



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119295** (13) **U**  
(51) МПК (2017.01)  
**C22B 5/00**  
**C21B 5/00**

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

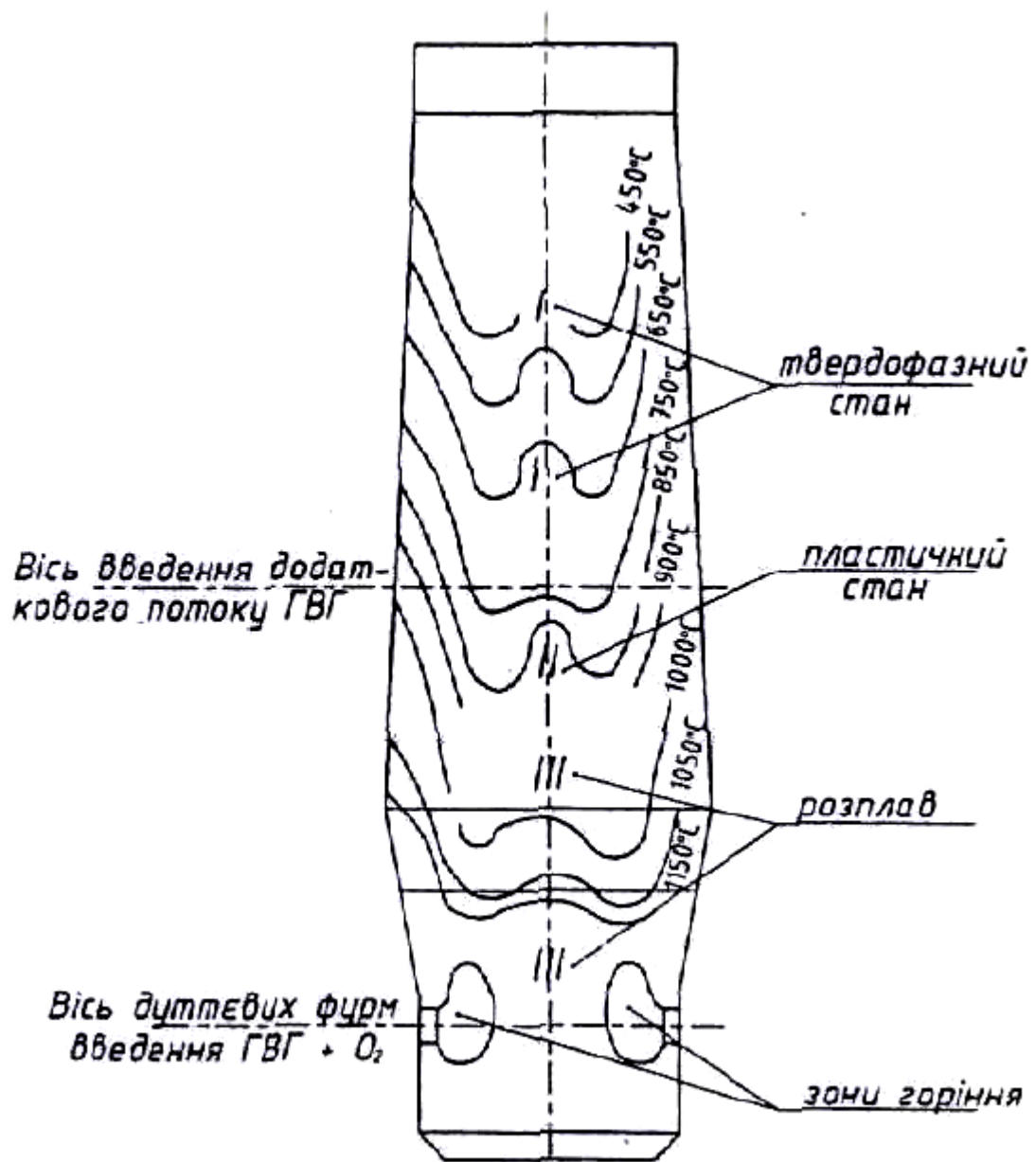
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2017 01309</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Кравченко Володимир Петрович (UA), Руських Володимир Петрович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>13.02.2017</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.09.2017</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87500 (UA)</b>
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.09.2017, Бюл.№ 18</b>	

