

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

Дишлевич Ігор Йосипович

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ДОМЕННОГО ПРОЦЕСУ НА
ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ
ШИХТИ ТА РОБОТИ ГОРНА

Спеціальність 05.16.02 "Металургія чорних металів"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата
технічних наук

Дніпропетровськ, 1995

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00756234 (R)

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

Димлевич Ігор Йосипович

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ДОМЕННОГО ПРОЦЕСУ НА
ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ
ШИХТИ ТА РОБОТИ ГОРНА

Спеціальність 05.16.02 "Металургія чорних металів"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата
технічних наук

Дніпропетровськ, 1995

115 01100
Роботу виконано в Державній металургійній Академії
України

Науковий керівник – доктор технічних наук,
професор Ковшов В.М.

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор
Петрушов С.М.
кандидат технічних наук, доцент
Гладков М.А.

Ведуче підприємство: Дніпровський металургійний комбінат
ім.Дзержинського

Захист відбудеться "28" 02 1995 р. о 12³⁰ годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.02.01 при Державній металургійній Академії України за адресою: 320065, м.Дніпропетровськ, пр.Гагаріна,4.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці
Державної металургійної Академії України.

Автореферат розісланий "25" 01 1995 р.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд.техн. наук, доцент

Ю.С.Паніотов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи . Нова концепція розвитку металургії України передумовляє ліквідацію застарілих агрегатів, а також підвищення ефективності роботи сучасних доменних печей, для чого необхідно подальше зниження витрат коксу, підвищення ефективності використання заміновачів коксу, зниження витрат енергії за допомогою використання нових та удосконалення відомих методів інтенсифікації.

В нинішній час більшість доменних печей працює в режимах, значно віддалених від режиму оптимального і, більш того, – без чіткого формулювання критерія оптимізації. Це пояснюється перш за все недостатністю досліджень в сучасних умовах, що характеризуються високим рівнем неконтролюємих збурень доменного процесу. Тому удосконалення і розвиток відомих, а також вишукування нових методів інтенсифікації плавки можливі при поглибленому дослідженні процесів, протікаючих в доменній печі.

Завантаження, дуттєвий та шлаковий режими сучасного доменного процесу мають резерви підвищення інтенсивності плавки, які полягають частково в застосуванні нових конструкцій фурм і спеціальних доплатків до шихти, покращуючих фізичні властивості шлаку, а також – в оптимізації параметрів завантаження і дуття. Вирішення цих актуальних задач якраз і присвячена дисертаційна робота.

Метою роботи є пошук, розробка та використання методів інтенсифікації плавки шляхом поглибленого дослідження процесів, які мають місце у доменній печі, на основі більш повного використання резервів роботи горна та оптимізації завантаження і розподілу шихти на колошнику.

Поставлена ціль досягається вирішенням таких задач: визначення повного кола методів інтенсифікації доменної плавки; визначення шляхів розширення факторного простору класичних методів інтен-

сифікації; інтенсифікація цуттєвого режиму в сучасних умовах; застосування методів раціоналізації шлакового режиму; оптимізація цуттєвого режиму і завантаження доменних печей в сучасних шихтових умовах.

Наукова новизна роботи:

- визначено умови ефективно́ї інтенсифікації роботи доменних печей на основі статистичних досліджень впливу основних факторів на кінцеві параметри доменної плавки;
- запропоновано методикy поглибленого дослідження окислювальних зон в умовах подачі різної кількості відновлювачів;
- установлені шляхи інтенсифікації роботи горна, які полягають у раціоналізації складу шлаку за рахунок введення до шихти спеціальних добавок, організації оптимальної кількості випусків та підбір оптимального гідродинамічного режиму випуску чавуну;
- запропоновано методи оптимізації цуттєвого режиму, завантаження і розподілу шихти на колошнику, які інтенсифікують роботу доменної печі.

Практична цінність роботи:

- розроблені раціональні способи підводу газу у фурми, нові конструкції фурм з раціональними параметрами, які активізують роботу горна доменної печі;
- визначені раціональні кількості та види добавок до шихти, оптимізуючих шлаковий режим;
- застосовані оптимальні параметри відпрацювання продуктів плавки для активізації роботи горна доменних печей;
- використані експериментальні та теоретичні методи оптимізації параметрів цуття та завантаження, що дозволили інтенсифікувати роботу доменної печі.

На захист виносяться такі положення: результати промислових випробувань, які встановлюють закономірності протікання процесів

у всьому об'ємі зони циркуляції при введенні різної кількості відновлювача; методи інтенсифікації роботи горна за допомогою оптимізації параметрів дуття та вдосконалення конструкції фурм; методи раціоналізації шлакового режиму введенням до шихти стабілізуючих розріплюючих економічних добавок; постановка задачі і методи вирішення завдань оптимального розподілу шихти на колошнику.

Особистий вклад автора дисертації в розробку наукових положень і досягнення практичних результатів роботи полягає в тому, що він самостійно запропонував і організував дослідження та перевірів на доменних печах технологію плавки з оптимізацією кількості і періодичності випусків чавуну, а також розробив і впровадив методи оптимізації режимів дуття та завантаження для конкретних умов роботи доменних печей.

Методи досліджень, що застосовані для вирішення завдань дисертаційної роботи, засновані на сучасній теорії доменного процесу, фізико-хімічних та балансових розрахунків, статистичної обробки техніко-економічних показників, застосування сучасних методів моделювання, теоретичної та експериментальної оптимізації, витікаючої з аналізу складних систем.

