безперервному завантаженні твердого відновленого заліза майже в 100 разів більша від швидкості плавлення, коли воно завантажуються окремо. При швидкості плавлення на даному рівні, відновлення і плавлення з безперервним завантаженням не може бути реалізоване в практичному масштабі. З іншого боку, для твердого відновленого заліза з середньою питомою щільністю 2,1, тверде відновлене залізо, завантажене на рідкий шлак, швидко занурюється в шлак і відновлення та плавлення відбувається ефективно, так що швидкість плавлення при безперервному завантаженні значно збільшується порівняно з випадком окремого завантаження, і може бути досягнута майже в 300 разів більша швидкість безперервного плавлення. При швидкості плавлення на даному рівні, безперервна відновна плавка може ефективно використовуватись в промисловому масштабі.

Що стосується впливу питомої щільності твердого відновленого заліза, то умови плавлення значною мірою змінюються при середній питомій щільності 1,7, що являє собою межу, на якій швидкість безперервного плавлення різко змінюється. Отже, якщо середня питома щільність менше 1,7, то не може досягатись швидкість плавлення, здатна забезпечити безперервний процес у промисловому масштабі, і швидкість плавлення, достатня для проведення безперервного процесу, може гарантуватись при середній питомій щільності 1,7 або вище, а більш прийнятно 1,9 або вище.

Обґрунтування завдання "вміст вуглецю в розплавленому чавуні, одержаному в плавильній печі з електродуговим нагріванням: 1,5%-4,5%"

У загальному випадку, для рідкого чавуну існує тісний взаємозв'язок між кількістю вуглецю і розчиненою кількістю кисню, при якому кількість розчиненого в рідкому чавуні кисню збільшується в міру зменшення в



рідкому чавуні кількості вуглецю. Потім, чим більша кількість розчиненого кисню, тим вищий кисневий потенціал рідкого чавуну, що є недоліком при десульфуризації. Водночас, кисневий потенціал рідкого шлаку, рівноважного з рідким чавуном також вищий і, отже, вміст FeO у рідкому шлаку підвищується, збільшуючи його хімічну активність щодо вогнетривів, що призводить до великої ерозії вогнетривкої футерівки плавильної печі. Отже, необхідно задати вміст вуглецю в рідкому чавуні дещо вищим, щоб збільшити ступінь десульфуризації при її проведенні та обмежити ерозію вогнетривкої футерівки плавильної печі для збільшення терміну її служби.

На фіг.8 поданий графік, на якому спільно наведені взаємозв'язки для рідкого чавуну між вмістом вуглецю і ступенем десульфуризації, одержані в різних експериментах. У даному експерименті застосований спосіб введення в рідкий чавун, що знаходиться в ковші, агента десульфуризації з групи сполук CaO, і на кресленні подані дані, які відбивають стан, коли витрата агента десульфуризації встановлюється на постійний рівень. Як очевидно з креслення, коли вміст вуглецю в рідкому чавуні складає менше 1,5%, для того, щоб гарантувати намічений ступінь десульфуризації, повинні вводитися агенти десульфуризації, і в результаті велика кількість рафінованого заліза переходить у шлак, який утворюється у великій кількості, що збільшує втрату заліза. Тобто, щоб зробити можливим застосування даного винаходу в практичному масштабі, необхідно також розглянути додаткові проблеми, наприклад, проблему обробки шлаку, поява якого зумовлена десульфуризацією, і проблему вмісту вуглецю в рідкому чавуні, що повинен складати 1,5% або вище, більш прийнятно 2,0% або вище, щоб задовільно проводити десульфуризацію в ковші з меншою витратою десульфуризатора.

Однак вміст вуглецю в рідкому чавуні досягає насичення, приблизно, при 4,5% і для одержання рідкого чавуну, насиченого вуглецем, необхідно використовувати додаткову кількість вуглецьвмісного відновника, що не є економічним. Крім того, оскільки при подальшому рафінуванні також збільшується навантаження по розкисленню, то вміст вуглецю більш прийнятно обмежується рівнем 4,5% або менше, більш прийнятно 3,5% або менше.

"Основність розплавленого шлаку: 1,0-1,8"

Хоча ця основність (співвідношення  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) не є істотним параметром для даного винаходу, вона справляє чималий вплив на ефективність відновної плавки твердого відновленого заліза в електродуговій плавильній печі і також справляє значний ефект на ерозію футерувальних вогнетривів плавильної печі.

