

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОКСОВОЙ ПЫЛИ УСТК В ШИХТЕ ДЛЯ ТРАМБОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОМЕННОГО КОКСА

© \* В.М. Кузниченко<sup>1</sup> к.т.н., А.В. Сытник<sup>2</sup> к.т.н., С.С. Кубрак<sup>3</sup>*Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина*<sup>1</sup>Кузниченко В.М. *вед.науч.сотр., канд. техн. наук., с.н.с., e-mail: ko@ukhin.org.ua*<sup>2</sup>Сытник А.В. *с.н.с., канд. техн. наук., e-mail: citnik\_av@mail.ru*<sup>3</sup>Кубрак С.С. *научный сотрудник, e-mail: ko@ukhin.org.ua*

*Результаты яичных коксований трамбованной шихты с добавками коксовой пыли УСТК показали возможность получения доменного кокса марки КД 1 по ТУ У 322-00190443-114-96 при введении ее в шихту в количестве 5 %. При добавке 10 % коксовой пыли возможно получение кокса марки КД 2. При 15 % добавки невозможно получить кондиционный доменный кокс без изменения марочной структуры шихты.*

Ключевые слова: трамбованная шихта, коксовая мелочь, коксовая пыль УСТК (установки сухого тушения кокса), отмагничивание, яичные коксования, давление расприания, доменный кокс.

\*\*\*\*\*

В обзорной статье [1] было показано, что введение в шихту для трамбования измельченной коксовой мелочи (КМ) является целесообразным мероприятием при производстве доменного кокса и необходимым – при производстве литейного кокса. При производстве доменного кокса на заводе ЦКС (г. Диллинген, Германия) в шихту для трамбования вводят 5 % КМ, измельченной в шаровой мельнице до 98 % зерен < 0,25 мм [2]. При этом требуется предварительная подсушка КМ продуктами горения до влажности 1-2 %. Транспортировка тонкоизмельченной КМ осуществляется пневмотранспортом, а введение ее в шихту – специальными дозаторами. Для тщательного смешения сухой КМ с влажной шихтой в схеме углеподготовки должен быть предусмотрен эффективный смеситель. Все это существенно усложняет и удорожает процесс подготовки шихты.

При использовании в шихте для трамбования коксовой пыли УСТК измельчения ее не требуется, так как этот продукт достаточно мелкодисперсный. В табл. 1 представлен гранулометрический состав пыли УСТК бат. № 10 бис ПАО «Алчевсккокс».

Таблица 1

Гранулометрический состав коксовой пыли УСТК

Класс крупности, мм	+5	5-3,15	3,15-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	-0,125	< 0,25	< 0,5
Содержание, %	0,3	0,5	4,6	11,2	38,3	45,1	83,4	94,6

Из данных таблицы видно, что коксовая пыль УСТК (в дальнейшем «КП») несколько крупнее, чем КМ применяемая на заводе ЦКС – содержание кл. < 0,25 мм в ней меньше на 14,6 %. На ПАО «Алчевсккокс» КП увлажняется в двух шнековых увлажнителях, после чего она приобретает такую же транспортабельность, как и влажные угольные концентраты, дозировка ее из силоса происходит без осложнений.

Отобранная нами из общего пылесборника УСТК для проведения исследований проба КП характеризовалась следующими показателями:  $W_t^f$  – 0,5 %,  $A^d$  – 12,7 %,  $S_t^d$  – 1,01 %,  $V^d$  – 1,0 %. В то же время зольность и сернистость производственного кокса составили соответственно 10,8 и 0,79 %. Повышенную зольность КП по сравнению с товарным коксом можно объяснить тем, что удельная поверхность КП несоизмеримо больше, чем крупного кокса, находящегося в тушильной камере УСТК и поэтому она в большей степени подвержена угару в процессе сухого тушения, хотя время пребывания ее в контуре тушения очень мало. Повышения же сернистости КП данной причиной объяснить невозможно. Практикой эксплуатации УСТК установлено, КП является весьма абразивным материалом. Об этом свидетельствует тот факт, что трубопроводы, особенно на поворотах, быстро «сдаются»

\* Автор для корреспонденции

несущимися с большой скоростью в потоке циркуляционных газов частичками кокса. На ПАО «Алчевсккокс» металлическая футеровка циклонов ( $\varnothing$  4,1 м) толщиной 50 мм «съедается» КП УСТК в течение двух лет. Поэтому правомерно предположить, что повышение зольности и сернистости КП происходит также за счет