**(54) СПОСІБ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ**

**(57) Реферат:**

Спосіб інтенсифікації доменної плавки містить подачу відновних газів, нагрітих до температури 1200 °С, в кількості до 950 м<sup>3</sup> на тонну чавуну і холодного технологічного кисню в горно доменної печі. Додатково подають потік нагрітих до 900-1000 °С відновних газів в шахту доменної печі, - в зону твердофазного відновлення заліза, причому витрата відновного газу в потоках при подачі в дані зони співвідноситься як 2:1 відповідно.

**UA 119295 U**



Фіг. 1

Корисна модель належить до чорної металургії і може бути використана для інтенсифікації доменного процесу при виплавці чавуну шляхом вдування в доменну піч гарячих відновних газів (ГВГ).

Відомий спосіб інтенсифікації доменної плавки шляхом сумісного застосування природного газу і збагаченого киснем дуття (комбінованого дуття) [1], що супроводжується значним поліпшенням техніко-економічних показників доменної плавки.

Збагачення дуття киснем забезпечує підвищення інтенсивності плавки і продуктивності печі, а природний газ - зниження витрати дорогого коксу.

Застосування природного газу викликає значне збільшення об'єму газу в горні, яке супроводжується підвищенням їх швидкості і збільшенням підйомної сили газового потоку, що викликає ускладнення в опусканні шихти. Застосування природного газу для вдування в горно викликає зниження температури в горні і зростання її у верхній частині печі. Для збереження газодинамічних температурних умов в печі при використанні природного газу потрібне підвищення температури дуття або збагачення його киснем.

Використання природного газу для вдування в горно доменної печі обмежується тепловими і газодинамічними чинниками.

Окрім цього в Україні загострилася проблема з природним газом у зв'язку з високою його вартістю, близькою до вартості замінюваної кількості коксу, нерегулярність подачі і припинення вдування в осінньо-зимовий період, що підвищує витрату коксу на 20-30 %.

Відомий спосіб, що підвищує ефективність використання вуглеводнів, в якому пропонується вдувати в доменну піч не сирі природний газ або мазут, а продукти їх конверсії ( $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ ), заздалегідь нагріті до температури  $\sim 1200^\circ\text{C}$  [2].

Відомий експеримент по використанню конвертованого природного газу, проведений на доменній печі Новотульського металургійного заводу [2] - найближчий аналог. Відновний газ і збагачене киснем дуття підводили в горно через фурми роздільними потоками. При вдуванні нагрітого до  $1200^\circ\text{C}$  відновного газу в кількості  $941,1 \text{ м}^3/\text{т}$  чавуну витрата коксу знизилася на  $95 \text{ кг/т}$  чавуну. Нагрів горна під час дослідів покращав, ступінь непрямого відновлення підвищився з  $0,675$  до  $0,9$  [2]. В ході досвідної плавки при вдуванні ГВГ і холодного технологічного кисню ( $85\% \text{ O}_2$ ) в горно печі замість атмосферного дуття (природний газ +  $30\% \text{ O}_2$  в дутті), помітних відхилень в ході доменної печі не спостерігалось. Використовувалася однакова витрата дуття ( $941,1$  і  $944 \text{ м}^3/\text{т}$  чавуну відповідно), що сприяло збереженню газодинамічних і температурних умов в доменній печі.

Даний експеримент, не дивлячись на високу ефективність подачі в горно ГВГ і холодного технологічного кисню, був проведений по традиційній схемі вдування в горно ГВГ (витрата дуття з ГВГ дорівнювала витраті при базовій технології -  $941,1 \text{ м}^3/\text{т}$  чавуну), не розкриває потенційні можливості інтенсифікації доменного процесу при використанні ГВГ.

