

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ РАСПИРАНИЯ  
КОКСУЕМОЙ ЗАГРУЗКИ НА ПРОСОСЫ  
СЫРОГО КОКСОВОГО ГАЗА В  
ОТОПИТЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ КОКСОВЫХ  
ПЕЧЕЙ**

**THE EFFECT OF DISTENSION PRESSURE OF  
COKING CHARGE ON THE LEAKAGE OF RAW  
COKE OVEN GAS IN THE HEATING SYSTEM  
OF COKE OVENS**

© 2013 Кузниченко В.М. к.т.н.,  
Сытник А.В. к.т.н.,  
Фидчунов А.Л. к.т.н. (ГП «УХИИ»),  
Кривонос В.В. к.т.н, Соловьев М.А., к.т.н.  
(ПАО «АЛЧЕВСККОКС»)

**Kuznichenko V.M. PhD  
in technical sciences,  
Sitnic A.V., PhD in technical sciences,  
Fidchunov A.L., PhD in technical sciences  
(SE "UKHIN"),  
Krivonos V.V., PhD in technical sciences,  
Soloviev M.A., PhD in technical sciences  
(PJSC «ALCHEVSKKOKS»)**

*Исследованиями, проведенными на одной из коксовых батарей ПАО «АЛЧЕВСККОКС» показано, что чем больше давление расpirания шихты, тем больше величина прососов сырого коксового газа в отопительную систему печи, что косвенно подтверждает наличие зависимости между давлением расpirания коксуемой загрузки и величиной прогиба отопительного простенка.*

*Studies on one of the coke oven batteries of PJSC "Alchevskkoks" shows that the greater the distension pressure of coal blend, the greater the value of leakage of raw coke oven gas in the heating system of coke ovens. This fact indirectly confirms the relationship between the distension pressure of coking charge and the amount of deflection of heating wall.*

Ключевые слова: угольная шихта, коксовая печь, коксование, давление расpirания, обогревательный простенок, сырой коксовый газ, просос.

Keywords: coal blend, coke oven, coking, distension pressure, heating wall, raw coke oven gas, leakage.

\*\*\*\*\*

\*

**В** процессе эксплуатации коксовых печей на огнеупорную кладку действуют различные нагрузки, приводящие к постепенному ее разрушению. Общепринято, что наиболее разрушительное действие на кладку камер печей оказывает чрезмерное давление расpirания коксуемых шихт [1-10]. Достаточно опасны также динамические нагрузки от падающего потока шихты при загрузке печей [6, 11]. Вследствие такого несбалансированного поперечного давления на стены камер коксования, начинающегося еще при загрузке шихты и продолжающегося в процессе развития давления расpirания при ее коксовании, происходит прогиб обогревательного простенка.

Циклически повторяющиеся прогибы, а затем выравнивания простенка приводят к скрытому его разрушению. Используя методику замера прогибов с помощью лазерного дефлектометра на батарее фирмы «Карл Штиль» с высотой камер коксования 6 м при загрузке влажной шихты показано, что величина прогиба посередине длины простенка составляет 4,8 мм, а при загрузке термообработанной шихты – 8,3 мм. При загрузке печи, граничащей с пустой печью, за первые 15 мин простенок сместился на 4,7 мм, а к концу периода коксования – на 10,2 мм [5, 12]. Учитывая, что давление расpirания термообработанной шихты значительно выше, чем влажной, можно предположить, что чем выше это давление, тем больше прогиб простенка.

Подобные измерения были проведены и японскими исследователями [13]. Замеры на печах высотой 6 м и шириной 0,43 м проводили на участке печей после 32<sup>х</sup> лет службы без ремонта и на участке, где кладка пяти печей была полностью переложена после 25,3 года службы. При этом проводилось измерение газового давления при помощи стальных капиллярных трубок, помещаемых во влажную угольную загрузку. Торцы трубки находился на уровне 3,3 м от пода печи и на расстоянии 2 м от футеровки двери. Полученная величина максимального газового давления принималась авторами, как давление расpirания шихты. Построен график зависимости смещения греющей стены от максимального газового давления. При величине газового давления, равной 7 кПа смещение стены переложенной (новой) камеры составило 1 мм, а старой камеры – 4,5 мм.

