

Особенности модернизации нагревательных печей с шагающим подом на основе регенеративной системы отопления

Выполнен анализ различных схем модернизации нагревательной печи непрерывного действия с шагающим подом и сводовым отоплением на основе установки регенеративных горелок. Рассмотрены варианты с полной и частичной заменой горелок на регенеративные, а также установка дополнительных горелок за счет методической зоны. Определены характеристики тепловой работы печи для различных вариантов модернизации. Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: печь с шагающим подом, сводовая система отопления, модернизация печи, регенеративные горелки, рекуператор

Analysis of various schemes of modernization of continuous walking hearth re-heating furnace and roof heating on the base of regenerative burners is fulfilled. There considered variants with full and partial replacing of burners due to methodic zone. Characteristics of thermal work of furnace for various variants of modernization are determined.

Keywords: walking beam furnace, roof heating system, furnace modernization, regenerative burners, recuperator

Для повышения эффективности использования топлива в нагревательных печах все большее распространение получает использование регенеративных горелок [1-4]. За счет встроенного компактного регенератора эти горелки обеспечивают глубокую утилизацию теплоты уходящих продуктов сгорания топлива, которая в среднем составляет 90 % [5]. Из-за достаточно высоких капитальных затрат на реконструкцию системы отопления чаще всего применяется установка регенеративных горелок лишь в отдельных зонах печи. Обычно это связывают с повышением производительности печи, для чего используется первая подогревательная зона [6, 7].

Для нагрева заготовок перед прокаткой широко применяются печи с шагающим подом и сводовым отоплением с помощью плоскопламенных горелок. Они имеют прямоугольную конфигурацию рабочего пространства без выделения отдельных зон пережимами, что позволяет достаточно просто организовывать многозонный режим нагрева. На металлургических предприятиях Украины находятся в эксплуатации ряд печей такого типа, построенных в 70-х и 80-х годах прошлого века, например [8]. Многие из них были спроектированы с запасом по тепловой мощности для возможности обеспечить работу стана при повышении в перспективе его производительности. Поэтому обычно зона подогрева отключена и используется как методическая, обеспечивая постепенный нагрев металла за счет теплоты продуктов сгорания поступающих из других зон. Для уменьшения расхода топлива в таких печах возможна замена существующих сводовых горелок на реге-

неративные, используя успешный опыт эксплуатации крупных кузнечных нагревательных печей [4]. Другой подход состоит в установке регенеративных горелок в боковых стенах с отключением сводовых горелок расположенных на этих участках.

С целью оценки эффективности частичной замены плоскопламенных горелок на регенеративные рассмотрена печь с шагающим подом, предназначенная для нагрева стальных заготовок с поперечным сечением 0,15×0,15 м и длиной 10-11 м (рис. 1а). Печь 1 имеет три зоны: 1 – подогревательную (методическую) длиной $L_1 = 14$ м, 2 – зону нагрева длиной $L_2 = 10$ м, 3 – зону выдержки длиной $L_3 = 6$ м. В зонах 2 и 3 на своде равномерно расположены плоскопламенные горелки, работающие на природном газе. Продукты сгорания (ПС), уходящие из зон выдержки и нагрева, проходят через зону 1 и обеспечивают начальный подогрев заготовок. Далее они поступают в металлический рекуператор 3, который позволяет нагреть воздух (В), подаваемый вентилятором 2 на горелки, до температуры около 350 °С.

Схема печи с заменой сводовых горелок зоны 2 на регенеративные приведена на рис. 1б. В этом случае нагретый воздух после рекуператора подается только в зону выдержки, а основной объем (примерно 80 %) продуктов сгорания топлива в зоне 2 удаляется из печи через регенеративные горелки. Остальные 20 % продуктов сгорания смешиваются с дымовыми газами, поступающим из зоны выдержки, и поступают в методическую зону. Такое распределение потоков печных газов обусловлено различием расходных теплоемкостей для дыма и воздуха [5].