Умови роботи фурменої зони при вдуванні ГВГ в горно дозволяють працювати при нижчих значеннях теоретичної температури горіння ( $1800-1900^\circ\text{C}$ ). Це дозволяє збільшити витрату ГВГ в дутті і додатково скоротити витрату коксу за рахунок збільшення ступеня непрямого відновлення заліза відновними газами. Для цього необхідно удосконалити схему вдування ГВГ в доменну піч для інтенсифікації доменної плавки.

У основу корисної моделі поставлено задачу удосконалити спосіб інтенсифікації доменної плавки шляхом вдування ГВГ в доменну піч по новій схемі, що дозволить підвищити ефективність плавки, скоротити витрату коксу, виключити використання природного газу і нагрітого повітряного збагаченого киснем дуття.

Для вирішення поставленої задачі в способі інтенсифікації доменної плавки, що містить подачу відновних газів, нагрітих до температури  $1200^\circ\text{C}$  в кількості  $950 \text{ м}^3/\text{т}$  чавуну і холодного технологічного кисню в горно доменної печі, згідно корисної моделі додатково подають потік нагрітих до  $900-1000^\circ\text{C}$  відновних газів в шахту доменної печі в зону твердофазного відновлення заліза, причому витрата відновного газу в потоках при подачі у вказані зони співвідноситься як  $2:1$  відповідно.

Пропонований спосіб включає подачу відновних газів в доменну піч по новій схемі двома потоками в більшій кількості, ніж в [2], виходячи з нижчих значень теоретичної температури горіння ( $1800-1900^\circ\text{C}$ ).

Збільшення вмісту відновників в горновому газі дозволяє знизити питому витрату коксу в результаті збільшення ступеня непрямого відновлення оксидів заліза. При цьому при подачі гарячих відновних газів через фурми в горно виключаються витрати тепла на дисоціацію вуглеводнів, поліпшується нагрів горна. Подача в горно технологічного кисню інтенсифікує процес горіння коксу в циркуляційній зоні фурменого вогнища, що приводить до поліпшення дренажної здатності коксового тотермана.

При вмісті в шихті тугоплавкої порожньої породи вона, опускаючись в твердому вигляді аж до розпару, встигає прогрітися до відносно високих температур, після чого має місце плавлення первинного шлаку, який швидко фільтрується між шматками коксу в горно, але не встигає нагрітися до необхідної температури. Потрібна концентрація високих температур в горні. Ця умова виконується в пропонованому способі при вдуванні в горно в першому потоці ГВГ і кисню, збільшуючи витрату яких можна підтримувати достатньо високу температуру горна.

Оскільки до повного розплавлення всієї порожньої породи шихти температура первинного шлаку росте в незначному ступені, то високо нагріті горнові гази, піднімаючись вгору з горна печі, компенсують теплоту плавлення шихти, піднімають температуру шлаку, який, потрапляючи потім в горно, не знижує його температуру.

Згідно з пропонованим способом, другий потік ГВГ без кисню вдувають в шахту печі в зону твердофазного відновлення заліза, розташовану вище за зону первинного шлакоутворення. Положення цієї зони залежить від складу шлаку і розподілу температур по висоті печі.

У ідеальному випадку (легковідновлювана руда з тугоплавкою порожньою породою) плавлення первинного шлаку повинне починатися лише після того, як все залізо шихти або переважна його частина буде відновлена до металу. Найбільш складним в доменному процесі є проплавлення важковідновлюваної руди з легкоплавкою порожньою породою, коли значна кількість оксидів заліза приєднується до первинного шлаку вже в середині шахти, а відновлення заліза з шлаку ускладнено.

Тому значна частина заліза відновлюється в цьому випадку прямим шляхом, що приводить до перевитрати коксу.

Відомо, що гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) відновлюється до магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) і в'юститу ( $\text{FeO}$ ) вже у верхній частині шахти печі [2].

В середині шахти встигає відновитися вуглицем коксу значна частина магнетиту і оксидів заліза (зона твердофазного відновлення заліза). Оскільки розм'якшення і плавлення первинного шлаку відбувається в нижній частині шахти або в кращому разі в розпарі, введення відновних газів в пропонованому способі по другому потоку передбачається проводити до зони розм'якшення і плавлення первинних шлаків в шахту, в зону твердофазного відновлення заліза вуглицем коксу, замінивши його на ГВГ.

