

6 Логунова О.С., Агапитов Е.Б., Баранкова И.И., Андреев С.М., Чусавитина Г.Н. Математические модели для исследования теплового состояния тел и управления тепловыми процессами // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 2(43). С. 25–34.

7 Беленький А.М., Дубинский М.Ю., Калимулина С.И. Промышленный эксперимент – основа проведения энергосберегающей политики в металлургической теплотехнике // Металлург. 2010. № 5. С. 26–29.

8 Беленький А.М., Дубинский М.Ю., Ладыгичев М.Г. Температура: теория, практика, эксперимент. Т. 2. Измерение температуры в промышленности и энергетике. – М.: Теплотехник, 2007. – 736 с.

9 Радченко Ю.С. Основы статистического моделирования: учебное пособие для вузов. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2010. – 30 с.

УДК 621.783.231

В. М. Валиахметов, М. Д. Казяев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ ДЛЯ НАГРЕВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ КВАДРАТНЫХ ЗАГОТОВОК

Аннотация. *Сконструирована печь для нагрева непрерывнолитых квадратных заготовок. Данная конструкция печи разделена на 3 зоны, в каждой из которых принята постоянная температура. Дымоудаление осуществляется через рекуперативные горелки, которые оттапливаются природным газом. Подвод газа и воздуха к каждой горелке осуществляется от общих трубопроводов газа и воздуха. Произведен расчет тепловой работы печи, на основе которого были получены основные показатели ее работы.*

Ключевые слова: *шагающий под, тепловой баланс, непрерывнолитые заготовки, рекуперативная горелка, тепловой и температурный режимы.*

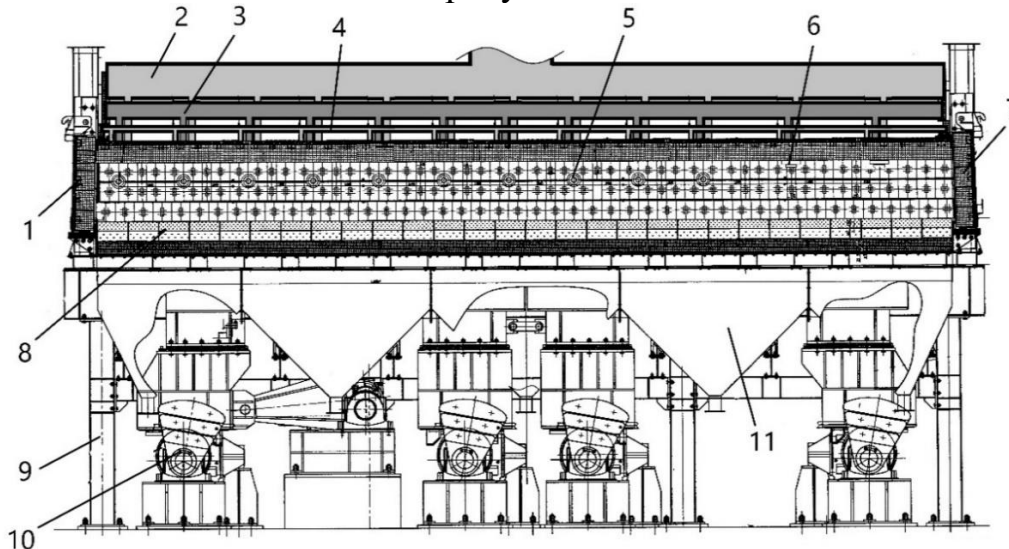
Abstract. *A furnace is designed for heating continuously cast square blanks. This furnace design is divided into 3 zones, each of which has a constant temperature. Smoke removal is carried out through recuperative burners, which are heated with natural gas. Gas and air supply to each burner is carried out from the common gas and air pipelines. The calculation of the thermal operation of the furnace was made, on the basis of which the main indicators of its operation were obtained.*

Key words: *a walking hearth, heat balance, continuously cast billets, recuperative burner, thermal and temperature modes.*

Современные прокатные станы работают в непрерывном режиме, которые в свою очередь обеспечиваются горячим металлом, нагреваемым в печах непрерывного действия. К таким печам относят проходные или методические печи с различной механизацией: толкательные, печи с шагающим подом и печи с шагающими балками.

В данной представлена проходная печь с шагающим подом, выполненная по новым строительным технологиям с применением волокнистой футеровки и рекуперативных горелок. Печь спроектирована на основе печи,

спроектированной ООО Научно-производственной компанией «УралТермоКомплекс» для ОАО «Кировский завод по обработке цветных металлов». Схема печи показана на рисунке 1.