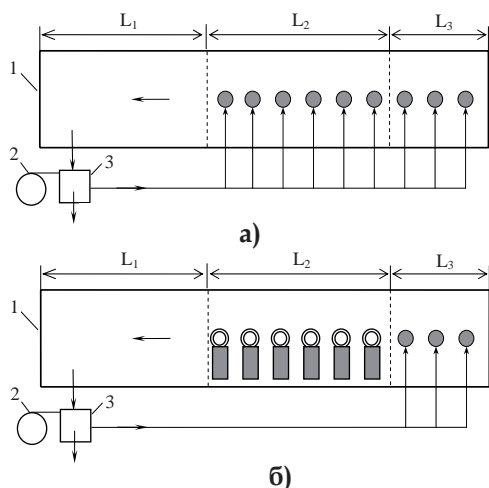
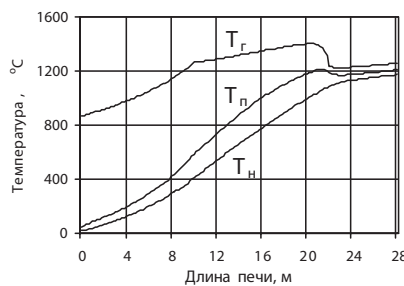


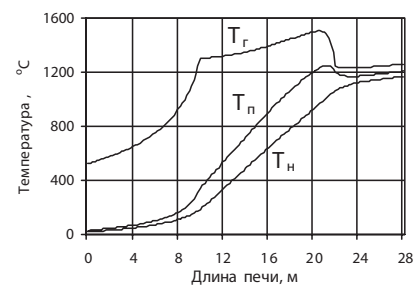
Рис. 1. Схема печи с шагающим подом
 а – сводовыми горелками;
 б – регенеративными горелками в зоне нагрева

Основные температурные и тепловые характеристики печи до и после модернизации определяли с помощью математической модели, основанной на одномерной схеме расчета теплообмена в рабочем пространстве печи [9]. Расходы топлива по зонам определялись методом последовательных приближений для обеспечения заданных температур печи в середине каждой зоны. Температура воздуха после рекуператора определялась с помощью упрощенной модели с учетом влияния на теплообмен температур и расходов воздуха и продуктов сгорания. Для расчета значений температуры воздуха на участках печи с регенеративными горелками было принято постоянное значение коэффициента регенерации 0,85.

На рис. 2 показаны температурные диаграммы нагрева металла в рассматриваемой печи до и после модернизации при производительности $G = 110$ т/ч. Тепловой баланс печи для этих случаев приведен в табл. 1 и 2.



а)



б)

Рис. 2. Температурные диаграммы нагрева металла в печи:

а – со сводовыми горелками;
 б – после замены горелок в зоне 2 на регенеративные.
 T_r – температура газов; T_n и T_n – температуры верха и низа заготовок

Как видно из представленных результатов, исходная печь обеспечивает нагрев заготовок до $1200\text{ }^\circ\text{C}$ при максимальном конечном перепаде температур по сечению около $30\text{ }^\circ\text{C}$. При этом удельный расход топлива на нагрев составляет $44,3\text{ кг у.т./т металла}$.

После замены горелок мощность печи снизилась на $7,74\text{ МВт}$, при этом удельный расход топлива на нагрев составил $35,7\text{ кг у.т./т металла}$. В то же время, конечный перепад температур по сечению заготовок несколько возрос, т. е. качество нагрева ухудшилось. Другим следствием модернизации оказался рост температуры газов в конце зоны нагрева свыше $1500\text{ }^\circ\text{C}$, что создает условия напряженной работы как ограждения печи, так и горелок. Температура подогрева воздуха в рекуператоре после замены горелок понизилась от $340\text{ }^\circ\text{C}$ до $275\text{ }^\circ\text{C}$, что обусловлено изменением расходов продуктов сгорания и воздуха.

С целью обеспечения более равномерного нагрева металла и снижения уровня максималь-

Таблица 1

Тепловой баланс печи со сводовыми горелками до модернизации

Приходные статьи	МВт	%	Расходные статьи	МВт	%
Химическое тепло топлива	39,68	87,52	Теплота заготовок	23,14	51,04
Теплота воздуха из рекуператора	5,66	12,48	Теплота уходящих из печи газов	18,79	41,44
			Тепловые потери печи	3,41	7,52
Итого	45,34	100	Итого	45,34	100

Таблица 2

Тепловой баланс печи после замены горелок в зоне 2 на регенеративные

Приходные статьи	МВт	%	Расходные статьи	МВт	%
Химическое тепло топлива	31,94	68,70	Теплота заготовок	23,08	49,65
Теплота воздуха из рекуператора	0,41	0,88	Теплота уходящих газов в рекуператор	2,65	5,70
Теплота воздуха из регенераторов	14,14	30,42	Теплота уходящих газов в регенераторы	17,28	37,17
			Тепловые потери печи	3,48	7,48
Итого	46,49	100	Итого	46,49	100

