

Грес Л. П. /д. т. н./, Самойленко Т. В.,
Каракаш Е. А. /к. т. н./,
Миленина А. Е. /к. т. н./,
Флейшман Ю. М. /к. т. н./,

Волкова М. М. /к. т. н./
НМетАУ
Колдомасов С. В.
ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского»

Модернизация камеры горения доменных воздухонагревателей (ВН)

Рассмотрены причины, снижающие стойкость огнеупоров камеры горения ВН: превышение фактическими напряжениями сжатия допустимых; наклон камеры горения на насадку, а для ВН, имеющих форму камеры горения полукруг-полуовал, разрушение мест сочленения штуцера горячего дутья с футеровкой камеры горения. Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: воздухонагреватель, встроенная камера горения, фактические допустимые нагрузки сжатия, стойкость, штуцер горячего дутья

The reasons, reducing resistance refractory of combustion chamber stoves: excess of true stress of compression the admissible; the slope of the combustion chamber on the nozzle, and for stoves, having semicircle – semioval shape - destruction of commissure of hot blast connecting branch with the combustion chamber refractory lining, were considered.

Keywords: stove, built-in combustion chamber, actual, allowable load of compression, resistance, hot blast connecting branch

Условные обозначения

$[\sigma]_{сж}$ - допустимые нагрузки сжатия, МПа;

P - фактические нагрузки сжатия, МПа;

ρ - плотность огнеупора, кг/м³;

H - высота насадки, м.

Введение

Недостатком ВН со встроенной камерой горения, которая имеет в сечении форму «полукруг-полуовал», получивших распространение в ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского», ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского» и др., является низкая стойкость штуцеров горячего дутья, которые опираются на заделку углов камеры горения, где возникают высокие тепловые деформационные напряжения. Это приводит к разрушению футеровки штуцера горячего дутья в области заделки камеры горения. При этом с разрушением футеровки штуцера горячего дутья, в районе заделки углов камеры горения, в штуцер горячего дутья могут попадать насадочные изделия из насадки и огнеупоры заделки углов камеры горения. Это препятствует нормальной работе ВН и требует остановки их на ремонт.

Результаты расчетов

Рассмотрим футеровку камеры горения воздухонагревателя № 25 доменной печи № 2 ОАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского», имеющей высоту футеровки 31,5 м. ВН работает под куполом при температуре $t_{куп} = 1280$ °С и отапливается доменным газом с калориметрической температурой горения $t_{кал} = 1337$ °С. Верхняя часть камеры выполнена из динасовых огнеупоров (ДВ) высотой $H_{дв} = 24,18$ м и нижняя часть огнеупоров МКВ-72 высотой $H_{МКВ} = 7,345$ м

При использовании металлической горелки типа ИЗТМ максимальная зона температур в камере го-

рения (ядро горения) находится на высоте около 11 м от оси горелки и достигает 1280 °С [1, 2]. Участок кладки из огнеупоров ДВ, находящийся в зоне факела, составляет $11 - 7,3 = 3,7$ м, высота зоны из огнеупоров ДВ, находящейся вне зоны факела, соответственно $24,18 - 3,7 = 20,48$ м. Оценим нагрузки сжатия для различных сечений камеры горения по её высоте. На рис. 1 приведена зависимость нагрузок сжатия на огнеупоры по высоте камеры горения.

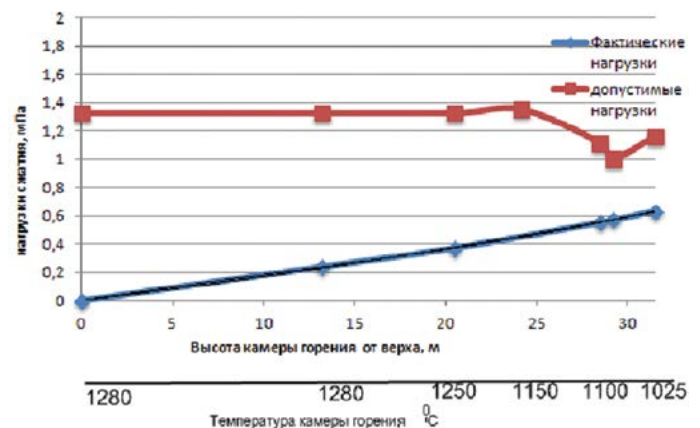


Рис. 1. Зависимость фактических и допустимых нагрузок сжатия на огнеупоры камеры горения ВН от ее высоты и температуры. $P_{факт} = 0,0001 \cdot H^2 + 0,0156 \cdot H + 0,0018$