Таким образом, чем больше изношены коксовые печи и чем больше давление расpirания коксуемой загрузки, тем больше смещение (прогиб) греющих стен, тем выше должна быть их газопроницаемость и тем больше прососы сырого коксового газа в обогревательный простенок. Определение объема прососов сырого коксового газа проводили на коксовой батарее № 6 ПАТ «АЛЧЕВСККОКС». Батарей системы ПВР пущена в эксплуатацию в 1957 г, в 1984 г после 27 лет эксплуатации выполнена перекладка. Высота печей – 4,3 м; полезный объем – 21,6 м<sup>3</sup>; количество печей в батарее – 61; количество вертикалов в простенке – 28. Батарея изношена, многие камеры коксования заужены с коксовой стороны, поэтому в самих узких местах применялась

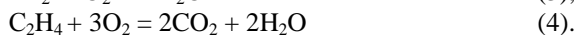
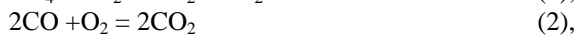
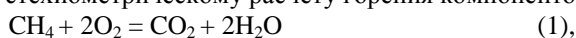
механическая теска, что существенно уменьшает толщину греющих стен, а, следовательно, прочность обогревательного простенка.

Определение объема прососов характеризующего герметичность кладки, проводили по балансу кислорода в продуктах горения при подаче отопительного газа в простенок и при его отключении. При отключении подачи отопительного газа в простенок продукты горения в нем образуются только за счет горения сырого коксового газа, просочившегося из камеры коксования. При этом воздух в простенок поступает так же, как и при подаче отопительного газа. Анализ состава продуктов горения проводили электрическим газоанализатором TESTO-350.

После анализа продуктов горения, образующихся в простенке при подаче отопительного (коксового) газа, исследуемый простенок отключали от обогрева. Через 30 с, когда продукты горения из наиболее удаленных вертикалов в средней части простенка проходили через газоздушный клапан (ГВК), начинали замер состава продуктов горения. Полученные данные использовали для расчета величины прососов сырого коксового газа по методике [14]. Данная методика учитывает влияние каменноугольной смолы и сырого бензола в сыром коксовом газе на величину прососов. Прососы принято определять на  $\frac{2}{3}$  периода коксования.

При проведении исследований разовая загрузка шихты в печь ( $G_{ш}$ ) в пересчете на сухую массу составила 15,6 т, выход коксового газа ( $V_{газ}$ ) из одной тонны сухой шихты составил 339 м<sup>3</sup>. Давление расприрания шихты на первом этапе исследований составило 5,1 кПа, на последующих – 5,8; 6,7; 7,2 и 7,8 кПа. Показатели давления расприрания определяли на лабораторной унифицированной установке УХИНа [15].

Теоретический расход кислорода для сжигания коксового газа (при  $\alpha = 1$ ) приведенного состава вычисляли по стехиометрическому расчету горения компонентов газа:



В расчетах процессов горения для упрощения принимали, что тяжелые углеводороды ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ) состоят из этилена  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Данные расчета горения коксового газа приведены в таблице.

**Расчет условий горения коксового газа\*)**

Компонент газа	Содержание в газе, %	Требуется $\text{O}_2$ для горения, м <sup>3</sup>	Переходит в продукты горения, м <sup>3</sup>
$\text{CH}_4$	23,3	46,6	-
$\text{H}_2$	58,6	29,3	-
$\text{CO}_2$	3,0	-	3,0
$\text{CO}$	7,6	3,8	-
$\text{C}_m\text{H}_n$	3,0	9,0	-
$\text{O}_2$	0,8	-0,8	-
$\text{N}_2$	3,7	-	3,7
Всего	100,0	87,9	6,7

\*) При  $\alpha = 1$ .

Теоретический расход кислорода ( $\text{O}_{2Т}$ ) при сжигании коксового газа составляет 0,879 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>газа.

