

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

Чепрасов Олександр Іванович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАЛИВОВИКОРИСТАННЯ
ТА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ
В КАМЕРНИХ НАГРІВАЛЬНИХ ПЕЧАХ**

Спеціальність 05.14.04 - "Промислова теплоенергетика"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 1995

201. 1
21. 311. 22

116 311. 22

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі
Запорізької державної

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00761334 (0)

Науковий керівник -

доктор технічних наук,
професор *М.П. Ревун*

Офіційні опоненти -

доктор технічних наук,
професор *В.М. Ольшанський*
кандидат технічних наук
доцент *О.І. Лимсін*

Провідна установа -

комбінат "Запоріжсталь"
ім. С.Орджонікідзе, м. Запоріжжя.

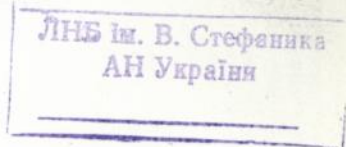
Захист відбувається "19" 12 1995р. в 12³⁰ год. на
засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.11.03 при
Державній металургійній академії України
за адресою: 320635, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ДМАУ

Автореферат розісланий "4" 11 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
к.т.н., доцент

Паніотюв Ю.С.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В наші дні гостро стоїть проблема зниження собівартості продукції, яка в першу чергу може бути вирішена шляхом використання енергозберігаючих технологій.

Підвищення ефективності використання енергоносіїв в області пічної теплотехніки може бути досягнуто за допомогою інтенсифікації теплообмінних процесів і поліпшення якості нагрівання металу шляхом оптимізації режиму роботи діючих печей, використання сучасних систем автоматичного керування та розробки конструкції печей з новими видами палинкових пристроїв. Інтенсифікацію процесів теплообміну в свою чергу можна забезпечити шляхом використання кисню та імпульсного опалення.

Таким чином, підвищення ефективності паливовикористання в нагрівальних і термічних печах є важливою та актуальною справою, вирішення якої можливе при комплексному її дослідженні теоретичними та експериментальними методами.

Метою роботи є упровадження елементів енергозберігаючих технологій в паливних печах металургійного виробництва; розробка математичними та експериментальними методами оптимальних режимів нагріву металу при використанні для збагачення повітря кисню; розробка та випробування палинкових пристроїв, з широкими межами регулювання для реалізації імпульсного опалення.

Наукова новизна. Сформульована та вирішена задача визначення оптимальних режимів нагріву металу при збагаченні повітря киснем, яка відрізняється від відомих тим, що в мінімізуемий критерій, окрім вартості палива та кисню, включені також витрати від окалиноутворення.

Сформульована та вирішена задача оптимального нагріву металу при використанні двох видів палива та кисню. Наукова новизна задачі полягає в тому, що в число керуючих впливів входять витрати

двох видів палива та питомі витрати кисню, які віднесені до кожного виду палива, а обмеження накладені на чотири керуючі впливи та температуру гріючого середовища.

Практична значимість. В роботі одержані рішення, які дозволяють оцінити вплив ряду теплотехнічних та економічних параметрів на ефективність використання кисню при нагріві металу.

Запропоновані технічні рішення, які підвищують ефективність використання палива та кисню на регенеративних нагрівальних колодязях; впроваджений спосіб опалення, який поліпшує якість нагріву, підвищує продуктивність та економічність рекуперативних нагрівальних колодязів; розроблені та досліджені пальникові пристрої з розширеними межами регулювання, які дозволяють удосконалити схему опалення нагрівальних та термічних печей.

Промислове впровадження. Спосіб нагріву металу з використанням для збагачення повітря кисню впроваджений у відділенні нагрівальних колодязів Алчевського (Комунарського) металургійного комбінату. Сумарний економічний ефект від впровадження у 1981-1986 рр. склав 281,6 тис.крб.

Пальникові пристрої, які стійко працюють без запальників та дозволяють реалізувати імпульсний спосіб опалення, впроваджені на двокамерних нагрівальних печах цеху порошкової металургії, на термічних печах з викотним подом сталеплавильного цеху №5, та на печах з підподовими топками термічного цеху заводу "Дніпроспецсталь".

З використанням результатів експериментальної апробації впроваджено імпульсний спосіб опалення рекуперативних нагрівальних колодязів заводу "Дніпроспецсталь", що дозволило знизити витрати палива, підвищити продуктивність та зменшити угар металу. Економічний ефект від впровадження результатів роботи склав 146 тис.крб. за рік (в цінах 1988р.)

