



УКРАЇНА

(19) UA (11) 55808 (13) U  
(51) МПК (2009)  
C21B 5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПИЛОВУГІЛЬНЕ ПАЛИВО ДЛЯ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

1

2

(21) u201007382

(22) 14.06.2010

(24) 27.12.2010

(46) 27.12.2010, Бюл. № 24, 2010 р.

(72) ФІЛАТОВ ЮРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, ІЛ'ЯШОВ  
МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ЄМЧЕНКО АНДРІЙ  
ВАЛЕНТИНОВИЧ, ГОРДІЄНКО ОЛЕКСАНДР ІЛ-  
ЛІЧ, ЗБИКОВСЬКИЙ ЄВГЕН ІВАНОВИЧ, КРИКУ-  
НОВ БОРИС ПЕТРОВИЧ, ЗАМУРУЄВ ВАЛЕРІЙ  
МИХАЙЛОВИЧ

(73) ЗАКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ДО-  
НЕЦЬКСТАЛЬ" - МЕТАЛУРГІЙНИЙ ЗАВОД"

(57) Пиловугільне паливо для доменної печі, що  
містить тонкоподрібнене вугілля, яке **відрізняєть-  
ся** тим, що пиловугільне паливо приготівлене у

вигляді суміші малосірчаного та низькозолярного  
вугілля таким чином, щоб сумарний вміст високо-  
летючого вугілля у суміші був не більше 60%, а  
сумарний вміст низьколетючого вугілля, з більш  
високою теплотворною спроможністю, - не менше  
40%, при цьому показники технічного аналізу у  
пиловугільному паливі, в перерахунку на суху масу  
палива, повинні відповідати наступним вимогам:  
 $A^d \leq 8,5\%$ ;  $S_t^d \leq 0,85\%$ ;  $V^d \leq 30,0\%$ , де:

$A^d$  - зольність;

$S_t^d$  - вміст загальної сірки;

$V^d$  - вихід летючих речовин.

Корисна модель відноситься до чорної мета-  
лургії та може бути використана при виплавці ча-  
вуну в доменному виробництві, яке забезпечене  
устаткуванням для вдування спеціально підготов-  
леного пиловугільного палива у горно доменної  
печі.

Одним з найбільш уражених місць доменного  
виробництва є його дуже висока енергоємність,  
причому у виді таких дефіцитних й дорогих енер-  
горесурсів, як кокс, мазут, природний газ. У сучас-  
ному доменному виробництві вартість палива скла-  
дає до 50% собівартості чавуну. Таким чином,  
рівень витрат коксу, як основного виду палива в  
доменній печі, на 1т чавуну - універсальний показ-  
ник ефективності та конкурентоспроможності як  
доменного виробництва, так і усієї металургійної  
галузі у цілому, що коливається від 250кг до 600кг  
на 1т чавуну, та визначається якістю сировини і  
коксу, а також додатковими компенсуючими вида-  
ми палив, які можуть складати від 30 до 50%. Ана-  
ліз передових доменних технологій показує, що  
найбільш ефективним способом, який дозволяє  
суттєво скоротити витрати коксу, зберегти високий  
рівень продуктивності доменних печей та якість  
чавуну, є вдування пиловугільного палива (ПВП).  
Така технологія може забезпечити зниження ви-  
трат коксу від 200кг на 1т чавуну.

Найбільш близьким за технічною сутністю до  
суміші, що заявляється, є пиловугільне паливо  
(ПВП) для доменних печей, що містить тонкопо-  
дрібнене пісне вугілля, при цьому до складу пило-  
вугільного палива додатково уведене газове вугіл-  
ля, при наступному співвідношенні компонентів у  
суміші, ваг. %:

Пісне вугілля 50-90

Газове вугілля 50-10

[Авторське свідоцтво №890732, кл.  
C21B5/00, 19.05.1978].

