

Корисна модель відноситься до чорної металургії, зокрема до доменного виробництва, і може бути використана при виплавці чавуну в доменних печах із вдуванням у горно газоподібного й пиловугільного палива (ПВП).

Відомий спосіб доменної плавки, що включає вдування в горно через фурмені прилади гарячого дуття, технологічного кисню, ПВП й компенсуючих компонентів, а саме пари, азоту й газоподібного палива, при цьому ПВП й кисень подають у внутрішній простір доменної печі через нижню половину рильної частини фурми під кутом 15-40° униз від осі фурми, а компенсуючі компоненти подають у канал фурменого приладу через його верхню половину, причому співвідношення кінетичних енергій киснево-вугільного струменя й гарячого дуття з компенсуючими компонентами дорівнює (0,5-1,0):1, а співвідношення об'ємних витрат технологічного кисню й компенсуючих компонентів (0,6-1,0):(0,2-0,4):(0,3-0,5):(0,4-0,6):(0,1-0,3):(0,2-0,4) на 1кг ПВП [RU, №2118989 С1, кл. C21B5/00, опубл. 20.09.1998р.].

Відомий спосіб характеризується значними енергетичними витратами, викликаними використанням спеціальних компенсуючих компонентів при їх введенні у дуття. При виводі із складу дуття того або іншого компенсуючого компонента губиться стабільність температури фурмених газів (теоретичної температури горіння -  $T_t$ ) при незмінних інших температурно-дутьових параметрах, тому що не регламентується склад ПВП, що не забезпечує оптимального режиму ведення плавки. При зміні температурно-дутьових параметрів, відсутність механізму компенсації заміни природного газу регламентованим складом ПВП, не дозволяє ефективно регулювати  $T_t$ , не порушуючи вихід фурмених газів при необхідності зміни нагрівання печі при різних витратах ПВП.

Найбільш близьким аналогом пропонованої корисної моделі є спосіб ведення доменної плавки, що включає завантаження шихти із вдуванням через фурми ПВП у вигляді вугільного пилу, природного газу, збагаченого киснем повітря, і окислених залізовмісних матеріалів, нагрівання з відновленням і плавлення, випуск продуктів плавки, при цьому масові співвідношення між залізовмісними матеріалами, що вводять додатково через фурми, вугільним пилом і технологічним киснем підтримують у межах (1-2):1:(1,5-2), а як залізовмісний матеріал використовують залізрудний концентрат або окалину [SU, №1235897 А1, кл. C21B3/00, 3/02, 5/00, опубл. 07.06.1986р.].

Ознаки найближчого аналога, що збігаються з суттєвими ознаками пропонованої корисної моделі: завантаження шихти; вдування через фурми ПВП, природного газу, і збагаченого киснем повітря; нагрівання з відновленням і плавлення; випуск продуктів плавки.

Вдування природного газу як палива у відомому способі дозволяє скоротити витрату коксу, а також підвищити температуру гарячого дуття до рівня потужності повітрянагрівачів. Однак при частковій або повній заміні природного газу, як дефіцитного й дорогого палива, не забезпечується можливість підтримання  $T_t$  на оптимальному рівні без порушення термодинамічних і газодинамічних параметрів плавки (параметри дутьового режиму, що характеризують температурні умови в нижній зоні доменної печі). Це викликано тим, що в способі не передбачена регламентована подача палива залежно від вмісту летючих речовин у ПВП, які аналогічні вуглеводням ( $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$  й ін.), що входять до складу природного газу й значно впливають на  $T_t$ .

При заміні природного газу на ПВП зростає  $T_t$  і процес сходу й проплавлення матеріалів у доменній печі стає неможливим через різке збільшення об'єму фурмених газів. Підвищення  $T_t$  приводить до переміщення процесів відновлення в область високих температур і накладання їх на процеси плавлення й шлакоутворення. При цьому газопроникність нижньої зони печі різко знижується, виникають порушення сходу шихти, що приводить до зниження продуктивності печі. Для зниження  $T_t$  і підтримки її на стабільному рівні потрібне подальше зниження температури гарячого дуття, коректування витрати кисню, уведення пари в дуття (або інших компенсаторів), що знижує техніко-економічні показники доменної плавки.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу ведення доменної плавки, у якому за рахунок регламентованої подачі палива забезпечується підтримка теоретичної температури горіння на стабільному рівні, що дозволяє знизити енергетичні витрати при збереженні оптимального режиму ведення плавки.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі ведення доменної плавки, що включає завантаження в піч шихти, вдування через фурми пиловугільного палива, природного газу, і збагаченого киснем повітря, нагрівання з відновленням і плавлення, випуск продуктів плавки, відповідно до корисної моделі здійснюють заміну вдуваного природного газу на пиловугільне паливо, що подають із масовою часткою летючих речовин, визначеною за формулою:

$$V^p = (0,2265 \cdot \Delta T - G_{\text{пг}} \cdot 1068,8) / (G_{\text{пг}} \cdot 43,75 - 0,0078 \cdot \Delta T),$$