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідались і обговорювались на Республіканській конференції "Повышение эффективности

ности использования топливно-энергетических ресурсов в черной металлургии" (м. Дніпропетровськ, 1989р.); на Всесоюзній науково-технічній конференції "Горелочные устройства в черной металлургии - опыт разработки, изготовления и эксплуатации, перспектива развития" (м. Свердловськ, 1988р.); на Всесоюзній науково-технічній конференції "Теплотехническое обеспечение технологических процессов черной металлургии" (м. Свердловськ, 1990р.); на міжнародному семінарі "Научные основы конструирования металлургических печей: теплотехника и экология" (м. Дніпропетровськ, 1993р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 22 наукові роботи, отримано 3 авторських свідоцтва та 1 патент.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та списку літератури; викладена на 145 аркушах машинописного тексту, вміщує 67 малюнків, 4 таблиці та 12 додатків. Бібліографія включає 164 найменування.

Особистий внесок дисертанта:

- розроблена математична модель вибору оптимального режиму нагріву металу при використанні кисню з урахуванням утворення окалини;
- розроблена математична модель оптимізації нагріву металу при використанні кисню та двох видів палива (задача вирішена для чотирьох керуючих впливів);
- досліджені циклічні методи опалення;
- розроблені та випробувані на вогневому стенді та в промислових умовах нові конструкції газових пальників з розширеними межами регулювання;
- розроблено, досліджено та впроваджено спосіб опалення регенеративних нагрівальних колодязів, який включає подачу кисню в імпульсному режимі;
- розроблені, досліджені та впроваджені скорочені режими нагріву нержавіючих марок сталі при застосуванні в рекуперативних нагрівальних колодязях імпульсного способу опалення;

- з використанням нових пальників розроблена та опробувана у промислових умовах система імпульсного опалення двокамерних нагрівальних печей, удосконалена схема опалення рециркуляційної термічної печі з вкочним подом;

- впроваджені пальники, які розроблені на базі пальників "труба в трубі", що дозволило для організації імпульсного опалення рециркуляційних термічних печей з підподовими топками використати систему автоматичного регулювання.

Методи досліджень. В роботі використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. При моделюванні процесів нагріву металу застосовувались фундаментальні положення теорії тепломасообміну, методи математичного аналізу, диференціального та інтегрального числення. Задачі оптимального нагріву металу вирішені з використанням принципу максимуму Понтрягіна. Дослідження розроблених пальників виконувались по єдиній методиці Державних випробувань пальникових пристроїв. Ефективність способів опалення визначалась експериментальними методами на базі різних лабораторних установок та під час промислових експериментів на нагрівальних та термічних печах в умовах заводу "Дніпроспецсталь".

КОРОТКИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ.

У вступі обгрунтовано вибраний напрямок досліджень, визначені мета і шляхи її досягнення.

В першому розділі проаналізовано сучасний етап паливовикористання, інтенсифікації та оптимізації нагріву металу в пламенивих печах. Важливими методами інтенсифікації теплообміну є підвищення температурного потенціалу палива при використанні для збагачення повітря кисню та впровадження імпульсного опалення печей.

Вирішення задач оптимального нагріву металу є важливим науковим напрямком. Необхідна розробка та вирішення нових задач оптимізації з використанням сучасних методів інтенсифікації процесу нагріву.

В другому розділі наводяться результати математичного моделювання процесів нагріву металу з використанням кисню. Моделювання дозволяє вибрати оптимальну ступінь збагачення повітря киснем, визначити необхідний момент його вмикання, виконати оцінку впливу використання кисню на зміну показників нагріву.

Розглянемо задачу оптимального режиму нагріву, в якій як критерій застосована сумарна вартість палива, кисню та окисленого металу, а як керуючі впливи використані витрата палива та питома витрата кисню.

Залежність температури металу від істотних факторів наведена рівнянням

$$\frac{dx_1}{d\tau} = \mu(t_T - x_1); \quad \mu = \frac{\alpha F_M}{MC_M} \quad (1)$$

де x_1 , t_T - температура металу та грійочого середовища, °С; μ - інтенсивність нагріву (величина, обернена постійній часу), s^{-1} ; α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²К); F_M - площа поверхні металу, м²; M - маса металу, кг; C_M - теплоємність металу, Дж/(кг К); τ - час, с.

Процес окалинювання описано рівнянням Еванса

$$\frac{dx_2}{d\tau} = \frac{\chi}{x_2(x_1 + 273)} e^{\left(-\frac{\beta}{x_1 + 273}\right)} \quad (2)$$

де x_2 - маса окисленого металу, кг/м²; χ , β - постійні величини, які залежать від складу пічної атмосфери, кг²/(м⁴с К) і К.

Вартість використаних для нагріву металу палива та кисню представлена у вигляді

$$x_3 = \int_0^{\tau_K} (u_1 S_T + u_2 S_K) d\tau, \quad (3)$$

де τ_K - заданий час нагріву, с; u_1 - витрата палива, м³/с; u_2 - питома витрата кисню, м³/м³; S_T , S_K - вартість палива та кисню, руб/м³.