Тобто, основність розплавленого шлаку справляє значний ефект на його рідкоплинність і, наприклад, як показано на фіг.9, у міру зниження основності температура плавлення шлаку знижується, підвищуючи його рідкоплинність, що справляє більш прийнятний вплив на ефективність відновної плавки твердого відновленого заліза, у той же час хімічна активність щодо вогнетриву підвищується, що призводить до великої ерозії футерівки. З іншого боку, у міру підвищення основності, температура плавлення зростає і, відповідно, температура в печі повинна бути надто підвищена, для того, щоб розплавити шлак, що справляє негативний ефект з точки зору теплової енергії і, крім того, через високу температуру також підвищується термічний вплив на корпус печі. Така тенденція, як показано на фіг.9, стає помітною, коли основність шлаку становить менше 1,0 або перевищує 1,8, тому основність рідкого шлаку в електродуговій плавильній печі бажано підтримувати в діапазоні від 1,0 до 1,8, більш прийнятно 1,3 до 1,6.

Нижче наведені приклади виконання винаходу. Винахід не обмежується цими прикладами і на практиці може реалізовуватись з відповідними змінами, які не виходять за межі обсягу винаходу і знаходяться в його технічному діапазоні.

#### ПРИКЛАДИ

Продукти, одержані в результаті здрібнювання на порошок залізної руди, вугілля і невеликої кількості зв'язувального матеріалу (бентоніт) використовуються і змішуються таким чином, що вуглець у вугіллі знаходиться в теоретичній еквівалентній кількості з оксидом заліза в залізних рудах. Вони пройшли формування, переважно в сферичну форму з діаметром приблизно від 13 до 20мм у пристрої для гранулювання, після чого формовані продукти, які містять оксид заліза, об'єднані з вуглецевим матеріалом, використовуються як неспечені формовані продукти. Приклад складу використаних залізної руди і вугілля наведений нижче.

Склад залізної руди:

T. Fe = 65%, FeO = 0,7%,  $\text{SiO}_2$  = 2,5%

$\text{Al}_2\text{O}_3$  = 2,10%, CaO = 0,04%

Склад вугілля:

Сумарний вміст вуглецю = 77,6%, зв'язаний вуглець = 71,2% леткий компонент = 17,0%, зола = 11,8%

Для виробництва відновленого заліза формовані продукти (неспечені гранули) були подані в установку для одержання відновленого заліза, яка належить до типу з обертовим подом, і відновлення проводилось при температурі від 1250 до 1350°C протягом середнього часу витримки в обертовій печі від 7 до 9хв. Кількість невідновленого оксиду заліза і кількість залишкового вуглецю в результуючому твердому відновленому залізі змінюється залежно від параметрів термічного відновлення. У цьому прикладі, параметри термічного відновлення підтримувалися такими, щоб металізація для оксиду заліза у твердому відновленому залізі складала 60% або більше у кожному випадку. У таблиці наведений приклад металізації і складу твердого відновленого заліза. Далі, вага і питома щільність твердого відновленого заліза, одержаного в подібному експерименті, є, наприклад, такими як показано на фіг.10, на якому середня питома щільність знаходиться в діапазоні від 1,7 до 2,5 і значною мірою залежить від ваги зразка.

Таблиця

№	Металізація, %	Сумарне залізо, T. Fe, %	Чисте залізо, M. Fe, %	FeO, %	$C_{eq}$ , %	$C_{eq}/2$ , %
1	92	85,1	78,3	8,9	1,5	0,7
2	90	84,4	76,0	11,0	1,8	0,9
3	80	80,8	64,7	21,1	3,5	1,8
4	70	77,5	54,3	30,3	5,1	2,5

5	60	74,5	44,7	38,8	6,5	3,2
6	50	71,7	35,9	46,7	7,8	3,9
7	40	69,1	27,6	54,0	9,0	4,5

Примітка: Seq - кількість вуглецю, еквівалентна необхідній для відновлення FeO;  
Seq/2 - 1/2 від кількості вуглецю, еквівалентної необхідній для відновлення FeO.

Тверде відновлене залізо, одержане в установці для одержання відновленого заліза, безперервно завантажувалося в такий спосіб, щоб його контакт з атмосферним повітрям був мінімальним, а температура зберігалася високою (1000°C у даному експерименті), у плавильну піч з електродуговим нагріванням, розташовану суміжно з установкою для одержання відновленого заліза і піддавалося подальшому відновленню і плавленню. У цьому випадку в плавильній печі підтримувалася заздалегідь визначена кількість рідкого чавуну, основність рідкого шлаку, що плаває на поверхні рідкого чавуну, регулювалася в діапазоні від 1,0 до 1,8, струм подавався в умовах занурення електродів для електродугового нагрівання в рідкий шлак, і використовувалася система нагрівання зануреною дугою. Потім, тверде відновлене залізо завантажувалося в безпосередній близькості від області дугового нагрівання, вугілля додатково завантажувалося з місця завантаження твердого відновленого заліза, і відбувалася відновна плавка з використанням електродугового нагрівання.