при цьому витрату пиловугільного палива для заміни необхідної кількості природного газу визначають за формулою:

$$G_{\text{пвп}} = G_{\text{пг}} / (0,0078 V^p + 0,2265),$$

де:  $V^p$  - масова частка летючих речовин у пиловугільному паливі, %;

$\Delta T$  - необхідна величина коректування теоретичної температури горіння при зміні витрати природного газу, °C;

$G_{\text{пвп}}$  - витрата пиловугільного палива, кг/м<sup>3</sup> дуття;

$G_{\text{пг}}$  - витрата природного газу, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> дуття;

1068,8; 43,75; 0,0078 й 0,2265 - емпіричні коефіцієнти, що є константами.

Доцільно як пиловугільне паливо використовувати пісні, і/або газові вугілля, і/або антрацит, і/або їхні суміші.

Для приготування ПВП використовують різні марки вугілля які забезпечують необхідний вміст летючих речовин в ПВП або їх суміші.

Інтенсифікація роботи доменних печей з підвищенням температури дуття до 1200-1400°C, підвищенням вмісту кисню в дутті до 25-40% визначили підвищення (без урахування впливу додаткового палива)  $T_t$  до більш ніж 2500°C. Це у свою чергу визначає необхідність використання додаткового палива, що подається з дуттям для корегування й оптимізації в широкому інтервалі рівня  $T_t$ . Традиційним додатковим паливом, використовуваним у доменному виробництві, є природний газ. Визначені оптимальні технологічні режими використання природного газу та його вплив на  $T_t$ . При значному скороченні витрати природного газу з його заміною на ПВП потрібне корегування технологічного режиму. Для збереження на базовому рівні всіх основних технологічних параметрів,

за винятком витрати природного газу, пропонується здійснювати заміну природного газу пиловугільним паливом з регламентованою витратою й масовою часткою летючих речовин, визначених згідно пропонованих залежностей.

Регламентована подача природного газу й ПВП, що вдувають через фурми, дозволяє підтримувати оптимальні термодинамічні й газодинамічні параметри плавки:  $T_t$  без порушень оптимального режиму ведення плавки.

Показник  $T_t$  у доменному процесі є важливим комплексним параметром дуттьового режиму, що характеризує температурні умови в нижній зоні доменної печі й тому перебуває під постійним контролем технолога.

Залежно від отриманої масової частки летючих речовин у ПВП, вибір компонентів, що входять до складу ПВП (марок вугілля), здійснюється виходячи з наявної вугільної бази.

#### Приклад 1

У доменну піч зверху скіповим підйомником через засипний апарат завантажували шихту, що складається з агломерату й окатишів. У зону горіння печі подавали дуття: вдували через фурми нагріте до  $1100^{\circ}\text{C}$  і збагачене киснем до 24% повітря, вологість якого становила 1,5%. У горно печі через фурми вдували природний газ. Добове виробництво печі ( $V - 1033\text{м}^3$ ) становить 2200т, витрата збагаченого киснем повітря -  $2100\text{м}^3/\text{хв}$ .

Теоретична температура горіння на доменній печі при використанні природного газу в кількості  $100\text{м}^3/\text{т}$ , визначена згідно формули відповідно до типової технологічної інструкції з доменного виробництва [Дніпропетровськ, 1990р, с.46] становила (витрата ПВП=0):

$$T_{t(\text{ПГ})} = 2000 + 0,75 \cdot (1100 - 1100) + 40 \cdot (2,0 - 1,5) + 50 \cdot (24 - 25) + 53 \cdot (9,0 - 7,16) = 2068^{\circ}\text{C}$$