Встановлено [3], що вирішальне значення в зміні ступеня відновлення в шахті має не відновлюваність матеріалів, а кількість відновних газів на одиницю матеріалу і рівномірність їх розподілу по перетину печі.

Введення в шахту додаткового потоку ГВГ приведе до зниження прямого відновлення за рахунок непрямого відновними газами і додатковому зниженню витрати коксу.

Щоб виключити передчасне розм'якшення і розплавлення первинних шлаків, гарячі відновні гази по другому потоку вводяться без кисню з температурою 900-1000 °C з витратою в два рази меншим, ніж в першому потоці, щоб виключити підвищення тиску газів на колошнику  $P_k$  і, зберігши перепад тиску  $P_r - P_k$  ( $P_r$  - тиск газів в горні), не порушити нормальний хід доменної печі.

Спосіб пояснюється фігурами 1 і 2. На фіг. 1 показані місця введення ГВГ в доменну піч: основний потік ГВГ з температурою 1200 °C в кількості 950 м<sup>3</sup>/т чавуну і холодним ( $\leq 50$  °C) технологічним киснем ( $\leq 90\%$  O<sub>2</sub>) вводиться через повітряні дуттєві фурми в горно в зону горіння; додатковий потік ГВГ з температурою 900-1000 °C об'ємом рівним половині об'єму основного потоку без технологічного кисню вводиться в шахту доменної печі в зону твердофазного відновлення оксидів заліза, де температура зони  $\leq 750$  °C.

На фіг. 2 показана зміна складу газів в горні по осі фурм при вдуванні основного потоку ГВГ з холодним технологічним киснем ( $\leq 90\%$  O<sub>2</sub>).

Ступінь відновлення заліза в зоні I при звичайній плавці була невисокою (20 %) [3]. Це свідчить про недостатню кількість відновників в зоні I. Тому доцільним є введення додаткового потоку ГВГ у зону I твердофазного відновлення заліза, як показано на фіг. 1.

Спосіб здійснюється таким чином. У доменну піч, наприклад об'ємом 2000 м<sup>3</sup>, вдувається в горно через дуттєві фурми основний потік ГВГ (3600 м<sup>3</sup>/ч) з холодним технологічним киснем об'ємом 400 м<sup>3</sup>/ч (фіг. 1 і 2), що цілком відповідає об'єму гарячого повітряного дуття при звичайній плавці. Додатково ГВГ (1800 м<sup>3</sup>/ч) вдувається в шахту печі (фіг. 1).

При подачі дуття в горн в окислювальній зоні (фіг. 2) залежно від виду дуття протікають реакції (таблиця. 1).

Таблиця 1

Вид дуття	Температура дуття, °C	Реакції в окислюваній зоні	Зони, фіг. 2
Повітряне	1200	$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 400,428 \text{ МДж}$	I
		$CO_2 + C \rightarrow 2CO - 165,797 \text{ МДж}$	II
ГВГ + O <sub>2</sub>	1200	$CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2 + 282,583 \text{ МДж}$ $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + 242,802 \text{ МДж}$	I
		$CO_2 + C \rightarrow 2CO - 165,797 \text{ МДж}$ $H_2O + C \rightarrow H_2 + CO - 127,453 \text{ МДж}$	II

З таблиці. 1 видно, що при повітряному дутті вуглець коксу витрачається в зонах I і II. При вдуванні ГВГ + O<sub>2</sub> - тільки в зоні II (фіг. 2). Отже, при вдуванні ГВГ потреба у вуглеці коксу для процесів в окислювальній зоні горна нижче, ніж при повітряному дутті, що є чинником, який обумовлює зниження витрати коксу. Це підтверджується досвідом роботи доменних печей при вдуванні вуглеводнів: природного і коксового газів і мазуту.