Расход отопительного газа на обогрев простенков машинной стороны (МС) батареи составил 5100 м<sup>3</sup>/ч, коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,52$ .

Количество кислорода воздуха, необходимое для сжигания отопительного газа, поступающего в половину (на машинную сторону) одного простенка, вычисляется по формуле:

$$\text{O}_2 = \frac{V_{Г} \times \alpha \times \text{O}_{2Т}}{N} \quad \text{м}^3/\text{ч} \quad (5),$$

где  $V_{Г}$  – расход отопительного газа на машинной стороне простенка, м<sup>3</sup>/ч;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;

$\text{O}_{2Т}$  – теоретический расход кислорода, необходимого для горения коксового газа данного состава, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$N$  – количество простенков в батарее.

$$\text{O}_2 = \frac{3750 \times 1,52 \times 0,879}{62} = 80,8 \quad \text{м}^3/\text{ч} \quad (6).$$

Содержание кислорода  $\text{O}_{2ПО}$  (%) в продуктах горения при отключенной подаче отопительного газа, замеряемое газоанализатором в ГВК, составило 19,20 при давлении расприрания шихты 5,1 кПа; 19,15 – при 5,8 кПа; 18,78 – при 6,7 кПа; 18,30 – при 7,2 кПа и 17,0 – при 7,8 кПа. Т.е., чем больше давление расприрания шихты, тем меньше кислорода в продуктах горения.

Количество кислорода, необходимое для сжигания сырого коксового газа прососов, на половину (МС) простенка вычисляли по формуле:

$$\text{O}_{2ПО} = \frac{\text{O}_2(21 - \text{O}_{2ПП})}{0,21 \times 100}, \quad \text{м}^3/\text{ч} \quad (7),$$

где  $\text{O}_2 = 80,8$  м<sup>3</sup>/ч, (см. ур-ние 6);

$\text{O}_{2ПП}$  - содержание кислорода в продуктах горения сырого газа, %;

21 – содержание кислорода в воздухе, %.

При давлении распираания шихты, равном 5,1 кПа, количество кислорода составит:

$$O_{2ПП} = \frac{100(21.00 - 19.20)}{0.21 \times 100} = 6.9 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (8).$$

Объем прососов (П) определяется по формуле:

$$П = \frac{O_{2ПП}}{O_{2Г} \times 1.67}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (9),$$

где 1,67 – коэффициент, учитывающий влияние каменноугольной смолы и сырого бензола на величину прососов сырого коксового газа в отопительную систему печи.

Тогда объем прососов сырого коксового газа в отопительную систему при давлении распираания шихты 5,1 кПа составит:

$$П = \frac{6.9}{0.879 \times 1.67} = 4.7 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (10).$$

Доля прососов в процентах от всего газа, выделившегося из шихты в процессе коксования составляет:

$$\pi = \frac{100 \times П \times П_k \times 2}{G_{ш} \times V_{газ}}, \% \quad (11),$$

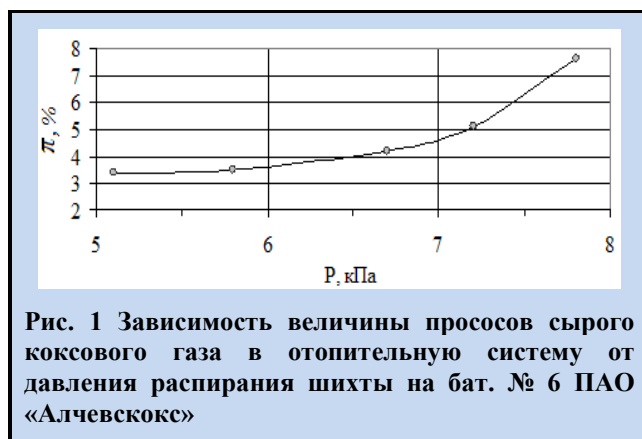
где П – объем прососов газа, м<sup>3</sup>/ч;

2 – коэффициент, учитывающий образование летучих продуктов коксования (приблизительно в равных долях на машинной и коксовой стороне камеры коксования).