Тверде відновлене залізо на стадії відновної плавки містить в якості шлакоутворюючого агента більше SiO<sub>2</sub>, ніж інших оксидів. Що стосується основності, то вона знижується в міру плавлення відновленого чавуну в плавильній печі, і в якості агента, що регулює основність, для підтримки основності рідкого шлаку в діапазоні від 1,0 до 1,8 добавлявся флюс, який складається, головним чином, з обпаленого вапна і, можливо, обпаленого доломіту. При цьому підтверджено, що, якщо основність рідкого шлаку перевищує 1,8%, як описано раніше, рідкий шлак стає в'язким, тверде відновлене залізо менше опускається в рідкий шлак, зменшуючи ефективність термічного відновлення і, з іншого боку, якщо основність менше 1,0, то стає помітною ерозія вогнетривкої футерівки.

На стадії плавлення з термічним відновленням, тверде відновлене залізо, завантажене на рідкий шлак, сприймало тепло дуг, одночасно перебуваючи в контакті з рідким шлаком, при цьому відновлення відновленого оксиду заліза відбувалося за допомогою вуглецю, що залишається всередині, газ СО виходив на поверхню твердого відновленого заліза і воно енергійно поверталася, а рідкий шлак інтенсивно спінувався газом СО. Потім тверде відновлене залізо в міру зниження питомої щільності, викликаній перетворенням опускалося в рідкий шлак і продовжувало відновлюватися в процесі термічного відновлення, при якому невідновлене залізо значною мірою відновлювалося і плавилось під дією додатково завантажуваного на його периферію вуглецьвмісного відновника і потім включалося в розташований нижче рідкий чавун.

У цьому випадку, завантажене тверде відновлене залізо після завантаження вище рідкого шлаку швидко опускалося в рідкий шлак, термічне відновлення ефективно відбувалося за короткий період часу, якщо питома щільність завантажуваного твердого відновленого заліза складала 1,7 або більше, більш прийнятно 1,8 або більше і ще більш прийнятно 1,9 або більше, тоді як, якщо питома щільність була меншою від 1,7, завантажуване тверде відновлене залізо менше опускалося в рідкий шлак, в результаті чого підведення тепла від рідкого шлаку було недостатнім і піноутворення зменшувалося, відповідно значно збільшуючи час, необхідний для термічного відновлення, кількість розплавленого оксиду заліза в розплавленому шлаку також зростала і викликала ерозію вогнетривкої футерівки плавильної печі.

Далі, у випадку, якщо вміст вуглецю у твердому відновленому залізі менше 50% від теоретичної кількості вуглецю, потрібної для відновлення невідновленого оксиду заліза у твердому відновленому залізі, ефективність відновлення є недостатньою і швидкість відновлення більш низкою, навіть якщо в плавильну піч додатково завантажували вуглецьвмісний відновник, а вміст оксиду заліза в рідкому шлаку збільшували, викликаючи значну ерозію вогнетривкої футерівки.

Далі, на стадії термічного відновлення здійснюється періодичний відбір проб рідкого чавуну для виміру кількості вуглецю, а кількість додатково завантажуваного вуглецьвмісного відновника контролюється в такий спосіб, щоб кількість вуглецю знаходилася в діапазоні від 1,5 до 4,5%.

Операція плавлення з термічним відновленням являє собою безперервний процес і в момент, коли в плавильній печі накопичується заздалегідь визначена кількість рідкого чавуну, він випускається з випускного отвору, розміщеного на дні печі, у ківш і в цей же час відповідна кількість рідкого шлаку вивантажується через отвір для зливу шлаку, розташований на боковій стінці плавильної печі, з метою контролю кількості шлаку, що залишається в печі.

Конкретні параметри проведення такого плавлення з термічним відновленням і його результати як приклад наведені нижче.