Теоретичні методи інтенсифікації перевірялись та доповнювались натурними дослідженнями на доменних печах за допомогою застосування дослідних плавок з подальшим порівнянням їх результатів з базовими періодами роботи доменних печей при урахуванні впливу півчих факторів на продуктивність та витрати коксу. Застосування таких методів досліджень дозволило розширити відомі та відшукати нові ефективні методи інтенсифікації, які значно поліпшують техніко-економічні показники доменної плавки.

Реалізація результатів у промисловості по темі дисертації. На

доменних печах металургійного заводу ім.Петровського впроваджені та нахилені повітряні фурми оптимальних параметрів, які дозволяють знизити витрати коксу на 1,3 - 1,97% та підвищити продуктивність на 1,36 - 2,73%.

Впроваджено введення конверторного шлаку до шихти доменної плавки, що дозволило поліпшити десульфурацію чавуну, стабілізувати шлаковий режим та одержати економічний ефект 900 тис карбованців у цінах до 1991 року.

Впроваджено оптимальний режим відпрацювання продуктів плавки, що характеризується оптимальною масою випуску, що привело до стабілізації роботи горна та інтенсифікації доменної плавки з підвищенням продуктивності та зниження витрат коксу.

На доменних печах Криворізького металургійного комбінату впроваджено: роботу доменних печей № 5,6,8 з оптимальними параметрами завантаження, встановленими на підставі послідовного симплексного пошуку, який забезпечує зростання продуктивності на 2% та зниження витрати коксу на 0,4%; технологію доменної плавки при використанні у шихті залізорудних обкотишів та конверторного шлаку.

У доменному цеху Запорізького металургійного комбінату застосовано методику оптимізації газодинамічного режиму доменної печі № 4 факторами пуття та завантаження, які дозволили підвищити продуктивність доменної печі на 3-5% та знизити витрати коксу на 1,5 - 2,0%.

Апробація роботи. Матеріали дисертації викладено та обговорено на республіканських, всесоюзних та міжнародних конференціях і семінарах: міжвузівській науково-технічній конференції по організації та регулюванню доменного процесу, Магнітогорськ, квітень 1968р; першій республіканській конференції молодих вчених-металургів, Дніпропетровськ, січень, 1969р.; науково-технічній конфе-

ренції "Газодинаміка та механіка руху шихти в доменних печах, Свердловськ, березень, 1969р.; всесоюзній науковій конференції "Теоретичні основи металургії чавуну", Москва, січень, 1974р.; третій республіканській науково-технічній конференції молодих інженерів-металургів, Дніпропетровськ, грудень, 1974р.; першій науково-технічній конференції "Молоді вчені - науково-технічному прогресу у металургії", Донецьк, червень, 1977р.; всесоюзній науково-технічній конференції "П'ятиріччі якості та ефективності - праця та пошуки молодих металургів", Тула, жовтень, 1978р.; всесоюзній науково-технічній нараді "Проблеми автоматизованого управління доменним виробництвом", Київ, жовтень, 1979р.; всесоюзній науково-технічній конференції "Теорія та практика сучасного доменного виробництва", Дніпропетровськ, травень, 1983р.; конференції поменщиків "Витковице - 1989", Острава / ЧССР /, 1989р.; конференції "Металургія - 92", Краков / Польща/, 1992р.; конгресі поменщиків, Тула / Росія/, 1992р.; конференції "Чорна металургія Росії та країн СНГ у XXI сторіччі / Росія/, 1994р.

Результати роботи апробовано на науково-технічних семінарах кафедр металургії чавуну Державної металургійної Академії України, Московського інституту сталі та сплавів, Дніпродзержинського державного технічного університету.

Матеріали дисертації покладалися на науково-технічних конференціях заводу ім. Петровського, комбінатів "Криворіжсталь" і "Запоріжсталь".

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у 18 статтях.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, п'яти розділів, вміщуючих 172 сторінки машинописного тексту, 31 ілюстрацію, 20 таблиць, списку літератури з 126 найменувань та податка на 3-х сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

I. В с т у п

Інтенсифікація плавки— один з основних напрямків прискорення та удосконалення доменного процесу. Стосовно до доменного процесу, "інтенсифікація" включає не тільки продуктивність доменної печі, а і здійснення процесів доменної плавки у найбільш сприятливих умовах з меншою витратою палива.

Відомі класичні методи інтенсифікації: підготовка шихтових матеріалів до доменної плавки, нагрівання шуття, вдування у піч відновлювачів та окислювачів, використання підвищеного тиску під колошником. Та цим списком не вичерпується весь перелік можливостей інтенсифікації процесу. До методів інтенсифікації можна віднести також модифікацію та удосконалення окремих технологічних і конструктивних параметрів, удосконалення окремих режимів завантаження, конструктивних параметрів завантажувальних пристроїв, фурм, горна та ін., оптимізацію технологічних процесів — все що приводить у кінцевому рахунку до зниження витрат коксу та підвищення продуктивності доменної печі.

Оптимізація технологічного режиму доменної плавки у теперішній час може служити одним з основних методів інтенсифікації.

