

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАСПИРАНИЯ УГЛЕЙ И ШИХТ НА КХП ПАО «АРСЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ»Н.В. Мукина¹, Е.П. Черноусова²*ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», 50095, Днепропетровская область, Кривой Рог, ул. Орджоникидзе, 1, Украина*В.М. Кузниченко³, А.В. Сытник⁴*Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина*¹ Мукина Наталья Владимировна, начальник технического отдела КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com² Черноусова Елена Петровна, начальник центральной лаборатории технического отдела КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», e-mail: Elena.Chernousova@arcelormittal.com³ Кузниченко Вячеслав Михайлович, канд. техн. наук, с.н.с., ведущ. научный сотрудник, e-mail: ko@ukhin.com.ua⁴ Сытник Алексей Владимирович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: ko@ukhin.org.ua

Внедренный на КХП ПАО «АРСЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ» опытный образец лабораторной установки по определению давления расpirания углей и шихт, выполненный ГП «УХИИ», позволяет получать величины давления расpirания такие же, как развиваемые в промышленной камере коксования. В ходе освоения установки устранены замеченные недостатки, установка эксплуатируется в центральной лаборатории коксохимического производства.

Ключевые слова: уголь, шихта, коксование, давление расpirания, измерения, лабораторная установка, освоение.

Известно, что различные коксующиеся угли при нагревании без доступа воздуха образуют пластический слой большей или меньшей толщины, а сама пластическая масса этого слоя характеризуется различными вязкостью, однородностью, термоустойчивостью, формирующими ее газопроницаемость. Сочетание этих параметров и скорости образования парогазовых летучих продуктов определяет величину свободного вспучивания пластической массы. При невозможности свободного вспучивания, что имеет место в условиях промышленного коксования угольных шихт в горизонтальных камерных печах, наполненный парогазовыми продуктами пластический слой оказывает давление (расpirания) на греющие стены камеры коксования через образующийся полукокс и кокс. Чем больше давление парогазовых продуктов в пластическом слое, тем больше давление расpirания коксуемой угольной загрузки. Поскольку нагрев угольной загрузки в коксовой камере двухсторонний, то образующиеся с двух сторон камеры пластические слои оказывают одинаковое давление на обе греющие стены. Это обусловлено одинаковым температурным режимом в обоих обогревательных простенках камеры коксования, что наглядно доказывается образованием осевого шва коксового пирога по оси камеры. Величина давления расpirания шихт зависит от их компонентного состава. Угольные концентраты различаются по технологическим свойствам, в том числе и по давлению расpirания. Наиболее расpirающие угли могут развивать давление до 60 кПа и более. Конструкции же обогревательных простенков коксовых батарей рассчитываются на нормальное давление 7 кПа. Эта величина принимается, как кри-

териальное значение для коксуемых угольных шихт, при котором обеспечиваются нормальные условия эксплуатации коксовых батарей и длительный срок их эффективной службы. Коксование шихт, давление расpirания которых существенно выше критерияльного, приводит к трудностям при выдаче готового коксового пирога, т.е. к повышению ампеража электродвигателя пресс-штанги коксового плавильщика (ампеража выдачи), а в экстремальных случаях – к единичному или массовому бурению печей.

Бурения, как известно, приводят к расстройству режима обогрева и графика выдачи как забуренных, так и соседних с ними печей, а также к падению производства кокса, к деформации кладки обогревательных простенков и, как следствие, к ускоренному износу печей. Для исключения указанных явлений необходимо, чтобы составление шихт для коксования проводилось не только с учетом получения прочного кокса, но и с учетом давления расpirания сырья. Поэтому после очередной перешихтовки прежде, чем подавать шихту в производство, необходимо определить ее давление расpirания.

