

В.А. Арутюнов, И.А. Левицкий, А.А. Карвецкий

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В МЕТОДИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ¹

Рабочему процессу действующих методических печей присущ ряд существенных недостатков, основные из которых заключаются в следующем.

Во-первых, весьма велик удельный расход тепла. Это объясняется главным образом тем, что в качестве окислителя при сжигании топлива используется атмосферный воздух, а потому очень велики затраты тепла на нагрев балластного азота и, следовательно, потери тепла с отходящими газами, несмотря на то, что эта теплота частично используется на нагрев металла в методической зоне и частично – на нагрев воздуха в рекуператоре. Действительно, количество теплоты, затраченное на нагрев азота, практически равно полезной теплоте, расходуемой на нагрев металла, а часто и превышает эту величину.

Во-вторых, наличие в высокотемпературной зоне горения большого количества азота приводит к весьма значительным выбросам в атмосферу оксидов азота.

В-третьих, неприемлемо велики выбросы в атмосферу парникового газа – диоксида углерода, что также объясняется большим расходом топлива.

В-четвертых, в связи с тем, что высокотемпературный нагрев металла осуществляется в окислительной атмосфере, содержащей кислород, диоксид углерода и водяной пар, значительны потери металла, обусловленные его окислением, т.е. угар металла.

Существует возможность путем не носящих радикального характера изменений технологии нагрева металла значительно улучшить ситуацию, связанную с перечисленными проблемами [1]. В основе этих изменений лежат четыре идеи:

- двухстадийная технология сжигания топлива;
- замена воздуха кислородом в качестве окислителя в процессе горения;
- использование для дожигания продуктов неполного сгорания так называемого вихревого радиационного инжектора [2], представляющего собой, по существу, однопроводную плоскопламенную горелку, в которую подается сильно закрученный за счет тангенциального подвода и высокого давления поток кислорода;

- осуществление первой и второй стадий сжигания топлива, соответственно, в нижней и верхней зонах печи (для печей, имеющих нижние зоны отопления).

Идея технологии двухступенчатого сжигания топлива заключается в том, что на первой стадии процесса в той области рабочего пространства печи, где велика опасность окисления поверхности металла, осуществляют сжигание топлива с недостатком окислителя. Так как при этом в процессе сжигания используют низкие значения коэффициента расхода окислителя (0,5 – 0,6), для обеспечения необходимой температуры продуктов сгорания рационально в качестве окислителя использовать технический кислород.

На второй стадии осуществляется дожигание продуктов неполного сгорания, образовавшихся на первой стадии, таким образом, чтобы суммарный коэффициент расхода окислителя составлял величину, не меньшую 1,05. При этом теплота, выделяющаяся в процессе дожигания, также должна быть передана нагреваемому металлу. Применение кислорода в качестве окислителя рационально и на этом этапе, так как способствует организации процесса дожигания в связи с высоким располагаемым давлением.

Применение технологии двухстадийного сжигания топлива, обеспечивающей на первой стадии процесса наличие в продуктах сгорания больших концентраций весьма активных восстановителей, например, водорода и монооксида углерода, не только позволяет существенно сократить, либо даже исключить окисление металла при его нагреве, но и приводит к существенному уменьшению выбросов оксидов азота. Этот эффект усиливается в связи с применением в качестве окислителя технического кислорода взамен воздуха. Последнее обстоятельство и связанный с этим сниженный расход топлива приводят к существенному сокращению количества продуктов сгорания, что позволяет снизить потери тепла с отходящими газами, а также в разы уменьшает выбросы парникового газа.

Используемый в качестве дожигательного устройства вихревой радиационный инжектор представляет собой гибрид плоскопламенной горелки с вихревым вакуумным насосом [2] и работает следующим образом: высокоскоростной, сильно закрученный поток

¹ Работа выполнена в рамках гранта по постановлению Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г.

кислорода под сверхкритическим давлением подается в цилиндрическую камеру, один торец которой закрыт, а другой заканчивается криволинейным диффузором того типа, который используется в плоскопламенных (радиационных) горелках. В результате сильной крутки и под действием высоких скоростей в камере происходит распад вихря, и создается сильное разрежение в приосевой области. Под действием этого разрежения печные газы, содержащие горючие компоненты, подтекают к вихревому радиационному инжектору. Часть из них поступает в камеру, где смешивается с кислородом и сгорает. Поступающие в зону дожигания газы подсаываются также в плоский настильный факел, образующийся в результате истечения закрученного потока из криволинейного диффузора, как это имеет место в плоскопламенных горелках.

Следует особо отметить, что данное устройство является не только дожигателем, но также обеспечивает транспорт продуктов неполного сгорания топлива к зоне дожигания, а кроме того, поскольку процесс дожигания осуществляется на огнеупорной поверхности горелочного камня и свода, выделяющаяся теплота передается к нагреваемому металлу в виде излучения со сплошным спектром, а не с дискретным, как это происходит в случае струйного дожигания в газовой фазе.