В сучасних умовах класичні методи інтенсифікації значною мірою вичерпали себе із-за економічних та організаційних причин. Так, наприклад, застосування підвищених температур шуття потребує, з одного боку, значних капітальних витрат на ремонт повітрянагрівачів, сума яких підвищується з ростом максимальної температури, а з іншого боку, підвищені температури потребують у горні доменної печі додаткової кількості охолоджувачів для оптимізації теплового стану горна. Дослідження та розрахунки, проведені в останні роки показують, що нагрів шуття вище 1200°C нецільний. Підвищений тиск під колошником, якщо він перевищує майже всюди

досягнуту межу в 2,5 ат , призводить до швидкого спрацювання завантажувальних механізмів, до пошкодження броні доменної печі, а також кожухів повітрянагрівачів та пилоуловлювачів. У цьому разі потрібні додаткові витрати на зміцнення конструкцій та обладнання доменних печей.

Більшість класичних методів інтенсифікації у сучасних умовах можуть бути розвинені шляхом розширення меж факторів впливу на доменний процес, встановлених засобом поглиблених досліджень процесів, які належать до основи цих методів. Дійовими методами підвищення інтенсивності доменної плавки можуть бути також оптимізація процесів завантаження, газодинаміки, шлакового та дуттєвого режимів. Методи оптимізації не потребують капітальних або інших значних витрат і реалізуються за рахунок відповідності параметрів складних систем, визначених за допомогою спеціальної процедури або алгоритма.

2. Оцінка умов ефективної інтенсифікації роботи доменних печей

Згідно з сучасними уявленнями залежності питомих витрат коксу і продуктивності печі від інтенсивності плавки мають екстремальний характер. Літературна інформація дає підставу рахувати, що більшість сучасних доменних печей працює у такому режимі, коли інтенсивність перевищує значення, відповідні мінімальним витратам коксу. У зв'язку з цим виконано дослідження та трьох металургійних підприємствах: ім.Дзержинського, ім.Петровського і Криворіжсталь, які мають різницю в об'ємах доменних печей, сировинних умовах та інших технологічних факторах.

У дослідження входило визначення кількісного впливу інтенсивності плавки на питомі витрати коксу і продуктивність доменних печей. Вирішення цих завдань здійснювалось шляхом проведення дослідних плавок на доменних печах, а також шляхом математичної об-

робки виробничої інформації методом множинного регресійного аналізу. Було піддано математичній обробці на ЕОМ показники роботи печей за період протягом від 1,5 до 2,5 років. За початкову інформацію використовували середньодобові показники. Інтенсивність плавки оцінювали по кількості коксу спалюваного в печі за добу на 1 м^3 корисного об'єму печі.

Результати обробки приводять до висновку, що підвищення інтенсивності плавки, здійснене з поліпшенням газопроникності шихти при збереженні постійного перепаду тиску у робочому просторі печі, супроводжується зростанням питомих витрат коксу. Для більшості печей зростання витрат коксу з підвищенням інтенсивності плавки на 1% у діапазоні 800–1200 кг/м^3 сут. складає 0,2–0,4%.

Задача подальшого підвищення виплавки чавуну повинна здійснюватися разом з впровадженням заходів, спрямованих на зниження питомих витрат коксу. Для цього необхідно визначити фактори, які найбільше впливають на витрати коксу і інтенсивність доменної плавки. Визначення цих факторів, межі їх змінення та взаємовпливу було здійснено на підставі досліджень, проведених на доменних печах Алчевського металургійного заводу.

Дослідження проведено шляхом сполучення балансових та статистичних методів аналізу роботи доменних печей із застосуванням ЕОМ. Суть їх зводиться до систематичного збору та обробки повної інформації про роботу доменних печей на ЕЦОМ з накопиченням цієї інформації за 1–5 місяців роботи цеха. Надходящу інформацію обробляли з ціллю вилучення показників, які характеризують результати плавки і рівень відновлювальних, теплових та газодинамічних процесів, а також для визначення статистичних залежностей між основними технологічними параметрами, продуктивністю печі, витратами коксу та якістю чавуну.

В умовах роботи доменних печей Алчевського металургійного

заводу виявилось доцільним по мірі збагачення дуття киснем форсувати їх хід одночасно з інтенсифікацією теплообміну у нижній зоні шляхом підвищення температури у фурменних зонах на 30-100°C і підвищення основності шлаку / по відношенню CaO/SiO_2 / до 1,26 - 1,32. Підвищення основності шлаку і теоретичної температури горіння забезпечило інтенсифікацію плавки та підвищення продуктивності печі завдяки зменшенню кількості легкоплавкого первинного шлаку та підвищення нагріву матеріалів, які приходять у горн. В цих умовах робота горна поліпшується, що в кінцевому рахунку і визначає можливість форсування доменної плавки.

Дослідження впливу концентрації закису заліза у агломераті на питому продуктивність доменних печей та витрати коксу показали, що при підвищенні інтенсивності плавки по фурменному газу з 2,35 до 2,45 м³/хв.м³ оптимальна / по умовах одержання найбільшої продуктивності печі/ концентрація закису заліза у агломераті зростає з 13,5 до 15%. Питома витрата коксу в умовах форсованого ведення печі різко зростає, якщо концентрація FeO перевищує 14,5%.