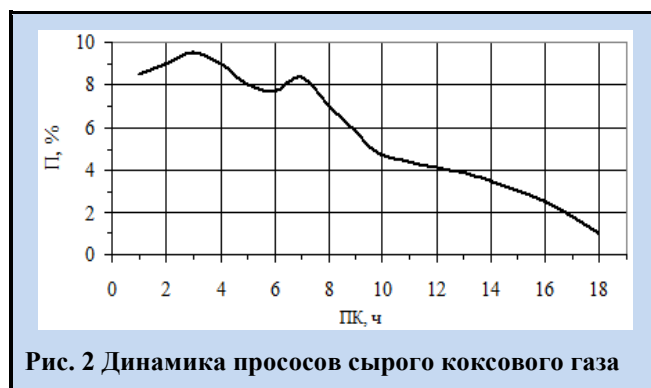
Тогда, при давлении распираания шихты 5,8 кПа:

$$\pi = \frac{100 \times 4.7 \times 19.0 \times 2}{15.6 \times 339} = 3.4 \% \quad (12).$$

Величина прососов 3,4 % для коксовой батареи указанного возраста является весьма удовлетворительной. Однако, следует отметить, что эта величина получена при относительно низком давлении распираания шихты. При увеличении давления распираания шихты до 6,7 кПа прирост величины прососов составил 23,5 % отн. А при использовании шихты с давлением распираания 7,8 кПа величина прососов составила 7,6 %, т.е. увеличилась более чем в два раза. Полученные результаты представлены на рис. 1 в виде графика.



Форма полученной кривой зависимости величины прососов от давления распираания шихты может указывать на то, что обогревательные простенки печей бат. № 6 значительно изношены и их смещение в процессе загрузки камер и коксования резко увеличивается при повышении давления распираания шихты. Поэтому для таких печей рекомендуются шихты с как можно меньшим давлением распираания (с учетом получения кондиционного доменного кокса).



Теоретический и практический интерес представляет изучение динамики прососов сырого коксового газа от начала загрузки печи. Исследования проводили на той же печи, что и на шихтах с различным давлением распираания, анализ продуктов горения проводили в газовоздушных клапанах отопительных простенков, через каждый час. Давление распираания шихты составляло 6,7 кПа. Полученные результаты представлены на рис. 2.

Из рисунка следует, что с первого по третий час прососы увеличиваются и достигают максимума. Высокие их значения до первого часа периода коксования, когда давление распираания шихты еще только в начале развития, можно объяснить влиянием распорных усилий создаваемых потоком загружаемой шихты. По данным [11] при загрузке влажной шихты на первых минутах эти усилия (давление на стены) достигает 12 кПа, а затем быстро снижается и стабилизируется на уровне 3 кПа. Максимум прососов наблюдается на третьем часу периода коксования, что совпадает с максимумом давления распираания для влажных шихт [6]. Затем происходит уменьшение прососов, что, по-видимому, связано с началом выравнивания прогиба простенка. К этому времени уже образовался довольно толстый слой полукокса-кокса, что сопровождается усадочными явлениями, однако зазора между коксом и греющей стеной камеры коксования еще не образуется. Всплеск увеличения прососов на седьмом часу, очевидно, связан со всплеском давления распираания при слиянии пластических слоев по оси камеры коксования. После этого происходит резкий спад величины прососов. Это согласуется со временем образования полого шва по оси коксового пирога и отходом его от греющих стен, в результате чего сопротивление возврату простенка в исходное положение уменьшается, а затем и полностью исчезает. Среднеарифметическое значение величины прососов составило 5,4 %, тогда как на  $\frac{2}{3}$  периода коксования оно составило 4,1 %, что существенно ниже среднего значения.

#### Выводы

1. Наибольший объем прососов сырого коксового газа в отопительную систему происходит в первые часы периода коксования. К концу периода коксования прососы практически отсутствуют. Характер динамики прососов близок к динамике давления распираания.
2. Величина прососов с увеличением давления распираания коксуемой загрузки увеличивается, что косвенно подтверждает связь величины прососов с прогибом обогревательных простенков.
3. Средняя величина прососов имеет место примерно на половине периода коксования; она примерно на 30 % выше величины прососов, определяемых на  $\frac{2}{3}$  периода коксования.