(Властивості відновленого заліза)

Склад твердого відновленого заліза і т.і.: №3 (металізація: 80%) у таблиці

Температура завантаження в плавильну піч з електродуговим нагріванням: 1000°C

Спосіб завантаження: безперервне завантаження

(Робочі параметри плавильної печі з дуговим нагріванням)

Споживання енергії електродом електродугового нагрівання: близько 565кВт-год на тонну виробленого рідкого чавуну

(Тип і кількість завантажуваного матеріалу)

Обпалене вапно: 92,2кг на тонну рідкого чавуну, обпалений доломіт: 21,5кг на тонну рідкого чавуну

Додатково завантажувана кількість вугілля: близько 20кг на тонну рідкого чавуну

Питома витрата відновленого заліза: 1227кг на тонну рідкого чавуну

(Склад одержуваного розплавленого чавуну й утвореного шлаку)

Розплавлений чавун:

C: 2,0%, Si: 0,03% або менше, Mn: 0,05% або менше, P: 0,043%, S: 0,137%, температура 1550°C

Утворений шлак:

CaO: 36,5%, SiO<sub>2</sub>: 26,1%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 18,2%, MgO: 10,0% Т. Fe 6,3%, Основність: 1,4

Як видно з вищевказаного, вміст Si у рідкому чавуні на етапі відновної плавки було значно знижено, оскільки вміст S і вміст P є занадто високим при використанні чавуну в якості сировини для виготовлення сталі, у ковші були проведені десульфуризація і дефосфоризація для одержання рідкого чавуну наведеного нижче складу.

Матеріал для десульфуризації: вапняний флюс

Склад: CaO: 83-90%, CaF<sub>2</sub>: 6-10%, C: 4,0%

Витрата: близько 12кг на тонну рідкого чавуну

Матеріал для дефосфоризації: вапняний флюс + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Склад: CaO: 44-45%, CaF<sub>2</sub>: 7-8%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 47-48%

Витрата: близько 20кг на тонну рідкого чавуну

Склад рідкого чавуну після десульфуризації і дефосфоризації

C: 1,8-2%, Si: сліди, Mn: 0,02%, P: 0,032%, S: 0,038% Рідкий чавун (1450°C) після десульфуризації і дефосфоризації завантажили разом з залізним бруктом і передільним чавуном у поданий нижче суміші в електродугову плавильну піч і провели виготовлення сталі в електричній печі з одночасним додаванням наведених нижче допоміжних матеріалів і дуттям кисню в невеликій кількості для одержання рідкої сталі поданого нижче складу.

(Матеріал, завантажений у дугову електропіч)

Десульфурований і дефосфорований рідкий чавун: 40%

брукт: 50%, передільний чавун: 10%

(Допоміжний матеріал)

Обпалене вапно: 50,2кг на тонну рідкого чавуну, обпалений доломіт: 10кг на тонну рідкого чавуну

Кремнезем: 15,1кг на тонну рідкого чавуну

Кількість кисню для дуття: близько  $18 \times 10^{-3} \text{ м}^3$  на тонну рідкого чавуну

(Склад одержаної рідкої сталі)

C: 0,10%, Mn: 0,06%, Si: сліди, S: 0,022%, P: 0,018%

Вищеповисані експерименти наводять приклади подачі рідкого чавуну, одержаного в плавильній печі з електродуговим нагріванням і підданого десульфуризації і дефосфоризації, у дугову електропіч у рідкому стані, а саме, у стані підтримування його при високій температурі, і використання його в якості матеріалу для виготовлення чавуну, але рідкий чавун може також подаватись в якості матеріалу для виготовлення сталі в кисневий конвертер, або рідкий чавун може заливатись в ливарну форму, охолоджуватись для затвердіння і ефективно використовуватись як напівфабрикат для виготовлення сталі.

