

УДК 621.3

В.Ю. ЗІНЧЕНКО ⁽¹⁾, доцент, кандидат технічних наук
Ю.М. РАДЧЕНКО ⁽²⁾, доцент, кандидат технічних наук
А.А. КУЗЬМЕНКО ⁽¹⁾, доцент
Р.Р. МАТКАЗІНА ⁽¹⁾, доцент
С.Є. ЧИЖОВ ⁽¹⁾, старший викладач
Н.В. КУРИЛО ⁽¹⁾, студент

ВДОСКОНАЛЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРІВАННЯ МЕТАЛУ В КАМЕРНИХ ТЕРМІЧНИХ ПЕЧАХ

⁽¹⁾ Запорізька державна інженерна академія

⁽²⁾ Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Розглянуто питання вдосконалення теплової роботи камерних термічних печей під час низькотемпературного нагрівання металу та використання декількох видів газоподібного палива. Розроблено систему автоматичного управління тепловим режимом для печей зазначеного типу за роботи з використанням двох видів газоподібного палива.

Ключові слова: камерні термічні печі, низькотемпературне нагрівання, використання двох видів газоподібного палива, система автоматичного управління

Вступ. На металургійних підприємствах України знайшли широке застосування камерні термічні печі низькотемпературного нагрівання металу до температури 600...700 °С [1,2].

Реалізація низькотемпературного нагрівання металу спричинює необхідність розробки особливих конструкцій печей, пальникових пристроїв, а також систем автоматичного управління температурним режимом. За умов низьких температур вигар металу складає незначну величину та головним критерієм оцінки роботи печей є рівномірність нагрівання садки металу за заданим рівнем температури, а також мінімальна витрата газоподібного палива.

Вирішення таких задач є можливим шляхом збільшення швидкості руху продуктів горіння, змінювання калорійності газоподібного палива у процесі нагрівання, збагачення повітря киснем і застосування сучасних систем управління, які забезпечують стабілізацію температурного режиму щодо зон печей, а також автоматичне вибирання палива різної калорійності.

Постановка завдання. Завданням роботи є дослідження двох варіантів управління тепловим режимом роботи камерних термічних печей, зокрема – змінюванням величини коефіцієнта витрати повітря та калорійності газоподібного палива.

Головна частина досліджень. Пальникові пристрої з широким діапазоном змінювання теплової потужності та коефіцієнта витрати повітря, що розроблено у роботах [3-5], дозволяють здійснювати варіювання теплових режимів ро-

боти камерних термічних печей. До них відносять модернізовані пальники типу ГНПЗп різної теплової потужності, а також інші пальники з частковим попереднім змішуванням. Окрім широкого діапазону змінювання теплової потужності та коефіцієнта витрати повітря такі пальникові пристрої можуть працювати з використанням палива різної калорійності та його сумішей, а також із застосуванням кисню.

За умови пічного відділення термічного цеху ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпрспецсталь» у камерних термічних печах здійснюють термічну обробку зливків, поковок і заготовок сортового пруткового та бунтового прокату та підкату. У камерних печах цеху порошкової металургії цього підприємства здійснюють термічну обробку та нагрівання заготовок перед куванням. Широкий діапазон завдань, що вирішують на зазначених печах, призводить до значної різноманітності теплового та температурного режимів роботи агрегатів.

Модернізовані пальникові пристрої впроваджено на різних конструкціях печей ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпрспецсталь», що дозволяє на одній печі виконувати нагрівання металу під кування до температури 1270 °С, а також термічну обробку та його охолодження до температури 200 °С.

Наявні можливості згаданих пальникових пристроїв дозволили виконувати експериментальні нагрівання металу в зазначених печах за змінної витрати палива та постійної витрати повітря в умовах виконання режиму термічної обробки з пониженням температури до 650 до

200 °С. При цьому коефіцієнт витрати повітря змінювали у діапазоні 1...5.