В настоящее время в некоторых зарубежных странах (Франция, Германия, Чехия, Россия и др.) давление расpirания опытных шихт определяют в полупромышленных коксовых печах с подвижной стенкой с нагрузкой шихты от 150 до 500 кг [1-4]. Такие печи, по нашему мнению, практически полностью моделируют процесс коксования, осуществляемый в промышленных коксовых печах, однако их строительство и эксплуатация требуют больших финансовых затрат. Продолжительность определения давления расpirания велика, т.к. период коксования в этих печах такой же, как и в промышленных. Гораздо дешевле и быстрее определить давление расpirания угля или шихты можно с применением установки лабораторного масштаба, в которой созданы условия для моделирования промышленного процесса коксования в части развития давления расpirания.

В 2012-2014 году в состав сырьевой базы КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» на постоянной основе были введены угольные концентраты дальнего зарубежья (США, Австралия, Канада, Колумбия). Информации об их свойствах в плане давления расpirания на производстве не было, вместе с тем было зафиксировано увеличение ампеража при выдаче кокса из печи. Учитывая неудовлетворительное состояние печного фонда к.б. №№ 1-2, использовать опасные шихты в производстве было недопустимо.

Поскольку в этот период не было постоянства в сырьевой базе угольных концентратов, а угольные шихты необходимо было составлять с учетом не только ожидаемого качества кокса, но и с планированием по давлению расpirания (так как данный показатель не подчиняется правилу аддитивности), было принято решение о приобретении лабораторной установки по определению давления расpirания.

ГП «УХИН» в рамках НИР с КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» в 2014 г. был разработан и изготовлен опытный образец лабораторной установки для определения давления расpirания углей и шихт, загружаемых насыпью. Перед этим ГП «УХИН» на Харьковском коксохимическом заводе был осуществлен способ замера давления расpirания углей и шихт в полупромышленной печи с использованием подвижного вкладыша, вмонтированного в центральной части греющей стены камеры коксования [5]. Вкладыш выполнен из диасового кирпича толщиной 105 мм, площадь фронтальной поверхности составляет 700 см². При такой площади он испытывал давление расpirания семи-девяти полномерных кусков кокса, обращенных «цветной капустой» к греющей стене камеры. Учитывая, что в центральной части греющей стены какие-либо краевые эффекты, связанные с неравномерностью температурного поля, отсутствуют, получаемые величины давления расpirания соответствуют тем давлениям, которые имеют место в промышленной камере коксования. Если лабораторная установка позволяет получать величины давления расpirания такие же, как по способу [5], то это значит, что они соответствуют тем же значениям, которые развиваются в промышленной камере коксования.

Изготовленный ГП «УХИН» для КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» опытный образец лабораторной установки для определения давления расpirания углей и шихт позволяет получить результаты аналогичные, или весьма близкие к получаемым по способу [5]. Следовательно, данная установка воспроизводит в малом масштабе тот же процесс развития давления расpirания, что имеет место в промышленной печи. Установка внедрена и освоена в Центральной Лаборатории КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» в 2014 г.

Конструкция установки схематически показана на рис. 1. В состав установки входит электропечь, трансформатор на 20 А, блок управления температурным режимом, блок индикации давления расpirания, пьезоэлектрический датчик давления на 100 кПа, кронштейн

для датчика давления, реторты для коксования из стали марки Ст. 3.

Кирпичная кладка 1 печи выполнена в металлическом каркасе 2 из уголка и облицована листом из полированной нержавеющей стали. Для огнеупорной кладки использован кирпич из легковесного пеношамота марки ШЛ-04№7. Рабочая температура пеношамота – до 1570 К, коэффициент теплопроводности низкий ($\lambda = 0,29$ Вт/м×К), что способствует предотвращению утечки тепла в окружающее пространство. Этот материал легко поддается обработке, например, резке ножовкой по металлу. Кирпичная кладка образует нагревательную камеру, в передней и задней стенках которой размещены нагревательные элементы 3 из фехральной проволоки марки Х23Ю5, навитой в виде спирали. В передней части печи выполнен щелеобразный проем шириной 20 мм, который необходим для прохода бокового патрубка реторты при установке ее в нагревательную камеру. Поэтому нагреватель здесь состоит из двух отдельных, одинаковых по мощности спиралей. Общая мощность нагревателей составляет 3,5 кВт. Режим нагрева реторты 4 с угольной загрузкой 5 ведется автоматически блоком управления по показаниям хромель-алюмелевых термопар 6 типа ТХА-1007, ДСТУ 2857-94. Реторта имеет следующие размеры, мм: длина – 164, ширина – 106, высота – 190. В верхней ее части имеется фланец толщиной 6 мм для соединения с крышкой, снабженной газоотводным патрубком 7 с тарелкой 8 для сбора частично конденсирующихся в газоотводной трубке воды и каменноугольной смолы.