Згідно з принципу А.А. Байкова про послідовність перетворень, процес відновлення заліза з оксидів протікає ступінчасто шляхом переходу від вищих оксидів до нижчих по наступних варіантах:

- 1)  $Fe_2O \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$  (вище 570 °C) або
- 2)  $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow Fe$  (нижче 570 °C).

На фіг. 1 вісь вдування ГВГ в шахту розташована в температурній зоні  $\leq 750$  °C, вище за яку температура падає до 450 °C. Отже, відновлення заліза в твердофазній зоні шахти відбуватиметься по варіанту 1. Але відновлення FeO можливо при високій концентрації CO в газовій фазі, причому з підвищенням температури величина необхідного надлишку відновника збільшується [1].

Оскільки в цю зону подається половина об'єму ГВГ, від того, що подається в горн, відновлення в шахті проходитиме по варіанту 1 - тільки до утворення FeO, для відновлення якого до Fe температура в шахті не достатньо висока.

Вдування ГВГ в шахту значно підсилює непряме відновлення заліза за принципом А.А. Байкова, і знижує потребу у вуглеці коксу для прямого відновлення у горні.

У табл. 2 приведені результати розрахунків величин  $i$ ,  $t_r$ , CO + H<sub>2</sub>, РК для доменної печі об'ємом 1000 м<sup>3</sup> при різних складах дуття.

Таблиця 2

Склад дуття	$i$	$t_r$	CO+H <sub>2</sub>	РК
1. Сухе атмосферне дуття з температурою 1200 °C	860	2380	35,0	0,189
2. Вдування сирого природного газу на дутті із вмістом 30 % кисню	754	2100	55,0	0,162
3. Вдування відновного газу (98 % CO + H <sub>2</sub> ) з температурою 1200 °C на холодному технологічному кисні	752	2050	98,0	0,160

$i$  - тепловміст, ккал/м<sup>3</sup>;  $t_r$  - теоретична температура горіння коксу, °C; CO + H<sub>2</sub> - вміст відновників %; РК - витрата вуглецю коксу (кг) на утворення 1 м<sup>3</sup> фурменого газу

Згідно з табл. 2, при вдуванні в горн доменної печі ГВГ [50 % CO, 48 % H<sub>2</sub>, (H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> ≤ 2 %)] величина РК - витрата вуглецю коксу, кг/м<sup>3</sup> фурменого газу, однаково низька як і при вдуванні природного газу. Отже, використання ГВГ як дуття виключає необхідність використання природного газу в доменній плавці. Окрім цього, виключається з дуття азот, який є баластним газом і, не беручи участь в доменному процесі, відносить з доменної печі тепло.

Пропонований спосіб дозволить інтенсифікувати процес доменної плавки, знизити витрату коксу, виключити використання в доменному процесі природного газу.

Джерела інформації:

1. Вегман Е.Ф. [и др.] / Металлургия чугуна. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2004. - 776 с.
2. Ефименко Г.Г. [и др.] / Металлургия чугуна. - К.: "Высшая школа", 1988. - 352 с.