Температуру гріючого середовища знаходимо з рівняння теплового балансу

$$t_{\Gamma} = \frac{u_1 Q_H^p - Q_{nn} + \alpha F_M x_1}{\alpha F_M + k F_K + u_1 C_d (V_d - Z u_2) (1 - k_p)}, \quad (4)$$

де Q_H^p - теплота згорання палива, кДж/м³; k - коефіцієнт теплопередачі через кладку, Вт/(м²К); F_K - площа поверхні кладки, м²; C_d - теплоємність продуктів згорання, Дж/(м³К); V_d - питомий об'єм продуктів згорання, м³/м³; Q_{nn} - постійні втрати тепла, Вт; k_p - коефіцієнт рекуперації тепла; $Z = 79/21 = 3,76$.

Обмеження накладені на керуючі впливи та на температуру гріючого середовища, що відповідає реальним умовам нагріву металу

$$u_{1 \min} \leq u_1 \leq u_{1 \max}; \quad u_{2 \min} \leq u_2 \leq u_{2 \max}; \quad t_{\Gamma \min} \leq t_{\Gamma} \leq t_{\Gamma \max}. \quad (5)$$

Задача формулюється слідуючим чином: необхідно нагріти метал від початкового $x_1(0) = x_{1H}$; $x_2(0) = x_{2H}$; $x_3(0) = 0$ до кінцевого стану $x_i(\tau_K) = x_{iK}$ за заданий час, при цьому витрати I повинні бути мінімальними

$$I = \int_0^{\tau_K} (u_1 S_T + u_1 u_2 S_K) dt + E \int_0^{\tau_K} \frac{\chi}{x_2 (x_1 + 273)} e^{\left(-\frac{\beta}{x_1 + 273}\right)} dt, \quad (6)$$

де $E = 0,01 F_M (S_M - S_0)$ - коефіцієнт, який визначає збитки від окислення, м²руб/кг; S_M, S_0 - вартість металу та окалини, крб/т.

Задача розв'язана з використанням принципу максимуму Понтрягіна. Функція Π , крб/с, має вигляд

$$\begin{aligned} \Pi = \sum_{i=1}^3 P_i \frac{dx_i}{d\tau} = P_1 \mu \left[\frac{u_1 Q_H^p - Q_{nn} + \alpha F_M x_1}{\alpha F_M + k F_K + u_1 C_d (V_d - Z u_2) (1 - k_p)} - x_1 \right] + \\ + P_2 \frac{\chi}{x_2 (x_1 + 273)} e^{\left(-\frac{\beta}{x_1 + 273}\right)} + P_3 u_1 (S_T + u_2 S_K), \quad (7) \end{aligned}$$

де P_i - сполучені величини, які визначаються із співвідношення

$$\frac{dP_i}{dr} = -\frac{\partial \Pi}{\partial x_i}, \quad i=1,2,3. \quad (8)$$

Розв'язуючи диференціальні рівняння (8) отримуємо значення сполучених величин P_1, P_2, P_3 .

Температуру x_1 та масу окисленого металу x_2 отримуємо в результаті вирішення рівнянь (1) та (2). При вирішенні задачі на ЗОМ чисельним методом час нагріву розбивався на ряд інтервалів Δt . Для кожного інтервалу визначаємо сполучену величину P_1 , температуру металу x_1 та масу металу що окислився x_2 . Знайдені величини будуть початковими для наступного інтервалу. З використанням (7) відшукуємо оптимальні керуючі впливи u_1^* та u_2^* на наступному інтервалі. Разрахунок закінчується, коли з заданою точністю досягається кінцева температура металу x_{1K} .

Аналіз результатів разрахунків показує, що при збільшенні кількості керуючих дій зменшуються загальні витрати та збитки від окислення металу.

Досліджено вплив різних факторів на показники нагріву. Підвищення теплоти згорання палива веде до зниження загальних витрат та збитків від окалиноутворення. Збільшення допустимого ступеню збагачення повітря киснем зменшує загальні витрати на нагрів та збитки від окалиноутворення. За перелічених умов при значеннях коефіцієнту рекуперації менш за 0,3 використання кисню доцільно для всіх видів палива. При вирішенні питання про доцільність збагачення повітря киснем головну роль відіграє співвідношення цін на паливо та кисень.

Друга задача оптимізації нагріву металу передбачає виявлення режиму застосування кисню в нагрівальних печах, коли для нагріву металу використовується два види палива з різною теплотою згорання, або їх суміш. Використана в задачі питома витрата кисню віднесена до кожного з видів палива, що з урахуванням двох видів палива дає чотири керуючі впливи.

Задача формулюється слідуочим чином: необхідно нагріти метал від початкового стану з температурою $x(0) = x_H$ до кінцевого стану $x(\tau_K) = x_K$ за заданий час τ_K , при цьому витрати на паливо та кисень повинні бути мінімальними.

Процес нагріву металу описаний рівнянням

$$\frac{dx}{dt} = \mu(t'_T - x), \quad (9)$$

де x , t'_T - температура металу та гріючого середовища, °С.