Реторта устанавливается в нагревательную камеру печи с незначительными зазорами. Крышка реторты футеруется тем же кирпичом что и кладка печи, толщина футеровки 40 мм. Внутри реторты футерована тем же пеношамотом, при этом толщина футеровки боковых стенок и дна составляет 30 мм. В передней части футеровки выполняются пазы шириной 11 мм для установки упорной пластинки 10 с образованием зазора 5 мм между ней и передней стенкой реторты. В передней стенке реторты вварен боковой патрубок длиной 150 мм, диаметром 16 мм для размещения в нем кварцевого стержня 11 диаметром 11 мм.

Камера коксования реторты образована футеровкой, незафутерованной частью задней стенки и металлической упорной пластинкой. С учетом того, что боковые стенки камеры выкладываются листовым асбестом толщиной 3 мм, полезная длина камеры составляет 94 мм, полезная высота – также 94 мм, ширина 86 мм. При этом над коксуемой угольной загрузкой имеется подводящее пространство высотой 20 мм, что достаточно

для свободной эвакуации парогазовых продуктов коксования в газоотводный патрубок.

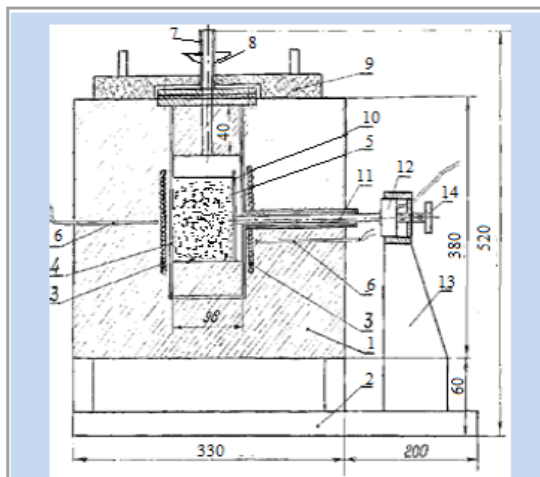


Рис. 1 Конструкция установки по определению давления расширения

1 – кирпичная кладка, 2 – каркас печи, 3 – нагревательные элементы, 4 – реторта, 5 – угольная загрузка, 6 – термопара, 7 – крышка реторты с газоотводной трубой, 8 – тарелка, 9 – крышка, 10 – упорная пластинка, 11 – кварцевый стержень, 12 – датчик давления, 13 – кронштейн, 14 – юстировочный винт

Датчик давления 12 расположен в гнезде кронштейна 13 с возможностью его перемещения при помощи юстировочного винта 14. Давление (расширения) коксуемой угольной загрузки воспринимает упорная пластинка, а от нее давление через кварцевый стержень передается на датчик давления. Поскольку датчик давления неподвижен (упирается в юстировочный винт), то неподвижна и система упорная пластинка – кварцевый стержень, хотя они и имеют свободу передвижения. Следовательно, давление расширения угольной загрузки происходит при постоянном объеме, т.е. при условиях, аналогичных коксованию в промышленной печи.

Кварцевый стержень, являющийся передаточным звеном от упорной пластинки к датчику давления, не вносит ошибку в измерения давления расширения, т.к. его тепловое расширение ничтожно. Коэффициент теплового расширения кварца наименьший среди всех известных доступных материалов. При длине стержня

200 мм и средней по длине стержня температуре 420 °С (при температуре передней стенки реторты 900 °С) линейное его расширение составляет:

$$\Delta l = K \times l \times \Delta T \quad (1),$$

где K – коэффициент теплового расширения кварца – $0,54 \times 10^{-6}$; l – длина стержня, мм, ΔT – разность температур стержня нагретого и комнатной температуры, °С.

$$\Delta l = 0,54 \times 10^{-6} \times 200(420 - 20) = 0,04 \text{ мм} \quad (2).$$

Общий вид установки представлен на рис. 2.