Таким чином, дослідження показали, що загальна інтенсифікація доменної плавки стримується рядом факторів, які впливають на роботу горна і розподіл шихти на колошнику. Таке збільшення інтенсивності потребує підвищених температур у зонах горіння до 2150°C, визначеної основності / 1,27 - 1,30 / шлаку, додаткового вдування кисню / до 26,5% / та відновлювачів з визначеним співвідношенням останніх / менш 1 /, певного розподілу на колошнику шихти / у даному випадку підвантаження периферії печі/, підвищення вмісту FeO в агломераті до 14%.

3. Дослідження та інтенсифікація дуттєвого режиму доменної плавки

Розмір, форма та розташування окислювальних зон у горні доменної печі суттєво впливають на рух шихтових матеріалів, розподіл

газового потоку по перерізу печі та протікання фізико-хімічних процесів / горіння, відновлення, плавління, теплообміну та ін. /, а виходячи з цього - і на техніко-економічні показники доменної плавки.

При роботі доменних печей з використанням природного газу виявилось, що формування газової фази та окислювально-відновлювальні процеси у горні протікають згідно з законами, що значно відрізняються від відомих раніше. Тому було застосовано нову методику зондування зон горіння, яка дозволяє більш повно досліджувати процеси, що протікають у зоні циркуляції та міжфурменному просторі. Доменну піч корисним об'ємом 1033 м³ було обладнано двома досліджувальними отворами, які дозволяють відбирати проби з зони горіння збоку від осі повітряної фурми та вище неї. Результати зондування дозволили виявити аномалії у розподіленні продуктів горіння та розробити заходи щодо ефективного вдування відновлювачів у доменну піч.

Ефективність змінення способу введення природного газу оцінювали шляхом дослідження розподілу газу в горні та під рівнем засипу при зміненнях деяких показників доменного процесу. Було встановлено, що ряд показників / ступінь змішування природного газу з дуттям, розподілу продуктів горіння та концентрації водню по перерізу печі / в значній мірі залежать від способу введення природного газу.

При введенні природного газу по осі фурми виникло різке перерозподілення компонентів горнового газу в об'ємі зони горіння та міжфурменному просторі. Окислювальна зона та зона максимальної концентрації діоксиду вуглецю в газі наблизились до периферії; розміри окислювальної зони у довжину значно збільшилися, а у ширину дещо зменшилися. Максимальна кількість CO₂ по осі відбору знизилась. Особливо різко підвищилась концентрація у газі водню

на периферії в міжфурменному просторі, в окислювальній зоні та поза її межами на осі повітряної фурми. За межами окислювальної зони концентрація вільного водню складала 10,6 - 11,6% та була вище балансової концентрації у горновому газі. При підводі природного газу по осі фурми піч працювала більш рівно, що в свою чергу додатково поліпшило показники її роботи. Більш рівномірне розподілення вогню по перерізу горна зумовило краще використання газу в посліdnньому періоді на 1,8% абс. / 4,2% відн./ та відповідне зниження питомої витрати коксу.

Підведення газу знизу або по осі каналу фурми назустріч потоку дуття значно поліпшує утворення однорідної газової фази. Підвід газу знизу не був розповсюджений через те, що можлива закупорка отвору шлаком; загнуті назустріч потоку дуття патрубки складні у монтажі та згоряють під час взяття печі "на тягу".

Краще змішення та згорання частини газу в каналі фурми призводять до збільшення втрат тепла з водою, яка охолоджує фурми. З ціллю розосередження струму природного газу, що підводиться, для одержання однорідного газового струму та зменшення втрат тепла з охолоджуючою водою було запропоновано встановити в робочому каналі фурми перфоровану циліндричну вставку з жаростійкої сталі ХІВНІОТ. Фурми з перфорованими екранами було випробувано на доменних печах об'ємом 670 та 1033 м³ заводу ім. Петровського.

Аналіз усереднених показників роботи доменних печей за тривалі періоди до і після впровадження екранованих фурм показав, що в результаті підвищення ступеню використання природного газу та зменшення втрат тепла, витрати коксу знизились на 3-5 кг/т чавуну.

На розташування окислювальної зони, її розміри та форму значно впливають також діаметр, висов та конструкція фурм. На доменній печі об'ємом 1033 м³ з 14 фурмами діаметром 165 мм було дос-

ліщено окислювальні зони при роботі з прямими / горизонтальними/ та нахиленими фурмами / кут нахилу 9 градусів/. Результати досліджень свідчать про скорочення зон горіння у радіальному напрямку перед нахиленими фурмами внаслідок великого опору руху газу вниз, викликаного меншою порозністю коксу, розташованого нижче рівня фурм. При цьому активність периферійних цільниць підвищилася при деякому її зниженні в осевих зонах доменної печі. При погіршенні якості коксу та захаращуванні горну встановлення нахилених фурм дає позитивні результати / у тому числі і по стійкості фурм/ завдяки підвищенню активності цих зон печі.

Поліпшити техніко-економічні показники роботи доменних печей можна також шляхом змінення параметрів фурм таким чином, щоб співвідношення площин кисневої та відновлювальної зон у горні було оптимальним. Із зіставлення дійсних розмірів виходить, що киснева зона поширюється до ділянки, де ступінь зрошення продуктами плавки максимальна. При цьому збільшується кількість елементів чавуну, що окислюються навколо фурм, та витрачається додаткове тепло на їх повторне відновлення.

