

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

Шепетовський Ігор Едуардович

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ НА ОСНОВІ ОДЕРЖАННЯ ТА
ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ГАЗИФІКАЦІЇ НИЗЬКОСОРТНОГО ТВЕРДОГО ПАЛИВА

Спеціальність 05.16.02 "Металургія чорних металів"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ

1996

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Державній металургійній
академії України

Науковий керівник: кандидат технічних наук,
доцент Шатоха В. І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор Довгалюк В. П.

кандидат технічних наук,
с. н. с. Губинський М. В.

Ведуче підприємство: Укрдіпромет

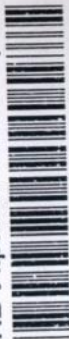
Захист відбудеться "15" жовтня 1996 р. у 12 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.11.03 при Державній
металургійній академії України за адресою:
320065, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної мета-
лургійної академії України.

Автореферат розіслано "12" 09 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук, доцент *М. С. Паніотов* Ю. С. Паніотов

ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00759964 (1)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Виплавка чавуну у доменних печах відноситься до числа найбільш енергоємних та крупномасштабних промислових виробництв, що означає високу рентабельність достатньо крупних капіталовложень у цю галузь при умові досягнення економічного ефекту від впровадження нових технологій.

У доменному виробництві України труднощі у забезпеченні поставок традиційно використовуємих енергоносіїв - коксу та природного газу, - привели до ряду негативних наслідків:

- збільшення питомої витрати коксу у зв'язку з коливаннями його складу та властивостей, зупиненням вдування природного газу на багатьох печах та зниженням температури дуття і, як наслідок, збільшення приходу сірки, відхилення теплового і шлакового режимів та різке зниження інтенсивності плавки;

- збільшення часу простоїв, тихого ходу та вивід з експлуатації значного числа печей, що привело до зниження виробництва чавуну, а також до зменшення виходу доменного газу та його частки у енергобалансі металургійних заводів.

Однією з найважливіших задач доменного виробництва на сучасному етапі є пошук нових джерел теплового та відновного потенціалу для плавки та шляхів підвищення ефективності їх використання. Результати проведених у ряді країн досліджень та промислових плавок з вдуванням гарячих відновних газів (ГВГ), які показали високу ефективність такої технології, ставлять задачу розробки економічного способу одержання газу, відповідного вимогам доменного виробництва.

В умовах росту цін на традиційно використовуємі енергоносії необхідно введення у енергобаланс металургійних підприємств країни відносно дешевого низькосортного вугілля. Одним з найбільш економічних та екологічно чистих способів його переробки є газифікація. При ут-

ДНБ ім. В. Стефанівського
Україна

воренні способа газифікації вугілля з одержанням ГВГ для вдування у доменні печі вирішується проблема шукання коксоамініків у доменній плавці, а також проблема ефективної переробки твердого палива.

У той же час, доменне виробництво є не тільки споживачем енергоносіїв, але й постачальником побічних продуктів плавки, одним з яких є доменний шлак, маючий великий запас фізичного тепла. Утилізація цього тепла при газифікації вугілля є безумовно перспективним напрямком розвитку галузі у межах стратегії раціонального використання палива.

Таким чином, одержання та використання продуктів газифікації вугілля у доменному виробництві є комплексним підходом до розробки концепції сучасної доменної печі та охоплює коло проблем технологічного, енергетичного і економічного характеру.

Ціль роботи. Вибір економічного способу одержання ГВГ газифікацією вугілля та його удосконалення з урахуванням особливостей вугільної сировинної бази України та вимогів доменного виробництва; розробка технологічної схеми та дослідження ефективності вдування ГВГ у доменну піч; розробка теоретичних основ утилізації тепла доменного шлаку при газифікації вугілля.

Наукова новизна. На основі експериментальних досліджень ефективності зв'язування сірки вугілля додатками із вмістом кальція при газифікації уперше встановлено, що при попередньому сумісному помелі вугілля та вапна або вапняка у процесі газифікації у шлак переходить більша кількість сірки вугілля. Розроблено основні принципи та розраховано характеристики процесу алотермічної газифікації вугілля з використанням тепла рідкого доменного шлаку. Експериментально встановлено, що сірковбирний потенціал доменного шлаку реалізован не повністю, та його можна використовувати для зниження вмісту сірки у газі при алотермічній газифікації вугілля. Висунено та теоретично обґрунтовано нові положення, які доказують переваги вдування ГВГ у

горн печі у порівнянні з його вдуванням у шахту.

Практична цінність. На основі дослідження фізико-хімічних властивостей малометаморфізованого вугілля України визначено вугледобуваючі підприємства, продукція яких найбільш придатна до виробництва генераторних газів; утворено комп'ютерна база даних не використовуємих при коксуванні вугільних ресурсів України, яка дозволяє визначити доцільність вживання конкретних видів вугільної сировини у різних технологіях. Показано можливість одержання у апаратах циклонного типу ГВГ, відповідаючих вимогам для вдування у доменні печі. Розроблено схему комплексу газогенератори - доменна піч. Розраховано техніко - економічні показники доменної плавки із вдуванням у горн печі ГВГ - продуктів газифікації вугілля при різних параметрах ГВГ.