Нагрузка сжатия на динасовые огнеупоры в ядре факела, где температуры максимальные (1280 °С), на высоте 20,48 м от верха динасовой стены камеры горения составляет

$$P_{дв} = H_{дв}^{1280} \cdot \rho_{дв} \cdot g = (20,48 \cdot 1855 \cdot 9,81) \cdot 10^{-6} = 0,372 \text{ МПа} < [\sigma]_{сжД}^{1280} = 1,725 \text{ МПа.}$$

Статическая нагрузка сжатия на границе огнеупоров ДВ – МКВ-72 ($t = 1\ 225\ ^\circ\text{C}$) от массы динасового кирпича в камере горения (высота 24,18 м от верха динасовой стены камеры горения)

$$P_{\text{сум}} = P_{\text{дв}} = H_{\text{дв}} \cdot \rho_{\text{дв}} \cdot g = (24,18 \cdot 1850 \cdot 9,81) \cdot 10^{-6} = 0,439\ \text{МПа} < [\sigma]_{\text{сжМКВ}}^{1225}$$

Значения пределов прочности при сжатии огнеупоров ДВ и МКВ-72 взяты из [2].

Обычно лимитирующим звеном по стойкости являются огнеупоры МКВ-72. Для низа камеры горения фактические нагрузки сжатия для них при $t = 1\ 100\ ^\circ\text{C}$ составляют

$$P_{\text{сум}} = P_{\text{дв}} + P_{\text{МКВ}} = H_{\text{дв}} \cdot \rho_{\text{дв}} \cdot g + H_{\text{МКВ}} \cdot \rho_{\text{МКВ}} \cdot g = (24,18 \cdot 1850 + 5 \cdot 2700) \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} = 0,57\ \text{МПа} < [\sigma]_{\text{сжМКВ}}^{1100} = 1\ \text{МПа}.$$

В дальнейшем при увеличении температуры под куполом до $1\ 350\ ^\circ\text{C}$ эта зона окажется под нагрузкой, близкой к допустимой, и потребует мероприятий для повышения стойкости огнеупоров камеры горения (применения, например, высокоплотных огнеупоров МКГ-80 или МКС-85). Предел прочности на сжатие при $t = 20\ ^\circ\text{C}$ огнеупоров МКС-85 составляет $[\sigma]_{\text{сжМКВ}}^{20} = 70\ \text{МПа}$, что почти вдвое превышает аналогичный показатель огнеупоров МКВ-72, имеющих $[\sigma]_{\text{сжМКВ}}^{20} = 30\ \text{МПа}$.

Исследования напряженного состояния камеры горения ВН показали, что футеровка разрушается также за счет неравномерного по периметру расширения радиальных стен, что приводит к наклону камеры горения на насадку, особенно в верхней её части. Наклон может быть устранен выбором теплоизоляции радиальной стены так, чтобы температура по её периметру была практически одинаковой и равной средней по высоте температуре внутреннего оката стены камеры горения. При одностороннем нагреве внутреннего оката футеровки камеры горения под действием температурного градиента в кирпичах футеровки возникают термические напряжения, величина которых пропорциональна разности температур между средней и текущей температурами [3]

$$\sigma_t = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta t}{1 - \nu},$$

где α - коэффициент линейного расширения огнеупора, град⁻¹; ν - коэффициент Пуассона; E - модуль упругости первого рода (Юнга), Па; $\Delta t = \bar{t} - t$ - разница между средней температурой футеровки и текущей температурой, $^\circ\text{C}$.

Разрушение футеровки камеры горения (скалывание) возникает при условии $\sigma_t > [\sigma]_{\text{сж}}$.

Результаты исследований

Одним из направлений усовершенствования ВН доменной печи является решение указанной задачи путем повышения стойкости камеры горения и штуцера горячего дутья за счет коррекции деформационно-напряженного состояния узла сочленения футеровки камеры горения и штуцера горячего дутья.

теровки камеры горения и штуцера горячего дутья. Это позволяет повысить температуру горячего дутья и снизить расход кокса, повысить межремонтный период работы ВН [4, 5].

Для этого камера горения устанавливается так, чтобы ее меньшая ось составляла угол $\gamma = 25-45^\circ$ к оси штуцера газовой горелки, а внутренний окат футеровки штуцера газовой горелки сопрягается с футеровкой камеры горения тангенциально. Вследствие этого каждый из штуцеров не опирается на заделку углов камеры горения.

