УДК 536.24 + 669.162.2/.4 + 662.987

УМЕНЬШЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ПО НАСАДКЕ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

В.Ю. Шашкин

Рассмотрены варианты уменьшение неравномерности распределения теплоносителей по каналам насадок доменных воздухонагревателей.

Ключевые слова: регенератор, неравномерность, насадка, каналы.

Уменьшение неравномерности в распределении теплоносителя по каналам насадки доменных воздухонагревателей возможно двумя путями: за счет элементов конструкции воздухонагревателя (формы купола и шахты, высоты разделительной стенки, числа, размеров и расположения дымовых патрубков и штуцеров холодного дутья) и созданием горизонтальных проходов в насадке.

В работе [1] исследованы воздухонагреватели с внутренней боковой камерой горения. Изучение влияния формы подкупольного пространства на распределение воздуха по насадке показало, что купол сферической формы обеспечивает лучшее распределение потоков по насадке, чем пологий. Улучшения распределения потоков можно достичь увеличением объема подкупольного пространства за счет цилиндрической его части. По данным работы [1], круглая шахта по сравнению с эллиптической и с шахтой в виде сжатого круга обеспечивает лучшее распределение потоков.

Исследованию нескольких форм куполов (классического полусферического; полусферических над кладкой и камерой сгорания, соединенных кольцевыми каналами – типа Копперс; конического несимметричного типа Дидье и симметричного фирмы «Мартин и Пагенштехер») посвящена работа [2]. Полусферический купол рассмотрен в конструкции с внутренней шахтой горения, остальные формы куполов – в конструкциях с выносной камерой горения. Скорость потоков по насадке измеряли только в одном направлении – по центральной линии симметрии аппарата. Результаты измерений и визуальные наблюдения за потоком показали, что наиболее благоприятное распределение потоков по насадке создается при несимметричном куполе. Автору удалось разработать симметричный купол, расширяющийся над камерой горения, который позволил получить практически равномерное распределение газов по насадке. Наихудшие результаты получены при использовании конического купола. Нужно отметить, что в работе [2] не указывается гидравлическое сопротивление насадки, но, судя по результатам, оно было мало, так как на отдельных участках насадки наблюдалось даже обратное движение газа. Преимущество симметричного купола подтверждают и результаты других работ.

С увеличением высоты разделительной стенки между камерой горения и насадкой несколько ухудшается равномерность распределения скоростей по насадке, поэтому ее следует выполнять не выше уровня насадки [3].

Почти во всех описанных работах не учитывалось влияние конструкции поднасадочного устройства на аэродинамику газового периода и во всех работах не исследовалась аэродинамика дутьевого периода.

Результаты аэродинамических модельных исследований воздухонагревателя с внутренней камерой сгорания при наличии поднасадочного устройства приведены в работе [4]. Исследовали влияние расположения дымовых патрубков. Установили, что при обычном расположении дымовых патрубков распределение газов по насадке несколько более равномерное, чем при их расположении около шахты горения. В дутьевой период распределение воздуха по насадке более неравномерное, чем в газовый. Для более равномерной тепловой работы насадки рекомендуется ввод холодного дутья располагать со стороны, противоположной дымовым патрубкам.

Аэродинамика воздухонагревателя с выносной камерой горения и коническим куполом исследована в работе [5]. Показано, что этот аппарат характеризуется большой неравномерностью распределения газовых потоков по насадке в оба периода, причем в дутьевой период максимальная неравномерность в три раза больше, чем в газовый. Загромождение поднасадочного устройства улучшает аэродинамику дутьевого периода.

В работе [6] устранение неравномерности поля скоростей теплоносителя по сечению насадки доменного воздухонагревателя с внутренней боко-

вой камерой горения предложено устранять путем выполнения верхнего торца насадки наклонным, под некоторым углом α к горизонту, что технологически выполнимо при α≤45 град. Из расчетов этой работы следует, что при увеличении наклона верхнего торца насадки от 0 до 45 град степень неравномерности скоростей теплоносителей снижается от 10 до 4,7 %. При этом температура подогрева дутья, в соответствии с данными работы [7], возрастает на 12 °С, что эквивалентно экономии кокса 9 кг на тонну чугуна и увеличению производительности доменной печи на 0,2 %.

Методика пересчета данных моделирования на неизотермический образец разработана во ВНИИМТ [8]. Экспериментальных работ, посвященных исследованию температурного поля по сечению промышленных воздухонагревателей, мало, а объем измерений в них ограничен. Поэтому выполнить подробное сопоставление результатов промышленных и стендовых исследований не представляется возможным. Однако по величине расчетная неравномерность распределения температур в насадке хорошо согласуется с результатами опытов на действующих воздухонагревателях [9], в которых неравномерность распределения температур по сечению составляла 70–100 °С.

Результаты исследования [10] показывают, что при любой конструкции купола приемлемое распределение потоков по насадке можно обеспечить изменением конструкции поднасадочного устройства (числа, размеров и. расположения дымовых патрубков и штуцеров холодного дутья). Например, при подаче холодного дутья двумя штуцерами под углом, увеличение их диаметра с 1,6 до 2,0 м снижает максимальную неравномерность с +9 и -13 до ±7 %. Подвод дутья через один штуцер характеризуется наибольшей неравномерностью распределения потоков по насадке. Совмещенный подвод дутья к трем дымовым патрубкам оказался лучше, чем подвод дутья одним патрубком, но вследствие стесненных условий не дал ожидаемых результатов. Лучшее распределение было получено при подводе дутья двумя патрубками в плоскости симметрии и отводе дыма тоже двумя патрубками, а также при отводе дыма тремя и подаче дутья двумя патрубками, расположенными под углом. Вторая конструкция предпочтительнее, так как при трех дымовых патрубках гидравлическое сопротивление воздухонагревателя меньше.