внесения в нее мельчайших частичек железа, которое в горячей реакционной среде может быстро окисляться и взаимодействовать с сернистыми компонентами циркуляционных газов. Для проверки этого предположения нами была отмагничена проба КП. Результаты анализов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика магнитной и отмагниченной части КП

Коксовая пыль УСТК	Содержание в общей пыли, %	Технический анализ, %		
		A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>d</sup>
Общая	100,0	12,7	1,02	1,0
Магнитная часть	2,1	30,4	4,10	1,6
Отмагниченная часть	97,9	11,6	0,92	0,9

Данные таблицы показывают, что в КП УСТК содержится 2,1 % железосодержащей части с высокими показателями зольности и сернистости – соответственно 30,4 и 4,10 %. Выделение этой части из общей пыли УСТК позволило бы снизить зольность последней на 1,1 % и сернистость на 0,1 %, что важно при подаче КП в шихту для коксования.

При проведении ящичных коксований КП в шихту для трамбования добавляли в количестве 5, 10 и 15 % без ее отмагничивания. Влажность шихты с внесенной в нее КП соответствовала влажности производственной шихты и составила 11,4 %. Характеристика шихт с добавками КП УСТК представлена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика исследуемых шихт

Шихта, вариант	Технический анализ, %			Пластометрия, мм	
	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>d</sup> /V <sup>daf</sup>	x	y
<i>Без добавки КП</i>					
1.	7,9	0,88	27,5/29,9	36	14
<i>С добавками КП</i>					
2. (5 %)	8,1	0,89	26,2/28,5	34	14
3. (10 %)	8,4	0,90	24,8/27,1	31	13
4. (15 %)	8,6	0,91	23,4/25,6	30	12

Ящичные коксования проводили на бат. № 9 бис ПАО «Алчевсккокс» с трамбованием угольной шихты. Температура в контрольных обогревательных простенках печей на машинной и коксовой стороне составляла 1355 °С, оборот печей – 22,5 ч.

Ящики следующих размеров, мм: длина 410, ширина 170, высота общая 172, высота полезная 150 мм были изготовлены из металлического листа толщиной 2 мм. Внутри ящики были разделены продольной перегородкой на две равные части. Высота перегородки составляла 150 мм, высота угольной загрузки 145 мм. Крышка ящика и торцевые стенки были перфорированы отверстиями диаметром 5 мм с расстоянием между ними 20 мм. Боковые стенки и днище ящиков выполнены без перфорации. Перед загрузкой шихты торцевые стенки ящиков выстилали тонким картоном, что предотвращало высыпание ее через отверстия перфорации. Разделение ящиков на две узкие части связано с тем,

что в щелеобразной емкости легче достичь высокой плотности шихты при ручном трамбование. Кроме того, при этом появляется возможность коксовать в одном и том же ящике два варианта шихт (либо разных углей). Плотность шихты в ящике составляла 1,13 т/м<sup>3</sup> (в пересчете на влажность 10 %), т.е. такая же, как и плотность промышленного трамбованного пирога. По разработанной нами методике ящичных коксований трамбованных угольных шихт, трамбовочно-загрузочно-выталкивающую машину (ТЗВМ) переводили на ручное управление, подавали в трамбовочную камеру шихту в течение 20÷25 с, затем открывали переднюю дверь камеры и вносили внутрь ящики, которые укладывали на «подушку» шихты. Ящики располагали таким образом, чтобы их продольная ось была перпендикулярна стенам трамбовочной камеры и чтобы при загрузке трамбованного пирога в печь они находились напротив массовых отопительных вертикалов. На

$\frac{2}{3}$  периода коксования проводили замер температур обоих отопительных простенков печи. При проведении опыта было выбрано две печи, в которые помещали по 4 ящика, т.е. по два ящика на каждый вариант шихты. По истечении периода коксования коксовый шпиг с ящиками выдавался в тушильный вагон, подвергался мокрому тушению и выгружался на коксовую рампу. Обычно ящики указанных размеров больше, чем самые крупные куски кокса и поэтому они почти всегда полностью или частично находятся сверху массива кокса, расположенного на рампе, т.е. визуально видны. Для гарантированного полного тушения кокса в ящиках на них дополнительно подавали воду из шланга догущивания. Кроме того, этим достигалось существенное снижение температуры ящика, что повышало удобство извлечения его из массива кокса. После извлечения ящиков из рампы их доставляли в лабораторию, где кокс высушивали до полного удаления влаги, затем взвешивали с точностью до 1 г для определения выхода валового кокса от сухой шихты.