Результати виконаних досліджень дозволили встановити, що для періоду підймання температури витрата газоподібного палива має максимальне значення й упродовж усього зазначеного періоду не змінюється. У період витримки металу в печі рівень температури в її робочому об'ємі підтримують на максимальному рівні з одночасним зниженням витрати палива. Для періоду охолодження металу в печі температуру в її робочому об'ємі знижують, при цьому витрата палива прямує до нуля, а витрата повітря для всіх періодах залишається незмінною.

Виконані дослідження підтвердили можливість і доцільність реалізації режимів термічної обробки металу з коефіцієнтом витрати палива, що перевищує значення 1,2...1,5. Як показали результати експлуатації, вдосконалення режимів термічної обробки металу та реалізації управління витратою палива за незмінної витрати повітря на різних печах забезпечується рівномірність нагрівання злитків у об'ємі печі.

Другий варіант удосконалення теплової роботи камерних термічних печей є можливим під час роздільного подаванням до печі декількох видів газоподібного палива: природного, коксового та доменного. У цьому разі задача визначення складу газоподібної суміші може бути поданою як задача лінійного програмування [6,7].

В термінах лінійного програмування зазначену задачу формулюють таким чином: для кожного моменту часу визначають склад змішаної газоподібної суміші, що забезпечує мінімум вартості нагрівання:

$$C = C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + \dots + C_n \cdot X_n = \min \quad (1)$$

за наявності обмежень

$$q_1 \cdot X_1 + q_2 \cdot X_2 + \dots + q_n \cdot X_n = Q_{\text{вн}} ; \quad (2)$$

$$V_1 \cdot X_1 + V_2 \cdot X_2 + \dots + V_n \cdot X_n = V_{\text{зе}} ; \quad (3)$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n \leq X_{\text{зоп}} , \quad (4)$$

де X_1, X_2, X_n – поточне значення витрати складових суміші палива на нагрівання металу, м³/год.; C_1, C_2, C_n – безрозмірні вагові коефіцієнти; q_1, q_2, q_n – питома тепломісткість складових суміші палива, кДж/м³; $Q_{\text{вн}}$ – теплова потужність, кВт; $V_{\text{зе}}$ – загальна витрата складових суміші палива, м³/год.; $X_{\text{зоп}}$ – максимальна продуктивність пальникових пристроїв щодо газу, м³/год.

За всіх невід'ємних вирішень системи рівнянь (2)-(4) слід вибрати такі, за яких співвід-

ношення (1) має мінімальне значення. Задача має сенс, якщо система (2) є спільною, тобто відповідає теоремі Кронекера-Конеллі [8,9] та ранг матриці r є меншим ніж кількість невідомих величин n . Коли $r = n$ задача має єдине значення, воно ж і буде оптимальним. Вирішення здійснюють симплекс-методом [10], який дозволяє оптимізувати співвідношення (1) протягом кінцевої кількості кроків.

Як приклад розглядають задачу знаходження оптимального режиму опалювання камерної печі для нагрівання заготовок під кування, яка працює в діапазоні змінювання теплового навантаження $Q_{\text{тн}}$ від 300 до 800 кВт.

Як паливо використовують природний газ калорійністю 33500 кДж/м³ і доменний газ калорійністю 3350 кДж/м³. За результатами розрахунків горіння палива та коефіцієнта витрати повітря $\alpha = 1,15$ визначали питомий об'єм продуктів горіння для природного газу $V_{\text{нрг}} = 11,11$ м³/м³ та доменного газу $V_{\text{дз}} = 1,70$ м³/м³. Питома тепломісткість холодного повітря прийнята такою, що дорівнює $i_a = 41$ кДж/м³.

Для зазначених умов систему рівнянь подають у вигляді:

$$33500B_{\text{нрг}} + 3350B_{\text{дз}} + 41B_{\text{надл.н}} = Q_{\text{тн}} ; \quad (5)$$

$$11,11B_{\text{нрг}} + 1,7B_{\text{дз}} + B_{\text{надл.н}} = V_{\text{зе}} , \quad (6)$$

де $B_{\text{нрг}}, B_{\text{дз}}, B_{\text{надл.н}}$ – витрата природного, доменного газів і надлишкового повітря відповідно.