Температуру гріючого середовища визначаємо із відповідного рівняння теплового балансу

$$t'_T = \frac{B_{T1}Q_1 + B_{T2}Q_2 + \alpha F_M x}{\alpha F_M + kF_K + B_{T1}C_1(V_1 - 3,76B_{K1}) + B_{T2}C_2(V_2 - 3,76B_{K2})}, \quad (10)$$

де B_T - витрата палива, м³/с; B_K - питома витрата кисню, м³/м³; Q - теплота згорання палива Дж/м³; C , - об'єм та теплоємність продуктів згорання м³/м³; Дж/(м³К), індекси 1 і 2 відносяться до першого (низька теплота згорання) та другого (висока теплота згорання) видів топлива.

За критерій оптимальності прийнята вартість витрачених на нагрів палива та кисню

$$I = \int_0^{\tau_K} [B_{T1}S_1 + B_{T2}S_2 + (B_{T1}B_{K1} + B_{T2}B_{K2})S_K] d\tau, \quad (11)$$

де S_1, S_2, S_K - вартість першого, другого видів палива і кисню, руб/м³.

На керуючі впливи та температуру гріючого середовища накладені слідуочі обмеження

$$B_{T1 \min} \leq B_{T1} \leq B_{T1 \max}; \quad B_{T2 \min} \leq B_{T2} \leq B_{T2 \max}; \quad (12)$$

$$B_{K1 \min} \leq B_{K1} \leq B_{K1 \max}; \quad B_{K2 \min} \leq B_{K2} \leq B_{K2 \max}; \quad (13)$$

$$t'_{T \min} \leq t'_T \leq t'_{T \max}. \quad (14)$$

Функція $\Pi(B_{T1}, B_{T2}, B_{K1}, B_{K2})$ має вигляд

$$H = P_{\mu} \left[\frac{B_{T1}Q_1 + B_{T2}Q_2 + \alpha F_M x}{\alpha F_M + kF_K + B_{T1}C_1(V_1 - 3,76B_{K1}) + B_{T2}C_2(V_2 - 3,76B_{K2})} - x \right] - [B_{T1}S_1 + B_{T2}S_2 + (B_{T1}B_{K1} + B_{T2}B_{K2})S_K], \quad (15)$$

де P - сполучена змінна, яка визначається із співвідношення (8).

Задача вирішується чисельним методом по інтервалам часу Δt . На кожному інтервалі з урахуванням початкових значень x , P визначаються оптимальні керуючі впливи B_{T1}^* , B_{T2}^* , B_{K1}^* , B_{K2}^* . Знаходимо температуру гріючого середовища t'_g та кінцеві значення x , P . Процес розрахунку продовжуємо до τ_K . При несумісності $x(\tau_K)$ з x_K змінюється початкове значення P , тобто P_H . Методом послідовних наближень знаходиться оптимальне рішення задачі.

Аналіз результатів розрахунків на ЕОМ показує, що оптимальні режими нагріву при використанні двох видів палива та кисню характеризуються наступними тенденціями: зростанням у часі теплової потужності, використанням для нагріву палива з низькою теплотою згорання при низьких температурах та палива з високою теплотою згорання і кисню - при високих температурах, стрибкоподібним характером включення або виключення палива та кисню; підвищенням ефективності нагріву зі зростанням кількості керуючих впливів. Доцільно використовувати різні види палива по часовим ділянцям нагріву у чистому виді, а не в суміші. В залежності від тривалості нагріву чітко виявляється мінімум витрат на паливо та кисень (мінімум мінімумом). Аналіз впливу початкової температури металу показує, що при рівних умовах загальні витрати та кількість підведеного тепла при збільшенні температури від 0 до 800°C зменшується удвоє.

Наведені математичні моделі та алгоритми дозволяють вирішувати широке коло задач по вибору параметрів керування з метою мінімізації витрат на нагрів при використанні кисню та палива зі змінною теплотою згорання.

У третьому розділі наводяться результати експериментальних досліджень режимів нагріву, методів опалення та пальникових пристроїв.

Оптимальні по вартості енергоресурсів режими нагріву характеризуються збільшенням у часі величини керуючого впливу. Експериментальну перевірку та порівняння ефективності режимів нагріву з постійною та зростаючою потужністю проводили на лабораторній муфельній печі. Шамотну заготовку нагрівали як "масивне тіло".

Встановлено, що при тривалості нагріву 4,5 год в режимі зі зростаючою потужністю печі кількість витраченої енергії зменшується на 18,5%. Середні за нагрів температури заготовки та печі в режимі зі зростаючою потужністю завжди нижчі, тому знижуються витрати енергії, що акумулюється кладкою та в оточення.