Перед испытанием кокса в барабане его предварительно подвергали механической обработке, имитирующей его разрушение при прохождении трактов и валкового грохота коксортировки. Для этого ящичный кокс сбрасывали четыре раза с высоты 1,83 м на металлическую плиту, толщиной 12 мм, что соответствует ДСТУ ISO 616 – 2002, но уменьшенной по площади в четыре раза по сравнению с ДСТУ. Высота и толщина бортов плиты соответствует ДСТУ. Такое уменьшение площади плиты объясняется тем, что масса опытного кокса из ящика (~ 6,5 кг) примерно, в четыре раза меньше, чем требуемая по ДСТУ (25 кг).

После предварительной механической обработки кокса путем сбрасывания его испытывали в лабораторном барабане по методике, описанной в [3]. Полученные данные представлены в табл. 4.

Из данных табл. 4 следует, что с увеличением добавки КП в шихту зольность и сернистость кокса несколько повышаются, при введении в шихту 5 % КП зольность увеличивается на 0,3 %, сернистость – на 0,01 %.

Показатель дробимости кокса  $M_{25}$  при добавке 5 % КП даже несколько (на 0,3 %) повышается, но показатель истираемости  $M_{10}$  при этом также повышается – на 0,5 %. При повышении содержания КП в шихте до 10 % и далее до 15 % механическая прочность кокса значительно снижается. Если при добавке КП в количестве 5 % механическая прочность кокса по ТУ У 322-00190443-114-96 соответствует марке КД 1, то при добавке 10 % КП – марке КД 2, а при 15 % добавки не укладывается даже в требования по марке КД 3.

Структурная прочность кокса  $P_c$  при увеличении добавки КП в шихту снижается в еще большей мере, чем механическая.

Изменения абразивной твердости  $T_a$  кокса не прослеживается. Причина отсутствия закономерности изменения  $T_a$  от величины добавки КП при снижении других прочностных характеристик кокса, по-видимому, кроется в самой методике определения этого показателя [4]. По этой методике испытанию подвергается проба кокса, измельченная до 100 % класса < 0,5 мм, т.е., по уровню крупности почти такая же, как и КП (см. табл. 2). За величину абразивной твердости  $T_a$  принимается потеря массы алюминиевой пластинки диаметром 25 мм после 500 оборотов ( $0,5 \text{ с}^{-1}$ ) вращения ее по поверхности кокса с нагрузкой на нее 0,25 мПа. Показатель  $T_a$  используется в основном для оценки степени готовности кокса, зависящей от конечной температуры коксования. В проводимых нами исследованиях использовалась одна и та же шихта, конечная температура кокса выдерживалась на одном и том же уровне, т.е. влияние этих факторов на  $T_a$  исключается.

Таблица 4

Качество кокса при различном количестве добавок к шихте для трамбования коксовой пыли УСТК

Кокс	Технический анализ, %			Механическая прочность, %				Пс, ГОСТ 9521-74, %	Абразивная твердость ( $T_a$ ) по Гинсбургу, мг	Реакционная способность (R), ГОСТ 10089-89, $\text{см}^3/\text{г}\cdot\text{с}$	Удельное электро-сопрот. ( $\rho$ ), ом·см	Плотность ( $d$ ), $\text{г}/\text{см}^3$		Пористость ( $\Pi$ ), %
	$A^d$	$S_t^d$	$V^d$	Лаб. барабан		ДСТУ 2206-93								
				$P_{25}$	$I_{10}$	$M_{25}$	$M_{10}$							
Производственный	10,8	0,79	0,8	91,1	6,5	88,7 <sup>1)</sup>	5,8 <sup>1)</sup>	85,1	108	0,30	0,23	1,150	1,866	38,3
<i>Ящичный*, содержание пыли в шихте, %</i>														
0 (эталон)	10,8	0,79	0,9	91,3	6,7	88,9	6,0	84,7	106	0,35	0,22	1,148	1,859	38,2
5	11,0	0,80	0,9	91,6	7,2	89,2	6,5	82,0	109	0,39	0,24	1,137	1,838	38,1
10	11,4	0,81	0,9	88,0	8,5	85,6	7,8	76,4	103	0,40	0,24	1,135	1,831	38,0
15	11,7	0,82	0,9	83,7	10,3	81,3	9,6	68,5	104	0,44	0,21	1,130	1,827	38,1

