

ОПТИМИЗАЦИЯ УГОЛЬНОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОКСА РЯДОВОГО И УЛУЧШЕННОГО КАЧЕСТВА

OPTIMIZATION OF THE COAL RESOURCE BASE FOR OBTAINING THE COKE OF REGULAR AND IMPROVED QUALITY

© 2013 Гусак В.Г., Гаврилюк В.И.
(ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»),
Магомедов М.С., Пастернак А.А.
(ПАО «АКХЗ»),

Ковалев Е.Т. д.т.н., Дроздник И.Д. к.т.н.
(ГП «УХИН»)

Gusak V.G., Gavrilyuk V.I.
(LLC "METINVEST HOLDING")

Magomedov M.S., Pasternak A.A.,
(PJSC "AVDIIVKA COKE"),

Kovalev E.T., Doctor of Technical Sciences,
Drozdnik I.D., PhD in technical sciences
(SE "UKHIN")

Рассмотрены особенности формирования угольной сырьевой базы предприятий ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ» в условиях повышенных требований к качеству кокса и необходимости использования собственных и государственных угольных активов. Разработаны качественные параметры кокса улучшенного качества и требования к угольным ресурсам для его получения. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по подготовке углей и технологии их коксования, позволяющие получать кокс улучшенного качества.

В условиях ПАО «АКХЗ» проведены опытно-промышленные коксования по получению кокса улучшенного качества, подтвердившие возможность его производства из разработанных составов шихт с учетом рекомендуемой схемы их подготовки и теплотехнического режима коксования. Приведены фактические данные о качественной характеристике кокса улучшенного качества в цехах №№ 2-4 ПАО «АКХЗ» за январь – август 2013 г.

The features has been observed of the formation of the coal resource base of LLC "METINVEST HOLDING" enterprises in terms of increased quality requirements for coke and the need for using of private and state coal assets. The quality parameters have been developed for coke of improved quality as well, as the requirements for coal resources to obtain it and scientifically grounded recommendations for the preparation of coals and their coking technology, allowing to obtain better quality coke.

In terms of PJSC "AVDIIVKA COKE" the pilot-scale production of improved quality coke has been conducted, confirming the ability of its receipt from the developed compositions of coal blends, taking into account the recommended scheme of their preparation and heating mode of coking. The practical results have been shown for qualitative characteristics of the improved quality coke at the coke plants №№ 2-4 of PJSC "AVDIIVKA COKE" for January – August 2013.

Ключевые слова: уголь, кокс, сырьевая база, пылеугольное топливо, улучшенное качество, шихт, состав, производство кокса.

Keywords: coal, coke, raw material base, dust coal fuel, improved quality, blend, composition, coke production.

ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ» является интегрированной компанией, в состав которой входят угольные, коксохимические и металлургические предприятия. В частности, коксующиеся угли добываются на семи шахтах и обогащаются на трех обогатительных фабриках ПАО «Краснодонуголь» – ЦОФ «Самсоновская», ЦОФ «Дуванская», ЦОФ «Колосниковская». Доменный кокс производится на пяти коксохимических заводах – ПАО «АКХЗ», ПАО «ЗАПОРОЖКОКС», ПАО «Донецккокс», ПАО «Днепродзержинский КХЗ», ЧАО «ЕНАКИЕВСКИЙ КОКСОХИМПРОМ» и на коксохимическом производстве ПАО «МК «Азовсталь». Кроме этого металлургического предприятия в холдинг входят металлургические комбинаты ПАО «Запорожсталь», ПАО «ММК им. Ильича» и ПАО «Енакиевский металлургический завод». Все металлургические предприятия работают на вырабатываемом коксохимическим производством холдинга коксе, долевое участие которого в общем объеме по Украине превысило 50 %. Производство такого количества кокса следует обеспечить необходимым количеством коксующихся углей требуемого качества.