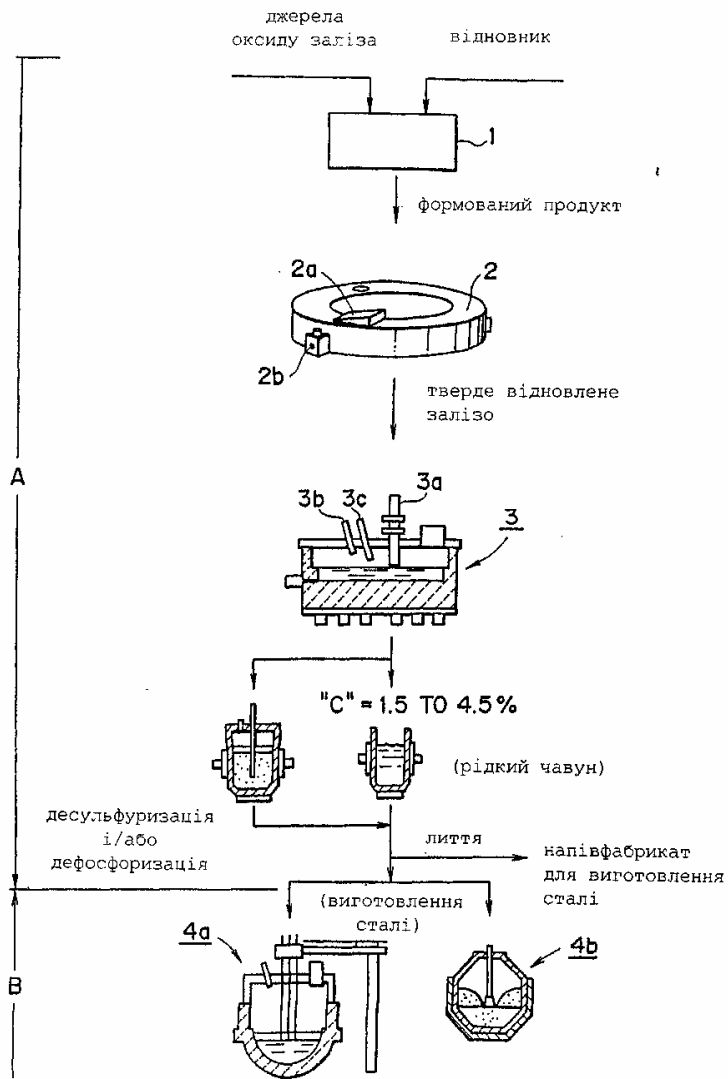
І, нарешті, треба відзначити, що у світлі наведеного вище дослідження можливі численні модифікації і варіації. Отже, необхідно розуміти, що в обсязі формули винаходу, що додається, може здійснюватись на практиці інакше, ніж тут конкретно описано.

Ця заявка ґрунтується на патентній заявці РСТ/JP98/03869 (номер публікації WO99/11826A) з датою пріоритету 01.09.1997, повний вміст якої включено тут в якості аналога.

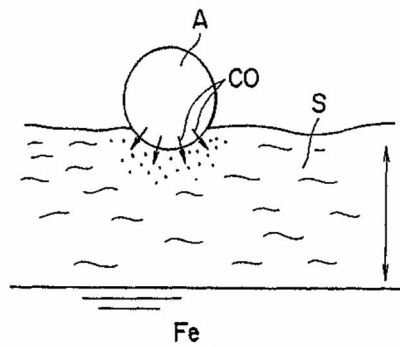
Застосування в промисловості

Даний винахід має описану вище структуру, що робить можливим підтримання високої ефективності відновлення на стабільному рівні, зниження до мінімуму ерозії вогнетривкої футерівки в плавильній печі, у якій відбувається процес, з метою збільшення терміна служби печі, і, одночасно з наведеними ефектами робить можливим ефективну реалізацію одержання відновленого заліза з використанням в якості основного матеріалу оксидвмісного формованого продукту, об'єднаного з вуглецьвмісним відновником, і одержання рідкого чавуну високої чистоти шляхом подальшого відновлення і плавлення одержаного твердого відновленого заліза, у промисловому масштабі з малою втратою енергії. Далі, оскільки відновлене залізо, одержане у цей спосіб, має менший вміст домішкових металевих компонентів, використання відновленого заліза в якості матеріалу для виготовлення сталі не лише уможливорює одержання сталевих матеріалів високої чистоти, але також полегшує регулювання інгредієнтів при одержанні легированих сталей. Далі, коли піч для одержання сталі розташована суміжно з плавильною піччю з електродуговим нагріванням, а рідкий чавун, одержаний у плавильній печі, або одержаний з нього рідкий десульфурований і дефосфорований чавун подається в розплавленому стані при високій температурі в піч для одержання сталі як вихідний матеріал для виготовлення сталі, то тепло, наявне в рідкому чавуні може ефективно використовуватись як джерело нагрівання для виготовлення сталі, витрати теплової енергії можуть бути значно знижені і може бути створений високоефективний з точки зору практичного застосування спосіб, що являє собою безперервний процес від одержання відновленого заліза до виготовлення сталі.