На захист винесено слідуючі положення:

1. Теоретичне та експериментальне обґрунтування технологічних прийомів, які забезпечують зв'язування сірки вугілля у шлакову фазу при одержанні ГВГ для вдування у доменну піч.

2. Обґрунтування ефективності та основні принципи одержання генераторних газів з використанням тепла доменного шлаку.

3. Практичне застосування розрахункових параметрів процесу газифікації у дослідно - промислових випробуваннях одержання ГВГ у циклонному газогенераторі.

4. Розрахунок ефективності та обґрунтування вибору горизонту вдування ГВГ у доменну піч.

Особистий внесок автора полягає у тому, що він приймав участь у проведенні дослідно - промислових випробувань циклонної газифікації та узагальненні їх результатів, утворенні комп'ютерної бази даних вугільних ресурсів України, самостійно організував та провів серію експериментів з ціллю вивчення ефективності зв'язування сірки вугілля додатками із вмістом кальцію при газифікації, розрахував основні

параметри установки газифікації вугілля з утилізацією тепла доменного шлаку, побудував математичну модель розрахунку режимних та конструктивних параметрів циклонної газифікації для одержання ГВГ, висунув нові теоретичні положення для обґрунтування вибору горизонту вдування ГВГ у доменну піч.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі використано результати експериментів, виконаних на дослідно - промисловій та лабораторних установках. При дослідженні властивостей вугілля та його сумішей з різними додатками використано хімічні методи аналізу. Для розрахунків рівноважних складів реагуючих сумішей використано термодинамічний програмний комплекс "Астра - 4".

Реалізація роботи. Результати експериментальних досліджень по зниженню вмісту сірки у ГВГ, а також розраховані параметри газифікації вугілля сумішею пари, кисню та повітря використано при опрацюванні режимів газифікації підчас дослідно - промислових випробувань на циклонній установці заводу ім. Петровського.

Апробація роботи. Дисертаційна робота у цілому та окремі її розділи обмірковувалися на наукових семінарах кафедри металургії чавуну Державної металургійної академії України, на науково - технічних конференціях "Теорія та технологія аглодоменного виробництва", м. Дніпропетровськ, травень 1995 р.; "Теория и технология производства чугуна и стали", м. Ліпецьк, жовтень 1995 р.; "Теорія та практика рішення екологічних проблем у гірничодобувній та металургійній промисловості", м. Дніпропетровськ, листопад 1995 р.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 7 друкарних робіт.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів з висновками до них, закінчення та загальних висновків, викладена на 168 сторінках, включаючи 36 малюнків, 12 таблиць, додатки та лист використаної літератури з 104 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

1. ІСНЮЧІ ДОСВІД ВДУВАННЯ ГВГ У ДОМЕННІ ПЕЧІ, СПОСОБИ ГАЗИФІКАЦІЇ ТВЕРДОГО ПАЛИВА ТА ЇХ ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Існуючий світовий досвід вдування ГВГ у доменні печі посвідчує про ефективність таких технологій при умові створення та використання надійних та економічних способів одержання газу. Згідно з опублікованими даними про використання ГВГ у доменній плавці, цей газ одержували шляхом конверсії природного газу або крекінгу мазуту, тобто з сировини, яка у теперішній час, в основному, імпортується в Україну.

Перспективним методом одержання ГВГ, а також енергетичних газів для потреб металургійних підприємств є газифікація низькосортного вугілля. Усі відомі способи газифікації вугілля можна розділити на 4 групи: газифікація у щільному шарі, у киплячому шарі, у потоку та у розплаві. Аналіз способів газифікації та їх характеристик дозволив зробити висновок про те, що для одержання ГВГ для вдування у доменну піч слід віддати перевагу способу, який сполучає газифікацію у потоку та наявність ванни розплаву. Для утилізації тепла доменного шлаку доцільна розробка способу алотермічної газифікації вугілля у киплячому шарі.

Аналіз опублікованих даних виявив суперечність поглядів та недостачу даних по таким питанням:

- спосіб одержання ГВГ із вугілля, найбільш повно відповідаючий вимогам для вдування у доменні печі (висока температура, мінімальний вміст окислювачей та з'єднань із вмістом сірки, достатньо висока продуктивність;

- вибір горизонту вдування ГВГ у доменну піч;

- утилізація тепла доменного шлаку при газифікації вугілля.