\* Для ящичного кокса показатели  $M_{25}$  и  $M_{10}$  – расчетные

Поэтому с добавлением в шихту КП показатель Та должен уменьшаться, однако этого не произошло. Определение твердости Та самой КП показало, что она существенно выше, чем полученных коксов и составляет 114 мг. При добавке КП в шихту прочность спека кокса снижается, что должно было бы отразиться на величине Та, однако добавка КП с повышенной твердостью нивелирует это снижение таким образом, что твердость кокса находится практически на одном и том же уровне. Учитывая это, при добавках КП или КМ в шихту твердость кокса необходимо определять другим методом, например, методом толчения.

Следует отметить, что также отсутствует какая-либо зависимость электросопротивления  $\rho$  кокса от содержания в шихте КП. В методике определения этого показателя также используется тонкоизмельченная проба кокса – класса < 0,2 мм.

Реакционная способность кокса R имеет четкую тенденцию к повышению при увеличении содержания КП в шихте. Кажущаяся и истинная плотность кокса заметно снижаются при повышении содержания в шихте КП. При этом пористость кокса остается без изменения.

Выходы валового кокса от шихты Вк, полученные на основании взвешивания сухого кокса из ящиков и количество загруженной в ящики сухой шихты, в зависимости от содержания в ней КП представлены в табл. 5. В таблице также приведены Вк, рассчитанные из условия, что КП является полностью инертным углеродистым материалом по формуле:

$$Вк_{расч} = \frac{100-m}{100} Вк_{факт} + m, \quad (1);$$

где: Вк<sub>факт.</sub> – выход кокса фактический из шихты без КП, %;

m – содержание КП в шихте, %.

Таблица 5

Выход валового кокса от шихты с добавками КП

Содержание КП в шихте, %	0	5	10	15
Вк <sub>факт.</sub> , %	75,4	76,8	78,3	80,0
$\Delta Вк_{факт.}$ , %	-	1,4	1,5	1,7
Вк <sub>расч.</sub> , %	-	76,6	77,8	79,0
$\Delta Вк_{расч.}$	-	1,2	1,2	1,2

По расчетным данным Вк должен увеличиваться на 1,2 % на каждые 5 % добавки в шихту КП, т.е. на 0,24 % на каждый 1 % КП. При добавке 15 % КП Вк должен по расчету составить 79,0 %, однако фактически он оказался на 1,0 % больше – 80,0 %. Это составляет в среднем 0,31 % увеличения Вк на каждый 1 % добавки КП, т.е. на 0,07 % больше, чем по расчету. При этом разница Вк<sub>факт.</sub> с увеличением содержания КП в шихте увеличивается. Превышение Вк<sub>факт.</sub> против Вк<sub>расч.</sub> связано с тем, что, по-видимому, часть парогазовых летучих продуктов коксования проникает в поры КП и осаждаются в них в виде тонких пленок.

Из литературных источников известно, что введение КМ в шихту, загружаемую насыпью, позволяет существенно уменьшить ее давление расприра. Так по данным авторов [5] сухой уголь загруженный насыпью без

добавки КМ развил давление расприра 88 кПа, а при добавке 10 % КМ измельченной до 98 % кл. < 0,5 мм – 25,5 кПа, при добавке 15 % той же КМ – 15,0 кПа. Следовательно, при добавке 15 % КМ при загрузке насыпью, давление расприра уменьшилось в 5,8 раза.

Данных о влиянии КП или КМ вводимой в шихту для трамбования на давление расприра в литературе не имеется. На унифицированной лабораторной установке УХИНа [6] нами были проведены такие исследования на трамбованной шихте (см. табл.3) с добавкой 5, 10 и 15 % КП. При этом определяли показатель  $P^{10}$ , т.е. то максимальное давление расприра трамбованного пирога, которое он развивает после свободного его расприра на 10 мм. Полученные данные представлены в табл. 6.

Таблица 6

Давление расприра трамбованной шихты с добавками КП

Содержание КП в шихте, %	0	5	10	15
Давление расприра, $P^{10}$ , кПа	6,8	6,5	6,0	5,0

Как видно из табл. 6, резкого влияния КП на давление расприра трамбованной шихты не наблюдается, хотя его снижение при 15 % добавки весьма существенное – составляет 36 %, но не в разы, как у авторов [5] при насыпной загрузке угля.