Згідно з теоретичними розрахунками та даними досліджень ціючої доменної печі, було запропоновано збільшити діаметр фурм з 0,155 до 0,17 м та нахилити їх на 9 градусів з ціллю поліпшення дренажу у підфурменних очагах. Експеримент показав, що використання газового потоку збільшилося на 1%, коливання температури периферійних газів значно зменшилося у порівнянні з переддослідним періодом. Помічено суттєву стабілізацію концентрації кремнію у чавуні.

Так, частота випадків виплавки чавуну з концентрацією кремнію 0,5 ... 0,8% збільшилася на 11,6%, а більше 0,8% - зменшилася на 13,2%.

Активізація роботи підфурменних зон шляхом змінення нахилу фурм різко відбилася на стійкості повітряних фурм на всіх доменних

печах. Стійкість повітряних фурм у дослідному періоді у порівнянні з переддослідним підвищилася на 22 ... 43,2%.

4. Інтенсифікація роботи доменної печі шляхом удосконалення шлакового режиму.

Шлаковий режим визначається складом шлаку, а також методами відпрацювання рідких продуктів плавки. Склад шлаку впливає на якість чавуну та газопроникність шихти у нижній зоні, режим випусків обумовлює стабілізацію роботи горна і доменної печі в цілому. Удосконалити шлаковий режим можна поліпшенням його хімічного складу, наприклад, введенням спеціальних добавок до шихти.

Спеціальними добавками можуть служити луги, флюорити, шлаки різних виробництв та ін. Луги помітно впливають на фізичні властивості шлаку у всьому діапазоні його формування. Як сильні основи Na_2O та K_2O можуть зв'язуватись у сілікати, і за рахунок цього вони впливають на відновлення заліза та кремнію з агломерату і шлаку. Дослідженнями було виявлено доцільність додаткового введення луг до шихти у кількості 2,0-2,5% , рахуючи на кінцеві шлаки. Для перевірки цих висновків в умовах Дніпропетровського металургійного заводу ім.Петровського на доменних печах корисним об'ємом 1033 та 675 м³ було проведено дослідні плавки, під час яких додаткова кількість луг у шлаку досягалася за рахунок введення до шихти через колошник кускових відходів содового виробництва.

Частотна оцінка хімічного складу чавуну по випусках у дослідні та базові періоди свідчить про сприятливий вплив луг на якість чавуну. У середньому для доменної печі № 5 концентрація кремнію у чавуні в дослідний період знизилась з 0,70 до 0,54%, при цьому концентрація сірки знизилась з 0,031 до 0,029%. Коливання хімічного складу чавуну зменшились. При цьому треба зазначити, що поряд зі зниженням концентрації кремнію у чавуні фізичний нагрів продуктів плавки зберігався постійним.

Наявність таких цінних складових, як залізо, марганець, вапно, магnezія та ін., що входять до складу конвертерних шлаків, ставить питання про необхідність їх повторного використання. Межі можливого використання конвертерного шлаку зумовлені, з одного боку, кількістю його шкідливої складової - фосфору, а з іншого - корисного компоненту - марганцю.

Використання конвертерного шлаку дозволяє вивести з шихти на 1 т чавуну 6,7 кг агломерату, в якому лише 10% закису заліза пов'язано у сполуки / олівіни та сілікати заліза /, що важко відновлюються, в той час як у конвертерному шлаку практично 100% оксидів заліза та марганцю пов'язано у складні сполучення. Розрахунки свідчать, що сумарні зміни у прибуткових та видаткових статтях теплового балансу при використанні конвертерного шлаку відповідає економії 1,93 кг коксу.

Незважаючи на те, що використання конвертерного шлаку призводить до збільшення виходу доменного шлаку, погіршення газопроникності стовпа шихтових матеріалів не помічається тому, що конвертерний шлак розплавляється безпосередньо у горні при високих температурах; суттєво покращуються умови десульфурзації чавуну.

Одержані дані дозволяють зробити висновок, що використання значної кількості / до 250-300 кг/т чавуну/ конвертерного шлаку потрібного фракційного та хімічного складу сприяє поліпшенню техніко-економічних результатів плавки.

Періодичний випуск продуктів плавки є джерелом порушення постійності основних параметрів доменного процесу. Нераціональний режим відпрацювання продуктів плавки веде до захардування горну та погіршення роботи печі. Аналіз причин нерівномірності маси випуску чавуну на ломенних лечах об'ємом 1033 м³ показав, що головними причинами є порушення графіку випусків, зупинки печі для заміни шлакових та повітряних фурм, а також зміна інтенсивності плавки.

Для оцінки впливу режиму відпрацювання продуктів плавки на показники роботи печі було проведено посліпні плавки у доменних печах об'ємом 1033 м³. Чавун випускали не за графіком, а по кількості накопиченого чавуну у горні. Час початку випуску визначали за кількістю проплавлених подач та виходу чавуну з подачі. При такому режимі відпрацювання продуктів плавки повністю виключається нерівномірність маси випусків, яка визначається інтенсивністю ходу печі та порушенням графіку випусків. Це дозволяє стабілізувати процеси у нижній частині печі. Систематична робота доменних печей з випуском чавуну по мірі його накопичення у горні дозволила підвищити продуктивність на 3-4% без якихось капітальних затрат.

