

## **АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Парфенюк А.С.**

(Донецкий национальный технический университет)

*С целью поиска способов и средств повышения износостойкости, долговечности, ремонтпригодности огнеупорной кладки простенков коксовых батарей выполнен анализ повреждений элементов конструкции в зависимости от технологических условий эксплуатации. Предложен ряд технических усовершенствований и мероприятий по ее обслуживанию и ремонту кладки.*

В Украине функционирует в эксплуатации коксохимических производств находится более 60 коксовых батарей, средний срок службы которых достигает 27 лет, с общим количеством коксовых печей более 3000 единиц. Более 40% коксовых батарей превысили нормативный срок службы 25 лет. Основная и наиболее материалоемкая часть конструкции коксовых батарей – огнеупорная кладка. Снижение технического состояния огнеупорной кладки приводит к снижению качества кокса, повышению затрат на ремонты; разгерметизации кладки и выбросу в атмосферу вредных веществ. Удельные выбросы на некоторых коксовых батареях достигают 10 кг/т кокса при мощности коксовых батарей до 1 млн. т. кокса в год. Поэтому поддержание высокого уровня технического состояния огнеупорной кладки коксовых печей на протяжении эксплуатации, а также разработка мероприятий и средств повышения её долговечности и ремонтпригодности является одной из наиболее актуальных проблем коксохимических производств. Для этого необходимо провести анализ повреждений элементов конструкции в зависимости от технических условий эксплуатации коксовых батарей.

Анализ дефектов кладки обогревательных простенков, возникших после сушки и разогрева батарей и в процессе эксплуатации, позволил установить расположение наиболее дефектоопасных зон блочной кладки. Этими зонами являются участки, соответствующие двум первым отопительным каналам головочных блоков первого и второго ряда с машинной и коксовой стороны, кромки и заплечики этих блоков, а также фасад простенков, причем блоки первого ряда в большей степени подвержены дефектам. Степень разрушения головочных блоков с коксовой стороны примерно на 30 % выше, чем с машинной.

Исследование повреждений различных зон блочной кладки показало, что для фасада и головок блоков наиболее характерны горизонтальные трещины, а в зоне первых отопительных каналов чаще наблюдаются вертикальные трещины. Стеновые блоки на стыках имеют большое количество сколов. Распространенными дефектами являются также мелкие раковины, разрушение материальных швов и стыков блоков. Практически все люковые блоки имели радиальные трещины. В зауженных камерах в месте стыка пода и стеновых блоков в последних наблюдаются подрезы. Внутренняя поверхность отопительных каналов в ряде случаев подвержена посечке (сеть мелких трещин).

В результате установлено, что основными факторами разрушения крупноблочной кладки являются:

– первоначальные дефекты, возникшие на стадии изготовления и при транспортировке блоков: пустотность, плохое формование, неравномерное распределение вяжущего и влаги и повреждение кромок;

– температурные удары на поверхности головочных блоков при уплотнении дверей влажной уплотнительной смесью (заметим, что такие регулярные термические удары по существу являются фактором форсированных испытаний термостойкости кладки). Сохранение ее работоспособности в этих условиях в течение 10 лет свидетельствует о более высокой термостойкости крупноблочной огнеупорной бетонной кладки по сравнению с кладкой из динасового и даже шамотного огнеупора;

– конструктивные недостатки отдельных блоков, связанные с наличием выступов, углублений, особенно при отсутствии в некоторых случаях возможности компенсации температурных деформаций, т.е. недостатки блочной кладки как системы блоков, взаимодействующих между собой.

Многочисленные исследования процесса разрушения огнеупорной кладки коксовых агрегатов свидетельствуют [1], что основной вид разрушения – трещины – связаны с температурными перепадами, возникающими при загрузке камер коксования влажной угольной шихтой и открыванием дверей коксовых печей. Для определения степени влияния этих перепадов на процесс образования и развития трещин необходимо установить распределение температурных напряжений в наиболее подверженной разрушению зоне кладки - в головочной части простенка в различные моменты технологического процесса. Для этого были рассчитаны температурные поля с помощью модели распределения температур в рабочей массе и элементах конструкции агрегата [2].