ных температур в печи был рассмотрен вариант замены горелок зоны 2 на регенеративные с увеличением длины этой зоны за счет методической. При длине зоны $L_2 = 11,5$ м конечный перепад температур по толщине металла стал менее 30°C , но максимальная температура газов осталась еще достаточно высокой – 1490°C . Лучшие результаты дает изменение конфигурации печи и добавление дополнительной зоны нагрева. В результате длины зон печи составили: методическая $L_1 = 8$ м, первая зона нагрева $L_2 = 6,5$ м, вторая зона нагрева $L_3 = 7,5$ м, зона выдержки $L_4 = 6$ м. В этом случае при тех же конечных параметрах нагрева металла максимальная температура газов не превысила 1380°C . Удельный расход топлива составил $39,3$ кг у.т./т металла, что соответствует экономии $11,3\%$ по сравнению с базовым вариантом, о чем свидетельствуют данные теплового баланса печи (табл. 3).

показало, что наиболее приемлемым вариантом модернизации является изменение ее конфигурации с добавлением подогревательной зоны, отапливаемой регенеративными горелками. Это позволит получить примерно 11% экономии топлива на нагрев при сохранении качества нагрева заготовок.

Библиографический список

1. Дормайр Дж., Павлов Р. А. Использование регенеративных горелок в сталелитейной промышленности / *Сталь*. – 2010. – № 11. – С. 79-80.
2. Эффективность регенеративной системы отопления нагревательной печи / Г. М. Дружинин, Н. Б. Лошкарев, А. А. Ашихмин, М. Р. Барташ, С. А. Нелюбин, А. В. Коробейников // *Сталь*. – № 3. – 2010. – С. 71-74.
3. Чаповец Э., Краммер Х., Гайдис Й. Регенеративные горелочные системы для печей пе-

Таблица 3

Тепловой баланс печи при изменении конфигурации печи

Приходные статьи	МВт	%	Расходные статьи	МВт	%
Химическое тепло топлива	35,21	75,85	Теплота заготовок	23,13	49,82
Теплота воздуха из рекуператора	2,43	5,24	Теплота уходящих газов в рекуператор	9,09	19,58
Теплота воздуха из регенераторов	8,78	18,91	Теплота уходящих газов в регенераторы	10,73	23,12
			Тепловые потери печи	3,47	7,48
Итого	46,42	100	Итого	46,42	100

Из полученных результатов следует, что переход от трехзонной системы регулирования к четырехзонной существенно изменил распределение потоков продуктов сгорания, уходящих в рекуператор и регенераторы горелок. Соответственно возросла доля теплоты, вносимой воздухом из рекуператора ($5,24\%$ против $0,88\%$).

Таким образом, модернизация проходной нагревательной печи с установкой регенеративных горелок требует не только замены горелок, но и изменения конфигурации печи, системы управления ее температурным режимом, что обеспечивает значительную экономию топлива при сохранении качества нагрева металла.

Выводы

Для повышения эффективности использования топлива в нагревательных печах все большее распространение получает установка регенеративных горелок. Из-за достаточно высоких затрат на реконструкцию системы сжигания топлива в печах непрерывного действия чаще всего применяется установка регенеративных горелок лишь в отдельных зонах печи.

Сопоставление рассмотренных вариантов модернизации печи с шагающим подом и сводовым отоплением, предназначенной для нагрева квадратных заготовок перед прокаткой,

риодического действия / *Черные металлы*. – № 9. – 2013. – С. 50-56.

4. Ales Molinek, Günther Reusch, Josef Srajer, Josef Domagala Application of regenerative burners in forging furnaces / *Heat processing*. – 2014. – Vol. 12. – № 1. – P. 73-77.

5. Industrial Burners. Handbook. Edited by Charles E. Baukal, Jr. CRC Press: Boca Raton, London, New York, Washington. – 2003.

6. Wentling V., Evans D., Swan S., Fennell A G. Update on Regenerative Reheat Furnace Conversions in North America. *Iron & Steel Technology*. – 2010. – Vol. 7. – P. 60-65.

7. Steven J. O'Connor, Anthony G. Fennell. Recent Cost Reduction Developments in the Heating of Steel. *Iron & Steel Technology*. – 2012. – Vol. 8. – P. 106-111.

8. Печь с шагающим подом и сводовым отоплением для нагрева заготовок перед прокаткой на мелкосортном стане / А. Н. Похилевич, Л. А. Пинес, В. М. Звонов, Л. А. Щербакова и др. // Проектирование металлургических печей. Тематический отраслевой сборник № 8. – М.: Металлургия, 1981. – С. 9-17.

9. Невский А. С. Лучистый теплообмен в печах и топках. – М.: Металлургия, 1971. – 440 с.

Поступила 02.02.2015