При виведенні із складу комбінованого дуття природного газу, теоретична температура горіння ( $T_t$ ) при збереженні на тому ж рівні інших дуттьових параметрів склала  $2447^{\circ}\text{C}$ , що приводить до збільшення об'єму фурмених газів і порушенню режиму ведення плавки. Необхідна величина корегування теоретичної температури горіння для запобігання порушення режиму плавки склала:  $2447 - 2068 = 379^{\circ}\text{C}$ . Для компенсації зміни теоретичної температури горіння при повній заміні природного газу подавали ПВП з масовою часткою летючих речовин, визначеною за формулою:

$$V^p = (0,2265 \cdot \Delta T - G_{\text{ПГ}} \cdot 1068,8) / (G_{\text{ПГ}} \cdot 43,75 - 0,0078 \cdot \Delta T) = (0,2265 \cdot 379 - 0,0728 \cdot 1068,8) / (0,0728 \cdot 43,75 - 0,0078 \cdot 379) = 35\%,$$

де,  $\Delta T$  - необхідна величина коректування теоретичної температури горіння при зміні витрати природного газу, рівна  $379^{\circ}\text{C}$ ;

$G_{\text{ПГ}}$  - витрата природного газу, яка дорівнює  $0,0728\text{м}^3/\text{м}^3$  дуття ( $0,0728\text{м}^3/\text{м}^3$  дуття - кількість заміненого природного газу, еквівалентна його витраті  $100\text{м}^3/\text{т}$  чавуну);

1068,8; 43,75; 0,0078 й 0,2265 - емпіричні коефіцієнти, що є константами.

Витрату ПВП визначали за наступною формулою:

$$G_{\text{ПВП}} = G_{\text{ПГ}} / (0,0078 V^p + 0,2265) = 0,0728 / (0,0078 \cdot 35 + 0,2265) = 0,146\text{кг}/\text{м}^3$$

Для приготування ПВП використовували вугілля марки "Т" і вугілля марки "Г" з масовою часткою летючих речовин, рівною відповідно 14% й 42%, змішані в кількісному співвідношенні, що забезпечує масову частку летючих речовин 35%. ПВП вдували через фурм и в горно доменної печі.

#### Приклад 2

Спосіб був випробуваний на доменній печі, дуттьові параметри роботи якої наступні: температура дуття -  $1100^{\circ}\text{C}$ , вологість дуття - 1,5%, вміст кисню в дутті - 23% і при коректуваннях теоретичної температури горіння не змінюються. Добове виробництво печі ( $V - 1033\text{м}^3$ ) становить 2000т, витрата дуття -  $2020\text{м}^3/\text{хв}$ .

Теоретична температура горіння на доменній печі при використанні природного газу в кількості  $120\text{м}^3/\text{т}$  склала:

$$T_{t(\text{ПГ})} = 2000 + 0,75 \cdot (1100 - 1100) + 40 \cdot (2,0 - 1,5) + 50 \cdot (23 - 25) + 53 \cdot (9,0 - 8,13) = 1966^{\circ}\text{C}$$

Виникла необхідність скорочення витрати природного газу. При заміні  $80\text{м}^3/\text{т}$  природного газу на ПВП, теоретична температура горіння ( $T_t$ ) склала  $2253^{\circ}\text{C}$ . Необхідна величина корегування  $T_t$  склала:  $2253 - 1966 = 287^{\circ}\text{C}$ .

Масову частку летючих речовин у ПВП визначали по формулі:

$$V^p = (0,2265 \cdot \Delta T - G_{\text{ПГ}} \cdot 1068,8) / (G_{\text{ПГ}} \cdot 43,75 - 0,0078 \cdot \Delta T) = (0,2265 \cdot 287 - 0,055 \cdot 1068,8) / (0,055 \cdot 43,75 - 0,0078 \cdot 287) = 37\%.$$

Витрату ПВП визначали по наступній формулі:

$$G_{\text{ПВП}} = G_{\text{ПГ}} / (0,0078 V^p + 0,2265) = 0,055 / (0,0078 \cdot 37 + 0,2265) = 0,107\text{кг}/\text{м}^3.$$

Виходячи з наявної вугільної бази для готування ПВП використовували суміш вугілля із масовою часткою летючих речовин 14% (марка Т) і 42% (марка Г), змішані в кількісному співвідношенні, що забезпечує масову частку летючих речовин 37% у готовому ПВП. ПВП вдували через фурми в горно доменної печі.

Пропонована корисна модель за рахунок регламентованої подачі палива забезпечує підтримку  $T_t$  на стабільному рівні, що дозволяє знизити енергетичні витрати при збереженні оптимального режиму ведення плавки.