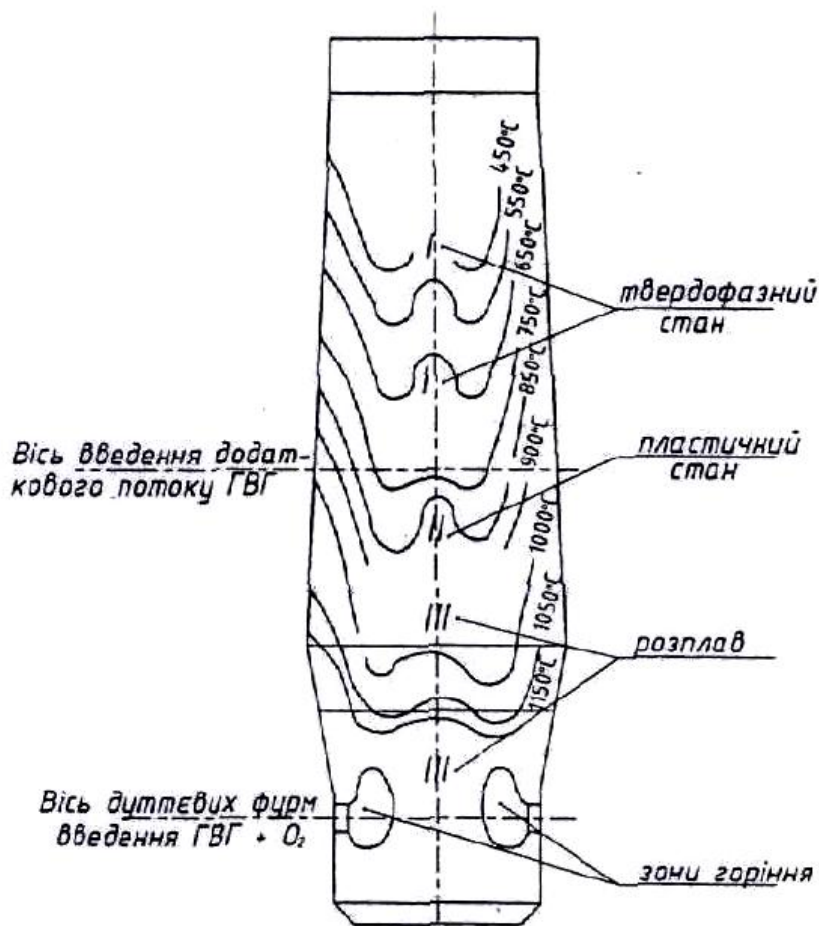
3. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. / Эволюция доменной плавки. - Днепропетровск: "Пороги", 2001. - 424 с.

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

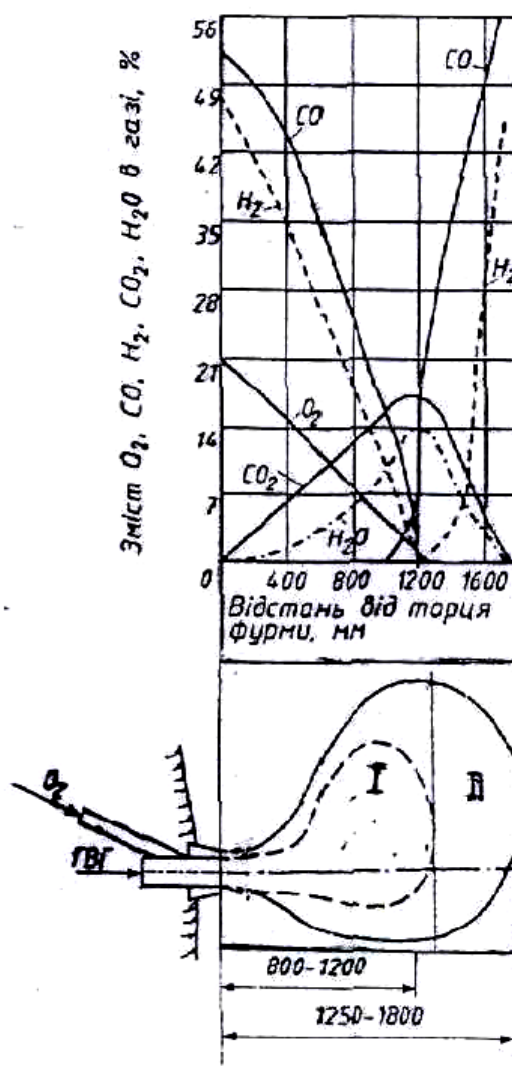
5

Спосіб інтенсифікації доменної плавки, що містить подачу відновних газів, нагрітих до температури 1200 °С, в кількості до 950 м<sup>3</sup> на тону чавуну і холодного технологічного кисню в горно доменної печі, який **відрізняється** тим, що додатково подають потік нагрітих до 900-1000 °С відновних газів в шахту доменної печі, - в зону твердофазного відновлення заліза, причому витрата відновного газу в потоках при подачі в дані зони співвідноситься як 2:1, відповідно.

10



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601