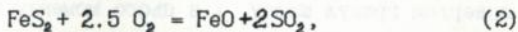
2. ВИБІР СИРОВИННОЇ БАЗИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЛЯ ТА ЙОГО СУМІШЕЙ З РІЗНИМИ ДОДАТКАМИ З ЦІЛЛЮ УТВОРЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО СПОСОБУ ГАЗИФІКАЦІЇ ТА МІНІМІЗАЦІЇ ВМІСТУ СІРКИ У ГАЗІ

Проведено аналіз вугільної сировинної бази України. Установлено, що значна кількість вугільної сировини відноситься до низькосортних видів: відсів, шлами, промпродукти. Доля малометаморфізованого вугілля ряду довжиннополум'яний - газовий у структурі вугільних запасів складає 59.6%, або 63.5 млрд. т. Запропоновано раціональна структура цільового розподілу вугільних ресурсів України. Найменші вимоги до якості вугілля пред'являються при газифікації, оскільки можна газифікувати вугілля будь-якого ступеня метаморфізму, а також низькосортні види сировини з високим вмістом золи (при організації рідкого золовилучення). При вдуванні пиловугільного палива (ПВП) у доменну піч використовуються збагаченні вугілля, в основному, пісні та антрацити, а малометаморфізовані вугілля застосовуються у невеликих кількостях як додатки. При спалюванні вугілля також необхідно його попереднє збагачення.

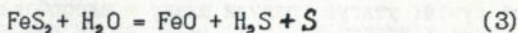
На основі дослідження фізико - хімічних властивостей малометаморфізованого вугілля марок Д, ДГ и Г Донецького та Львівсько - Волинського басейнів зроблено висновок про високу реакційну спроможність цього вугілля: температура максимуму найбільшого екзотермічного ефекту 370 - 415°C, температура максимальної швидкості реакції за методом ТГА 425 - 450°C. При цьому на характер термічних кривих впливає не тільки ступінь метаморфізму, але і склад основної вуглетворної речовини (наявність фрагментів з високою реакційною спроможністю тощо). Ці вугілля найбільш придатні для газифікації при підвищеному тиску у киплячому шарі або у потоку. Найбільшу реакці-

їну спроможність серед досліджуваних зразків має вугілля марки ДГ (об'єднання "Добропольеуголь", шахта "Пионер"); це вугілля потребує найменших витрат тепла на його нагрів (найменше значення теплоємності).

Вугілля України відносяться до високосірчистих, та переважною формою сірки у цих вугіллях є піритна. Проведені дослідження ефективності зв'язування сірки вугілля (пісний, фракція 150 мкм) додатками із вмістом кальцію при газифікації показали, що при попередньому сумісному помелі вапна та вугілля кількість зв'язаної у CaS сірки збільшується з 6.5% (від загального вмісту сірки у вугіллі) при відношенні Ca/S у суміші, рівному 1.0, до 59.6% при Ca/S = 2.5. При роздільному помелі ефективність зв'язування сірки нижче - відповідно 1.0% при Ca/S = 1.0 та 40.7% при Ca/S = 2.5. Для суміші вапняка та вугілля відносні кількості зв'язаної сірки слідує: при сумісному помелі - 0.9% при Ca/S = 1.0 та 55.4% при Ca/S = 2.5; при роздільному помелі - 0% при Ca/S = 1.0 та 32.6% при Ca/S = 2.5. Вапняк у суміші з вугіллям зв'язує меншу кількість сірки, чим вапно, оскільки підчас протікання реакції дисоціації карбонату кальцію частина сірки вугілля вступає у реакцію:



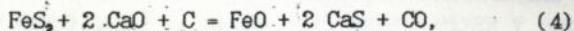
а також взаємодіє із вологою, яка є у газифікуючому агенті та у самому вугіллі, по реакції:



У результаті утворюються газуваті продукти із вмістом сірки, які покидають реакційний простір.

Збільшення кількості зв'язаної сірки при попередньому сумісному помелі вапна або вапняка з вугіллям у порівнянні з роздільним помелом можна пояснити проникненням флюсуючого додатка у мікропори ву-

гілля при стиранні, збільшенням кількості активних центрів та контактної поверхні, необхідних для протікання при подальшій високотемпературній обробці реакції:



що зменшує тривалість дифузійної стадії цієї реакції.

Реакції, аналогічні (1) - (4), мають місце також і при взаємодії органічних з'єднань сірки з компонентами газової фази.

Моделювання хімічних та фазових перетворень показало, що термодинамічно рівноважна кількість зв'язаної сірки при відношенні Ca/S, рівному 2.5, складає 98.2%; таким чином, навіть у випадку сумісного помелу вапна та вугілля рівноважна кількість зв'язаної сірки перевищує одержану в експерименті величину більш, чим на 30% абс.

3. РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ З УТИЛІЗАЦІЄЮ ТЕПЛА ДОМЕННОГО ШЛАКУ

Розроблена технологічна схема газифікації вугілля з утилізацією тепла доменного шлаку включає подачу рідкого шлаку на тарільчатий гранулятор, в який тангенціально подається окислювач (збагачена киснем пароповітряна суміш) та пиловидне вугілля. Частки вугілля налипають на поверхню гранул шлаку, і з цього моменту починається газифікація вуглецю та утилізація тепла шлаку.

Газифікація продовжується в реакторі киплячого шару, куди потік парогазової суміші утягує гранули шлаку з адсорбованим на поверхні вугіллям. Температура гранул на вході в реактор складає 1000 - 1050°C. Тут, в умовах інтенсивного перемішування часток завершується процес газифікації. Газ з температурою близько 1000°C відводиться через патрубок у верхній частині реактора, а шлак надходить у шаровий охолоджувач, де його тепло утилізується у протитоку для підігріву

газифікуючого агенту до 900 - 950°C.