Для експериментальної перевірки ефективності циклічних методів опалення виготовлен вогневий стенд, що обладнано пальниками, які встановлені на протележних сторонах стенду. Для організації циклічного опалення змінювали по встановленій програмі положення регулюючих органів для подачі палива і повітря. Температура факела змінювалась по залежності, яка близька до синусоїди. Температура по перерізу заготовки вимірювалась в п'яти точках. Встановлено, що амплітуда коливань температури поверхні значно перевищує амплітуду коливань температури внутрішніх слоїв. В інтервалі $(300...400)^{\circ}\text{C}$ при зростанні періоду коливань від 4 до 24 хвилин амплітуда коливань температури факела збільшилась від 70 до 160°C , а поверхні - від 3 до 12°C . Переміщення високотемпературної зони факела уздовж заготовки довжиною 1600 мм здійснювали зміною витрат палива та повітря на зустрічні пальники у протифазі. Встановлено, що використовуючи циклічну подачу палива можна скоротити перепад температур по довжині заготовки. Для температури газового середовища на рівні $(900-1000)^{\circ}\text{C}$ робочі значення періоду циклу повинні складати не більше 6 хвилин.

В роботі приведені результати розробки та дослідження пального пристроїв з широкими межами регулювання, які необхідні для імпульсного опалення. Пальники розроблені на базі широко використовуємих пальників ГНП та типу "труба в трубі". Встановлено, що пальники стійко працюють на доменному, коксовому та природному газі, а також на їх суміші. Два типорозміри пальника часткового попереднього змішування пройшли у 1992 році приймальні іспити в Державному центрі, одержано дозвіл на їх використання у технологічних печах.

Розроблено палик (а.с. СРСР №1229517), у якому розрідження у соплі та частку первинного повітря можна змінювати, переміщуючи поперечну перегородку з отворами для проходу газу відносно бокових радіальних отворів. Досліджувались чотири варіанти рухомої перегородки з однаковою площею прохідних отворів. Дослідженнями встановлено, що при спалюванні $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ коксодоменною сумішшю для усіх типів перегородок можлива стійка робота пальників при збільшенні коефіцієнта витрати повітря від 1 до 11; при цьому коефіцієнт витрати первинного повітря збільшувався в середньому від 0,1 до 0,36.

На базі пальників типу "труба в трубі" розроблено палик часткового попереднього змішування (патент РФ №2021558), центральна газова труба якого має ділянку раптового поширення зі сторони газового каналу. Відношення внутрішніх діаметрів газової труби і наконечника складає 0,3...0,6. Канали для подачі первинного повітря розташовані на ділянці раптового поширення, у зоні стійкого розрідження, що забезпечує постачання необхідної кількості повітря для його попереднього змішування з паливом.

Дослідження на вогневому стенді та на термічній печі пальника показали, що при використанні коксодоменною сумішшю палик стабільно працює при співвідношенні "газ-повітря" 1:25, а межа регулювання по витратах газу складає 1:40 (від 4 до $160 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Два типорозміру пальника у 1993 року пройшли приймальні іспити в Державному центрі. Пальники тепловою потужністю 300 та 800 кВт дозволяється використовувати для опалення нагрівальних та термічних печей газами з низькою теплою сгорання. Для цих пальників концентрація оксидів азоту в продуктах сгорання не перевищує 100 мг/м^3 , що нижче норми, встановленої TA Luft (350 мг/м^3).

У четвертому роділі наведені результати промислових досліджень та випробувань різних засобів опалення і пальників на двокамерних нагрівальних печах, регенеративних і рекуперативних нагрівальних колодязях, термічних печах з викотним подом та рециркуляційних термічних печах з підподовими топками.

На двокамерних нагрівальних печах у заводу "Дніпроспецсталь" пальники ГПП були змінені на нові пальники, котрі стійко працюють у всіх режимах. Розроблена та випробувана система автоматичного регулювання, яка реалізує імпульсний спосіб опалення двокамерної печі. Результати дослідних нагрівів показали, що максимальний перепад температур по садці зменшився майже у два рази і склав 15°C .

Використання в регенеративних нагрівальних колодязях для збагачення повітря кисню підвищує температуру горіння та поліпшує умови теплообміну. На нагрівальних колодязях Алчевського (Комунарського) металургійного комбінату використання кисню дозволило скоротити період підвищення температури при нагріві холодних злиwkів на 2 години, а гарячих - на 1 годину. Внесені доповнення в технологічну інструкцію по нагріву металу.

Розроблено, випробувано та впроваджено в практику засіб опалення нагрівальних колодязів (а.с. СРСР №885304), якій включає подачу у робочій простір палива, повітря та кисню в імпульсному режимі. При імпульсній подачі кисню його витрата в порівнянні з безперервною подачею зменшується на (10...15)%.

Результати досліджень показують, що збагачення повітря киснем забезпечує зниження витрат палива на (6...8)%, скорочення загальної тривалості нагріву на (8...15)%. При стабілізації концентра-

ції кисню в димовому борві в межах (0...2)% збагачення повітря киснем не збільшує угар металу і позитивно впливає на оточення. Завдяки зменшенню питомих витрат палива відповідно зменшуються шкідливі викиди в атмосферу оксидів азоту та вуглекислого газу, а також скорочується загальне споживання кисню із атмосфери.