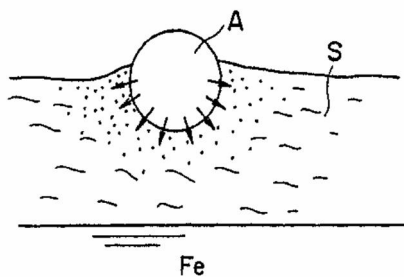
ФІГ. 1



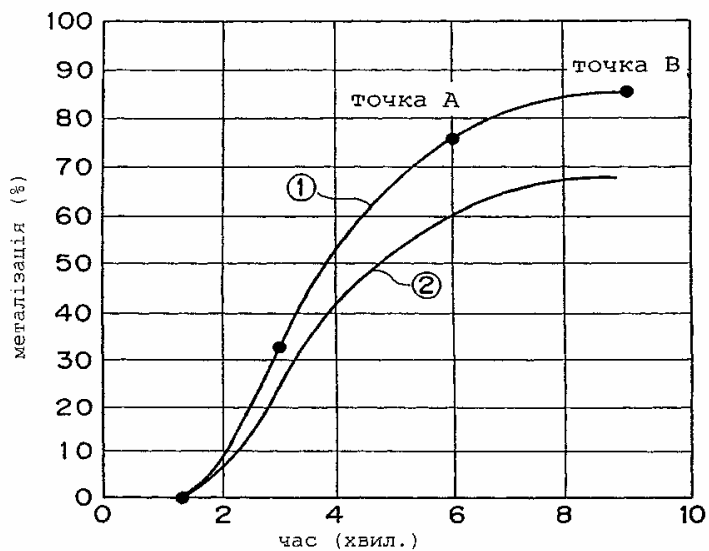
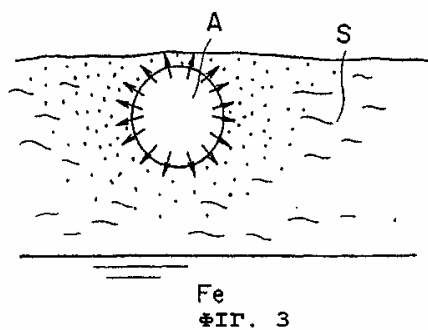
ФІГ. 2А