Резкие изменения температур - температурные удары - действуют разрушающе на огнеупор любого типа, однако с различной интенсивностью, степень которой является решающей для практического использования огнеупора в данных условиях службы [3]. При этом коэффициент устойчивости материала к образованию трещин определяется по формуле:  $R = \sigma_p(1 - \mu) / [E\alpha]$ , где  $\sigma_p$  – предел прочности при растяжении, МПа;  $E$  – модуль упругости бетона, МПа;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

В связи с разработкой крупноблочной огнеупорной бетонной кладки была проведена расчетная оценка значений прочностно-деформационных характеристик перспективных материалов.

Установлено, что для шамотного бетона коэффициент устойчивости к образованию трещин при температурных ударах выше в 5,6 раз, чем для динасокварцитового. Это позволяет считать, что в качестве материала головочной зоны простенков целесообразно применение шамотных бетонов.

Численные исследования влияния распределения температур в крупноблочной кладке на опасность образования трещин на основе реализации математической модели, позволили установить распределение температур и напряжений в зоне первого отопительного канала простенка. Расположение изолиний напряжений, соответствующих пределу прочности бетона при растяжении и определяющих глубину проникновения трещин, приведены на рис. 1. Максимальные растягивающие напряжения возникают в начальный момент периода нагревания в зоне первого отопительного канала на поверхности камеры коксования, а сжимающие – на внутренней поверхности отопительного канала. Установлено, что глубина проникновения трещины

равна глубине залегания изолинии критических напряжений, соответствующих пределу прочности материала кладки при растяжении. Максимальная глубина расположения изолинии предела прочности при растяжении в наиболее опасной зоне с точки зрения нарушения герметичности камеры коксования для динасокварцитового бетона составляет 48-53 мм от поверхности камеры. Приведенные данные позволяют обосновать параметры глубин заложения и геометрические размеры компенсаторов трещин в зависимости от температурных условий и материала кладки.

Исследование влияние ширины и материала простенка на распределение температурных напряжений показало, что ширина простенка незначительно влияет на величину напряжений. Замена динасокварцитового бетона на шамотный увеличивает растягивающие напряжения, но уменьшает глубину проникновения критических напряжений. Следовательно, для снижения вероятности трещинообразования изменять ширину простенка нецелесообразно, но можно рекомендовать шамотный бетон ШБП-431 для замены динасокварцитового ДКВБП-121 в головочной части простенков.

Были исследованы изменения прочности материала блоков и простенка в целом. Прочностные характеристики динасокварцитового бетона определяли на образцах, извлеченных из различных зон по длине и ширине обогревательных простенков, и образцах сырых блоков, поступивших с завода-изготовителя.

В результате исследований установлено, что прочность динасокварцитовых бетонных блоков, находившихся в эксплуатации, более чем в два раза выше прочности сырых бетонных блоков. Наименьшей прочностью обладает материал заплечиков блоков, в результате термических ударов при многократном воздействии влажной уплотнительной смеси и возникновение в этих зонах большого количества микротрещин. Наибольшей прочностью обладает материал блоков, расположенных в средней зоне камеры коксования [4].

В зависимости от глубины расположения образца материала относительно поверхности камеры наименьшей прочностью обладают слои, прилегающие к поверхности камеры коксования, а также к поверхности отопительного канала. Причем толщина наименее прочного слоя на поверхности камеры для головочной зоны блоков в 2 – 2,2 раза больше, чем для срединной зоны. Причинами снижения прочности материала поверхности блоков являются физико-химические изменения структуры материала из-за зашлакования поверхности, глубоких перепадов температур при загрузке камеры влажной шихтой и при уплотнении дверей влажной уплотнительной смесью, а также из-за механического взаимодействия коксового пирога и штанги коксовиталкивателя с поверхностью кладки при выдаче кокса.

