УДК 665.7.032.56

Ковалев Родион Юрьевич, н.с., к.ф.-м.н.
(ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово)
Rodion Yuryevich Kovalev, Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences.
(FRC CCC SB RAS, Kemerovo)

ПОЛУЧЕНИЕ КОКСОВ ИЗ ШИХТ РАЗЛИЧНОГО МАРОЧНОГО СОСТАВА

THE PRODUCTION OF COKE FROM CHARCOALS OF VARIOUS QUALITY COMPOSITIONS

В работе представлены результаты коксования шихт различного состава с использованием бурого угля. Для полученных образцов кокса определены гранулометрический состав и индексы сбрасывания.

This article presents the results of coking charge mixtures of various compositions using brown coal and the production of coke. The granulometric composition and drop indices for the resulting coals have been determined.

Введение. При получении металлургического кокса применяют следующий состав шихты: 49,0 ÷ 55,3 % спекающей основы (СО) представленную углями марок ГЖ и Ж, 18,1 ÷ 36,0 % коксовой присадки (КП) представленную углей марками К, КО, ОС и 15,0 ÷ 34,8 % и отощающих добавок (ОД) –углей марками КС, КСН, СС [1]. Однако существуют работы, где в ОС заменяют угли марок КС, КСН и СС, низкометаморфизированными углями марок Д, ДГ [2,3]. Также существуют работы по коксованию шихт с добавлением угля марки Б (бурого угля) [4,5], и работы по коксованию бурых углей [6,7].

В данной работе показаны результаты экспериментов коксования шихт различного состава. Применение бурого при составлении шихты для коксования снизит потребление дефицитных коксующих и отощающих углей высокой степени метаморфизма, тем самым расширяя сырьевую базу коксования, что может существенно увеличить области применения бурого угля.

Характеристики углей для коксования. Данные технического анализа углей представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технический анализ используемых углей

№	Марка	Добывающее предприятие	W^a, %	A^d,%	V^{daf},%
1	Б	ООО Разрез "Кайчакский-1"	8,3	9,5	48,3
2	ДГ	ООО «Разрез Восточный»	5,1	12,8	40,4
3	Г	ОАО «Шахта Комсомолец» (Пласт Бреевский)	3,0	6,5	44,0

4	ГЖО	ООО «Инвест-Углесбыт»	4,3	3,7	42,8
5	Ж	ООО «Шахта им. С.Д. Тихова»	1,3	6,3	34,3
6	К	ООО «Участок «Коксовый»	1,2	4,8	20,8
7	ОС	ООО «Участок «Коксовый»	1,1	20,0	21,6
8	А	разрез Бунгурский	0,5	15	8,1

W^a – влажность определяли по ГОСТ Р 52911 – 2020. A^d – зольность угля определялась по ГОСТ Р 55661 – 2013; W^a – влажность определяли по ГОСТ Р 52911 – 2020. V^{daf} – выход летучих веществ угля, определялся по ГОСТ Р 55660 – 2013.

В таблице 2 представлены данные о значениях индексов Рога (RI) и вспучивания (SI), а также пластометрические данные для углей, входящих в СО и КП.

Таблица 2. Значения RI и SI, пластометрические данные для углей, входящих в СО и КП.

№	Марка угля	RI	SI	Y, мм	X, мм
1	Г	11,0	1,5	13	43
2	ГЖО	1,5	1,0	10	41
3	Ж	66	8,0	23	29
4	К	Н.О.	8,5	27	11
5	ОС	Н.О.	7,0	6	29

RI – индекс Рога, определяли по ГОСТ 9318 – 91, SI - индекс вспучивания по ГОСТ Р 59250 – 2020, X, Y - пластометрические характеристики определяли по ГОСТ 1186 – 2014.

Марочный и гранулометрический состав шихт представлен в таблице 3.

Таблица 3. Марочный и гранулометрический состав шихт.

Наименование	Марка угля	Класс частиц, мм	№ шихты		
			1	2	3
			Доля содержания в шихте, %		
Отощающая добавка	Б	3 – 10	3	6	10
	ДГ	3 – 10	8	14	0
	А	3 – 10	1	0	0

Спекающая основа	Г	0,5 – 3	5	5	11
		3 – 10	6	11	15
	ГЖО	0,5 – 3	3	0	0
		3 – 10	2	0	0
	Ж	0 – 3	20	48	40
		3 – 10	20	0	0
Коксовая присадка	К	0 – 3	14	6	14
		3 – 10	13	0	0
	ОС	3 – 10	5	10	10

Шихта-1 содержит ОД – 12 % (Б – 3 %, ДГ – 8 %, А – 1 %), СО – 56 % (Г – 11 %, ГЖО – 5 %, Ж – 40 %), КП – 32 % (К – 27 %, ОС – 5 %). Состав шихты-2 представлен ОД – 20 % (Б – 6 %, ДГ – 14 %), СО – 64 % (Г – 16 %, Ж – 48 %), КП – 16 % (К – 6 %, ОС – 10 %). Состав шихты-3 представлен СО – 66 % (Г – 26 %, Ж – 40 %), КП – 24 % (К – 14 %, ОС – 10 %), ОД – 10 % (Б – 10 %).