В Инструкции по эксплуатации и Методике определения давления расpirания, прилагаемых к установке, изложен ход проведения определения максимального давления расpirания P , приведены требуемые параметры подготовки угольной загрузки (табл. 1), оговорена допустимая погрешность результатов измерений.

При выполнении измерения давления расpirания вначале включают печь в сеть 220 В. Выкладывают боковые стенки камеры коксования реторты листовым асбестом толщиной 3 мм и производят загрузку камеры углем (шихтой). Загрузку производят тремя одинаковыми порциями, слегка припресовывая пестиком и измеряя высоту загруженной порции. С приобретением необходимых навыков общая высота загрузки 94 мм достигается точно, при этом достигается и требуемая по высоте средняя насыпная плотность (см. табл. 1). Для удерживания упорной пластинки во время загрузки камеры коксования, между ней и передней стенкой реторты вставляют П-образный шаблон толщиной 5 мм. После окончания загрузки, через боковой патрубок реторты вставляют кварцевый стержень до упора в металлическую пластинку, вынимают шаблон и по обеим сторонам пластинки помещают две эластичные вставки – комки бумаги. Они удерживают пластинку в неподвижном состоянии при прикручивании крышки реторты болтами и установке реторты в нагревательную камеру печи после достижения в ней заданной температуры. В самом начале процесса нагрева реторты бумаж-

ные вставки сгорают, что исключает их влияние на замер давления расpirания. После установки реторты с находящимся в ее боковом патрубке кварцевым стержнем закрывают щелеобразный проем вкладышем, изготовленным из вышеуказанного кирпича, и сверху печи устанавливают термоизоляционную крышку. Уплотняют зазор между стержнем и патрубком асбестовой ватой и при помощи юстировочного винта подводят к торцу стержня датчик давления с таким расчетом, чтобы достиглось поджатие датчика с усилием 0,2-0,3 кПа, которое затем вычитают из полученного максимального давления расpirания.



Рис. 2 Установка для определения давления расpirания углей и шихт. Общий вид
1 – основание; 2 – электропечь; 3 – кронштейн; 4 – юстировочный винт; 5 – датчик давления; 6 – крышка теплоизоляционная; 7 – газоотводная труба; 8 – проем

Таблица 1

Параметры подготовки угольной пробы, загружаемой в камеру коксования

Масса угольной загрузки, г	Уровень измельчения, кл ≤ 3 мм	Влажность, %	Насыпная плотность, г/см ³
600	80 ± 3	10 ± 2	0,80 ± 0,01

На тарелку 8 (рис. 1) газоотводного патрубка реторты устанавливают жестяную газоотводную трубку, заканчивающуюся в нижней части конусообразным расширителем. При эвакуации парогазовых продуктов

кокования в трубке может происходить их частичная конденсация и незначительная часть смолы и надсмольной воды стекают в тарелку. По мере уменьшения образования этих продуктов, содержание тарелки испаряется

и к концу определения в ней остается только затвердевшая пленка смолы. При определении давления расприра- ния высокометаморфизованных углей марок К, ОС, КС тарелка к концу опыта остается практически чистой.

В процессе проведения определения нет необходи- мости все время следить за показаниями датчика давлени- я, т.к. максимум указывается на световом табло в кПа при нажатии кнопки на блоке индикации. После дости- жения максимума давления расприра- ния и устойчивого падения давления опыт заканчивают – выключают обо- грев печи.