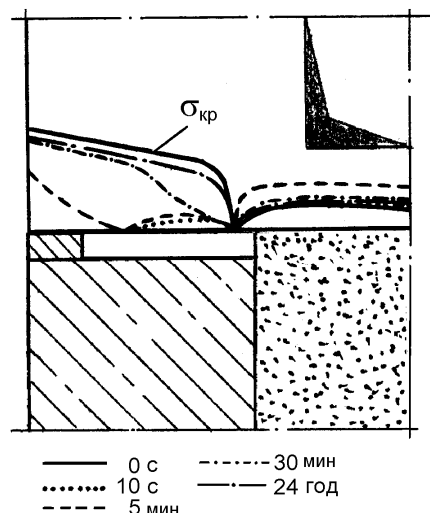


Рис. 1. Глубина проникновения трещин в кладке первого отопительного канала простенка печи

Прочностно-деформационные испытания кладки блочных простенков батареи Стахановского КХЗ показали, что конструкция блочного простенка в целом обладает более высокими упругими свойствами и большей жесткостью при незначительной остаточной деформации в сравнении с обычной огнеупорной кладкой, имеющей большое количество материальных швов [4].

На основе проведенного анализа разработаны технические решения, направленные на повышение надежности и долговечности кладки [5-7]. Важным конструктивным изменением простенков коксовых печей является применение сменяемых шамотных блоков в зоне двух первых головочных отопительных каналов [7]. Вариантом является конструкция батареи с комбинированной кладкой, сочетающей головочные блоки из огнеупорного бетона повышенной термической стойкости и срединную часть обогревательных простенков из мелкоштучного огнеупора. Между головочными блоками и анкеражем целесообразно размещение теплоизоляционных плит, повышающих долговечность головок простенков при уменьшении градиента температур внутри головочных блоков. Наличие вертикальных швов скольжения между сопрягаемыми поверхностями стеновых, головочных блоков и теплоизоляционных плит делает конструкцию работоспособной при разогреве батареи и улучшает ее ремонтпригодность благодаря облегчению замены головочных блоков при ремонтах кладки. В результате повышается ресурс кладки и достигается экономический эффект за счет уменьшения капитальных затрат, продолжительности ремонтов и простоев батареи.

Развитие трещин, в первую очередь, в головках блоков требует не только применения более термостойких материалов, но и поиска возможностей компенсации циклических температурных напряжений, возникающих при действии перепадов температур по сечению блока. Температурные напряжения уменьшены в техническом решении крупноблочного простенка с компенсаторами трещинообразования, т.е. элементов на поверхности блоков, на которых температурные деформации кладки могут свободно реализовываться без существенного повышения напряжений. Это предотвратит образование новых трещин и развитие их у вершины компенсатора. Предложены различные формы изготовления компенсаторов трещин: прорезанием, установкой съемных металлических элементов и установкой нетермостойких закладных элементов, которые выгорают в процессе разогрева батареи.

Прочностными испытаниями образцов сырых бетонных блоков, предварительно покрытых слоем толщиной 3 – 5 мм алюмохромофосфатного связующего (АХФС), установлено, что средняя прочность образцов, покрытых АХФС, в 1,6 – 1,9 раза выше прочности образцов сырых блоков без покрытия. С целью повышения термо- и износостойкости поверхности блоков и ликвидации дефектов, возникающих на стадии изготовления, было предложено наносить защитные покрытия на блоки в условиях завода-изготовителя или непосредственно перед монтажом, сушкой и разогревом батареи. В качестве основного компонента материала покрытия использовали смесь из 80 % АХФС без добавок и 20 % тонкомолотого кварцита. Технология нанесения защитных покрытий, отработанная в лабораторных условиях, была использована на стеновых блоках в условиях Христофоровского завода огнеупорных блоков и бетонов и после монтажа батареи №2 Стахановского КХЗ.