Шихты № 1-3 составлены по аналогии с марочным составам шихт, представленных в работах [2, 3, 8], где угли марок ДГ и Г частично заменяли бурым углем, а уголь марки Т – углем марки А. Уголь марки Г, входит в СО так как имеет высокие пластометрические характеристики Y=13 мм и X=43 мм. Для углей марок Ж и К использовали частицы класса 0 – 3 мм , что повышает прочность кокса, как показывают эксперименты в работах [8–10]. Для углей марок Г и ГЖО, использовали классы частиц 0,5 – 3 мм и 3 – 10 мм, а для углей Б, ДГ и А – использовали следующий класс частиц 3 – 10 мм. В случае угля марки Г выбор используемого класса связан с возможным не спеканием частиц размером менее 0,5 мм согласно [11], что может увеличить выход коксовой мелочи. Аналогично из тех же соображений использовали данный класс для угля марки ГЖО. Для углей марок Б, ДГ и А входящих в состав ОД использовали класс 3 – 10 мм. При коксовании шихты куски класса 3 – 10 мм для углей, входящих в ОД сдерживали вспучивание шихты, что уменьшало давление на стенки ящика для коксования и снижало риск разрушения коксового пирога, а значит, понижало выход коксовой мелочи.

Эксперименты по получению кокса проводили ящичным способом с помощью установки на базе печи ЭПЛК-2 [12]. Коксование производили путем помещения ящика с шихтой в разогретую до 1000 °С печь, и нагревом до достижения температуры на оси коксового пирога 1000 °С.

Основные результаты. Для полученных коксов измеряли выход кокса $B_к$, как процентное отношение массы получаемого продукта к массе исходной шихты. Гранулометрический состав кокса определяли путем ситового анализа. Значения индексов сбрасывания S_x определяли, как процентное отношение массы кокса после сбрасывания, оставшихся на сите (x – размер

сита, x=10; 25; 40 мм) к массе кокса до сбрасывания. В таблице 4 представлены основные характеристики полученных коксов.

Таблица 4. Выход и гранулометрический состав, а также прочности при сбрасывании для полученных коксов [13].

Название	$B_к$, %	Гранулометрический состав				S_{10}, %	S_{25}, %	S_{40}, %
		< 10 мм, %	10 – 25 мм, %	25 – 40 мм,%	> 40 мм,%			
Кокс-1	73,2	1,2	41,0	30,5	27,3	99,1	96,7	90,1
Кокс-2	70,1	1,2	1,4	3,4	94,0	99,3	97,1	92,7
Кокс-3	69,4	2,8	3,0	8,0	86,2	99,2	94,6	71,9

$B_к$ – выход кокса, S_{10}, S_{25}, S_{40} – индексы сбрасывания. Коксы-1, 2 и 3 получены соответственно из шихт-1, 2 и 3. Согласно данным приведенным в таблице 3, для шихты-1 характерно наивысшее содержание (67 %) углей марок К и Ж, а также максимальное (59 %) содержание класса 3 – 10 мм углей всех марок входящих в шихту, данные факторы и предположительно определяют высокий выход кокса-1.

Также следует учесть, что для коксов 2 и 3, содержание частиц размером менее 25 мм меньше 6 %, что дают перспективы использования исходных шихт в получении доменного кокса. Данный результат может быть связан исключением в исходных шихтах класса 3 – 10 мм для углей марок К и Ж, а класс частиц 0 – 3 мм данных марок способствовал успешному связыванию углей Г, ДГ и Б в коксовый пирог с минимизацией появления частиц размером менее 25 мм. Для всех коксов значение $S_{10} > 99$ %, что может говорить о получении полноценного кокса с максимальным сокращением разрушения до кусков размером менее 10 мм, при сбрасывании.

Наибольшие значения $S_{25} = 97{,}1$ % и $S_{40} = 92{,}7$ % наблюдались для кокса-2. Полученные результаты могут быть связаны с тем, что в исходной шихте содержание ОД – 20 %, что позволяло снизить вспучивание в процессе коксования. Также в исходной шихте максимально (75 %) содержание угля марки Ж (имеющего наивысший индекс Рога (RI=66)) в СО, что обеспечивало связыванию угольных частиц в прочный кокс. Полученные экспериментальные данные определяют возможность при минимальном (16 %) содержании КП, получать кокс с низким (2,6 %) содержанием коксовой мелочи, высоким (94 %) выходом кусков кокса > 40 мм, а также максимальными ($S_{40} = 92{,}7\%$, $S_{25} = 97{,}1\%$) значениями индексов сбрасывания.

Наименьшие значения $S_{25} = 94{,}6$ % и $S_{40} = 71{,}9$ % характерны для кокса-3. Данный результат можно объяснить со следующих позиций. Во-первых для исходной шихты характерно низкое содержание ОД (10 %) и ее марочный состав в виде угля марки Б. Низкое содержание ОД не ограничивало вспучивание шихты во время коксования, что предположительно приводило к повышению давления распирания и появлению трещин у кокса, что снижало прочности S_{25} и S_{40}. А также приводило к незначительному росту выхода

частиц размером < 10 мм за счет частичного разрушения коксового пирога [13].