Особливості теплової роботи рекуперативних нагрівальних колодязів з опаленням із центру поду приводять до нерівномірності нагріву зливків. На заводі "Дніпроспецсталь", де режими нагріву мають тривалу витримку, максимальний перепад температур по висоті зливку складає в кінці нагріву близько 100 С і визначається нерівномірністю температурного поля в колодязі. Застосування імпульсної подачі палива та повітря у період витримки дозволяє зменшити перепад температур в нагрівальному металі до (20...30)° С.

Розроблено рекуперативний нагрівальний колодязь (а.с. СРСР №1379327), у якому з метою інтенсифікації теплообміну та зменшення перепаду температури по товщині зливку змінена конструкція опорного поясу.

Розроблена та впроваджена на всіх колодязях стану "950" система автоматичного регулювання, яка реалізує імпульсний спосіб опалення, що крім рівномірності нагріву забезпечує зниження питомої витрати палива на 2,57 кг/т та зменшує утрати металу з окалиною на 8%.

Розроблені та впроваджені режими нагріву нержавіючих марок сталі зі зменшеною на (0,5...1,0) год тривалістю витримки.

Рециркуляційні термічні печі з викатним подом площею 47 м² використовуються на заводі "Дніпроспецсталь" для термообробки зливків високолегованої сталі. Вузькі межі регулювання пальників ГНП ускладнюють експлуатацію печей. Розроблена, випробувана та впроваджена схема опалення, яка передбачає використання розроблених пальників. Відмова від закритих топок та пальників малої продуктивності ГНП-1 дозволяє підвисити продуктивність печі та

зменшити експлуатаційні витрати. Заощаджується біля 1000 м³ газу на одному нагріву тобто витрата природного газу зменшується на (8...10)%.

Рециркуляційні печі термічного цеху заводу "Дніпроспецсталь" призначені для термообробки заготовок сортового та бунтового прокату. В період витримку в цих печах не забезпечується стійка рециркуляція, що приводить до збільшення тривалості процесу. Застосування пальників часткового попереднього змішування, розроблених на базі пальників "труба в трубі" дає змогу використати для реалізації імпульсного способу опалення систему автоматичного керування.

Результати контрольних випробувань показали високу рівномірність нагріву, перепад температур по садці в кінці витримки не перевищує (10...15)°С, що дозволило скоротити тривалість витримки на (3...4) години. Розроблені пальники двох типорозмірів впроваджені на чотирьох печах термічного цеху, що дозволило організувати зональне керування тепловим режимом та використати імпульсний спосіб опалення. Підвищилась якість термообробки, зменшився обсяг повторних нагрівів, на 7% скоротилась середня тривалість процесу, зросла продуктивність та ефективність використання палива.

ВИСНОВКИ

1. У роботі сформульовані та вирішені задачі оптимізації нагріву металу при збагаченні повітря киснем з урахуванням процесу окалиноутворення і при використанні для нагріву двох видів палива. Встановлено, що ефективність оптимальних режимів нагріву підвищується зі збільшенням кількості керуючих впливів. Визначені оптимальні режими нагріву металу для різних ступенів збагачення повітря киснем при зміні теплоти згорання палива, а також вартості палива та кисню. Показані межі відносної ефективності збагачення повітря киснем та коефіцієнта рекуперації тепла.
2. При використанні для нагріву металу двох видів палива або їх суміші відповідно до визначеного оптимального режиму у початко-

вий період нагріву подається тільки паливо з низькою теплотою згорання і без збагачення повітря киснем, а після досягнення певної температури гріючого середовища відбувається стрибкоподібний перехід до палива з високою теплотою згорання. Надалі у певний момент часу подібним чином підключається кисень. Моменти переключення видів палива та початку подачі кисню визначається співвідношенням прийнятих умов нагріву, а також економічних та теплотехнічних показників процесу. Чітко виявлена тенденція зростання з часом теплової потужності. Встановлено, що з точки зору економії енергоресурсів різні види палива доцільно використовувати по часовим ділянкам нагріву в чистому виді, а не як суміш.

Розроблені математичні моделі, алгоритми оптимізації та відповідні програми для ЕОМ дозволяють вирішувати широке коло задач нагріву металу при використанні для збагачення повітря кисню, та палива зі змінною теплотою згорання.

3. Експериментальна перевірка режимів нагріву "масивного тіла" в лабораторних умовах показала, що оптимальний режим підводу енергії в піч з нарастаючою потужністю в порівнянні з постійним її рівнем більш економічний.