Наряду с исследованием трещинообразования крупноблочных конструкций кладки был исследован процесс их разрушения-восстановления путем анализа статистической информации за весь период эксплуатации батарей. Установлено быстрое нарастание параметра потока возникновения

трещин после 2400 - 2700 печевыдач, что свидетельствует о наступлении периода ускоренного разрушения кладки с быстрым возрастанием количества дефектов и переходом различных типичных дефектов начального периода и нормальной эксплуатации в более опасные виды дефектов: сквозные трещины, раковины и прогары, т.е. о наступлении предельного состояния для конкретных простенков. Предельным состоянием крупноблочной кладки принято наличие множественных трещин, раковин, прогаров или провалов в двух и более смежных отопительных каналах одного простенка, устранение которых путем торкретирования и подмазки не дает эффекта в течение более чем 30 печевыдач. Предельным состоянием для всего массива коксовой батареи является наступление предельного состояния для 20 % простенков батареи. Изменение соотношения количества дефектов в сторону более опасных их видов при стабилизации параметров степени трещиноватости по длине  $T_L$  и высоте  $T_H$  простенка свидетельствует о наличии характерных значений этих параметров для различных зон кладки, в частности, для головки простенка они составляют 2,3 - 3,1 м/м<sup>2</sup>, а для срединных блоков 0,44 - 0,49 м/м<sup>2</sup>. Для оценки суммарной трещиноватости для любого ( $i$ -го) из  $n$  простенков и его предельного значения использовали критерии:  $T_i = \sqrt{T_{Hi}^2 + T_{Li}^2}$  и  $T^* = \sum_{i=1}^n T_i^* / n$ .

Для оценки долговечности кладки применили прогнозирование момента времени наступления ее предельного состояния по степени интегрального разрушения, т.е. такого общего уровня разрушения кладки, при котором ее дальнейшая эксплуатация становится технически невозможной или нецелесообразной без капитального ремонта или же эксплуатация становится экономически невыгодной из-за потерь, связанных со снижением производительности печи, ухудшением качества продукции, ущербом окружающей среде или по другим причинам.

Предельное значение критерия общего уровня разрушения кладки:

$$R^* = \sum_{i=1}^k R_i^* / k, \quad \text{где } k \text{ - количество экспертных оценок критерия } R.$$

Прогнозируемые ресурсы по критериям при нормальной эксплуатации батареи  $T$ ,  $R$  имеют вид:  $\tau(T, R) = [(T^*, R^*) - (T_0, R_0)] / v(T, R)$ , где  $T_0$ ,  $R_0$  – начальные параметры состояния кладки после сушки и разогрева;  $v(T, R)$  – средние скорости изменения параметров  $T$ ,  $R$  в процессе нормальной эксплуатации батареи до предельного состояния. Оценка ресурса  $\tau(T)$  применима для различных зон кладки простенков и для кладки батареи в целом, а  $\tau(R)$  – для всей батареи.

Существенные различия всех параметров степени разрушения в пределах длины одного головочного блока показали наибольшую значимость элементов головочной зоны простенков и позволили прогнозировать наступление предельного состояния для различных условий эксплуатации кладки по критериям предельного состояния: трещиноватости  $T^*$ , общего уровня разрушения  $R^*$ .

Оценка ресурса на основе указанных критериев показала, что в условиях нормальной эксплуатации крупноблочной кладки коксовых батарей  $\tau(T)$  для зоны 1-2 отопительных каналов ресурс составляет 22 – 28 лет, для кладки батареи в целом – более 50 лет. Это свидетельствует о вполне приемлемой долговечности, которую можно существенно повысить путем усовершенствования конструкции зоны 1-2 отопительных каналов, улучшения

условий ее работы, повышения ремонтпригодности и своевременного проведения ремонтно-профилактических работ [8].

Графическое представление процесса разрушения-восстановления кладки дано на рис. 2.