Розрахункові значення ступеня утилізації тепла шлаку складають близько 90% при його температурах на вході та виході з установки, відповідно, 1500 та 200 - 250°C. Такі високі значення забезпечують можливість реалізації режимів з високою долею пари у газифікуючому агенті, що дозволяє досягнути високу ефективність перетворення вуглецю твердого палива внаслідок більшого хімічного коефіцієнту корисної дії (ККД) реакції парової газифікації у порівнянні з реакцією кисневої газифікації. Отже, якщо хімічний ККД, тобто відношення теплотворної спроможності продуктів газифікації та вихідного вуглецю, для реакції кисневої газифікації складає 69.9%, то при паровій газифікації цей показник зростає до 129.0%. Безумовно, величина хімічного ККД понад 100% для реакції парової газифікації одержана завдяки неврахованій витраті тепла, необхідного для протікання ендотермічної реакції:



Однак, при використанні доменного шлаку як теплоносія, тепло якого сьогодні не знаходить застосування, газифікація вугілля паром має переваги перед кисневою або повітряною газифікацією щодо одержання максимальної кількості тепла газів у рахунку на одиницю вуглецю вихідного вугілля.

Досліджено ефективність зв'язування сірки при газифікації вугілля (марка ДГ, фракція -250 мкм) у контакті з доменним шлаком. Вивчалось також вплив на зв'язування сірки додатків вапна у співвідношеннях вапно/шлак (мас.), рівних 0 - 0.3. Установлено, що при газифікації без додавання вапна збільшення співвідношення шлак/вугілля з 2.0 до 3.0 зменшує перехід сірки у газ з 39.3 до 30.3% (від загальної кількості сірки у вугіллі). При додаванні вапна у співвідношенні вапно/шлак 0.15 і вище, кількості сірки, яка перейшла у газ,

практично однакові при співвідношеннях шлак/вугілля, рівних 2.0 та 3.0, та після збільшення співвідношення вапно/шлак вище 2.0 не змінюються. Величину сірки, яка перейшла у газ, рівну 13.5% від загальної кількості сірки у вугіллі, певно, слід вважати граничною.

Із використанням розроблених моделей теплообміну, газодинаміки у щільному та киплячому шарі, розрахунків робочих параметрів при різних режимах газифікації визначено вихідні дані для проектування установки газифікації вугілля з утилізацією тепла верхнього шлаку доменної печі об'ємом 1513 м³.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ОДЕРЖАННЯ ГАРЯЧИХ ВІДНОВНИХ ГАЗІВ У ЦИКЛОННИХ УСТАНОВКАХ

Розроблено методика розрахунку режимних параметрів циклонної газифікації, яка оснований на матеріальному та тепловому балансі при різних ступенях збагачення газифікуючого агенту киснем. Методика побудована так, що спочатку розрахунок ведеться для "сухого" палива та киснево - повітряного дуття, а далі по результатам розрахунку теплового балансу визначається сумарна кількість вологи палива та пари для одержання газу із заданою температурою.

Для початкового етапу реалізації технології, з ціллю збільшення повноти газифікації вихідного вуглецю розрахунок ведеться з високим коефіцієнтом витрати окислювача, рівним 1.05 стехіометричного, тому розрахунковий вміст CO₂ у газі складає 5.0 - 6.0%. У розрахунковому складі газу відсутній H₂O, що погоджується з термодинамічними умовами протікання реакції (5): практично повне розкладання H₂O можливо при температурах близько 900 - 1000°C.

Проведено дослідно - промислові випробування газифікації вугілля на циклонній установці з-ду ім. Петровського. Газифікували пило-вугільне паливо (фракція 150 мкм), яке одержано з пісного вугілля

Чумаковської ЦЗФ. Витрати вугілля варіювалося у діапазоні 0.139 - 0.417 кг/с, що відповідає продуктивності газогенератору по вугіллю 0.5 - 1.5 т/год. Витрата пари складало 0.25 - 0.40 кг/кг вугілля. Залежно від режиму роботи циклону, одержаний газ містив 40 - 50%CO, 20-25% H₂, 0.4-0.5% H₂S, 5-7% CO₂, 15-20% N₂. Водяної пари у одержаному газі не виявлено. Теплота згорання газу - 8.0 - 11.0 МДж/м³. Значна водоохолоджувальна поверхня стінок реактору визначило великі втрати тепла із зони газифікації, що обмежувало температурний рівень у реакторі. Температура газифікації знаходилась у межах 1700 - 2000°C, температура відходячого газу - 1500 - 1600°C.

Розроблено методика розрахунку конструктивних параметрів циклонного газогенератору. Максимальна продуктивність згідно з умовою додержання ефективної крутки (максимальний діаметр 1.5 м) при відношенні висоти циклона до діаметру, рівному 2.0, складає 7.6 т/год. Для одержання потрібної при вдуванні у доменну піч кількості ГВГ (100 тис. м³/год та вище) необхідно спорудження багатосекційного газогенератору.