- 1 – заслонка окна загрузки; 2 – канал дымоудаления; 3 – воздухопровод;
 4 – газопровод; 5 – боковая рекуперативная горелка;
 6 – сводовая рекуперативная горелка; 7 – заслонка окна выдачи;
 8 – под; 9 – каркас; 10 – механизм шагания пода; 11 – окалиносорбик.

Рис. 1. Схема печи

В печи нагреваются стальные квадратные непрерывнолитые заготовки размером $S = 140$ мм и длиной $l = 4800$ мм. Производительность печи – 20 т/ч. Транспортировка заготовок осуществляется с помощью шагающего пода. Система отопления печи – комбинированная с боковым и сводовым отоплением. В печи установлены 20 боковых рекуперативных горелок и 8 сводовых рекуперативных горелок фирмы «WS Warmeprozess-technik GmbH», работающих в импульсном режиме. Боковые и сводовые горелки равномерно распределены по длине печи. Подвод газа и воздуха к каждой горелке осуществляется от общих трубопроводов газа и воздуха (п. 3,4, рисунок 1). Отвод продуктов горения производится через рекуперативные горелки, далее отходящие газы собираются в общий канал дымоудаления (п. 2, рисунок 1). Далее, продукты горения удаляются с помощью дымососа в индивидуальную металлическую дымовую трубу. Рекуперативные горелки позволяют делить печь на виртуальные зоны, в пределах которых поддерживается постоянная температура печи. Данную конструкцию печи поделили на 3 зоны, в каждой из которых постоянная температура.

Расчет нагрева металла осуществляется при совместном решении уравнений внешнего теплообмена и теплопроводности с учетом балансовых технологических ограничений. Последовательность расчета нагрева металла показана на рисунке 2.

Время нагрева заготовки рассчитывалось по формуле:

$$\tau = \frac{g_{шт} \cdot N}{P_M}, \quad (1)$$

где $g_{шт}$ – масса одной заготовки; N – количество заготовок в зоне.

Далее, рассчитывалось число Фурье по следующей формуле:

$$Fo = \frac{a_M \cdot \tau}{R_{прив}^2}, \quad (2)$$

где a_M – температуропроводность; $R_{прив}^2$ – количество заготовок в зоне.

$$P_M \rightarrow \tau_{нагр.} \rightarrow Fo \rightarrow \theta_{п} \rightarrow Vi \rightarrow \theta_c \rightarrow t_c \rightarrow t_M$$

P_M – производительность печи; $\tau_{нагр.}$ – время нагрева заготовки;
 $\theta_{п}$, θ_c – относительные температуры поверхности и середины неограниченного цилиндра; t_c – температуры середины заготовки;
 t_M – среднемассовая температура металла

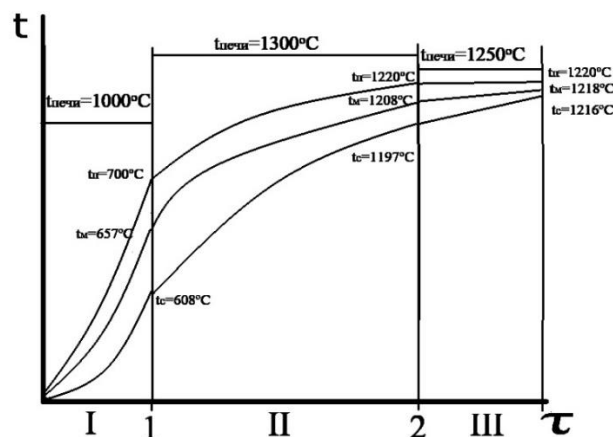
Рис. 2. Последовательность расчета нагрева металла

Относительную температуру поверхности металла рассчитали по формуле:

$$\theta_{пов.1} = \frac{t_{печ.1} - t_{п.1}}{t_{печ.1} - t_{м.нач.}}. \quad (3)$$

Зная число Фурье и относительную температуру поверхности металла, нашли число Vi по графику относительной температуры поверхности неограниченного цилиндра. Получив значение число Vi , нашли среднемассовую и осевую относительные температуры металла по графикам, из формул которых были получены осевые и среднемассовые температуры.

После расчета зон печи был получен температурный график расчета нагрева металла в различных зонах представлен на рисунке 3.



I, II, III – зоны печи; 1, 2 – сечения между зонами печи;
 $t_{п}$ – температуры поверхности заготовки; t_M – среднемассовая температура металла; t_c – температуры середины заготовки;
 $t_{печи}$ – температура печной среды.