Вплив маси випуску на хімічний склад чавуну вивчався на цій самій печі на протязі місяця. Одночасно контролювався вихід нижнього шлаку. Проведені дослідження дозволили відібрати більш вірний режим відпрацювання продуктів плавки. Кількість випусків чавуну на печах об'ємом 1033 м³ встановила дев'ять замість десяти. Хімічний склад стабілізувався за рахунок зменшення коливань маси чавуну під час випуску та більш рівного ходу печей при додержанні графіків випуску. Маса випуску чавуну впливає на тепловий стан горну печі, а отже, на хімічний склад чавуну. Встановлено, що для кожної доменної печі існує оптимальна маса випуску, яка сприяє стабілізації хімічного складу чавуну. Збільшення частки нижнього шлаку до певної межі дещо знижує концентрацію сірки у чавуні. Для печі, що досліджувалася, ця межа становить біля 60%. Оптимальний режим відпрацювання продуктів плавки має вибиратися для кожної доменної печі / або груп печей / індивідуально.

Форсування плавки та зріст об'ємів доменних печей значно збільшили кількість рідких продуктів, що проходять через горн. Створення належних гідродинамічних умов у горні забезпечує нормальний перебіг процесу горіння коксу у фурменній зоні, повторне від-

новлення оксидів та десульфурацію чавуну.

Об'ємна швидкість витікання чавуну та шлаку під час випуску залежить в найбільшій мірі від величини коефіцієнту фільтрації, що визначає зв'язок між вагою рідких продуктів плавки, їх в'язкістю та порозністю коксу в нижній частині печі. Швидкість витікання рідких продуктів плавки через чавунну лютку зумовлена коефіцієнтом фільтрації, геометричними розмірами горну, а також висотою шару чавуну та шлаку в горні доменної печі. Оптимізація процесів фільтрації шлаку в горні дозволяє створити раціональні умови роботи горна, які забезпечують необхідні умови для вирівнювання ходу доменних печей та значного поліпшення техніко-економічних показників доменної плавки.

5. Оптимізація завантаження, розподілу шихти та дуттєвого режиму доменної печі

Як показав аналіз літературних джерел, методи оптимізації можуть значно інтенсифікувати доменний процес. Задачі оптимізації засновано на використанні експериментальних зв'язків між параметрами доменної плавки та показниками роботи доменних печей, а також відповідності величин різних параметрів один одному. В роботі застосовувалися як експериментальні методи оптимізації, так і теоретичні, засновані на створенні стохастичних математичних моделей з подальшою їх оптимізацією.

Для поліпшення статистичних зв'язків факторів та параметрів дуттєвого режиму розглядали вплив дуттєвих параметрів на проміжні та кінцеві показники доменної плавки. Дуттєві фактори впливають на інтенсивність горіння коксу, прибуток тепла до нижньої зони печі та процеси відновлення, що в свою чергу, впливає на продуктивність печі та витрати коксу.

Оскільки потужність струї дуття / E / є узагальнюючим параметром дуттєвого режиму плавки, за допомогою розрахунку коефіцієн-

ту кореляції визначали наявність зв'язку кінетичної енергії з вихідними параметрами доменного процесу: продуктивністю, інтенсивністю, витратою коксу. Кореляційний аналіз показав, що проміжними параметрами математичних моделей можуть бути показники використання газового потоку та газопроникності стовпа шихти η_n , η_r , оскільки вони пов'язані з вихідними параметрами доменної плавки, але характеризуються меншою кількістю факторів, які впливають на них.

Як показник газопроникності стовпа шихти використовували комплекс

$$\eta_r = Q_g^{1,8} t_k P_o / \Delta P P_k K_p,$$

де Q_g - кількість пудля, t_k - температура, P_o - нормальний тиск, ΔP - перепад тиску, P_k - тиск під колошником, K_p - коефіцієнт газопроникності.

Для розробки статистично надійних стохастичних моделей було зібрано щомісячні дані доменних печей № 4 "Запоріжсталі" та № 5 заводу ім. Петровського за 1991-1992 роки. На базі цих даних було одержано залежності за допомогою регресійного аналізу, наприклад, для доменної печі № 4:

$$\eta_n = 0,5 + 0,009 E - 0,0000666 \cdot E^2$$

$$\eta_r = -0,36 + 0,0468 \cdot E - 0,000272 \cdot E^2$$

з коефіцієнтами кореляційного відношення 0,6272 та 0,7950 при критичному значенні 0,456 та показниках надійності 4,12 та 21,2 відповідно.

Для визначення оптимального значення кінетичної енергії та відповідних їй значень газопроникності та використання газового потоку користувались методом невизначених множників Лангранжа. Застосування оптимальної технології привело до поліпшення техніко-економічних показників доменної плавки. За дослідний період середня витрата коксу склала 511 кг/т чавуну. При оптимальній кінетичній енергії навколо 70 кДж витрати коксу склали 487 кг/т

чавуну.

Для оптимізації завантаження конкретної печі відокремили з загальної системи поменного процесу необхідну для газодинамічного опису підсистему, яка визначає газопроникність та розподіл газового потоку на колошнику. Для здобуття стохастичних математичних моделей, базованих на статистичних даних роботи поменної печі, систему завантаження формалізували, тобто подавали у вигляді кількісних факторів. Система завантаження, яка впливає на радіальний розподіл, включає до себе порядок скипів у подачі, масу подачі / M / та рівень засипу / h /. Порядок скипів у подачі розпадається на два фактори: ступінь навантаженості периферії / PC / та ступінь перемішування залізорудної складової / ξ / з коксом.