Следует иметь в виду, что металлургические предприятия холдинга взяли курс на расширенное внедрение технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи, которая существенно снижает расход кокса на тонну чугуна. В настоящее время данная технология используется на ПАО «Запорожсталь» и ПАО «ММК им. Ильича», а в 2014 г. вдувание ПУТ начнет доменный цех ПАО «Енакиевский металлургический завод». Металлургический комбинат «Азовсталь» планирует внедрение этой технологии в 2016 г. [1].

Особенностью использования технологии вдувания ПУТ являются специфические требования, предъявляемые к качеству кокса, а именно: кокс должен быть малозольным, низкосернистым, высокой механической прочности, низкой реакционной способности и высокой послереакционной прочности. Такой кокс получил наименование «кокс улучшенного качества».

Таблица 1

**Показатели качества улучшенного и рядового кокса предприятий
ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»**

Наименование показателей	Норма для марки	
	КДМ-1	КДМ-2
Зольность A^d (%), не более	11,4	11,4
Массовая доля общей серы S_t^d (%), не более	0,80	1,20
Массовая доля общей влаги W_t^t (%), не более	5,0	5,0
Выход летучих веществ V^{daf} (%), не более	0,8	0,8
Индекс реакционной способности кокса CRI (%), не более	35,0	40,0
Прочность кокса после реакции CSR (%), не менее	45,0	40,0
Показатель прочности M_{25} (%), не менее	88,5	88,0
Показатель прочности M_{10} (%), не более	7,2	7,6

В связи с тем, что доля кокса улучшенного качества от общего производства предприятий холдинга составляет 45-47 %, было принято решение о разработке Технических условий на кокс рядового и улучшенного качества, производимого предприятиями ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ» [2]. Этими ТУ определены основные параметры качества улучшенного (КДМ-1) и рядового (КДМ-2) кокса, представленные в табл. 1. Как видно из приведенных данных, кокс улучшенного качества (КДМ-1), должен содержать не более 0,8 % серы, а также характеризоваться повышенной механической (M_{25} , M_{10}) и послереакционной (CSR) или «горячей» прочностью и пониженной реакционной способностью (CRI).

Следует иметь в виду, что поскольку концепция развития доменного производства компании предусматривает внедрение технологии вдувания ПУТ на всех доменных печах металлургических предприятий, долевое участие кокса улучшенного качества в общем объеме производимого кокса будет постоянно расти. К 2020 г. производство рядового кокса будет прекращено.

Таким образом, высокие требования к качеству кокса определяют необходимость формирования угольной сырьевой базы углями соответствующего качества – с низким содержанием серы, невысокой зольностью, достаточной спекаемостью и соответствующим химическим составом минеральной части. Под требуемым химическим составом минеральной части (зола) углей имеют в виду отношение основных и кислых оксидов с учетом уровня зольности и выхода летучих веществ, которое определяют по формуле:

$$I_o = \frac{A^d \cdot (Fe_2O_3 + MgO + CaO + Na_2O + K_2O)}{(100 - V^{daf}) \cdot (SiO_2 + Al_2O_3)} \cdot 100 \quad (1),$$

где I_o – индекс основности; A^d – зольность концентрата; V^{daf} – выход летучих веществ из концентрата на сухое беззольное состояние.

Многочисленными исследованиями [3-6] показано, что для получения низкорекционного высокопрочного доменного кокса значение индекса основности не должно превышать величину 2,5. Анализ имеющихся ресурсов украинских коксующихся углей свидетельствует, что требуемыми качественными характеристиками ($S_t^d \leq 1,00$ %; $I_o \leq 2,5$) обладают угли только двух шахт – ш/у «Покровское» (бывшая ш. «Красноармейская Западная № 1», марка К) и ш. «им. Скочинского» (марка Ж). Учитывая большой спрос других металлургических компаний на эти угли, реальное их долевое участие в сырьевой базе предприятий может составить 13-15 %. Наличие собственных угольных активов украинских коксующихся углей марок Ж и К, полученных при обогащении рядовых углей шахт ПАО «Краснодонуголь», также определяет необходимость их использования в сырьевой базе (долевое участие в диапазоне 20-25 %). Кроме украинских, ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ» имеет американские угольные активы, представленные марками ВЛК (Велмор, Картер Роуг) и НЛК (Покахонтас), долевое участие которых в сырьевой базе составляет 5-10 %.