Рис. 3. Изменение температуры печной среды и поверхностей заготовки по сечениям

Для получения основных показателей работы печи был рассчитан тепловой баланс, результат которого представлен в таблице 1.

Таблица 1

Тепловой баланс печи

Статья	кВт	%	Статья	кВт	%
Химическая теплота топлива	5100	77,4	Полезно затраченная теплота	3444,12	52,3
Физическая теплота подогретого топлива	4,71	0,07	Потери теплоты с уходящими газами	2809,4	42,6
Физическая теплота подогретого воздуха	1485,97	22,53	Потери теплоты с химическим недожогом	25,5	0,4
			Потери теплоты в окружающее пространство, в том числе:	311,66	4,7
			- потери теплопроводностью через футеровку;	143,46	2,2
			- потери теплоты излучением через открытые окна;	168,2	2,5
Суммарный приход теплоты	6590,68	100,00	Суммарный расход теплоты	6590,68	100,00

На основе расчета теплового баланса были получены следующие удельные показатели:

- удельный расход условного топлива равен 34,25 кг у.т./т;
- суммарный КПД равен 52,3 %;
- топливный КПД равен 67,5 %;
- коэффициент использования теплоты равен 57 %.

Применение рекуперативных горелок в конструкции печи позволило увеличить долю теплообмена конвекцией. Так же, за счет рекуперации, они позволяют осуществить подогрев воздуха, за счет чего обратно в печь возвращается 22,5 % теплоты. Применение волокнистой футеровки позволило снизить потери тепла теплопроводностью.

Список использованных источников

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев, Б.И. Китаев, В.Г. Лисиенко, А.С. Телегин, Ю.Г. Ярошенко. Учебное пособие для студентов вузов. Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.

2. Теория и практика теплогенерации: учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / С.Н. Гушин, М.Д. Казяев, Ю.В. Крючков [и др.]; под ред. В.И. Лобанова и С.Н. Гушина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 379 с.

3. Топливо и расчеты его горения: учебное пособие / С.Н. Гушин, Л.А. Зайнуллин, М.Д. Казяев, Б.П. Юрьев, Ю.Г. Ярошенко; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 105 с.

УДК 621.365.2:662.612.11/321/322

И. В. Глухов, Г. В. Воронов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СЖИГАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КИСЛОРОДОМ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СОВРЕМЕННОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Аннотация. В современной электрометаллургии наметилась тенденция к комплексному применению различных способов интенсификации тепловой работы ДСП. Широко распространилось использование стеновых газокислородных горелок и рафинирующих фурм. В представленной работе рассмотрены конструкции горелок, используемых на действующих печах фирм VAI FUCHS, SMS DEMAG, НТПФ «Эталон», исследованы варианты конструкций горелок со смешиванием природного газа с кислородом в объеме горелки и в диффузоре. На основе результатов компьютерного моделирования в программе ANSYS в модуле CFX исследованы температурные поля с целью возможного возникновения проскока пламени и предложена конструкция горелки, исключающая проскок пламени при обеспечении кинетического режима сжигания природного газа в кислороде.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, горелка, факел, конструкция, кинетический, диффузионный, смесь.

Abstract. In modern electrometallurgy, there is a tendency towards the complex application of various methods of intensifying the thermal work of EAF. The use of wall gas-oxygen burners and refining tuyeres has become widespread. In the presented work, the designs of burners used on operating furnaces of VAI FUCHS, SMS DEMAG, NTPF "Etalon" are considered, variants of designs of burners with mixing of natural gas with oxygen in the volume of the burner and in the diffuser are investigated. Based on the results of computer simulation in the ANSYS program in the CFX module, temperature fields were investigated with the aim of the possible occurrence of flame breakthrough, and a burner design was proposed that excludes flame breakthrough while ensuring the kinetic mode of combustion of natural gas in oxygen.

Key words: arc steelmaking furnace, burner, torch, construction, kinetic, diffusion, mixture.

Газовая горелка предназначена для формирования факела с заданным режимом горения газа с окислителем, с наперед заданными геометрическими параметрами ($l_{\text{ф}}$ – полная длина, $l_{\text{иг}}$ – длина интенсивного горения, угол раскрытия и т.д.), температурой и химическим составом продуктов сгорания при минимальном химическом недожоге [1-6].

В дуговой сталеплавильной печи газокислородные горелки предназначены прежде всего для ускоренного нагрева шихты первой корзины, чтобы обеспечить подачу окончательной массы завалки в рабочее пространство. Прогрев всей массы шихты до температуры плавления должен происходить равномерно по всему объему без локальных зон перегрева и оплавления. Образование