Наявність у шихті обкотишів також впливає на розподіл шихти та у загальному випадку – на економічність поменної плавки, тому що поведінка обкотишів на колошнику під час завантаження відрізняється від поведінки агломерату. Величина складу шихти / C_{III} / являє собою долю обкотишів відносно суми агломерата та обкотишів.

Для винаходження оптимальних значень факторів завантаження, відповідних максимально можливим значенням використання газового потоку та газопроникності, методом множинного регресійного аналізу опержано моделі, які подано неповними квадратичними поліномами: для факторного простору в межах $M = 19,5 - 22,5$ т; $PC = 0,6 - 0,8$; $\xi = 0,4 - 0,9$; $C_{III} = 0,01 - 0,36$.

$$CO_2 = -100,145 + 9,666M - 0,222M^2 + 23,5PC + 7,36\xi^2 - 3,2\xi^2 + 6,69C_{III} - 13,064C_{III}^2$$

$$h_r = -8,264 + 0,677M - 0,0157M^2 + 3,475PC - 2,25PC^2 + 0,776\xi - 0,32\xi^2 + 0,982C_{III} - 1,951C_{III}^2$$

Для оптимізації завантаження та газодинаміки поменної плавки застосували багатофакторну оптимізацію на основі метода невизначених множників Лагранжа. Задачу вирішували за допомогою ЕОМ методом ітерації, в результаті вирішення якої одержано оптимальні параметри завантаження для поменної печі : $M = 21,8$ т; $PC = 0,8 - 0,9$;

$\eta = 0,9 - 1,0$; $C\eta = 0,32 - 0,36$.

Застосування рекомендованих показників на доменній печі підвищило продуктивність на 3-5% та знизило витрати коксу на 1,5 - 2,0%.

Загальні висновки та рекомендації

1. Аналіз та узагальнення літературних джерел дозволило визначити напрямок розробки методів інтенсифікації, найбільш ефективних в сучасних умовах. До них належать пофакторні та оптимізаційні методи інтенсифікації, винайдені шляхом поглиблених досліджень процесів, що протікають у горні та на колошнику під час завантаження.

2. Оцінено умови інтенсифікації на основі досліджень ефективності факторів, що впливають на кінцеві результати в умовах доменних печей Дніпродзержинського та Алчевського металургійних комбінатів.

Показано, що подальшу інтенсифікацію доменної плавки може бути здійснено лише сумісно з впровадженням заходів, спрямованих на зниження питомої витрати коксу, а також розширення меж змінення факторів, які визначають режими: путтевий, шлаковий, завантаження та розподілу шихти на колошнику.

3. Поглиблене дослідження окислювальних зон дозволило запропонувати та випробувати декілька способів підводу відновлювача у фурми / соосний та розосереджений/, в результаті чого поліпшився розподіл газу, скоротилися втрати тепла та знизились витрати коксу.

Запропоновано нову конструкцію фурм з раціональними параметрами, яка активізує роботу горна печі та знижує витрати коксу.

4. Дослідженнями встановлено, що подальша інтенсифікація роботи горна можлива за рахунок раціоналізації шлакового режиму шляхом введення спеціальних добавок до шихти, поліпшення газо- та

гідродинамічного режимів та раціонального відпрацювання продуктів плавки.

Експериментальні доменні плавки показали, що введення луг та конвертерного шлаку позитивно впливають на роботу доменних печей та якість чавуну: знижуються концентрація та коливання вмісту кремнію та сірки у чавуні при постійному фізичному нагріві, покращуються техніко-економічні показники.

Раціональний режим відпрацювання продуктів плавки по кількості проплавлених подач з оптимальними значеннями маси випуску та коефіцієнту фільтрації веде до ліквідації захарадування горну, стабілізації хімічного складу чавуну, зниження концентрації сірки в металі та до поліпшення техніко-економічних показників доменної плавки.

5. Теоретичний та експериментальний аналіз процесів доменної плавки показав, що їх можна інтенсифікувати шляхом оптимізації завантаження, розподілу шихти та цуттєвих параметрів.

Розроблено методику оптимізації завантаження, розподілу шихти та цуттєвого режиму, базовану на статистичних моделях з подальшим активним експериментуванням при використанні методів невизначених множників та сімплексного планування. Застосування їх на доменних печах заводу ім. Петровського та комбінату "Запоріжсталь" дозволило збільшити виробництво чавуну та знизити витрати коксу.

Основний зміст дисертації опубліковано у працях:

1. Распределение газа по радиусу горна при различном подводе природного газа к фурмам / В.Е.Левченко, К.И.Котов, ... И.И.Дышлевич и др. // Металлург.- 1970.- №9.-С.10-12.

2. Исследование состава газа в окислительной зоне и междурменном пространстве при работе доменной печи на комбинированном пути / К.И.Котов, В.Е.Левченко, И.И.Дышлевич и др. // Сталь.-1972.-№4.-С. 292-295.