Следующей особенностью формирования сырьевой базы является необходимость использования украинских углей государственной формы собственности, что связано с обязательным соглашением об их поддержке компаниями горно-металлургического комплекса. Долевое участие этих углей (квота холдинга) составляет около 10-15 %. Таким образом, долевое участие всех названных углей в сырьевой базе коксохимического производства холдинга колеблется в пределах 48-75 %.

Представленные данные свидетельствуют, что недостающее до потребности количество углей может находиться в пределах 52-25 % и его возмещение может быть обеспечено только за счет привлечения импортных углей.

Научно-обоснованная практика составления шихт для коксования предполагает рассмотрение их как спекающую (основную) и отошающую (присадочную) части. К спекающей основе относят угли марок Ж, КЖ, К [7] и близкие им по свойствам зарубежные угли. Отошающими компонентами служат, как малометаморфизованные (Г, ГЖО), так и угли высоких стадий метаморфизма (КС, КСН, ОС).

Марочная структура имеющихся в распоряжении холдинга углей располагает импортными российскими газовыми углями требуемого качества, но не имеет достаточного количества углей спекающей основы и высокометаморфизованных отошающих компонентов. Отсутствие таких углей делает необходимым поиск и привлечение импортных углей требуемого качества. Следует также иметь в виду, что по мере увеличения производства кокса улучшенного качества часть углей марок Ж и К ПАО «Краснодонуголь» должна замещаться импортными углями этих же марок с низкими значениями показателя содержания серы и индекса основности.

Изучение мирового рынка коксующихся углей ближнего и дальнего зарубежья дает основание считать, что из России можно импортировать, в основном, угли газовой группы (Г, ГЖО) и присадочные отошающие компоненты (КС, КСН, ОС). Основными экспортерами углей основных спекающихся марок (Ж, КЖ, К) являются Австралия, США и Канада, имеющие достаточные для этого ресурсы и морской транспорт для их доставки на черноморское побережье Украины.

Кроме отмеченной особенности формирования современной сырьевой базы коксования, составление шихт из углей разных стран и бассейнов сопряжено с их совместимостью при прохождении всех стадий превращения углей в процессе получения требуемого продукта: переход угля в пластическое состояние – образование полукокса – формирование конечного твердого образования, то есть металлургического кокса.

Известно, что украинские коксующиеся угли Донецкого бассейна характеризуются высокими параметрами спекаемости и коксуемости основных спекающихся марок, имеют достаточно большой температурный интервал пластичности, высокие пластично-вязкие свойства. Данные угли являются петрографически однородными с содержанием витринита более 75 %. Эти свойства позволяют в шихты с данной спекающей основой вводить достаточно большое количество отошающих компонентов без ухудшения качества кокса. Особенностью большинства спекающихся донецких углей является так же то, что при их нагревании максимальное газовыделение происходит в температурном интервале пластичности (350-500 °С), что подтверждается температурой максимальной скорости потери массы (при проведении термогравиметрического анализа), находящейся в данном температурном интервале [8-9].

В реальных условиях создаваемое в камере коксования повышенное давление в процессе перехода и нахождения угля в пластическом состоянии способствует более глубокому взаимодействию твердой, жидкой и газообразной составляющих коксуемой массы, что обеспечивает высокую механическую прочность металлургического кокса.

Технологические свойства импортных, прежде всего российских, углей существенно отличаются от равнометаморфизованных донецких углей.

Большинство из них, особенно высоких стадий метаморфизма, характеризуются высоким содержанием мацералов группы инертинита, а сумма отошающих компонентов (Σ ОК), как правило превышает 25 %. Угли практически всех стадий метаморфизма требуют существенно большего расхода тепла для перехода в пластическое состояние, за исключением жирных углей, где расход тепла не так отличается от донецких.