Основними недоліками відомого ПВП, що  
складається з суміші вугілля вищевказаного маро-  
чного складу є наступне:

- у балансових ресурсах малометаморфізова-  
ного вугілля марки Г (газове) більшість вугілля  
(75%) є високосірчанним із середнім показником  
сірки  $S_t^d = 2,06\%$ , та тільки біля 25% вугілля марки  
Г, яке видобувають, має середній показник за вмі-  
стом сірки  $S_t^d = 1,7\%$ . Високометаморфізоване пісне  
вугілля, що видобувають, має високий вміст сірки,  
в середньому  $S_t^d = 2,9\%$ . Одним з головних вимог  
до технології ПВП є те, що загальний вміст сірки у  
вугілля, яке вдувають, не перевищує його вміст у  
коксі, яке використовують. При цьому, середній  
вміст сірки у високоякісному коксі (наприклад, мар-  
ки "Преміум") складає не більше 0,85%, а мініма-  
льну сірчаність ПВП, при використанні вищевказа-

(13) U

(11) 55808

(19) UA

них ресурсів вугілля, можна забезпечити тільки на рівні 2,2-2,3%, тобто, практично неможливо, оперуючи тільки марочним складом, виконувати вимогу, що обмежує вміст сірки у ПВП;

- обмеження потенціальних ресурсів для приготування ПВП, тому, що не передбачено використання вугілля марок Д (довгополум'не), ДГ (довгополум'не газове), СС (слабоспільне), КСН (коксове слабоспільне низькометаморфізоване) та А (антрацит).

Для приготування ПВП рекомендовано використовувати так зване "м'яке" (слабоспільне те неспільне) вугілля [Ю С. Васильєв, І. Д. Дроздник Сырьевая база для технологии вдувания пылеугольного топлива в доменные печи заводов Украины; труды международной научно-технической конференции «Пылеугольное топливо - альтернатива природному газу при выплавке чугуна Донецк: УНИТЕХ, 2006, стр.134-139]. У відповідності з ДСТУ 3472-96 "Вугілля бурі, кам'яне та антрацит. Класифікація" до такого вугілля можна віднести марки Д, ДГ, Г, П та А. У відповідності з ГОСТ 25543-82 "Угли буріе, каменные и антрацит. Классификация" до такого вугілля відносяться також марки КСН та СС;

- коефіцієнт заміни коксу пиловугільним паливом в доменній печі знаходиться у функціональній залежності від зольності ПВП ( $A_n^d$ ) та коксу

( $A_k^d$ ):

$$K_n = 1,48 - 0,66 (A_n^d / A_k^d),$$

де

$K_n$  - коефіцієнт заміни коксу пиловугільним паливом;

$A_n^d$  - зольність пиловугільного палива;

$A_k^d$  - зольність коксу.

Таким чином, ефективність використання ПВП тим вища, чим менша його зольність, що є одним з головних вимог, які пред'являють до вугілля для даної технології.

Належність вугілля до тієї чи іншої марки, зокрема до вугілля марок Г (газове) та П (пісне), не гарантує вимог до його якості по показнику  $A^d$ . Так, при середній по Україні зольності концентратів вугілля Г та П у 9%, коефіцієнт заміни коксу вугіллям складає 0,88-0,92% при середньосвітових показниках 0,96-1,1%.

Отже, вищеперераховані недоліки прототипу не забезпечують інтенсифікацію згорання ПВП в зоні фурм доменної печі та інтенсифікацію доменної плавки, не підвищують коефіцієнт заміни коксу пиловугільним паливом в доменній печі.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення пиловугільного палива для доменної печі, в якому виготовлення пиловугільного палива у вигляді суміші малосірчаного та низькозольного вугілля таким чином, щоб сумарний вміст високолетючого вугілля у суміші був не більше, ніж 60%, а сумарний вміст низьколетючого, з більш високою теплотворною спроможністю, вугілля - не менше, ніж 40%, забезпечують оптимізацію технологічних параметрів вугілля для приготування ПВП, цим забезпечується інтенсифікація згорання ПВП в зоні фурм доменної печі, зниження питомих втрат коксу в доменному виробництві чавуну, інтенсифікація доменної плавки, покращення теплоте-

хнічних показників роботи доменної печі, підвищення коефіцієнту заміни коксу ПВП в доменній печі.

Поставлена задача вирішується тим, що у пиловугільному паливі для доменної печі, яке містить тонкоподрібнене вугілля, згідно з корисною моделлю передбачені наступні відміни:

пиловугільне паливо приготоване у вигляді суміші малосірчаного та низькозольного вугілля таким чином, щоб сумарний вміст високолетючого вугілля у суміші був не більше 60%, а сумарний вміст низьколетючого, з більш високою теплотворною спроможністю, вугілля - не менше 40%;

показники технічного аналізу пиловугільного палива у перерахунку на суху масу палива, повинні відповідати наступним вимогам: :  $A^d \leq 8,5\%$ ;  $S^d \leq 0,85\%$ ;  $V^d \leq 30,0\%$ , де:

$A^d$  - зольність;

$S^d$  - вміст загальної сірки;

$V^d$  - вихід летючих речовин.