4. Експериментальні дослідження ефективності циклічних методів опалення показали, що при зменшенні періоду коливань амплітуда температури факела та поверхні металу знижується. Переміщення високотемпературної зони в печі над поверхнею металу дозволяє зменшити перепад температур по довжині факелу, поверхні металу та збільшити продуктивність печі або досягти економії палива.

5. Розроблена серія пальникових пристроїв з використанням принципу часткового попереднього змішування горючої суміші, котрі мають широкі межі регулювання.

Два типорозміри пальників, які розроблені на базі ГНП, пройшли в 1992 році в Державному центрі приймальні іспити, одержано дозвіл на використання цих пальників в технологічних печах.

6. Розроблено та досліджено пальник частковою попереднього

змішування з перфорированою перегородкою, яка перемішується уздовж подовжної осі (а.с. СРСР №1229517). Досліджені пальники з чотирма варіантами рухомої перегородки з однаковою площею прохідних отворів по газу.

7. Розроблені дві конструкції пальників часткового попереднього змішування на базі пальника типу "труба в трубі". В першій конструкції наконечник газової труби виготовлено у формі стакану з перфорированою донною та боковою поверхнями.

Друга конструкція (патент РФ №2021558) наділена наконечником газової труби, котрий має плавний обтікач з повітряного боку та відрізок раптового розширення з боку газового каналу. Канали первинного повітря розташовані за відрізок раптового розширення, що забезпечує автоматичний підсос необхідного об'єму повітря.

Два типорозміри пальників пройшли у 1993 році приймальні іспити в Державному центрі. Пальники потужністю 300 та 800 кВт дозволено використовувати в термічних та нагрівальних печах для спалювання газів з низькою теплою згорання.

8. Розроблена та випробована система автоматичного регулювання, яка реалізує з використанням нових пальників імпульсний спосіб опалення двокамерних нагрівальних печей цеха порошкової металургії заводу "Дніпроспецсталь". Результати дослідних нагрівів показали, що її використання підвищує рівномірність нагріву металу.

9. Розроблено, досліджено та впроваджено на регенерагивних нагрівальних колодязях Алчевського (Комунарського) металургійного комбінату спосіб опалення (а.с. СРСР №885304), який включає подачу в робочій простір палива, повітря та кисню, в імпульсному режимі. Завдяки імпульсній подачі зменшується витрата кисню та палива підвищується продуктивність колодязів. Збагачення повітря киснем не збільшує угар металу, а зменшення при цьому питомої витрати палива - скорочує об'єми шкідливих викидів в атмосферу вуглекислого газу та оксидів азоту.

10. Розроблена, досліджена та впроваджена на всіх рекуперативних нагрівальних колодязях заводу "Дніпроспецсталь" система автоматичного регулювання, яка реалізує імпульсний спосіб опалення. Крім рівномірності нагріву металу система забезпечує підтримку співвідношення "газ-повітря" та тиску у робочому просторі печі, що забезпечує зниження витрат палива на 2,57 кг/т та скорочує утрати металу з окалиною на 8%.

Розроблені, досліджені та впроваджені у виробництво режими нагріву нержавіючих марок сталі зі скороченою на (0,5...1,0) год тривалістю витримки.

11. Розроблена та досліджена схема опалення рециркуляційної термічної печі з викотним подом, яка передбачає відмову від закритих топко і пальників ГНП-1 малої продуктивності. Використання розроблених пальників дозволяє спростити схему опалення печі та підвищити її надійність, знизити на (8...10)% витрати природного газу та зменшити експлуатаційні утрати.

12. Використання пальників часткового попереднього змішування, розроблених на базі пальників "труба в трубі", в рециркуляційній термічній печі з підподовими топками дає змогу для реалізації імпульсного способу опалення використати систему автоматичного регулювання та дозволяє організувати зональне керування тепловим режимом. Ці заходи підвищили якість термообробки, продуктивність печі та ефективність використання палива.

13. Розроблено рекуперативний нагрівальний колодязь (а.с. СРСР №1379327), в якому змінена конструкція опорного поясу.

14. Результати роботи впроваджені на Алчевському металургійному комбінаті та на заводі "Дніпроспецсталь". Економічний ефект від впровадження склав близько 200 тис. крб. за рік (в цінах 1988р).

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Опыт внедрения горелок частичного предварительного смешения /М.П. Ревун, А.Н. Байбуз, А.Н. Андриенко, Л.Л. Бройде и

А.И.Чепрасов //Сталь.- 1985.- №12.- с.71-73 // Steel in USSR.- 1985, №12.- p.608.

