УДК 621.3

В.Ю. Зинченко [1], доцент, к.т.н.
А.П. Лютый [2], зам. директора, к.т.н.
И.А. Овчинникова [1], доцент, к.т.н.
Р.Р. Матказина [1], ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТОПЛЕНИЯ ДВУХКАМЕРНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ ПАО «ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»

[1] *Запорожская государственная инженерная академия,*
[2] *ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь», г. Запорожье*

Виконано аналіз якості нагрівання під термообробку металевих заготовок за існуючої технології опалювання двокамерних прохідних термічних печей природним газом. Запропоновано раціональну технологію їх опалювання з комбінуванням двох паливних складових, які відрізняються теплотворною спроможністю, реалізація якої дозволяє збільшити об'ємну витрату продуктів горіння протягом усього циклу термообробки й, отже, зменшити нерівномірність поля температури за довжиною заготовок, що нагрівають.
Ключові слова: двокамерна прохідна термічна піч, технологія опалювання, комбінування паливних складових

Выполнен анализ качества нагрева под термообработку металлических заготовок при существующей технологии отопления двухкамерных проходных термических печей природным газом. Предложена рациональная технология их отопления с комбинированием двух топливных составляющих, отличающихся теплотворной способностью, реализация которой позволяет увеличить объемный расход продуктов сгорания в течение всего цикла термообработки, а, следовательно, уменьшить неравномерность поля температуры по длине нагреваемых заготовок.
Ключевые слова: двухкамерная проходная термическая печь, технология отопления, комбинирование топливных составляющих

There is carried out the analysis of quality for heating of metallic purveyances for thermal treatment at existent technology of heating for double-chamber pusher thermal furnaces by natural gas. There is offered rational technology of their heating with combining of two fuel constituents with different calorie content heating value realization of which allows to increase the volume consumption of combustion foods at all cycle of thermal treatment and, consequently, to decrease the unevenness of the temperature field on length of the heated purveyances.
Keywords: double-chamber pusher thermal furnace, technology of heating, combining of fuel constituents

Введение. Широкий диапазон изменения тепловой мощности термических печей различного типа при реализации многоступенчатых температурно-временных режимов обработки металла во многом предопределяет требования к сжиганию газообразного топлива для ее различных периодов [1-5]. И как следствие, технологии отопления указанных печей должны быть гибкими с возможностью перенастройки в процессе их тепловой работы.

На ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» для отжига и отпуска литых электродов, получаемых на установке полунепрерывной разливки специальных сталей, применяют двухкамерные рпроходные термические печи. Основные технические характеристики данных агрегатов представлены в табл. 1.

Выбор данных печей в качестве объекта исследований обусловлен отоплением их дорогостоящим, строго лимитируемым (по расходу) природным газом.

Садку, состоящую из 5-6 электродов в специальной оснастке и уложенную в металлических бугелях, загружают с двух сторон в рабочую камеру печи при помощи спаренных тележек и закрывают ее футерованными заслонками с песочным затвором.

В каждой рабочей камере расположено по девять горелок типа ГНП-4, размещенных в специальных топочных камерах (по две горелки – в крайних топках, и по одной – в центральных топках), которые обеспечивают односторонний нагрев садки электродов.

© Зинченко В.Ю., Лютый А.П., Овчинникова И.А., Матказина Р.Р., 2016

Таблица 1 – Основные технические характеристики двухкамерных термических печей

Характеристика	Размерность	Численное значение
Площадь пода	$м^2$	87 х 2
Количество слитков	шт.	6
Масса садки металла	т	21
Производительность	т/ч	2,07
Топливо		Природный газ
Теплота сгорания	кВт/ч	9,90
Максимальный расход:	$м^3$/ч.	
- топлива		250
- воздуха		2500

Удаление продуктов горения осуществляют из противоположной по отношению к горелкам стороны печи через каналы, выполненные в глухой стене, а также через дымоотводящие каналы – на уровне пода со стороны горелок. Такая конструкция печи: две камеры, объединенные общей стенкой с односторонним расположением горелок, – обусловлена дефицитом производственных площадей в условиях сталеплавильного цеха № 1 ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь».