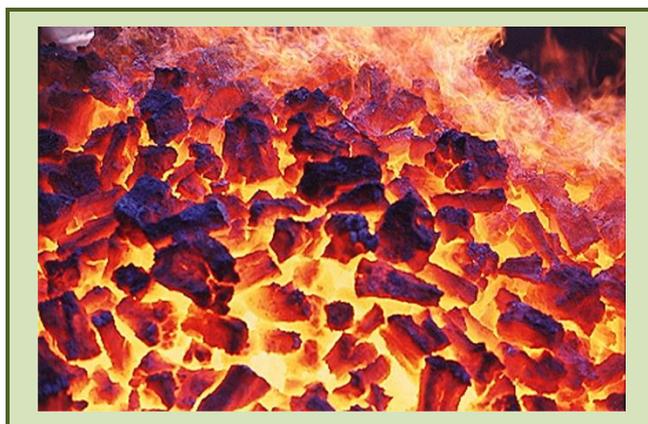
Такой вещественный состав импортных углей и необходимость повышенного расхода тепла для обеспечения их перехода в пластическое состояние потребовали существенного изменения схем подготовки и теплотехнического режима коксования шихт с участием таких углей более 10 %. Следует отметить, что используемые американские угли петрографически более однородны, но теплотехнический режим их коксования мало отличается от российских углей.

Таким образом, коксование шихт с участием импортных углей в объеме более 40 % потребовало перехода со схемы подготовки ДШ (дробление всей шихты) на схемы ГДК (групповое дробление компонентов) или ДДК (дифференцированное дробление компонентов). Потребовал корректировки и теплотехнический режим коксования таких шихт. Опытно-промышленные коксования шихт с участием разного количества импортных углей показали, что при доле их участия более 10 % каждый процент увеличения требует подъема температур на 1 °С.

Результаты проведенных в ГП «УХИН» исследований по оптимизации схемы подготовки и технологии коксования таких шихт были проверены в условиях ПАО «АКХЗ».

Авдеевский коксохимический завод является самым крупным коксохимическим предприятием холдинга, имеющим в своем составе обогатительную фабрику (УПЦ-1) и углеподготовительный цех № 2 (УПЦ-2), обеспечивающие четыре коксовых цеха шихтой. Производственная программа завода предусматривает выпуск доменного кокса улучшенного (батареи 5-9) и рядового (батареи 1-3) качества.

Отработка режимов подготовки осуществлялась в УПЦ-2. В процессе исследований подготовка углей велась по схеме дробления всей шихты и по схеме группового дробления компонентов. При переходе на схему ГДК был определен компонентный состав твердой группы углей (коэффициент размолоспособности по Хардгроу 50-65), в которую вошла газовая группа (марки Г, ГЖО) как украинских, так и импортных углей, а также российские петрографически неоднородные угли марок ОС, КС, КСН. В группу мягких углей вошли спекающиеся украинские угли марок Ж, К, ОС, а также импортные американские угли аналогичных марок (коэффициент размолоспособности по Хардгроу более 80). Для выравнивания нагрузки на обе линии добавлялись угли с коэффициентом размолоспособности в диапазоне 65-75.



Дробление твердых углей осуществлялось до уровня 80-82 % содержания класса 3-0 мм, а мягких – до 73-75 %. Общий помол готовой шихты содержал 79 ± 1 % этого класса крупности. Помол шихты, подготовленной по схеме ДШ, был на таком же уровне.

Таблица 2

Марочный состав и качественная характеристика производственной шихты батарей 5-9 ПАО «АКХЗ»

Марка	Страна-поставщик	Доля участия в шихте, %	Качественная характеристика					
			A ^d , %	S ^d _t , %	V ^{daf} , %	y, мм	R ₀ , %	I ₀
Г	Россия	32	7,9	0,57	40,5	10	0,63	2,23
Ж	Украина	16	8,2	1,40	31,2	23	1,06	3,87
ВЛК	США	12	10,0	0,71	30,6	18	1,08	2,39
НЛК	США	9	8,4	0,74	18,7	10	1,54	1,34
К	Украина	31	9,0	1,11	28,0	16	1,20	2,84
Шихта		100	8,5	0,90	31,5	15	1,01	2,58