Загальний об'єм гріючих газів, що беруть участь у теплообміні, вибрано з умов раціонального газодинамічного режиму та загальної продуктивності пальникових пристроїв, його значення складає $V_{\text{зе}} = 0,25$ м³/с (900 м³/год.). Функція, яку в цьому разі мінімізують, має вигляд:

$$C = 1,14B_{\text{нрг}} + 0,1B_{\text{дз}} . \quad (6)$$

Вагові коефіцієнти визначають шляхом перерахунків калорійності природного та доменного газів на умовне паливо (у. п.). Для природного газу з урахуванням його лімітування значення коефіцієнта збільшено у 1,2 разів. Результати розрахунків компонентів природно-доменної суміші, а також повітря за різним тепловим навантаженням печі подано у табл. 1.

З одержаних результатів виходить, що у діапазоні теплових навантажень печі від 300 до 500 кВт як паливо доцільно використовувати тільки доменний газ, а у діапазоні середніх теплових навантажень від 500 до 600 кВт – природний газ.

Таблиця 1 – Кількість компонентів природно-доменної суміші, а також повітря за різним тепловим навантаженням печі

Навантаження кВт	$B_{де} = 0$			$B_{прз} = 0$			$B_{надл.н} = 0$		
	$B_{прз}$ м ³ /с	$B_{над.н}$ м ³ /с	C , м ³ /с у.п.	$B_{де}$ м ³ /с	$B_{над.н}$ м ³ /с	C , м ³ /с у.п.	$B_{прз}$ м ³ /с	$B_{де}$ м ³ /с	C , м ³ /с у.п.
300	0,009	0,15	0,013	0,09	0,10	0,009	-	-	-
350	0,010	0,14	0,014	0,10	0,07	0,010	-	-	-
400	0,012	0,12	0,017	0,12	0,05	0,012	-	-	-
450	0,013	0,11	0,018	0,13	0,03	0,013	-	-	-
500	0,015	0,09	0,020	0,15	0	0,015	0,003	0,143	0,022
550	0,016	0,07	0,022	-	-	-	0,026	0,114	0,040
600	0,018	0,05	0,024	-	-	-	0,050	0,087	0,065
650	0,019	0,04	0,026						
700	0,020	0,03	0,028						

Стабілізація витрати гріючих газів дозволяє визначити залежність температури від теплової потужності печі. У зв'язку з цим з'являється можливість реалізувати замкнуту систему автоматичного регулювання температури в робочому об'ємі печі та, тим самим, зменшити невизначеність через неточності урахування постійних, які входять до системи рівнянь (4)-(5), а також різних збурень теплового режиму. Знахо-

дження оптимального співвідношення паливних компонентів визначають у три етапи, його можна легко реалізувати у системах управління з обмеженими обчислювальними можливостями. Функціональну схему автоматичного управління тепловим навантаженням у печі під час використання двох газоподібних компонентів наведено на рис. 1.