Термическую обработку электродов выполняют по трех- или многоступенчатым температурно-временным режимам в зависимости от марки стали.

Для контроля температуры печи в своде каждой рабочей камеры установлено три термоэлектрических термометра. Кроме того, печи оборудованы системами регулирования температуры в рабочем объеме камеры, соотношения «топливо-воздух» и стабилизации давления в каждой камере.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование тепловой работы двухкамерных термической печей и разработка рациональной технологии их отопления.

Основная часть исследований. На первом этапе изучали распределение температуры по длине рабочей камеры и его взаимосвязь с тепловой нагрузкой и давлением в печи. Исследовали отжиг слитков стали 4Х5МФ1С сечением 370 х 370 мм и общей массой 26,7 т. Контроль распределения температуры выполняли при помощи трех хромель-алюмелевых термоэлектрических термометров 1*к*, 2*к*, 3*к* (поз. 1*а*-3, 1*а*-4, 1*а*-5), размещенных по длине садки согласно приведенной схеме (рис. 1) и датчиков температуры *A*, *B* и *C* (поз. 1*а*-1, 1*а*-2 и 2*а*), стационарно установленных в своде печи.

Стационарный термоэлектрический термометр *B* используют в системе регулирования температуры в рабочей камере печи, а боковые термометры *A* и *C* выполняют контроль изменения температуры по длине рабочей камеры в поперечном сечении газового потока, образованного продуктами горения, выходящими из горелочных топок в направлении дымоотводящих каналов печи.

Регистрацию показаний термоэлектрических термометров осуществляли при помощи потенциометров типа КСП-4 (поз. 1б) и КСП-3 (2б). В комплект расходомеров топлива и воздуха входили сужающие устройства типа ДКС (поз. 3а, 4а), датчики перепада давления типа ДМ 3583М (поз. 3б, 4б) и вторичные приборы КСД-3 (3в, 4в). Давление в печи контролировали при помощи стационарного дифманометра типа ДКО (поз. 5а) и вторичного прибора КСД-3 (поз. 5б).

Регулирование температуры по заданному температурно-временному режиму, соотношения «топливо-воздух» и давления в рабочей камере печи осуществляли автоматически в обычном режиме.

В результате выполненных исследований получены данные об изменении температуры в контрольных точках рабочего объема двухкамерной термической печи и садке термически обрабатываемых электродов (табл. 2).

Как следует из представленных результатов, температурное поле в рабочей камере печи является нестационарным. Перепад температуры в начале нагрева металла составляет 80…100 °С, а в конце выдержки не превышает 20 °С.

В табл. 3 представлены перепады температуры между показаниями термоэлектрических термометров, размещенных в садке электродов.