В ходе освоения установки были ликвидированы не- которые выявленные недостатки. Так, при первоначаль- ной толщине передней и задней стенок реторты 3 мм и их температурах соответственно 900 и 850 °С было об- наружено, что давлением расприра- ния заднюю стенку постепенно выгибает наружу. Это могло приводить к занижению величины максимального давления распри- рания. В то же время передняя стенка, не испытываю- щая давления расприра- ния (т.к. между ней и упорной пластинкой существует зазор) выгибается внутрь рето- рты термическими напряжениями. Для исключения ука- занных явлений толщина стенок была увеличена до 5 мм, температура передней стенки снижена на 20 °С, задней – на 250 °С. В результате зона смыкания plasti- ческих слоев сместилась ближе к задней стенке, однако это не повлияло на уровень величины максимального давления расприра- ния. Указанные мероприятия позволи- ли исключить выгибание стенок реторты и способство- вали уменьшению погрешности определения.

Было также замечено, что при испытаниях углей с высоким давлением расприра- ния упорную пластинку, выполненную первоначально толщиной 2 мм, локально вминает кварцевым стержнем, причем, глубина вмяти- ны может достигать 2 мм. Это равносильно тому, что коксуемой загрузке позволяют свободно расширяться на 2 мм, а только затем начинают измерение давления расприра- ния, что явно приведет к занижению результата. Увеличение толщины пластинки до 3 мм позволило уменьшить глубину вмятины на 1 мм. Для гарантиро- ванного исключения деформации стержнем, толщина пластинки была увеличена до 5 мм.

Для исключения возможного разворачивания пла- стинки «цветной капустой» образующего слоя кокса от вертикальной ориентации по отношению к кварцевому

стержню, по углам пластинки были приварены шпиль диаметром 5 мм и длиной 8 мм. В начале процесса кок- сования шпиль закоксовывается в образующийся полу- кокс и пластинка представляет как бы единое целое с полукоксом-коксом. При этом неравномерность выпук- лостей «цветной капусты» кокса на фронтальной повер- хности угольной загрузки не может повлиять на вели- чину давления расприра- ния и тем самым приводит к значительным расхождением получаемых результатов.

Поэтапное выполнение работ на установке по опре- делению давления расприра- ния.

При коксовании углей с большой толщиной plasti- ческого слоя ($y \geq 25$ мм) было обнаружено, что при смыкании пластических слоев часть пластической мас- сы выдавливается внутрипластическими газами из на- верх коксуемой загрузки, что должно занижать давлени- е расприра- ния таких углей. Поэтому было решено укладывать на верх угольной загрузки перфорирован- ную металлическую пластинку толщиной 2 мм с шпиль- ми по углам со стороны задней стенки. Пластинка пер- форирована 60 отверстиями диаметром 2 мм, равномер- но распределенными по ее поверхности. В начале кок- сования пластинка закоксовывается шпильми в полукокс, превращающийся затем в кокс, и прочно удерживается на поверхности загрузки, препятствуя выходу plasti- ческой массы на поверхность. Образующиеся же газы свободно эвакуируются через отверстия в пластинке. Это позволило исключить выдавливание пластической массы из пластического слоя жирных углей и тем са- мым – ошибку измерения их давления расприра- ния.

После всех указанных усовершенствований установ- ки и приобретения необходимых навыков работы на ней был достигнут норматив сходимости и воспроизводи- мости в различных диапазонах давления расприра- ния. Установка используется ЦП для определения давления расприра- ния новых, не поступавших ранее на производ- ство углей, а также для периодической проверки углей, постоянно применяющихся в шихте для коксования, и для определения давления расприра- ния шихт при пере- шихтовках.

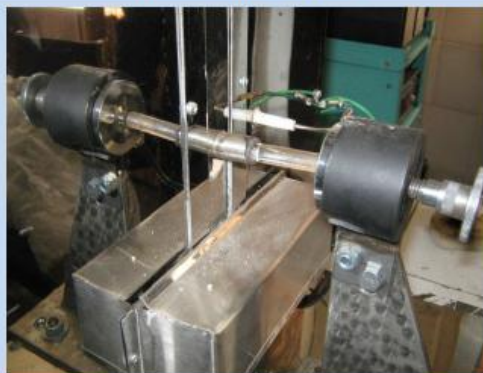
В 2014-2015 гг. на данной установке проведена на- работка данных по определению качественных показате- лей используемых на производстве угольных концен- тратов, а также производственных угольных шихт (табл. 2, 3).