ФІГ. 2В

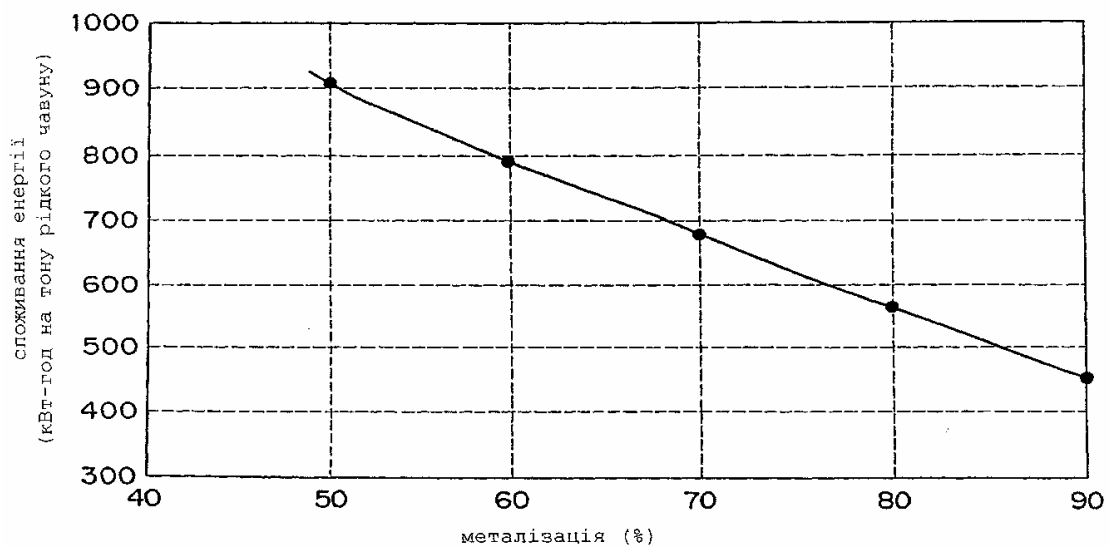


ФІГ. 2С

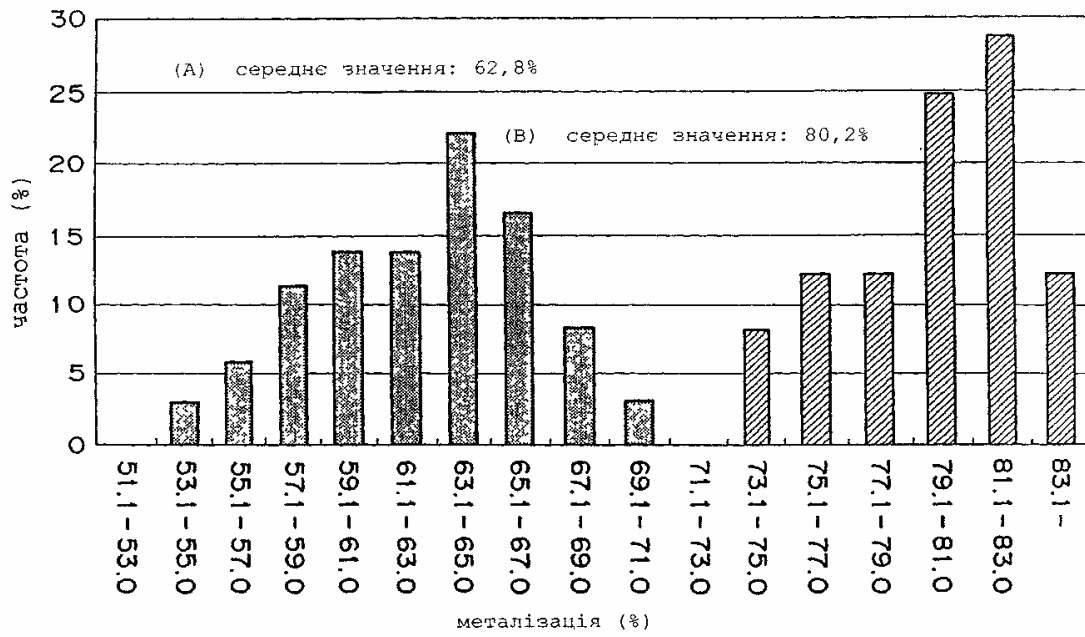


час відновлення та металізація  
 точка А: металізація = 75,92%, FeO = 20,2%, С = 4,81% (142,3% від СЕQ)  
 точка В: металізація = 84,91%, FeO = 15,0%, С = 1,59% (53,5% від СЕQ)  
 (СEQ: кількість вуглецю, еквівалентна потрібній для відновлення FeO)