Полученные поля скоростей дымовых газов и воздуха использовали для расчета температуры по высоте и сечению насадки [10]. Расчеты показали, что малая неравномерность в распределении газов по насадке непосредственно не влияет на среднюю температуру нагрева дутья, но приводит к существенной разнице в температурах по сечению насадки. Это создает трудности в выборе высоты отдельных зон (выкладываемых из различных огнеупоров), приводит к необходимости увеличения высоты дорогостоящих высокотемпературных зон и создает неодинаковые

условия на разных участках насадки. Поэтому желательно более равномерное распределение газовых потоков по насадке.

Для воздухонагревателей с выносной камерой горения и асимметричным куполом с поверхностью нагрева одного аппарата 125,5 тыс. м^2. наибольшая неравномерность температур по сечению воздухонагревателя получена при подводе дутья одним штуцером [10]. Максимальная температура отходящего дыма на отдельных участках превышает 400 °С и достигает 530 °С. Особенно велики отклонения от средних расчетных температур в средних (по высоте) частях насадки (200–220 °С). При применении динаса в верхнем ярусе важно не переохладить низ зоны ниже 700 °С. При одном штуцере холодного дутья в насадке существуют значительные области, температура которых в конце дутьевого периода меньше этого уровня; там применять динас по условиям его термостойкости нельзя. Несколько лучшее распределение дает совмещенный подвод. Однако и здесь локальные температурные условия неблагоприятны для службы огнеупоров. Лучшие условия по равномерности работы насадки создает схема с тремя дымовыми отводами и двумя направленными под углом штуцерами холодного дутья, особенно при их диаметре 2 м. Здесь максимальные разности температур по сечению укладываются в диапазон 100–130 °С.

Таким образом, при выборе высоты зон огнеупоров в насадке необходимо учитывать неравномерность распределения температур по сечению для конкретных конструкций воздухонагревателей при заданных режимах их работы.

В работе [5] показано, что горизонтальные проходы в насадке несколько улучшают распределение продуктов сгорания по насадке, снижая разность максимальной и минимальной скоростей на 36 %. Показано благоприятное влияние горизонтальных проходов на распределение потоков по насадке, причем при большой неравномерности на входе в насадку в газовый и дутьевой периоды было получено практически равномерное распределение на выходе.

Однако наличие горизонтальных проходов может ухудшить условия работы насадки. Действительно, в ее верхней зоне вследствие неравномерного распределения дымовых газов имеются участки с большим расходом продуктов сгорания. Чтобы на этих участках создавались нормальные температурные условия, через них надо пропускать повышенное количество дутья, чему не способствуют горизонтальные проходы. Помимо равномерного распределения продуктов сгорания и дутья по каналам насадки для получения равномерного температурного поля, необходимо обеспечить в каждом из них соотношение водяных эквивалентов продуктов сгорания и дутья, близкое к среднему. Иными словами, в каналы с повышенным количеством дыма должно поступать и больше дутья.

Применение горизонтальных проходов в насадке для уменьшения неравномерности в распределении теплоносителя более универсальный метод, применимый к воздухонагревателям с различной формой купола и шахты, высотой разделительной стенки, числом, размером и расположением дымовых патрубков и штуцеров холодного дутья, но требует более детального изучения.

Библиографический список

1. Тимофеев, В.Н. Аэродинамика доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, Ф.Р. Шкляр, К.И. Палтусова // Регенеративный теплообмен. Теплоотдача в струйном потоке. Сб. науч. тр. № 8. – Свердловск: Металургиздат, 1962. – С. 302–347.

2. Boenecke, H. // Technik und Forschund. – 1963. – № 52(13), pp. 208–211.

3. Тимофеев, В.Н. Влияние высоты разделительной стенки на аэродинамику доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, Ф.Р. Шкляр, К.И. Палтусова // Регенеративный теплообмен. Теплоотдача в струйном потоке. Сб. науч. тр. № 8. – Свердловск: Металургиздат, 1962. – С. 348–359.

4. Тимофеев, В.Н. Исследование аэродинамики доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, Ф.Р. Шкляр, М.И. Агафонова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 167–181.

5. Тимофеев, В.Н. Аэродинамика воздухонагревателя с выносной шахтой горения / В.Н. Тимофеев, Ф.Р. Шкляр, М.И. Агафонова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах. (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 182–195.

6. Федонов, Р.А. Снижение потерь температуры дутья на основе выравнивания поля скоростей в насадке воздухонагревателя / Р.А. Федонов, В.Ю. Бродюк, В.Д. Коршиков // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1997. – № 11. – С. 73–74.

7. Соломенцев, С.Л. Неравномерность распределения дутья и продуктов горения по сечению насадки / С.Л. Соломенцев, В.Д. Коршиков // Сталь. – 1976. – № 11. – С. 982–984.

8. Распределение газов по каналам насадки доменного воздухонагревателя с учетом неизотермичности / Ф.Р. Шкляр, Е.Д. Лекомцева, М.И. Агафонова и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1974. – № 12. – С. 119–122.

9. Масловский, П.М. Металлургия чугуна и стали / П.М. Масловский, Г.В. Самохвалов, И.Г. Волков // Сибирский металлургический институт. Сб. 29. – М.: Металлургиздат, 1957. – С. 23–44.

10. Шкляр, Ф.Р. Изучение аэродинамики насадок доменных воздухонагревателей на экспериментальных стендах / Ф.Р. Шкляр, Е.Д. Лекомцева, Л.М. Канунникова и др. // Сталь. – 1979. – № 6. – С. 408–410.

К содержанию