Во-вторых, низкие значения S_{25} и S_{40} для кокса-3, могут связаны с минимизацией в СО исходной шихте угля марки Ж до 60 %. Данный факт также мог отразиться на снижении прочностных характеристик для получаемого кокса относительно коксов-1 и 2, где для исходных шихт содержание в СО угля марки Ж было выше (73 % для шихты-1 и 75 % для шихты-2) в сравнении с шихтой-3.

Выводы. Показаны возможности применения бурого угля в угольной шихте для получения коксов. Определены компонентные, марочные и гранулометрические составы шихт, обеспечивающие выход коксовой мелочи (< 25 мм) не более 6 %, что устанавливает возможность их использования для получения металлургического кокса. Получен кокс с максимальными (S_{40} = 92,7% и S_{25} = 97,1%) прочностями при сбрасывании из шихты с минимальным (16 %) содержанием коксовой присадки в виде углей марок К и ОС. Шихта с наименьшим (10 %) содержанием отощающей добавки в виде бурого угля и минимальным содержанием угля марки Ж (60 %) в спекающей основе, приводила к получению кокса с наименьшими индексами сбрасывания.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН № 126031018542-3.

Список литературы

1. Станкевич А.С. Рациональное распределение углей и состава шихт для коксования/ А.С. Станкевич, А.З. Смелянский, Н.А. Беркутов и др. // Кокс и химия. – 2003. – № 9. – С. 16-21.

2. Гуляев, В.М. Однородность состава угольной шихты в объеме загрузки как фактор воздействия на качество кокса / В.М. Гуляев, В.Д. Барский // Кокс и химия. – 2013. – № 7. – С. 21-26.

3. Мирошниченко, И.В. Теплота сгорания кокса. Сообщение 6. Способы повышения / И.В. Мирошниченко, Д.В. Мирошниченко, И.В. Шульга // Кокс и химия. – 2020. – № 8. – С. 20-30.

4. Русчев, Д.Д. Теоретическое обобщение процесса коксообразования различных видов топлива/ Д.Д. Русчев // Успехи химии.— 1974.— Т. XLIII, Вып. 10. —С. 1844-1864.

5. Мельничук, А. Ю. Некоторые вопросы получения металлургического кокса из шихт с участием бурых углей/ А. Ю. Мельничук, И. М. Глущенко // Химия твердого топлива. — 1969. —№ 1.— С. 15-25.

6. Mollah M. An attempt to produce blast furnace coke from Victorian brown coal/ M. Mollah, W.R. Jackson, M. Marshall, et al. // Fuel. 2015.— Vol. 148.— P. 104-111.

7. Тайц, Е.М. Кокс из бурых углей/Е.М. Тайц, И.А. Андреева, И.М. Борисова // Сборник научных трудов. Переработка и автоматизация технологических процессов. ИГИ. М.: ИОТТ, 1987. — С. 111-116.

8. Яценко, Ю.А. Оптимизация схемы подготовки угольной шихты в условиях углеподготовительного цеха ЧАО «Макеевкокс»/ Ю.А. Яценко, И.В.

Золотарев, Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В. // Кокс и химия. – 2016. – –№ 10.

9. Манзор, Д.Э., Грузман В.М. Оптимизация угольной шихты для коксования/ // Кокс и химия. – 2016. – № 10. – С.8-10.

10. Кривонос, В.В. Оптимизация схемы подготовки и уровня измельчения групп углей и шихты в углеподготовительном цехе № 1 ПАО «Алчевсккокс»/ В.В. Кривонос, А.Б. Данилов, Г.С. Вердибоженко, О.Б. Лозинский, И.Д. Дроздник, Ю.С. Кафтан, Н.Б. Бидоленко, К.Н. Сороктяга // Углехимический журнал. – 2013. – № 1-2. – С. 15-22.

11. Давидзон, А.Р. Технологические возможности улучшения качества кокса/ А.Р. Давидзон, И.Д. Дроздник // Кокс и химия. – 2006. – № 8. – С. 15-18.

12. Ковалев, Р.Ю. Влияние гранулометрического и марочного состава углей Кузбасса на выход и прочностные характеристики кокса / Р.Ю. Ковалев, А.П. Никитин // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2026. – № 1(63). – С. 20-32.

13. Ковалев, Р. Ю. Получение пеков из смол полукоксования углей и исследование их состава / Р.Ю. Ковалев, А.Н. Заостровский, А.П. Никитин // Кокс и химия. – 2024. – № 11. – С. 51-56.

14. Ковалев, Р.Ю. Оценка перспектив использования бурого угля в шихтах для коксования. 1. Гранулометрический состав и индексы сбрасывания / Р.Ю. Ковалев, А.П. Никитин, А.Н. Заостровский // Кокс и химия. – 2026. – № 4. – С. 20-25.