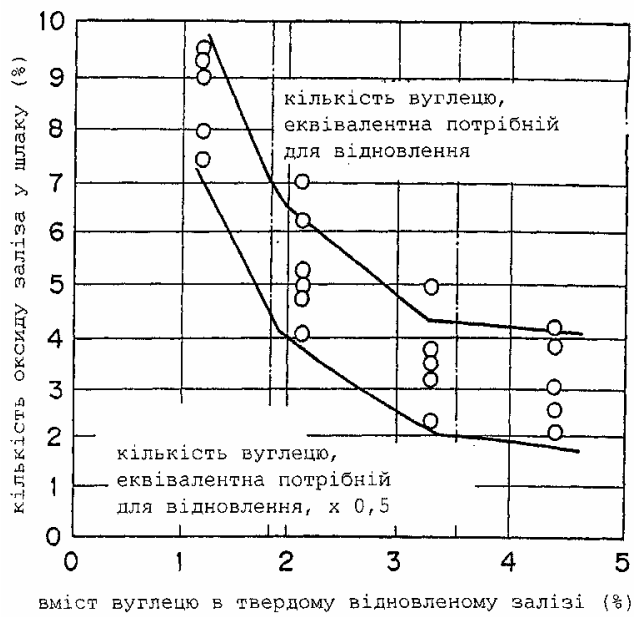
ФІГ. 4



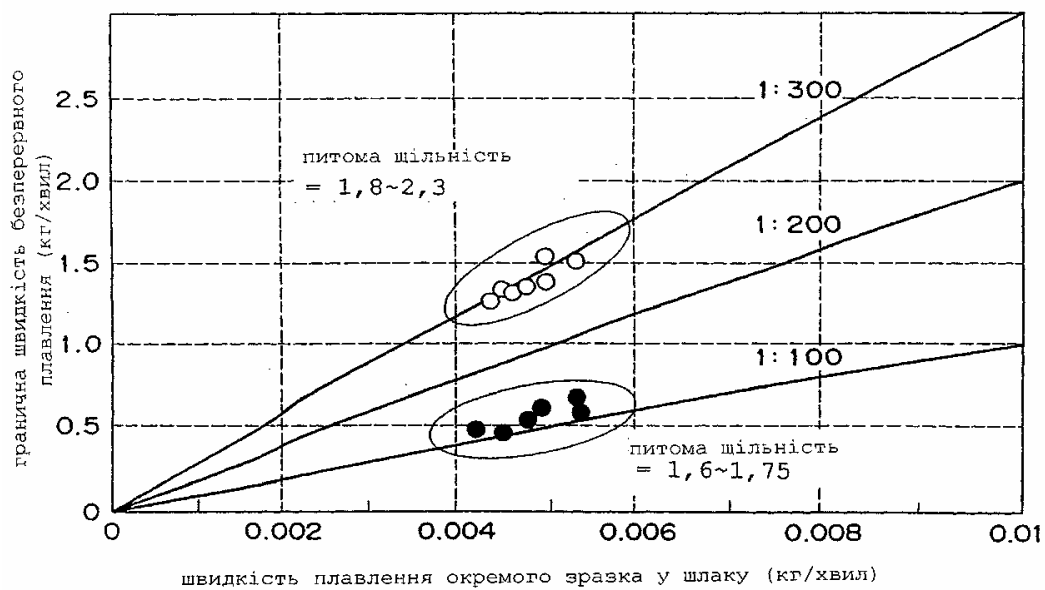
ФІГ. 5



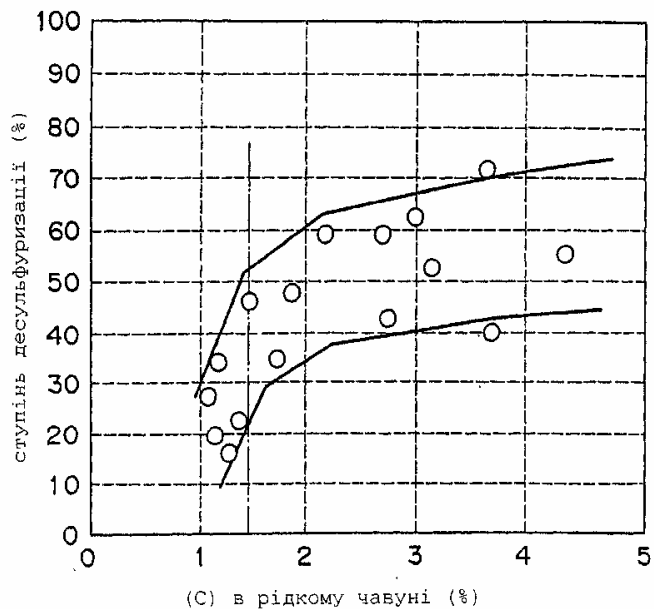
ФІГ. 6



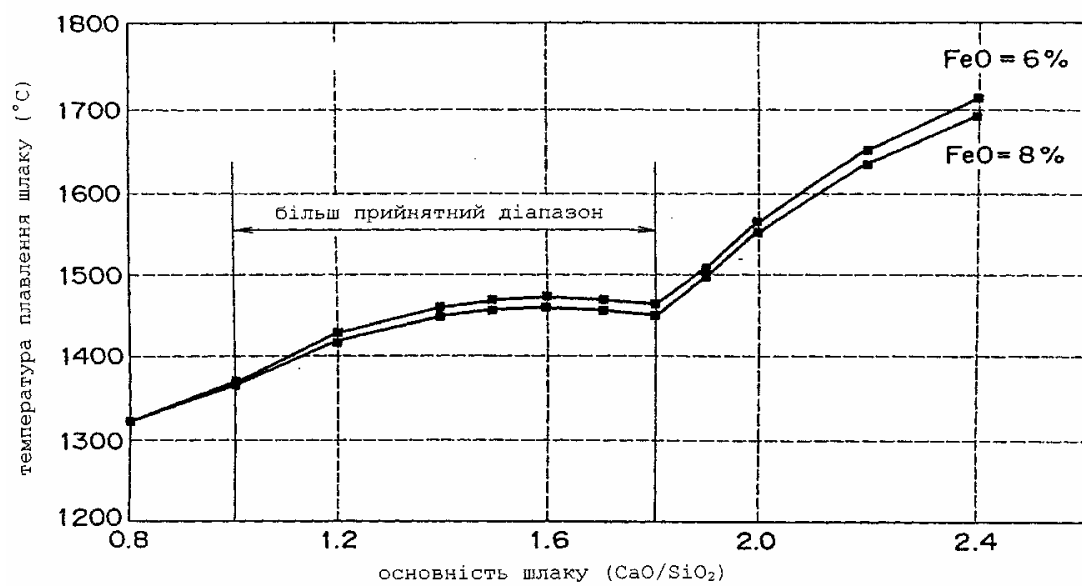
ФІГ. 7



ФІГ. 8



ФІГ. 9



ФІГ. 10