2. Совершенствование теплового режима нагревательных двухкамерных печей /М.П.Ревун, А.И.Чепрасов, Ю.Н.Каюков и др. //Промышленная энергетика.- 1986.- №10.- с.26-28.
3. Импульсное отопление нагревательных колодцев /М.П. Ревун, А.И. Чепрасов, Ю.Н. Каюков и др.// "Черметинформация."-1987.- №8.- с.58-59.
4. Чепрасов А.И., Каюков Ю.Н., Маликов А.Г. Нагрев слитков нержавеющей стали при импульсном отоплении в период выдержки //Теплотехнология металлургического производства. Сб. научн. труд.- Киев, 1988.- с.8-10.
5. Чепрасов А.И., Ревун М.П., Каюков Ю.Н. Применение горелок частичного предварительного смешения на рециркуляционных термических печах //Теплотехнология металлургического производства. Сб. научн. труд.- Киев, 1988.- с.4-7.
6. Ревун М.П., Погорелов В.Н., Чепрасов А.И. Модельная оптимизация нагрева по стоимости топлива, кислорода и окисленного металла //Изв. вузов. Черная металлургия.- 1990.- №10.- с.63-65.
7. Ревун М.П., Погорелов В.Н., Чепрасов А.И. Оптимизация нагрева металла при использовании двух видов топлива и кислорода //Изв.вузов. Черная металлургия.- 1991.- №1.- с.79-81.
8. Погорелов В.Н., Чепрасов А.И., Гирич В.П. Исследование режимов на-грева массивных тел//Изв.вуз. Черная металлургия.-1989.- №10.- с.112.
9. Чепрасов А.И., Андриенко А.Н. Промышленное применение горелок частичного предварительного смешения //Теплотехническое обеспечение технологических процессов металлургии: Тез.докл.- Свердловск.-1990.- с.12.
10. Горелка частичного предварительного смешения /М.П.Ревун, А.И. Чепрасов, С.В.Башлий и А.Н. Андриенко //Сталь.- 1993.- №9.- с.87-89.

11. А.с. №885304 (СССР). Способ отопления нагревательных колодцев /М.П. Ревун, Г.С. Якименко, Н.А. Кияшко, А.Н. Несмачный и А.И. Чепрасов.- Оpubл. 30.11.81; Бюл. №44.
 12. А.с. №1229517 (СССР). Газовая горелка /М.П. Ревун, А.И. Чепрасов, Ю.Н. Каюков и А.Н. Андрияенко.- Оpubл. 07.05.86; Бюл. №17.
 13. А.с. №1379327 (СССР). Рекуперативный нагревательный колодец /М.П. Ревун, Ю.Н. Каюков, А.И. Чепрасов и др.- Оpubл. 07.03.88; Бюл. №9.
 14. Патент РФ №2021558. Горелочное устройство /Ревун М.П., Чепрасов А.И., Башлий С.В. и др.- Оpubл. 15.10.94; Бюл. №19.
- Чепрасов А.И. Повышение эффективности топливоиспользования и интенсификация процессов теплообмена в камерных нагревательных печах. Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 - промышленная теплоэнергетика. Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, 1995.*
- Защищается 18 научных работ, 3 авторских свидетельства и 1 патент, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований элементов энергосберегающей технологии нагрева в топливных печах металлургического производства. Получены решения задач оптимизации нагрева, позволяющие оценить влияние ряда теплотехнических и экономических параметров на эффективность применения кислорода для обогащения воздуха. Предложены технические решения, повышающие эффективность использования топлива на регенеративных нагревательных колодцах, внедрен импульсный способ отопления, повышающий равномерность нагрева и экономичность работы рекуперативных нагревательных колодцев; разработаны и исследованы горелочные устройства с расширенными пределами регулирования, позволяющие совершенствовать схему

отопления нагревательных и термических печей. Приводятся результаты промышленного внедрения результатов диссертации.

Cheprasov A.I. The increase of effectiveness of fuel using and intensification of the processes of heat exchange in chamber heating furnaces. The thesis (manuscript) for search of academic degree of the candidate of technical science on speciality 05.14.04. - industrial heat energetic. State metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.

18 scientific works, 3 authors' certificates and 1 patent, which maintain theoretical and experimental research of elements of energy-preserving technology of heating in fuel furnaces of metallurgical production are described. Obtained the results of heating optimization allow to appreciate the influence of number heat engineering and economical parameters upon the effectiveness of oxygen application for air enrichment. Suggested technical furnaces increasing the effectiveness of utilization of fuel and oxygen in regenerative heater wells; inculcated the impulsive method of heating, increasing the equality of heating and economizing work of recuperative furnace wells; elaborated and investigated furnace systems with broadened limits of regulation allow to improve the scheme of heating for the heater and thermal furnaces. Here suggested the results of industrial inculcation of the thesis outcomes.

Ключові слова: нагрівальна піч, паливо, кисень, оптимізація, імпульсний спосіб опалення, пальниковий пристрій.

Підлясано до друку 22.09.85р.
Папір Газетний. Друк офсетний.
Формат 60x84 1/16. Обсяг 1 ар.л.
Зам. 5111. Тираж: 40 прим.
Запорізька міська державна
компанія друкарня
"Дніпровський металург".
м. Запоріжжя, вул. Антоша, 4.

444927

AB 33.390