Вплив на механізм горіння палива, теплотехнічні показники роботи доменної печі, а отже, на інтенсифікацію доменної плавки суміші вугілля, що задовольняє вищевказаний склад та показники технічного аналізу полягає у наступному:

Компонування суміші для пиловугільного палива для доменної печі.

Технологічність і ефективність технології використання ПВП визначаються повнотою згорання та газифікації вугільних частинок в фурмених зонах. Попадання значних кількостей незгорілих вугільних частинок за межі фурмених зон погіршує дренажну здатність горна, порушує рівність ходу печі і нормальне відпрацювання продуктів плавки, призводить до "горіння" повітряних фурм, знижує техніко-економічні показники плавки чавуну.

Під час запалення природних твердих палив, до яких відноситься кам'яне вугілля, та на початкових стадіях їх горіння, особливо важливу роль виконують летючі речовини вугілля: чим більше їх міститься в початковому паливі, тим, при інших рівних умовах, скоріше відбувається його запалення, та тим інтенсивніше воно вигоріє.

У приготованому для вдування ПВП частинки палива мають середній діаметр  $\leq 100$  мкм, інтенсивність виходу летючих речовин при нагріванні та термічній деструкції органічної маси з поверхні твердої фази менше інтенсивності їх відведення із суміжного шару. Концентрація летючих у суміжному шарі стає зникаюче малою (вона прямо пропорційна квадрату радіусу частинки), при цьому стає можливим доступ окислювача до поверхні твердого тіла частинки палива та його горіння в температурних умовах горна доменної печі, причому горіння летючих відбувається в об'ємі факелу між твердими частинками.

Результати розрахунків та експериментальних досліджень ("Основи практичної теорії горіння" під ред. В.В. Померанцева, Л., Энергоатомиздат, 1986, стор.225-235) показують, що при запаленні частинок малого розміру ( $\leq 200$  мкм) концентрація окислювача на її поверхні не набагато відрізняється від концентрації окислювача у середовищі. Цей висновок зберігається й для сукупності дрібних частинок (факелу). Летючими насичуються не

тільки суміжний шар біля частинок вугілля з високим виходом летючих речовин, але й увесь пило-киснево-повітряний потік. Таким чином, при запаленні та на початкових стадіях горіння факелу в умовах горна доменної печі, тверде тіло частинки приймає участь в окисленні.

Таким чином, процес запалення та горіння аерозависі паливної суміші можна розбити на три етапи:

1. термодеструкція органічної маси палива з виділенням летючих речовин та утворення горючої суміші: летючі + окислювач;
2. запалення та горіння суміші;
3. процес горіння летючих речовин та твердо-го залишку.

Термін підготовки суміші летючих та окислювача, її запалення, та вигорання основної маси летючих (гомогенне горіння) значно менше, ніж термін вигорання твердої маси (до 90% загального часу займає вигорання твердої фази палива). Тому, не дивлячись на те, що основу факелу в тепловому й кількісному співвідношенні складають тверді частинки, летючі грають суттєву роль при запаленні факела, оскільки є додатковим джерелом тепла, яке прискорює загорання твердої фази, у тому числі й вугілля з низьким виходом летючих речовин. Участь у складі ПВП вугілля з підвищеним виходом летючих речовин (вугілля марок Д й ДГ) приведе до сумарного збільшення виходу летючих речовин з готової пиловугільної суміші (оптимальне розраховане значення  $V^{daf} \leq 30,0\%$ ), а отже, й до більш швидкого згорання ПВП.

Таким чином, добавки до вугільної суміші високолетючого вугілля марок Д, ДГ, та Г у кількості до 60% покращують кінетику процесу горіння твердого палива, у т. ч. й вугільних частинок вугілля марок КСН, СС, П та А, які мають мінімальний вихід летючих речовин.

Проведені авторами запропонованої корисної моделі досліді динаміки вигорання вугільних частинок, що розрізняються за виходом летючих речовин, показують, що суттєвим фактором, який визначає умови згорання твердих паливних частинок у фурменій зоні, є реакційна спроможність визначеного виду палива. Після термодеструкції органічної маси вугілля й згорання летючих речовин швидкість горіння твердого залишку визначає його реакційна спроможність, а тому, підвищений (до 60%) вміст у суміші високолетючих, а отже, й високореакційного вугілля, забезпечує високу ступінь вигорання ПВП у фурменій зоні. Це зменшує кількість частинок, що не догоріли, та які або попадають у шлак, підвищуючи його боязкість, або уносяться в шахтну зону, де налипають на шматки коксу. Крім того, незгорілі частинки пиловугільного палива адсорбуються на поверхні шлаків і різко знижують їх здатність вільно фільтрувати через себе краплі чавуну. При контакті з фурмами калюжі чавуну, які скупчуються на поверхні такого шлаку, викликають їх масове "горіння". Таким чином, плівка адсорбованого вугільного пилу веде себе так само, як і плівка адсорбованої сажі піролізу природного газу: вона здатна утримувати на поверхні шлаку порівняно великі маси чавуну, тобто веде себе як тверде тіло (своєрідний гнучкий де-

ко). Міцність такої плівки залежить від поверхневих властивостей шлаку.