Сумісно з кафедрою промислової теплоенергетики ДМетаУ розроблено технічні рішення по утворенню комплексу газогенератори - доменна піч. Для печі об'ємом 1513 м³ необхідно спорудження 3 чотирьохсекційних газогенераторів (у тому числі 1 резервний) продуктивністю по вугіллю 7.5 т/год на 1 секцію. Газогенератори встановлюються поруч з доменною піччю та мають тракти подачі вугілля, кисню, повітря, пари та флюсуючих додатків.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВДУВАННЯ ГВГ У ДОМЕННУ ПІЧ

Перевагою ГВГ у порівнянні з використанням сирих паливних додатків є можливість подачі у піч суто готового горнового газу, що виключає труднощі реформації реагентів без утворення сажистого вуг-

лецю, а теоретична температура горіння понижується у меншому ступені завдяки внесенню гарячим газом фізичного тепла.

Висунено та теоретично обгрунтовано переваги вдування ГВГ у горні печі у порівнянні з вдуванням у шахту:

- подача у нижню частину печі суто готового горнового газу, що знижає витрату вуглецю коксу на утворення CO;

- використання відновного потенціалу газового потоку на ділянці від горизонту фурм до низа шахти, де у газ переходить близько половини кисню шихти;

- можливість формування газового потоку, який досягає та обробляє шихтові матеріали у рудному гребені;

- внесення додаткового тепла у нижню ступінь теплообміну, яка визначає загальну витрату тепла у доменній плавці;

- можливість вдування більшої кількості газу у порівнянні з вдуванням у шахту, оскільки верхня межа витрати вдуваного у шахту ГВГ знаходиться на рівні 500 м³/т чавуну внаслідок зростання верхнього перепаду тиску більш, ніж у 2 рази;

- більш висока відновна активність вміщеного у газі водню при підвищених температурах у області протікання реакцій відновлення залізорудних матеріалів;

- відсутність необхідності змінювання конструкції печі та виключення додаткових труднощів у роботі персоналу по обслуговуванню фурмених приладів у газонебезпечній зоні шахти.

Розрахунковим методом встановлено, що температура колошникового газу при вдуванні ГВГ у горні печі знижується, а при вдуванні у шахту збільшується; останнє визначає не тільки підвищені теплові втрати в плавці, але й додаткові труднощі при транспортуванні та використанні доменного газу.

При подачі у горні печі близько 1000 м³ ГВГ/т чавуну з темпера-

турою 1350 - 1500°C та холодного кисню можливо вивести із доменної плавки гаряче дуття. Для подачі ГВГ використовується тракт гарячого дуття, а для подачі кисню - тракт природного газу. З ціллю забезпечення стійкості тракту підведення ГВГ запропоновано використовувати периклазові або цирконисті вогнетриви.

Розрахунок змінення показників плавки для доменної печі N3 об'ємом 1513 м³ комбінату "Запоріжсталь" при вдуванні у горн 1044 - 1064 м³ ГВГ/т чавуну з температурою 1350 - 1500°C та холодного кисню у кількості 237 - 271 м³/т чавуну замість виведених з плавки 1500 м³/т чавуну гарячого дуття та 152 м³/т чавуну природного газу показав можливість зменшення питомої витрати коксу на 77 - 118 кг/т чавуну та збільшення питомої продуктивності у 1.27 - 1.31 рази у порівнянні з базовим періодом. Прийнятий у розрахунку склад газу був наступним, %: CO - 55.0, H₂ - 20.0, CO₂ - 5.0, N₂ - 20.0. Було встановлено, що кожний процент окислювачів у газі зумовлює перевитрату коксу на 5.9 кг/т чавуну при температурі ГВГ 1350°C та 9.7 кг/т чавуну при температурі ГВГ 1500°C. Теоретична температура горіння підтримується на постійному рівні 2040°C через змінювання співвідношення витрат ГВГ та кисню.

Для порівняльної оцінки ефективності заміни коксу ГВГ та іншими паливними додатками слід урахувати виведення з доменної плавки гарячого дуття. Згідно з розрахунками, коефіцієнт заміни коксу ГВГ (за обліком виведення 152 м³/т чавуну природного газу та 1500 м³/т чавуну гарячого дуття) складає 0.29 - 0.32 кг/м³, або 0.73 - 0.80 кг/кг вихідного вугілля.

ЗАКІНЧЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

7.1. Неспікливі високозоольні вугілля України ряду довжиннополум'яний - газовий, а також пісні вугілля (в певній обмеженій кілько-

сті) є перспективною недефіцитною сировиною у виробництві газуватих енергоносіїв для чорної металургії. Газифікація вугілля, з одного боку, вирішує задачу пошуку нових енергоносіїв для доменного виробництва, а з другого боку, використовуючи тепло побічного продукта доменної плавки - шлака, дозволяє одержати енергетичний газ для потреб металургійного підприємства у цілому.