Таблица 3

Средние показатели качества доменного кокса коксовых цехов №№ 2-4

Коксовый цех	Месяц	Качество кокса, %							
		W ^r	A ^d	S ^d _t	V ^{daf}	M ₂₅	M ₁₀	CRI	CSR
№2	Январь*	3,1	11,2	1,16	0,5	89,0	7,1	39,4	41,1
	Февраль	2,8	11,0	0,79	0,5	89,1	6,9	34,3	47,5
	Март	2,9	11,1	0,75	0,5	89,3	6,9	33,6	52,9
	Апрель	2,8	11,3	0,76	0,5	89,2	6,9	34,2	51,0
	Май	2,6	11,2	0,75	0,5	89,3	7,0	33,4	52,7
	Июнь	2,4	11,3	0,76	0,6	89,0	7,1	33,4	52,9
	Июль	2,0	11,1	0,75	0,5	89,7	6,9	33,1	52,1
	Август	2,9	11,2	0,75	0,5	89,4	7,0	33,1	52,3
№3	Январь	1,8	10,9	0,78	0,4	89,0	7,0	34,0	49,0
	Февраль	1,8	11,0	0,78	0,4	89,3	6,8	34,4	47,2
	Март	1,4	11,1	0,75	0,4	89,6	6,8	32,7	53,4
	Апрель	1,5	11,2	0,75	0,4	89,6	6,8	32,6	54,0
	Май	2,3	11,2	0,74	0,5	89,7	6,8	33,6	51,7
	Июнь	2,1	11,2	0,75	0,5	89,2	7,0	33,5	51,3
	Июль	2,4	11,1	0,74	0,5	90,0	6,7	33,3	52,0
	Август	2,7	11,2	0,75	0,4	89,4	6,9	31,1	54,8
№4	Январь*	0,3	11,0	1,12	0,3	89,4	6,6	39,7	41,2
	Февраль	0,3	10,9	0,78	0,3	89,1	6,9	31,8	55,9
	Март	0,2	10,9	0,74	0,3	89,3	6,8	31,0	57,4
	Апрель	0,2	11,0	0,74	0,3	89,3	6,7	30,0	57,9
	Май	0,2	11,3	0,73	0,3	89,6	6,7	32,6	55,0
	Июнь	0,2	11,2	0,74	0,3	90,2	6,7	33,2	52,4
	Июль	0,2	11,0	0,73	0,2	90,1	6,8	32,6	53,5
	Август	0,2	11,0	0,72	0,3	88,3	7,6	31,4	53,8

*Производство кокса рядового качества

Коксования проводили на батарее № 9 в два этапа: при действующем теплотехническом режиме коксования (для определения влияния только схемы подготовки) и с повышением температуры на 1 °С на каждый процент участия импортного угля. В результате проведенных коксований было установлено, что при использовании

группового дробления компонентов вместо схемы ДШ механическая прочность кокса улучшилась по показателю M_{25} на 1,5-1,8 %, по показателю M_{10} – на 0,8-1,2 %. Коксование шихт с участием 40-45 % импортных углей при установленном теплотехническом режиме коксования позволило получить кокс с показателями механической прочности: M_{25} – 87,5-88,5 %; M_{10} – 7,5-8,0 %. После поднятия температур коксования на 30-40 °С показатели механической прочности достигли значений: M_{25} – 89,0-90,0 %; M_{10} – 6,5-7,0 %.

Таким образом, опытно-промышленными коксованиями была показана возможность получения высокопрочного низкорреакционного кокса из шихт с участием импортных углей в условиях ПАО «АКХЗ» с соответствующей корректировкой схемы их подготовки и технологического режима коксования. При этом долевое участие импортных углей в обозначенных количествах обеспечивало показатели реакционной способности (CRI) и послереакционной прочности (CSR) соответственно менее 35 % и более 50 %.

Исходя из результатов проведенных исследований, была определена сырьевая база для производства кокса улучшенного качества из углей следующего марочного состава (табл. 2)

Данная сырьевая база за период январь – август 2013 года была достаточно стабильной и имела колебание марочного состава в пределах ± 2 %.