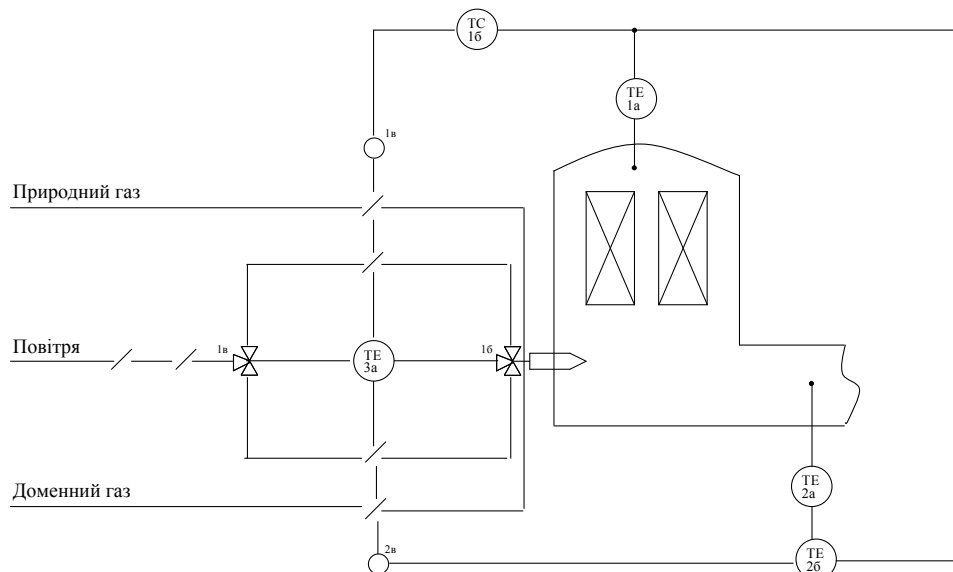


Рисунок 1 – Система автоматичного управління тепловим навантаженням печі

На початку нагрівання металу до печі подають природний газ, що поступає на паликовий пристрій через триходовий клапан 3б. Витрати палива та повітря на піч змінюють у процесі нагрівання металу за допомогою спарених дросельних клапанів 1в регулятором 1б за значенням температури у робочому об'ємі печі, яку вимірює термоелектричний термометр 1а. Спарені дросельні клапани налагоджено таким чином, що за максимальної витрати палива забезпечують коефіцієнт витрати повітря $\alpha = 1,0$, а під час зменшення витрати палива витрата повітря збі-

льшується так, що їхня сумарна витрата залишається постійною, тобто дросельні клапани працюють за режимом «протифазу». Коли відбувається зниження витрати палива нижче ніж встановлено за результатами оптимізації щодо сигналу від датчика положення дросельних клапанів 3б та на палик подають доменний газ. Горіння доменного газу виконують за рахунок повітря, регульованого відповідним дросельним клапаном, спареним з газовим дросельним клапаном 2в, що працює з ним за режимом «проти-

фази». Управління здійснюють регулятором 2б за величиною температури в робочому об'ємі печі та з коригуванням щодо температури продуктів горіння на виході з печі, яку вимірюють за допомогою термометра 2а. По мірі підвищення температури продуктів горіння витрата доменного газу зменшується до значення, що відповідає холостому ходу печі.

Таким чином, відбувається стабілізація газодинамічного режиму в робочому об'ємі печі та забезпечується максимальне засвоєння теплоти злитками, яких нагрівають, за мінімальної вартості теплової обробки металу. Реалізація даної системи управління є можливою за наявності

пальникових пристроїв з широким діапазоном змінювання коефіцієнта витрати повітря та палива, працюючих із використанням різних видів газоподібного палива.

Висновки. Результати виконаних досліджень дозволили встановити, що за умов ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь», де використовують чотири варіанти палива: доменний, коксовий і природний газ, а також їх суміші, – можна реалізувати два варіанти опалювання низькотемпературних печей з різними видами газоподібного палива, які дозволяють оптимізувати їх роботу за питомою витратою палива на нагрівання металу.