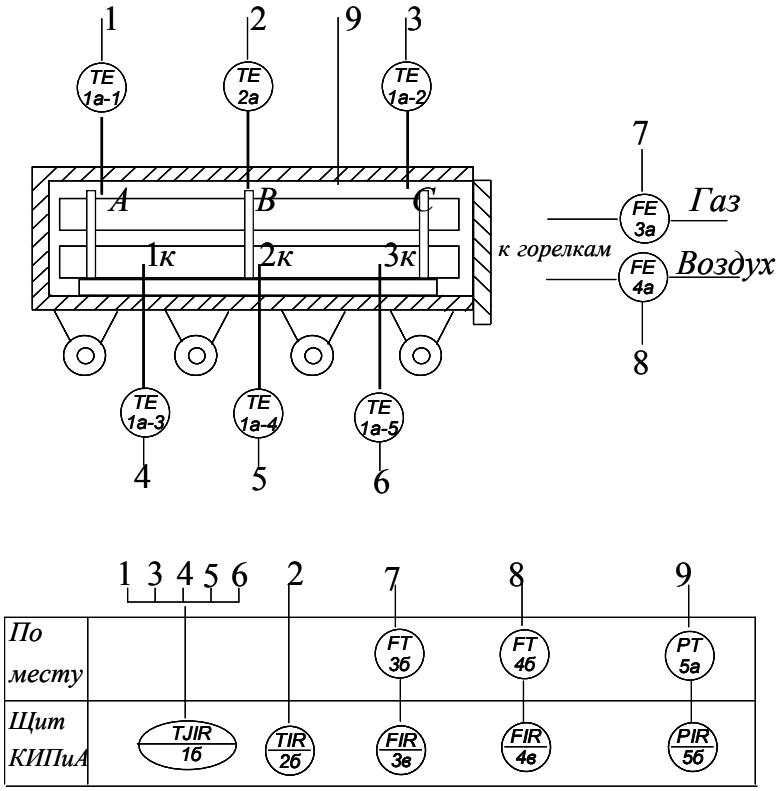

Рисунок 1 – Схема расположения контрольно-измерительных приборов и дополнительных датчиков температуры в садке при контрольном нагреве

Таблица 2 – Изменение температуры в контрольных точках рабочего объема двухкамерной термической печи и садке электродов

Время нагрева, ч	Температура, ° С:					
	точка *А*	точка *В*	точка *С*	точка *к*1	точка *к*2	точка *к*3
2	765	660	235	400	210	190
6	785	700	615	755	600	580
10	750	700	690	730	650	620
14	725	710	690	705	640	630
18	725	719	685	710	645	635
22	810	790	720	760	700	685
26	860	845	790	830	720	710
30	875	855	815	820	760	700
34	875	860	820	815	760	690
38	875	865	830	800	760	690
42	715	720	710	695	690	630
46	6000	610	590	580	570	560

Установлено, что перепады температуры между контрольными точками имеют случайный характер (табл. 3), как по величине, та и по знаку отклонения за счет нарушения распределения топлива между горелками, а также отклонений в процессе регулирования соотношения «топливо-воздух» и режима давления в печи. Однако перепады температуры по объему садки металла были значительно ниже, что может быть объяснено более совершенной системой отопления. Равномерность подвода теплоты к металлу в печах данного типа обеспечивается путем распределенного подвода греющих газов в рабочей камере печи.

Можно указать на наличие качественной зависимости между величиной тепловой нагрузки (расхода топлива) и разбросом (дисперсией) этих величин, что служит подтверждением снижения эффективности перемешивания греющих газов при уменьшении объема продуктов горения в печи и ухудшением условий теплопередачи. В период выдержки неравномерность темпе-

ратуры по длине печи возрастает, что нередко приводит к полосчатой структуре электродов. Удлинение периода выдержки является нецелесообразным как с позиции увеличения расхода топлива, так и ухудшения качества термической обработки металла (из-за роста зерна при длительном пребывании электродов в области высокой температуры). Характер изменения давления в рабочей камере печи, несмотря на существующую систему автоматического регулирования, практически полностью повторяет периодичность изменения тепловой нагрузки и, как показали результаты практических исследований на печи, оказывает незначительное влияние на распределение температуры по ее длине.

Таблица 3 – Величина перепадов температуры между показаниями датчиков температуры и значения режимных параметров печи

Время нагрева, ч	Перепад температуры, °С		Расход топлива, $м^3/ч$	Давление в печи, Па.
	$\Delta t_{2\text{-}1}$	$\Delta t_{2\text{-}3}$		
2	40	-25	215	6,5
6	20	-30	75	-1,0
10	25	-10	60	-1,0
14	30	0	100	0
18	40	20	90	0
22	30	30	60	0
26	55	40	85	0
30	60	55	70	-1,0
34	65	60	60	-2,0
36	60	60	50	-1,0

При значительном увеличении величины давления, из-за выбивания продуктов горения через крышку печи, температура в контрольных точках *к*1 и *к*3 несколько снижается. При уменьшении объемного расхода продуктов горения в конце периода выдержки происходит снижение давления в печи на уровне садки до значений ниже атмосферной величины. Как следствие, имеют место подсосы холодного атмосферного воздуха через неплотности песочного затвора заслонок, что приводит к охлаждению крайних участков садки. Как следует из данных табл. 3, для такого периода характерно увеличение разности температуры между точками *к*2-*к*1 и *к*2-*к*3, величина которой к концу периода выдержки достигает величины 60 °С.