#### Библиографический список

1. **Обуховский Я.М.** *Современные методы выдачи кокса из печей* // **Яков Миронович Обуховский.** Харьков – Москва: Металлургиздат, 1951. – 116 с.
2. **Скляр М.Г.** *Устойчивость кладки обогревательных простенков коксовых батарей* / **М.Г. Скляр, Ю.С. Васильев, А.И. Вирозуб [и др.]** // *Кокс и химия.* – 1987. – № 4. – С. 14-21.
3. **Мироненко Л.И.** *О некоторых причинах износа кладки коксовых батарей с печными камерами объемом 41,6 м<sup>3</sup>* / **Л.И. Мироненко, Г.М. Вольфовский, Л.А. Горелов [и др.]** // *Кокс и химия.* – 1988. – № 9. – С. 21-24.
4. **Чернышов Ю.А.** *Ликвидация последствий забуривания кокса на батарее объемом 41,6 м<sup>3</sup>* / **Ю.А. Чернышов, Г.В. Ша-кун, В.А. Черный [и др.]** // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1985. – № 4. – С. 10.
5. **Швецов В.И.** *О механизме разрушения обогревательных простенков коксовых батарей* / **В.И. Швецов, С.Г. Стахеев, В.И. Сухоруков [и др.]** // *Кокс и химия.* – 1997. – № 12. – С. 11-16.
6. **Васильев Ю.С.** *Способ измерения давления распираания коксуемой загрузки в полупромышленной печи* / **Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко** // *Кокс и химия.* – 1999. – № 6. – С. 16-21.
7. **Karcz A.** *Cisnienie rozprezania. Gz. 4. Mechanizm powstawania cisnienia rosprezania* / **A. Karcz, A. Strugala** // *Karbo.* – 2001. – № 7-8. – S. 265-273.
8. **Луазон Р.** *Кокс* // **Р. Луазон, П. Фош, А. Буайе [Пер. с фр.]**. – М.: Металлургия, 1978. – 520 с.
9. **Старовойт А.Г.** *Определение динамики давления распираания углей и шихт ускоренным методом* / **А.Г. Старовойт, А.С. Коверя** // *Черная металлургия [Бюлл.]*. – ОАО «Чермет-информация». – 2006. – № 9. – С. 12-15.
10. **Сытник А.В.** *Давление распираания при коксовании бинарных смесей углей насыщенным методом* / **А.В. Сытник, В.М. Кузниченко, И.В. Шульга** // *Углекимический журнал.* – 2011. – № 1-2. – С. 41-48.
11. **Сухоруков В.И.** *Определение нагрузок на стены печных камер коксовых батарей в промышленных условиях* / **В.И. Сухоруков, С.Г. Стахеев и А.И. Штеренгарц** // *Кокс и химия.* – 1995. – № 3. – С. 10-12.
12. **Ромасько В.С.** *Измерение и расчет перемещений при изгибе простенка печи как средство контроля состояния кладки при эксплуатации коксовой батареи* / **Владислав Семенович Ромасько** // *Кокс и химия.* – 1992. – № 2. – С. 20-22.
13. **Nakagawa T.** *Influence of pressure and oven age wall displacement and pushing force* / **T. Nakagawa, I. Kubota, K. Fukuda [et al.]** // *The 5-th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, Shanghai, China. Proceedings.* – 2009. – P. 383-386.

**14. Фидчунов А.Л.** О методике оценки прососов сырого коксового газа в отопительную систему коксовых батарей / **А.Л. Фидчунов, И.В. Шульга, Ю.С. Васильев, Н.С. Кириенко** // Углекимический журнал. – № 6. – 2007. – С. 20-25.

**15. Кузниченко В.М.** Лабораторный способ определения давления расширения коксуемой угольной загрузки различной насыпной плотности / **В.М. Кузниченко, И.В. Шульга, А.В. Сытник** // Углекимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 29-33.

Рукопись поступила в редакцию 03.06.2013