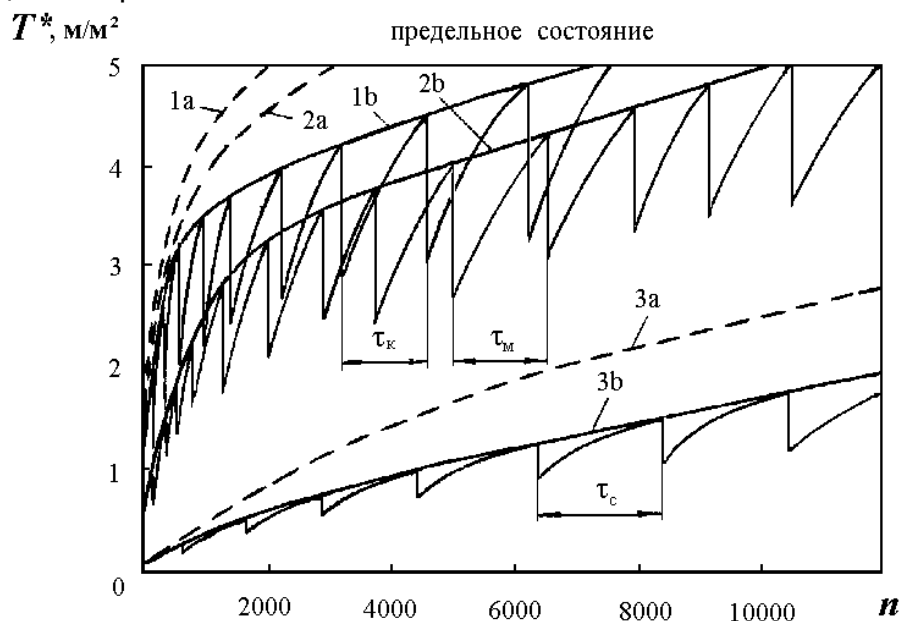


Рис. 2. Изменение трещиноватости зон кладки простенков  $T^*$  в

зависимости от количества печевыдач  $n$  и условий разрушения-восстановления: 1, 2 – головочная зона коксовой и машинной стороны соответственно; 3 – середина камеры коксования; а – без восстановлений, б – восстановления торкретированием.

Таким образом, систематизация и анализ повреждений элементов конструкции коксовых батарей в зависимости от технических условий эксплуатации позволили выработать направления конструктивного совершенствования элементов конструкции коксовых батарей, способы защиты огнеупорной кладки обогревательных простенков от разрушения и пути существенного повышения срока службы крупноблочных бетонных конструкций коксовых батарей.

### Литература

1. Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Костина Е.Д. и др. Причины и закономерности возникновения дефектов блочной кладки коксовых батарей // Кокс и химия. - 1993. - N 4. - С.19-22.
2. Ткаченко В.Н., Бритов Н.А., Парфенюк А.С. и др. Математическая модель теплообмена в зоне прессования агрегатов для коксования углей//Кокс и химия. - 1994. - N 2. - С. 19-21.
3. Сопротивление материалов / Под ред. Г.С.Писаренко. К.:Вища школа, 1973. – 672 с.
4. Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Кутняшенко И.В. и др. Физические факторы надежности эксплуатации кладки коксовых печей из крупноразмерных огнеупорных блоков//Кокс и химия. 1992г. №11. С.18-20.
5. А.с. 1723095 СССР, МКИ С 10 В 29/00. Батарея горизонтальных коксовых печей: / А.С.Парфенюк, С.П.Веретельник, М.П.Зборщик и др. (СССР). – N 4849265/26; Заявлено 26.07.90; Опубл. 30.03.92; Бюл. N12.
6. А.с. 925041 СССР, МКИ С 04 В 35/68. Способ сушки и разогрева конструкций из жаропрочного бетона / А.И.Сибилев, М.П.Зборщик, Ю.Д.Сагалевич, К.Д.Некрасов, А.Е.Федоров, А.А.Блюсин, А.С.Парфенюк,

С.П.Веретельник, А.Г.Титов, А.П.Криштопа, П.И.Борт, М.В.Копылов. – № 2820600/29–33; Заявлено 17.09.79 (не подлежит опубл. в открытой печати).

7. **Пат. 1806163 СССР. МКИ С 10 В 29/00.** Отопительный простенок камеры коксования / А.С. Парфенюк, С.П. Веретельник, М.П. Зборщик и др. (СССР).- N4931946/04; Заявлено 29.04.91; Опубл. 30.03.93; Бюл. N 12.
8. **Парфенюк А.С., Костина Е.Д., Комбаров А.П. и др.** О ремонте кладки крупноблочных коксовых батарей // Кокс и химия. – 1998. - №4. – С. 11-14.