По результатам выполненных измерений можно сделать заключение о необходимости стабилизации газодинамического режима печи путем увеличения объемного расхода продуктов горения за счет изменения технологии отопления.

Решить поставленную задачу можно путем перехода на отопление печей с раздельной подачей топливных составляющих (высококалорийного природного и низкокалорийного доменного газов) и комбинированием их непосредственно перед горелками.

Автоматическое регулирование подачи топливных составляющих и избыточного воздуха осуществляют программой контроллера, разработанной на основании блок-схемы алгоритма управления, представленной на рис. 2.

Предложенная блок-схема содержит:

– блок 1 - ввод текущей и заданной температуры в печи для реального масштаба времени $t_n(\tau)$, $t_n^{зад}(\tau)$, а также расходов топлива $B_{пг}$, $B_{дг}$ и избыточного воздуха $L_в^{изб}$;

– блок 2 - проверка достижения текущей температуры печи $t_n(\tau)$ заданного значения $t_n^{зад}(\tau)$ и окончания процесса при выполнении температурно-временого режима обработки $t_n^{зад}(\tau_k)$;

– блок 3 - подпрограмма регулятора температуры;

– блоки 4, 6 - подпрограммы изменения расходов топливных компонентов при уменьшении тепловой мощности печи, «Меньше»;

– блоки 5, 7 - подпрограммы изменения расходов топливных компонентов при увеличении тепловой мощности печи, «Больше»;

– блоки 8, 9 - проверка достижения предельных расходов $B_{пг}$, $B_{дг}$ топлива;

– блоки 10-13 - подпрограммы изменения расходов соответствующих топливных компонентов.