Бібліографічний список

1. **Кривандин, В. А.** Теплотехника металлургического производства. Конструкция и работа печей [Текст] / В. А. Кривандин, Ю. П. Филимонов; учеб. пособие. – М. : МИСиС, 2002. – Т. 2. – 736 с. – ISBN 5-87623-069-3.
2. **Тимошпольский, В. И.** Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах [Текст] / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова, А. В. Стеблов, И. А. Павлюченков. – Минск : Вышэйшая школа, 1992. – 217 с. – ISBN 5-339-00733-2.
3. **Ревун, М. П.** Интенсификация работы нагревательных печей [Текст] / М. П. Ревун, В. И. Гранковский, А. Н. Байбуз. – Киев : Техника, 1987. – 136 с.
4. **Пат. 2021558 Российская Федерация, МПК F 23 D 14/00.** Горелочное устройство [Текст] / М. П. Ревун, А. И. Чепрасов, С. В. Башлий, А. Н. Андриенко, И. А. Пилипенко, В. Р. Кравченко. Заявитель и патентообладатель Запорожский индустриальный институт. – № 5007416/23. – Заявл. 01.01.1991, опубл. 15.10.1994.
5. **Деклар. пат. 70600А. Україна, МПК F 23 D 14/20.** Пальниковий пристрій [Текст] / М. П. Ревун, С. В. Башлий, О. І. Чепрасов, О. М. Андриєнко, О. А. Данішевський, К. К. Онода, О. М. Барищенко. Заявник і патентотримач Запорізька державна інженерна академія. – № 29931211663. – Заявл. 16.12.2003, опубл. 15.10.2004.
6. **Карпелович, Ф. И.** Элементы линейной алгебры и линейного программирования [Текст] / Ф. И. Карпелович, Л. Е. Садовский. – М. : Физматгиз, 1963. – 312 с.
7. **Кузин, Л. Т.** Основы кибернетики [Текст] / Л. Т. Кузин. – М. : Энергия, 1973. – 504 с.
8. **Ильин, В. А.** Линейная алгебра и аналитическая геометрия [Текст] / В. А. Ильин, Г. Д. Ким. – М. : Изд-во «Проспект», 2007. – 400 с.
9. **Прасолов, В. В.** Задачи и теоремы линейной алгебры [Текст] / В. В. Прасолов. – М. : Наука, 1996. – 304 с.
10. **Хемди, А.** Введение в исследование операций [Текст] / А. Хемди. – М. : Вильямс, 2007. – 912 с.

ЗИНЧЕНКО ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматического управления технологическими процессами, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: elelna.zinchenko@mail.ru

РАДЧЕНКО ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и экологии металлургических печей, Национальная металлургическая академия Украины (Днепро, Украина). E-mail: rad-chenko@yandex.ua

КУЗЬМЕНКО АЛЛА АНАТОЛЬЕВНА, доцент кафедры теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: kan1930@rambler.ru

МАТКАЗИНА РИММА РИНАТОВНА, доцент кафедры теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: amina77@yandex.ru

ЧИЖОВ СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, ст. преподаватель кафедры теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: rushe@mail.ru

КУРИЛО НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА, студент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: admin@zgia.zp.ua

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА МЕТАЛЛА В КАМЕРНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Рассмотрены вопросы совершенствования тепловой работы камерных термических печей при низкотемпературном нагреве металла и использовании нескольких видов газообразного топлива. Разработана система автоматического управления тепловым режимом в данных печах при работе с использованием двух видов газообразного топлива.

Ключевые слова: камерные термические печи, низкотемпературный нагрев, использование двух видов газообразного топлива

ZINCHENKO VLADIMIR, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Automatic Control by Flow Processes, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: elelna.zinchenko@mail.ru

RADCHENKO YURIY, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Heat Engineering and Ecology of Metallurgical furnaces, Natinal Metallurgical academy of Ukraine (Dnieper, Ukraine) . E-mail: rad-chanko@yandex.ua

KUZ'MENKO ALLA, Associate Professor of Department of Heat-and-Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: kan1930@rambler.ru

MATKAZINA RIMMA, Associate Professor of Department of Heat-and-Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: amina77@yandes.ru

CHIZHOV SERGEY, Senior Teacher of Department of Heat-and-Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: rushe@mail.ru

KURYLO NATALI, Student of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: admin@zgia.zp.ua

PERFECTION OF LOW-TEMPERATURE HEATING OF METAL IS IN CHAMBER THERMAL FURNACES

The questions of perfection of thermal work of chamber thermal furnaces are considered at the low-temperature heating of metal and use of a few types of gaseous fuel. The system of automatic control the thermal mode is worked out in these stoves during work with the use of two types of gaseous fuel.

Keywords: chamber thermal furnaces, low temperature heating, use of two types of gaseous fuel

Стаття надійшла до редакції 30.01.2017 р.
Рецензент, проф. М.П. Ревун

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>