7.2. Методи зниження сірчистості твердого палива не забезпечують рівень сірки, знімаючи проблему подальшої десульфурації у металургії та енергетиці, тому при газифікації вугілля необхідно якомога більшу кількість сірки зв'язати та вилучити із золою. Ефективним засобом зниження вмісту сірки в одержуємому газі є подача у газифікатор продукту сумісного помелу вапна та вугілля. Менший ефект десульфурації досягається у випадку застосування вапняка або при роздільному помелі вугілля та цих додатків. Сірковбирний потенціал виходячого з доменної печі шлаку реалізован не повністю, та його знесірчуючі властивості можна використовувати у алотермічній газифікації вугілля.

7.3. Розроблений спосіб утилізації тепла доменного шлаку дозволяє одержати висококалорійний енергетичний газ при алотермічній газифікації вугілля та збільшити вміст Al_2O_3 у опрацьованому шлаці, що підвищує його якість при подальшому використанні у будівництві. На основі розроблених математичних моделей одержано вихідні дані для проектування установки газифікації вугілля з утилізацією тепла верхнього шлаку доменної печі №3 комбінату "Запоріжсталь".

7.4. Одержання ГВГ для вдунання у доменну піч найбільш ефективно у багатосекційних апаратах поточної газифікації із використанням ванни зольного розплаву. Такий комбінований спосіб має ряд переваг:

- невеликі розміри апарату, які забезпечують його компактне розміщення у структурі комплексу доменної печі;
- висока продуктивність, яка дозволяє одержувати необхідні для

вдування у доменну піч кількості ГВГ;

- відповідність одержуемого у автотермічному режимі газу вимогам доменного виробництва: висока температура (1400°C і вище) та мала частка окислювачів (не більше 4 - 7%);

- рідке золотилучення з ціллю забезпечення безперервності процесу газифікації.

7.5. Перевагами використання у доменній плавці ГВГ - продуктів газифікації вугілля перед технологією пилосвдування є:

- можливість використання низькосортних твердих палив (промпродукти, шлами та ін.), зведення до мінімуму змінювань шлакового режиму доменної плавки через організацію рідкого золотилучення у газогенераторі;

- менша кількість вносимої у піч сірки завдяки її зв'язуванню різними додатками у газогенераторі та вилучення із золою;

- використання більшої кількості вихідного вугілля.

7.6. З точки зору використання теплового та відновного потенціалу газу, забезпечення стійкого газодинамічного режиму роботи печі, а також промислової реалізації та експлуатаційних характеристик найбільш ефективною (у порівнянні з вдуванням у шахту) є подача ГВГ у горн доменної печі.

7.7. Розрахунок змінювання показників плавки для доменної печі N3 об'ємом 1513 м^3 комбінату "Запоріжсталь" при подачі у горн холодного кисню та близько 1050 м^3 ГВГ/т чавуну із вмістом окислювачів 5% і температурою $1350 - 1500^{\circ}\text{C}$ замість виведених гарячого дуття та природного газу у кількості $152 \text{ м}^3/\text{т}$ чавуну показав можливість зменшення питомої витрати коксу на 77 - 118 кг/т чавуну та збільшення питомої продуктивності на 27 - 31% у порівнянні з базовим періодом. При цьому знижується кількість шкідливих викидів в атмосферу внаслідок їх зменшення при виробництві необхідної кількості коксу.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО У ТАКИХ РОБОТАХ:

1. Исследование эффективности связывания серы угля кальций-содержащими добавками в процессе его газификации / Ю. А. Нефедов, В. И. Шатоха, И. Э. Шепетовский и др. // Теория и технология агломенного производства: Труды междунар. науч. - техн. конф., Днепропетровск, май 1995 г. - Днепропетровск. - 1995. - С. 74 - 76.

2. Опытные исследования получения горячих восстановительных газов - продуктов газификации углей для вдувания в доменную печь / С. Т. Плискановский, Р. Г. Хейфец, Б. В. Потапов, В. М. Федоринчик, И. Э. Шепетовский, А. Д. Зражевский // Теория и технология агломенного производства: Труды междунар. науч. - техн. конф., Днепропетровск, май 1995 г. - Днепропетровск. - 1995. - С. 78 - 79.

3. Шатоха В. И., Шепетовский И. Э. Исследование эффективности связывания серы углей кальций-содержащими добавками в процессе газификации // Теория и технология производства чугуна и стали: Труды междунар. науч. - техн. конф., Липецк, октябрь 1995 г. - Липецк. - 1995. - С. 221 - 224.

4. Нефедов Ю. А., Шатоха В. И., Шепетовский И. Э., Соколовская И. В. Источники энергосбережения и снижения выбросов сернистых соединений при газификации углей с утилизацией тепла доменного шлака / Теория и практика решения экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности: Труды междунар. конф., Днепропетровск, ноябрь 1995 г. - Днепропетровск. - 1995. - С. 18 - 20.

5. Заявка N 94052733. МПК 5 C10 I 3/54. Спосіб утилізації тепла рідкого доменного шлаку / Ю. А. Нефедов, В. І. Шатоха, І. В. Соколовська, В. Ф. Степаненко, І. Е. Шепетовський. - Заявлено 23.05.94; Опубл. у Бюл. 1-1., 1996р. // Промислова власність. - 1996. - N 1-1.