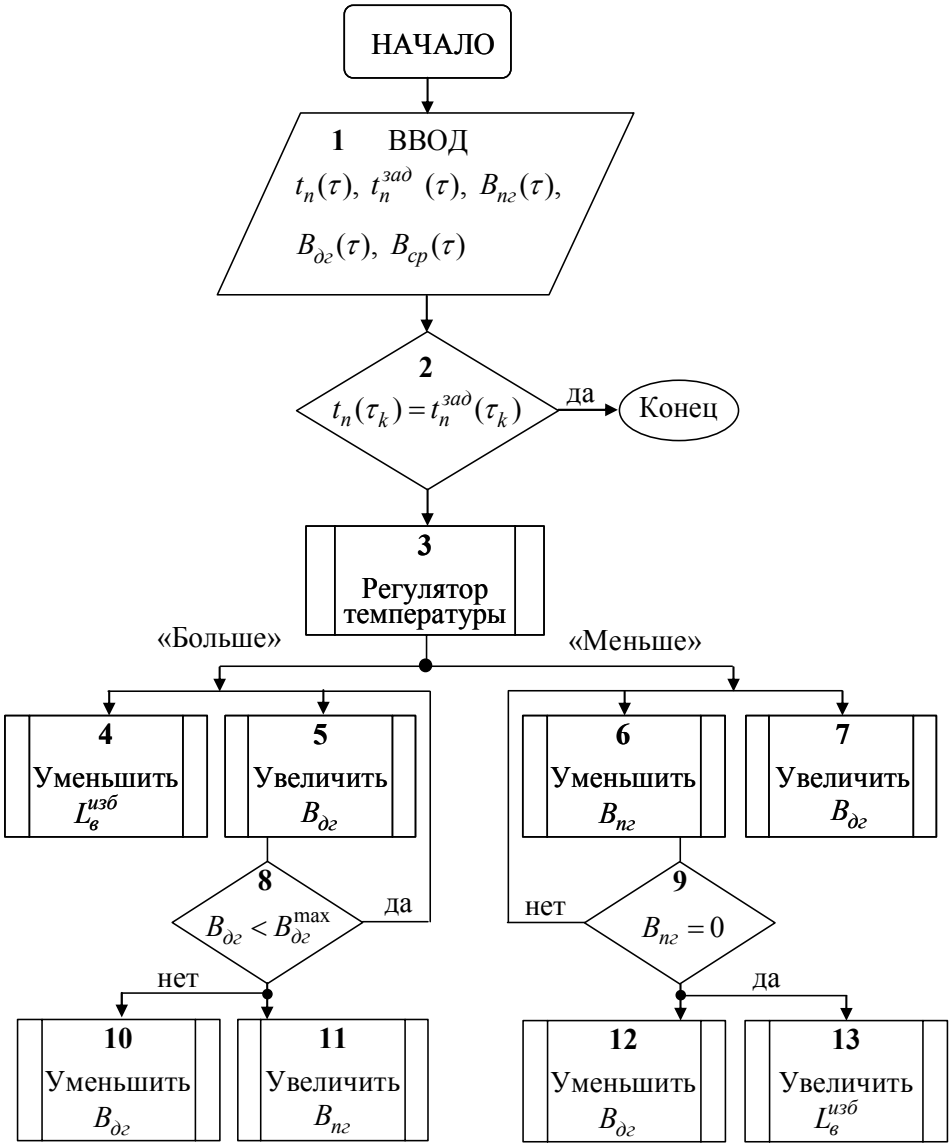

Рисунок 2 – Блок-схема управления температурным режимом печи

Заключение.

1. В процессе экспериментальных исследований установлено, что перепад температуры в горизонтальном сечении термической печи при увеличении тепловой нагрузки, а, следовательно, объемного расхода продуктов горения, изменяется с 80…100 до 30…20 °С. Наименьшая величина перепада в период нагрева наблюдается при максимальном расходе топлива, поэтому выравнивание температуры в поперечном сечении потока греющих газов возможно увеличением их общего объема.

2. Разработана методика расчета теплового режима и способ технической реализации отопления печей при переходе к раздельной подаче нескольких газообразных видов топлива.

3. Разработан способ отопления термических печей камерного типа, включающий раздельную подачу природного и доменного газов, а также избыточного воздуха, с изменением подводимой тепловой мощности в зависимости от заданного температурно-временного режима, отличающийся тем, что объемный расход греющих дымовых газов поддерживается постоянным путем замещения части доменного газа эквивалентным по объему продуктов сгорания количеством природного газа при дефиците тепла или соответствующей подачей избыточного воздуха при избытке теплоты.

Бібліографічний список

1. **Эфрос, М. М.** Нагревательные и термические печи на газовом топливе [Текст] / М. М. Эфрос. – М. : Металлургия, 1965. – 415 с. – Библиография в конце каждого раздела. – 1650 экз.
2. **Несенчук, А. П.** Пламенные печи для нагрева и термообработки [Текст] / А. П. Несенчук, Н. П. Жмакин, И. И. Кальтман. – Минск : Высшая школа, 1973. – 350 с. – Библиогр.: с. 347-349. – 690 экз.
3. 3. **Лисиенко, В. Г.** Интенсификация теплообмена в пламенных печах [Текст] / В. Г. Лисиенко. – М. : Металлургия, 1979. – 224 с. – Библиогр.: с. 221223. – 1500 экз.
4. 4. **Кривандин, В. А.** Металлургические печи [Текст] / В. А. Кривандин, В. Л. Марков. – М. : Металлургия, 1985. – 480 с. – Библиогр.: с. 476-479. – 1250 экз.
5. **Губинский, В. И.** Теория пламенных печей [Текст] / В. И. Губинский, Лу Джуан-У. – М. :. Машиностроение, 1995. – 256 с. – Библиогр.: с. 254-256. – 1250 экз.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2015 р.
Рецензент, проф. І.Г. Яковлєва

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