Обмеження у 60% прийнято в основному з наступних міркувань:

- правил техніки безпеки, тому що при приготуванні ПВП необхідні додаткові заходи по оснащенню технологічної схеми вибухонебезпечним обладнанням;

- сумарного зниження нижчої теплоти згорання палива ( $Q_1$ ) внаслідок зменшення вмісту вуглецю й одночасного підвищення вмісту кисню в органічній масі палива в ряду вугілля з ростом виходу летючих речовин (підвищення вмісту водню не є переважувачим фактором).

Зольність. Наявність мінеральних включень у природному паливі (яке визначається показником зольності  $A^d$ ) при повному розмеленні у процесі приготування ПВП суттєвого впливу на механізм горіння палива не має, через те, що внутрішня й зовнішня частинки мінеральної частини природного палива відділяються при розмеленні від горючої частини, таким чином розглядається частинка, що горить, та яка складається в основному з вуглецю. Однак, підвищений вміст негорючої мінеральної частини у ПВП знижує його теплоту згорання. Крім того, зольна частина ПВП, що отримана з мінеральної частини природного палива під час його повного згорання у фурменій зоні, відбирає частину тепла, отриману під час спалювання частини ПВП, на плавлення золи.

Ці фактори суттєво впливають на тепловий баланс процесу плавки чавуну, на температуру в горні доменної печі і температуру факелу в фурменій зоні. В свою чергу, це приводить до зниження інтенсивності доменної плавки та зниженню продуктивності доменної печі. Виробничий досвід показує, що при коефіцієнті заміни коксу ПВП, який дорівнює 1, підвищення зольності ПВП на 1% знижує продуктивність доменної печі на 1-3%. До того ж, підвищення зольності ПВП знижує коефіцієнт заміни коксу пиловугільним паливом, що визначає ефективність даного виду ПВП. За розрахунковими даними, при середньому значенні показника зольності для ПВП, який дорівнює 8,5%, а для коксу марки "Преміум" - 11%, коефіцієнт заміни коксу пиловугільним паливом складає 0,96, отже, показник зольності ПВП  $A^d$  повинен бути не більше 8,5%.

Сірка, що міститься у природному паливі, також знижує теплоту згорання ПВП, тому що з трьох горючих компонентів: вуглецю, водню й сірки, вона має найменшу теплоту згорання ( $Q_H$  вуглецю = 33900кДж/кг,  $Q_H$  водню = 103000кДж/кг,  $Q_H$  сірки 10900кДж/кг), а частина сірки входить до складу негорючих з'єднань, наприклад, сульфатів. Крім того, кокс та ПВП - єдині постачальники сірки у доменну піч. Сірка, переходячи у чавун, надає йому властивість "красноламокості", а попадаючи у шлак різко підвищує його в'язкість. Тому є суворі обмеження на вміст сірки у коксі та у ПВП. Виробничий досвід показує, що при коефіцієнті заміни коксу ПВПом, який дорівнює 1, підвищення сірчаності ПВП на 0,1% знижує продуктивність доменної печі на 1-3%. Отже, потрібно обмеження вмісту сірки у ПВП. Відомо, що сірчаність ПВП не повин-

на перевищувати сірчаність коксу. Наприклад, сірчаність коксу марки «Преміум», який застосовують у доменній плавці разом з ПВП, не повинно перевищувати 0,85%, то й сірчаність ПВП також повинна бути <0,85%. Застосування запропонованого пиловугільного палива дозволить:

- оптимізувати технологічні параметри вугілля для приготування ПВП;

- інтенсифікувати згоряння ПВП в зоні фурм доменної печі, а отже, інтенсифікувати доменну плавку та покращити теплотехнічні показники роботи доменної печі;

- знизити питомі витрати коксу у доменному виробництві чавуну;

- знизити коефіцієнт заміни коксу ПВП в доменній плавці.