3. Исследование поведения щелочных добавок в доменной печи / Г.А.Воловик, К.И.Котов, ... И.И.Дышлевич и др. // Сталь.-1972.- №5.-С.394-396.
4. Распределение и использование восстановительных компонентов горновых газов при двух способах ввода природного газа в струю пущья / В.Е.Левченко, К.И.Котов, ... И.И.Дышлевич и др. //Сталь.-1972.- №5.-С.391-393.
5. Использование конвертерного шлака в доменном производстве/К.И.Котов, В.И.Котов, И.И.Дышлевич и др. // Metallurg.-1974.-№12.-С.14-15.
6. Оптимизация гидродинамических параметров работы горна /М.И.Дик, К.И.Котов, И.И.Дышлевич и др. // Изв. вузов. Черная металлургия.-1974.-№11.-С.24-28.
7. Интенсификация работы доменной печи выбором оптимального режима отработки продуктов плавки / А.М.Лапа, А.М.Жак, ... И.И.Дышлевич и др.// Металлургия и коксохимия: Респ.межвед.научно-техн.сб.-Киев: Техника.-1975.-Вып.43 -С.92-95.
8. Влияние массы выпуска на химический состав чугуна/ А.М.Лапа, В.Т.Ильин, А.И.Васюченко, И.И.Дышлевич // Металлургия и коксохимия: Респ.межвед.научно-техн.сб.-Киев: Техника.-Вып.43.-С.95-98.
9. Изменение размеров и расположения зон горения в доменной печи при замене обычных фурм наклонными / В.Е.Левченко, В.А.Белецкий, .. И.И.Дышлевич и др. // Metallurg.- 1975.-№7.-С.10-11.
10. Интенсификация работы доменной печи путем выбора оптимальных параметров воздушных фурм / А.М.Лапа, В.Т.Ильин, И.И.Дышлевич и др.// Металлургия и коксохимия: Респ.межвед.научно-техн.сб.-Киев: Техника.-1976.-Вып.48.-С.74-77.
11. Использование экранированных фурм доменных печей с рассредоточенным вводом природного газа / Э.Я.Лившиц, К.И.Котов, И.И.Дышлевич и др. // Металлургич. и горнорудн. промышленность.-1976.- №3.-С.6-7.
12. Оценка условий и эффективности форсированного ведения доменных

печей / Л.П.Брусов, И.И.Дышлевич, Г.Г.Васюра и др. // Сталь.- 1978.- № 9- С.792-795.

13. Влияние интенсивности доменной плавки на удельный расход кокса и производительность печи / А.Л.Берин, А.И.Парфенов, ... И.И.Дышлевич и др. // Интенсиф. процессов домен. плавки и освоение печей большого объема : Всесоюзн.сб.-М. : Металлургия.-1979.-№5.- С.40 - 45.

14. Оптимизация параметров загрузки мощных доменных печей с целью интенсификации плавки/ В.Н.Ковшов, В.А.Петренко, ... И.И.Дышлевич и др. // Metallurg. и горнорудн. промышленность.-1980.-№ 4.-С.1-3.

15. Оптимизация загрузки современных доменных печей при помощи последовательного симплексного метода / В.Н.Ковшов, В.А.Петренко, ... И.И.Дышлевич и др. // Metallurgich. и горнорудн. промышленность 1983.- № 3.- С.7 - 9.

16. Оптимизация режима работы нижней зоны доменной печи при использовании в шихте окатышей и конвертерного шлака / И.И.Дышлевич, В.Н.Котов, Н.А.Егоров и др. // Metallurgich. и горнорудн. промышленность - 1983.-№4.-С.5-7.

17. Экспериментальный поиск рациональных режимов загрузки доменных печей комбината "Криворожсталь" / И.И.Дышлевич, В.Н.Ковшов, Н.В.Терещенко и др. // Вопросы теории и практики производства чугуна: Всесоюзн.сб.- М. : Металлургия.- 1986.-С.43 - 48.

18. Исследование влияния интенсивности плавки на работу доменных печей комбината "Запорожсталь" /А.Л.Берин, И.И.Дышлевич, В.И.Нобока и др. // Сталь.- 1993.- № 9,- С.7 - 13.

Дышлевич И.И. Разработка способов интенсификации доменного процесса на основе исследования оптимальных режимов загрузки шихты и работы горна. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - металлургия черных металлов. Государственная металлургическая академия Украины,

Днепропетровск, 1995. Рукопись I72 С., 20 табл., 31 рис., библиогр. из I26 назв.

Содержит результаты исследования, разработки и применения способов интенсификации доменного процесса. Установлено, что интенсифицировать работу горна можно введением в шихту специальных добавок, оптимизацией гидродинамического режима, параметрами фурм и рациональной обработкой жидких продуктов плавки; оптимизацией загрузки и распределения шихты на колошнике совместно с путевыми параметрами. Осуществлено промышленное внедрение предложенных технологий и конструкций, приводятся данные их эффективности.

Dushlevitch I.I. Elaboration of the Blast Furnace Methods Intensification on the base of Investigations of the Optimal Charging regime and the Hearth Operation.—Master's thesis on the speciality 05.16.02 «ferrous metallurgy. State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.—Manuscript, p.—I72, tabl.—20, fig.—31, ref.—I26.

There are results of investigation, new methods of blast furnace intensification and their employment in production in this thesis. It is possible to intensify the blast furnace operation by providing of the special additions, optimizing of hydrodynamic regime in the tuyeres zones, rational regime of the pig iron and slag tapping.

The gasdynamic regime is possible to intensify by optimization both the blast furnace charging and blast parameters. Innovations and new constructions are introduced in practice of the blast furnace operation. It is shown their effectiveness.

Key words: blast furnace, methods of intensification, slag regime, optimization of the blast parameters and charging

Ключові слова: доменний процес, методи інтенсифікації, шлаковий режим, оптимізація путевих параметрів та завантаження.

150719

AB 31.798