6. Шатоха В. И., Шепетовский И. Э. Получение низкосернистого доменного чугуна в условиях угольной сырьевой базы Украины // *Металлург.* - 1996. - №. - С. 27 - 29.

7. Шатоха В. И., Шепетовский И. Э. К вопросу о выборе горизонта вдувания горячего восстановительного газа в доменную печь // *Чугун.* - М.: Прогресс. - 1996. - №. - С. 32 - 33.

Шепетовський І. Е. Удосконалення технології доменної плавки на основі одержання та використання продуктів газифікації низькосортного твердого палива. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.16.02 - "Металургія чорних металів". Державна металургійна академія України, Дніпропетровськ, 1996. Рукопис 168с., 12 табл., 36 мал., бібліогр. 104 назв.

Ключові слова: доменне виробництво, газифікація вугілля, відновний газ, шлак, утилізація тепла, циклон, горизонт вдування.

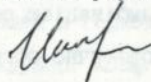
Містить результати аналітичної оцінки змінювання показників доменної плавки при вдуванні у піч гарячих відновних газів (ГВГ) - продуктів газифікації вугілля, дослідження одержання ГВГ, задовольняючого вимогам доменного виробництва, розробки основ газифікації вугілля з утилізацією тепла доменного шлаку. Установлено, що ефективним способом зниження вмісту сірки у одержуемому ГВГ є подача у газогенератор продукта сумісного помелу вапна та вугілля. Показано можливість одержання ГВГ для вдування у доменну піч в апаратах циклонного типу, які є комбінацією способів газифікації у потоку й розплаві. Висунено та теоретично обґрунтовано нові положення, які доказують переваги вдування ГВГ у горн печі у порівнянні із вдуванням у шахту. Експериментально підтверджено, що сірковбирний потенціал доменного шлаку реалізован не повністю, та його можна використовувати при газифікації вугілля разом із запасом фізичного тепла.

Shepetovsky I. E. Improvement of Blast Furnace Smelting

Technology on the Base of Production and Use of Low - Sorted Solid Fuel Gasification Products. - Master's thesis on the speciality 05.16.02 - ferrous metallurgy. State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1996. - Manuscript, p. - 168, tabl. - 12, fig. - 36, ref. 104.

Key words: production of iron, coal gasification, reducing gas, slag, heat utilization, cyclone, horizon of injection.

It contains results of change performances analytical estimation of blast furnace (BF) smelting with hot reducing gas (HRG) - product of coal gasification, research of HRG production, which justified iron production requirements, development of coal gasification base with BF - slag heat utilization. It was installed, that effective mode of sulphure content diminishing in produced HRG is the charge in gas generator product of lime and coal joint grinding. It was shawn the possibility of HRG production for injection into BF in cyclone - type apparatus, which combines flow and smelting gasification modes. There were put forward and theoretically grounded the new standings, which proves the advantages of HRG injection into BF - hearth in comparison with injection into BF - stack. It was experimentally confirmed, that sulphure-absorbing potential of BF - slag is realised unfully, and it may be used in coal gasification together with store of physical heat.