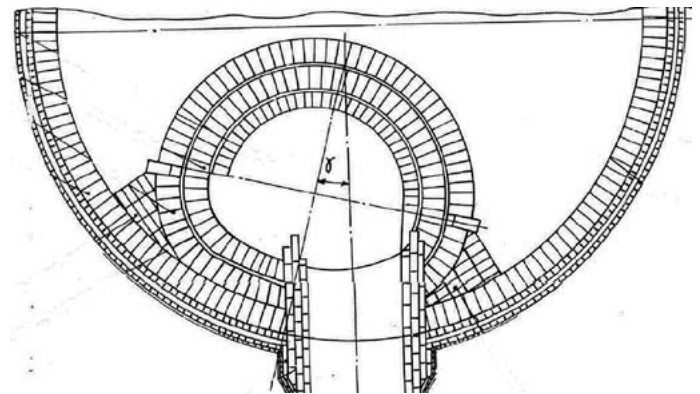


Рис. 2. Воздухонагреватель со встроенной камерой горения (горизонтальное сечение). Угол γ - угол между малой осью камеры горения и осью штуцера газовой горелки

При этом дымовые клапаны, дымовые штуцеры и поднасадочное устройство с насадкой сохраняют свое симметричное расположение относительно малой горизонтальной оси камеры горения, как и внешний окат футеровки камеры горения сохраняет существовавшую до реконструкции величину зазора относительно края радиальной стены.

Таким образом, это мероприятие увеличивает среднюю температуру дутья с учетом остановки ВН на ремонт.

При остановке одного из ВН на ремонт температура горячего дутья снижается на $80-100\ ^\circ\text{C}$, если в блоке имеется 4 ВН, и на $250-350\ ^\circ\text{C}$, если в блоке 3 аппарата, и соответственно возрастает удельный расход кокса.

Выводы

1. Исследовано напряженное состояние камеры горения ВН. Показано, что футеровка встроенной камеры горения ВН разрушается за счет неравномерного расширения её и радиальных стен, что приводит к наклону камеры горения на насадку, особенно в верхней её части. Кроме того, разрушение огнеупоров камер горения также происходит, если нагрузки сжатия от массы огнеупоров, а также температурные напряжения превышают допустимые.

2. Предложен способ повышения стойкости камеры горения типа «полукруг-полуовал», а также штуцера горячего дутья за счет коррекции деформационно-напряженного состояния узла соединения футеровки камеры горения и штуцера горячего дутья.

тъя. При этом камера горения устанавливается так, что её меньшая ось составляет 25-45° к оси штуцера газовой горелки, а внутренний окат футеровки штуцера газовой горелки сопрягается с футеровкой камеры горения тангенциально, вследствие чего каждый из штуцеров не опирается на заделку углов камеры горения.

Библиографический список

1. Грес Л. П. Высокоэффективный нагрев доменного дутья. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 491 с.
2. Доменные воздухонагреватели / Шкляр Ф. Р., Малкин В. М. и др. - М.: Металлургия, 1982. - 176 с.
3. Огнеупоры. Технология строительства и ремонта печей / [под ред. А. П. Панарина] пер. с японского А.

П. Панарина, М.: Металлургия, 1980. - 384 с. - с илл.

4. Пат. 77201 Україна, МКИ С 21 В 9/02. Спосіб реконструкції повітрянагрівника з вбудованою камерою горіння / Сокуренько А. В., Шеремет В. О., Корьякин В. М., Кекух А. В., Орел Г. И., Костенко Г. П., Адаменко О. В., Адаменко В. С., Грес Л. П., Самойленко Т. В., Флейшман Ю. М. - № 2004032205; заявл. 25.03.04; опубл. 20.08.02, Бюл. № 11.

5. Пат. 77202 Україна, МКИ С 21 В 9/02. Повітрянагрівник доменної печі. / Сокуренько А. В., Шеремет В. О., Корьякин В. М., Кекух А. В., Орел Г. И., Костенко Г. П., Адаменко О. В., Адаменко В. С., Грес Л. П., Самойленко Т. В., Флейшман Ю. М. - № 2004032206; заявл. 25.03.04; опубл. 15.11.06; Бюл. № 11.

Поступила 12.12.2013



ЖУРНАЛ «МГП» – ДЛЯ ТЕХ, КТО РАБОТАЕТ В МЕТАЛЛУРГИИ И ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ!

Стоимость рекламы (в гривнах):

<i>Площадь, формат</i>	<i>Черно-белая</i>	<i>Полноцветная</i>
<i>1 стр. обложки (1/2 стр)</i>		7 000
<i>4 стр. обложки:</i>		
<i>страница (А4)</i>	-	5 000
<i>на страницах журнала:</i>		
<i>страница (А4)</i>	1 000	2 000
<i>1/2 стр.</i>	500	1 000

Вложение в журнал рекламных листовок: А4 – 1 грн.; А5 – 0,5 грн.

Публикация статьи на правах рекламы – 750 грн. за страницу.

Адрес редакции:

49027, Днепропетровск, ул. Дзержинского, 23,

тел/факс: (0562) 46-12-95, (056) 744-81-66.

e-mail: metinfo@metinform.dp.ua;

<http://www.metinfo.dp.ua>