Рассмотрим в качестве примера наиболее важные с точки зрения энергосбережения и защиты окружающей среды показатели работы четырехзонной методической печи с шагающими балками производительностью 260 т/ч при работе с использованием традиционной и предлагаемой технологии. Приведенные в таблице результаты получены расчетным путем с использованием известных приближенных инженерных методов [3]. Заметим еще раз, что если речь идет о печах, оборудованных нижними зонами отопления, рационально органи-

зовать сжигание топлива таким образом, чтобы в этих зонах осуществлялась первая стадия (предварительное, частичное сжигание с недостатком окислителя), а под сводом верхних зон производилось дожигание продуктов неполного сгорания с использованием вихревого радиационного инжектора.

Столь существенное (практически в два раза) увеличение коэффициента полезного теплоиспользования $\eta_{\text{кпт}}$ обусловлено тем, что в предлагаемой технологии в качестве окислителя используется кислород, и тем самым устраняется расход теплоты на нагрев азота, т.е. весьма существенно снижаются потери теплоты с уходящими газами. Этим же объясняется уменьшение удельных расходов тепла и условного топлива. Последнее обстоятельство является причиной значительного сокращения выбросов парникового газа. Уменьшение угара металла вызвано применением двухстадийной технологии сжигания топлива. Эта же технология вместе с тем фактом, что в окислителе (техническом кислороде) практически не содержится азот, обеспечивает весьма значительное сокращение выбросов оксидов азота.

В связи с этими результатами представляет интерес следующее обстоятельство. В работе [4] указано, что применение кислорода в нагревательных печах окажется рентабельным, если при этом удастся существенно сократить угар металла. Именно такая ситуация как раз и реализуется в предлагаемой технологии.

Заметим в заключение, что использование кислорода в качестве окислителя позволяет избавиться от необходимости утилизировать тепло отходящих газов, например для нагрева воздуха в рекуператоре в связи с малым количеством этих газов. Указанное обстоятельство приводит к существенному снижению капитальных затрат при сооружении печи.

Выводы. Представлены особенности новой технологии сжигания топлива в методических нагревательных печах, имеющих нижние зоны отопления. Эта технология базируется на двухстадийном методе сжигания топлива, замене воздуха кислородом в качестве окислителя в процессе горения, использовании для дожигания продуктов неполного сгорания так называемого вихревого радиационного инжектора, имеющего вид однопроводной плоскопламенной горелки и размещаемого в своде печи, реализацию первой стадии сжигания в нижних зонах отопления. С помощью инженерных методов расчета показано, что применение указанной технологии позволит повысить к.п.д. печи, снизить расход топлива, значительно сократить выбросы парникового газа и оксидов азота, существенно уменьшить угар металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2309991 РФ. Способ сжигания топлива в нагревательной печи и нагревательная печь для его осуществления / Арутюнов В.А., Левицкий И.А., Ибадуллаев Т.Б. и др.; заявл. 11.10.2005; опубл. 20.04.2007.

**Энерго-экологические показатели
работы четырехзонной методической печи
производительностью 260 т/ч при использовании
традиционной и предлагаемой технологии
сжигания топлива**

Показатель	Технология	
	традиционная	предлагаемая
Коэффициент полезного теплоиспользования, $\eta_{\text{кпт}}$	0,46	0,85
Удельный расход тепла, МДж/т	2129	1239
Удельный расход условного топлива, кг/т	74	42
Удельные выбросы, кг/т:		
CO ₂	130,6	78,4
NO _x	0,021	0,002
Удельный угар металла, кг/т	20	5

2. Пат. 2081180 РФ. Способ дожигания горючих газов в рабочем пространстве сталеплавильных агрегатов и устройство для его осуществления / Арутюнов В.А., Стомахин А.Я., Егоров А.В. и др.; заявл. 06.07.1995; опубл. 10.06.1997.
3. Гусовский В.Л., Лившиц А. Е. Методики расчета нагревательных и термических печей. – М.: Теплотехник, 2004.
4. Шultz Л.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2002. № 7. С. 64 – 69.

© 2012 г. В.А. Арутюнов, И.А. Левицкий,
А.А. Карвецкий
Поступила 18 октября 2011 г.

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

Опубликованные в журнале в 2011 г. статьи Ю.М. Янюшкина «Математическая модель теплообмена процесса электровысадки детали выпускного клапана» (№ 5) и «Асимптотический метод расчета контактного теплообмена процесса электровысадки детали выпускного клапана при наличии термосопротивления между пуансоном и нагретой заготовкой» (№ 11) написаны в связи с выполнением работ по гранту «Создание сквозной энергосберегающей технологии термообработки ответственных изделий атомной энергетики на основе энергоэффективного оборудования» в соответствии с постановлением Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г.