Комплекс мер, включающих разработку угольной сырьевой базы, схемы ее подготовки и теплотехнических условий коксования, позволил осуществить производство кокса улучшенного качества в коксовых цехах № 2 (батареи 5, 6), № 3 (батареи 7, 8), № 4 (батарея 9).

В табл. 3 представлены средние показатели качества доменного кокса улучшенного качества, произведенного этими цехами в январе-августе 2013 г.

Выводы

1. Использование технологии вдувания ПУТ в доменном производстве экономически эффективно только при условии использования кокса улучшенного качества.

2. В настоящее время технология вдувания ПУТ освоена на ПАО «Запорожсталь» и ПАО «ММК им. Ильича», которые снабжаются коксом улучшенного качества производства ПАО «ЗАПОРОЖКОКС» и ПАО «АКХЗ» (батареи 5-9).

3. Внедрение данной технологии на ПАО «Енакиевский металлургический завод» планируется в первом полугодии 2014 г., а на ПАО «МК «Азовсталь» – в 2016 г. После внедрения технологии на этих заводах весь производимый кокс должен характеризоваться улучшенным качеством.

4. Увеличение объемов производства кокса улучшенного качества потребует существенного уточнения угольной сырьевой базы с точки зрения возможности использования украинских (в том числе собственных активов ПАО «Краснодонуголь») углей и расширения использования углей дальнего зарубежья (Австралия, Канада и др.).

5. Следует иметь в виду, что перевод коксового цеха № 1 (батареи 1-3) ПАО «АКХЗ» на производство кокса улучшенного качества связан с подбором соответствующей сырьевой базы рядовых углей для их обогащения в УЩ-1. При этом необходимо учитывать не только качественную характеристику их технологических свойств, но и ситово-фракционный состав и категорию обогатимости.

Библиографический список

1. Дроздник И.Д. Угли для коксования и пылеугольного топлива / И.Д.Дроздник, А.Г.Старовойт, В.Г.Гусак, Ю.В.Филатов, А.В.Емченко. – Харьков: ИПЦ Контраст, 2011. – 187 с.
2. ТУ У 19.1 – 00190443 – 065:2012 Кокс доменный ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ». Опытная партия.
3. Дышлевиц И.И. Доменное производство Украины: новый подход к оценке качества кокса / И.И.Дышлевиц, Н.Н.Изюмский, В.А.Журавлев // Уголь в металлургии и энергетике: сборник докладов VIII межд. семинара. – Ялта, 2002. – С. 20-34.
4. Ковалев Е.Т. Особенности угольной сырьевой базы для производства доменного кокса / Е.Т.Ковалев, Ю.С.Васильев, И.Д.Дроздник, М.Л.Улановский // Углекимический журнал. – 2005. – № 3-4. – С. 21-25.
5. Опытные-промышленные исследования шихт с участием американского угля и полученного из них металлургического кокса в условиях ОАО «Авдеевский КХЗ»: отчет о НИР / УХИН. И.Д.Дроздник, Ю.С.Кафтан, Э.И.Торяник, Л.Н.Фидчунов. – Харьков, 2005. – № ГР 0105U004212. – 39 с.
6. Рыженков А.Н. Требования к качеству кокса для доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и промышленный опыт производства такого кокса в Украине / А.Н.Рыженков, А.И.Гордиенко, Е.Т.Ковалев, И.В.Шульга // Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна: труды межд. научн.-техн. конф. – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – С. 65-76..
7. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам: ГОСТ 25543-88. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 17 с. – (Межгосударственный стандарт).
8. Дроздник И.Д. О некоторых особенностях равновесноморфозованных углей разных угольных бассейнов / И.Д.Дроздник, М.Л.Улановский // Кокс и химия. – 1973. – № 3. – С. 6-10.
9. Справочник коксохимика. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию [под общ. ред. Борисова Л.Н., Шаповала Ю.Г.]. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. – 536 с.