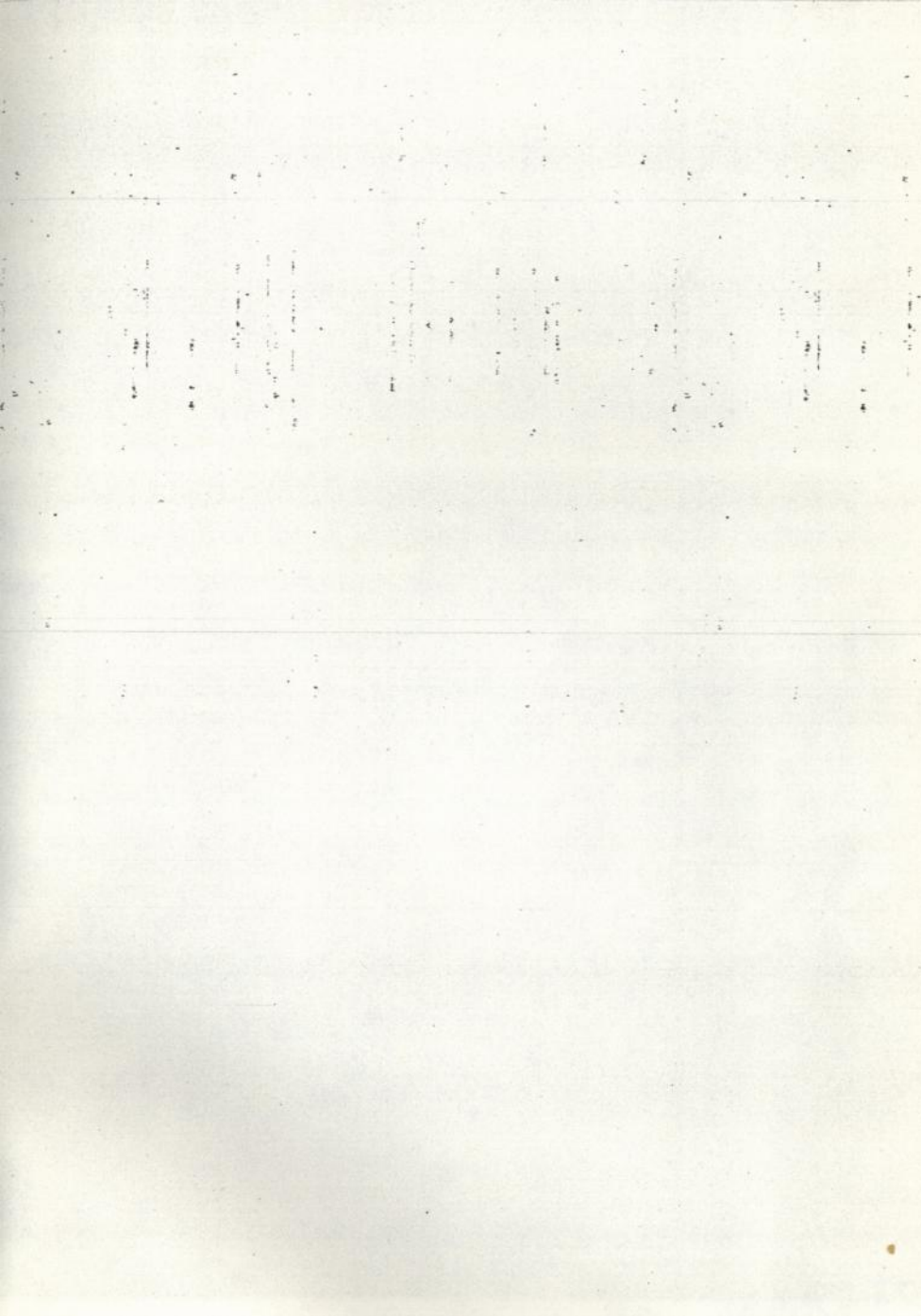


Подписано к печати 11.07.1996г.

Усл. печ. листов 1.

Заказ № 588 т. 30

ИЧМ. г.Днепропетровск,пл.Стародубова,1а.



The following is a list of the names of the persons who have been appointed to the various positions in the Department of the Interior, and the date of their appointment. The names are given in alphabetical order, and the date of appointment is given in parentheses.

1. Mr. J. H. ... ()

2. Mr. ... ()

3. Mr. ... ()

4. Mr. ... ()

5. Mr. ... ()

6. Mr. ... ()

7. Mr. ... ()

8. Mr. ... ()

9. Mr. ... ()

10. Mr. ... ()

11. Mr. ... ()

12. Mr. ... ()

13. Mr. ... ()

14. Mr. ... ()

15. Mr. ... ()

16. Mr. ... ()

17. Mr. ... ()

18. Mr. ... ()

19. Mr. ... ()

20. Mr. ... ()

21. Mr. ... ()

22. Mr. ... ()

23. Mr. ... ()

24. Mr. ... ()

25. Mr. ... ()

26. Mr. ... ()

27. Mr. ... ()

28. Mr. ... ()

29. Mr. ... ()

30. Mr. ... ()

31. Mr. ... ()

32. Mr. ... ()

33. Mr. ... ()

34. Mr. ... ()

35. Mr. ... ()

36. Mr. ... ()

37. Mr. ... ()

38. Mr. ... ()

39. Mr. ... ()

40. Mr. ... ()

41. Mr. ... ()

42. Mr. ... ()

43. Mr. ... ()

44. Mr. ... ()

45. Mr. ... ()

46. Mr. ... ()

47. Mr. ... ()

48. Mr. ... ()

49. Mr. ... ()

50. Mr. ... ()

51. Mr. ... ()

52. Mr. ... ()

53. Mr. ... ()

54. Mr. ... ()

55. Mr. ... ()

56. Mr. ... ()

57. Mr. ... ()

58. Mr. ... ()

59. Mr. ... ()

60. Mr. ... ()

61. Mr. ... ()

62. Mr. ... ()

63. Mr. ... ()

64. Mr. ... ()

65. Mr. ... ()

66. Mr. ... ()

67. Mr. ... ()

68. Mr. ... ()

69. Mr. ... ()

70. Mr. ... ()

71. Mr. ... ()

72. Mr. ... ()

73. Mr. ... ()

74. Mr. ... ()

75. Mr. ... ()

76. Mr. ... ()

77. Mr. ... ()

78. Mr. ... ()

79. Mr. ... ()

80. Mr. ... ()

81. Mr. ... ()

82. Mr. ... ()

83. Mr. ... ()

84. Mr. ... ()

85. Mr. ... ()

86. Mr. ... ()

87. Mr. ... ()

88. Mr. ... ()

89. Mr. ... ()

90. Mr. ... ()

91. Mr. ... ()

92. Mr. ... ()

93. Mr. ... ()

94. Mr. ... ()

95. Mr. ... ()

96. Mr. ... ()

97. Mr. ... ()

98. Mr. ... ()

99. Mr. ... ()

100. Mr. ... ()

[Handwritten signature]

Approved: _____
Special Agent in Charge, U.S. Department of the Interior
Washington, D.C.
Date: _____

AB 35.546