#### Выводы

1. Коксовая пыль УСТК имеет повышенную зольность по сравнению с товарным коксом за счет частичного ее озольнения в процессе тушения в УСТК и наличия тонкодисперсного железа вносимого в поток шир-

куляционных газов в результате абразивного износа футеровки пылеулавливающих циклонов и другого оборудования. Наличие железа является также причиной повышения сернистости КП УСТК.

2. Добавка в трамбованную шихту с  $y = 14$  мм КП в количестве 5 % не приводит к ухудшению показателя прочности кокса  $M_{25}$  и на 0,5 % повышает показатель истираемости  $M_{10}$ . Добавка КП в шихту в количестве 10 и 15 % приводит к существенному ухудшению механической прочности кокса, при добавке 15 % КП кокс не укладывается в требования по марке КДЗ технических условий. Структурная прочность кокса уменьшается синхронно с уменьшением механической прочности крупного кокса.

3. Твердость кокса, определяемая по методу Я.Е. Гинсбурга, с увеличением содержания в трамбованной шихте КП не изменяется, так как падение прочности спека кокса нивелируется наличием КП запеченной в коксе. Поэтому требуется разработка другого метода определения твердости кокса, например, методом толчения. Электросопротивление порошка кокса, полученного из шихты с различным содержанием КП также не изменяется.

4. Реакционная способность кокса с увеличением в трамбованной шихте содержания КП закономерно растет. Кажущаяся и истинная плотность кокса снижаются, однако пористость остается без изменения.

5. Выход валового кокса при добавках в шихту КП возрастает в среднем на 0,31 % на каждый 1 % добавки ее в шихту. При этом с увеличением количества добавки КП выход кокса возрастает: при 5 % добавки он составляет 0,28 % увеличения на 1 % КП, а при 15 % - 0,34 %.

6. Давление расприания трамбованной шихты с увеличением содержания в ней КП уменьшается. Добавка

к шихте 15 % КП приводит к снижению давления расприания на 36 % (с 6,8 до 5,0 кПа)

#### Библиографический список

1. Кузниченко В.М. Влияние коксовой мелочи на прочность и выход кокса при насыпной и трамбованной загрузке (Обзор) / В.М.Кузниченко, Н.И.Малько, С.С.Кубрак [и др.] // Углехимический журнал. – 2013. – № 3-4. – С. 16-21.
2. Цикарев Д.А. Производство доменного кокса с предварительным трамбованием загрузки коксовых печей и утилизацией рециркулирующей коксовой мелочи / Дмитрий Александрович Цикарев // Кокс и химия. – 1993. – № 11-12. – С. 30-32.
3. Кузниченко В.М. Влияние технологических факторов на прочность кокса и выход продуктов коксования из трамбованной шихты / В.М.Кузниченко, Ю.С.Кафтан, Н.И.Малько [и др.] // Углехимический журнал. – 2008. – № 3-4. – С. 49-55.
4. Гинсбург Я.Е. Исследование твердости материала кокса / Яков Ефимович Гинсбург // Технология и теплотехника коксования, вып.5. Харьков – Москва: Металлургиздат, 1952. – С. 123-138.
5. Дуззон Р. Кокс / Р.Дуззон, П.Фоиш, А.Буайе. – М.: Металлургия, 1975. – 520 с.
6. Кузниченко В.М. Лабораторный способ определения давления расприания коксующей угольной загрузки различной насыпной плотности / В.М.Кузниченко, И.В.Шульга, А.В.Сытник // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 29-33.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.2015

#### TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF COKE DUST OF COKE DRY QUENCHING IN CHARGE STAMPED COAL AT PRODUCTION OF BLAST-FURNACE COKE

© Kuznichenko V.M., PhD in technical sciences, Sytnik A.V. PhD in technical sciences, Kubrak S.S. (SE «UKHIN»)

*Results box-coking of stamp coal charge with the addition of coke dust CDCP showed the possibility of coke brand KD 1 by TU U 322-00190443-114-96 when adding to the charge in the amount of 5%. With the addition of 10% coke dust is possible to obtain coke brand KD 2. After addition of 15% good metallurgical coke cannot be obtained without changing of the grade of the coal blend.*

*Keywords: stamped coal charge, coke breeze, coke dust CDCP (installation of dry coke quenching) magnetization off, box-coking of coal, expanding coking pressure, blast furnace coke.*