1. Загрузка пробы в реторту



2. Установка реторты в камеру

3. Сборка установки, подключение датчика за-
мера давления

4. Проведение испытания



5. Снятие показания



6. Образовавшийся «королек»

Рис. 3 Работа установки

Таблица 2

Давление расприрания угольных концентратов

Наименование	Марка	Давление расприрания, кПа
Высоколетучие HV		
Ресурс	ГЖО	2,2-7,4
Кузнецкая	ГЖ+Ж	1,5-2,2
Распадская	ГЖО	2,2-5,2
Краснолиманская	Ж	5,1
Clintwood	-	3,8
Октябрьская	Г	2,3
Среднелетучие MV		
Восточная	ККЖ	3,3
Свято-варваринская	К	25,0-33,0
Узловская	К	12,0-25,0
Брянковская	К	5,7
Crizzly Creek		3,4
Goomyella		2,4
Низколетучие LV		
Барзаская	КС	2,2
Краснобродская	КС	3,7

Таблица 3

Давление расприрания угольной шихты КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Период	Давление расприрания, кПа
Ноябрь 2014	5,8
Декабрь 2014	4,9
Июнь 2015	2,6
Июль 2015	2,4
Август 2015	2,5
Сентябрь 2015	2,1
Октябрь 2015	2,4
Ноябрь 2015	2,8
Декабрь 2015	3,0
Январь 2016	3,2
Февраль 2016	3,0
Март 2016	3,3
Апрель 2016	3,5

Выводы

Проведение испытаний по определению давления расприрания шихт позволило:

– своевременно вносить коррективы в марочный состав шихт перед использованием в производство;

– исключить случаи промышленного использования опасной шихты с повышенным давлением расприрания

– исключить случаи бурения коксового пирога, связанные с марочным составом угольных шихт.

Библиографический список

1. Брюер Р.Е. Пластические свойства, спекаемость и вступивание углей / Р.Е. Брюер / Сб. Химия твердого топлива. – Т. 2. – М.: Издательство иностранной литературы. – 1951. – С. 110-314.

2. Мициксин В.Г. Установка для определения давления расширения при коксовании угольных шихт / В.Г. Мициксин, Л.В. Копелиович, Ю.А. Нечаев [и др.] // Кокс и химия. – 1988. – № 2 – С. 15-16.

3. Луазон Р. Кокс / Р. Луазон, П. Фош, А. Буайе. – М.: Металлургия, 1978. – 520 с.

4. Сытник А.В. Методы определения давления расширения углей и шихт при коксовании (Аналитический обзор) / А.В. Сытник, В.М. Кузниченко // Кокс и химия. – 2011 – № 9. – С. 35-44.

5. Васильев Ю.С. Способ измерения давления расширения коксующей загрузке в полупромышленной печи. / Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко // Кокс и химия. – 1999. – № 6. – С. 16-21.

Рукопись поступила в редакцию 24.02.2016

THE EXPERIENCE OF THE IMPLEMENTATION OF THE LABORATORY APPARATUS FOR THE PRESSURE BURSTING OF COAL AND BLENDS IN CENTRAL PLANT LABORATORY OF COKE PRODUCTION OF PJSC "ARCELORMITTAL KRYVYI RIH"

© Mukina N.V., Chernousova E.P. (PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih"), Kuznichenko V.M., PhD in technical sciences, Sytnik A.V., PhD in technical sciences (SE «UKHIN»)

The prototype of laboratory apparatus for the estimating of bursting pressure of coals and coal blends (the design of SE "UkHIN"), which has been implemented in the central plant laboratory of Coke Production of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih", allows to receive the same bursting pressure values as those, which are developing in the industrial coking oven. During the mastering of the apparatus its defects has been improved. Now the apparatus is using successfully in central plant laboratory of Coke Production.

Keywords: coal blend, coking process, bursting pressure measurement, laboratory apparatus, development.
