

Н.М.Можаренко, А.Д.Джигота, А.И.Васюченко

**ОПЫТНО–ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОКСА,
ПОЛУЧЕННОГО ПО НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

*Институт черной металлургии НАН Украины
ОАО «Металлургический завод им. Петровского»*

Приведены результаты опытно–промышленных испытаний кокса, полученного по новым технологиям, в доменных печах. Показано, что все виды испытанного кокса (сформованный, из частично брикетированной угольной шихты, с нефтяной спекающей добавкой) превосходили товарный кокс по эффективности его использования в доменном производстве.

В настоящее время мировая практика не располагает технологиями производства металла, которые могли бы принципиально заменить доменный процесс, использующий в качестве обязательного шихтового компонента кокс. В то же время, резервы совершенствования технологии выплавки чугуна в доменных печах еще далеко не исчерпаны, а их направленность определяется сырьевой и топливной конъюнктурой.

Важность топливного крыла доменного производства не вызывает сомнений у специалистов. Поэтому вопросам качества кокса – основного топливного агента доменного процесса всегда, уделялось много внимания [1–5]. Прогресс мирового развития коксо–доменного производства вывел качество кокса на высокий уровень [6, 7], позволяющий стабильно использовать пылеугольное топливо в количестве более 200 кг/т чугуна. К сожалению, отечественная промышленность, в силу сложившихся обстоятельств, пока не может поддерживать качество кокса на уровне лучших мировых стандартов.

Вместе с тем, отечественные наука и производство имели высокие достижения в области разработки новых высокоэффективных технологий производства кокса и повышения его качества. Институт черной металлургии совместно с металлургическим заводом им. Петровского и другими организациями отрасли черной металлургии участвовали в большинстве промышленных испытаний новых видов кокса и обеспечивали научно–технические и производственные условия для проведения опытных доменных плавок. Так, на заводе были впервые испытаны: формованный кокс, кокс из частично брикетированной угольной шихты и кокс с нефтяной спекающейся добавкой (НСД) [8 – 10].

Прежде чем показать достижения проведенных работ, считаем необходимым обратить внимание на то, что практически все основные показатели работы доменных печей (продолжительность кампании, технико–экономические показатели, качество продуктов плавки др.) определяются, в значительной мере, уровнем качества кокса и в первую очередь его тер–

введение в шихту для коксования дополнительного количества углей марок Г, ДГ, СС, Т и аналогичных мер в рамках существующей технологии приводило, как правило, к системному снижению качества кокса, особенно по прочностным и технологическим характеристикам. Решение возникшей проблемы проводилось путем разработки высокопроизводительных процессов, позволяющих производить кокс высокого качества из угольных шихт пониженной спекаемости.

Одним из первых таких проектов, впервые в мире проведенных на металлургическом заводе им. Петровского, были опытно-промышленные испытания формованного кокса в 1966 – 1972 гг. Технология позволяла производить кокс из угольной шихты с участием только газовых (до 60%) и слабоспекающихся (до 40%) углей. Формованный кокс производился на опытно-промышленной установке Харьковского КХЗ. Ввод формованного кокса в доменную шихту взамен обычного начинали с 10%. Доменная печь в течение суток работала стабильно с тенденцией увеличения производительности. На следующие сутки долю формованного кокса увеличили до 25%. Формованный кокс подавали обычным способом через коксовый бункер. На этой шихте доменная печь стабильно проработала семь суток. В рамках этих экспериментов была выполнена также проверка возможности работы доменной печи при более высоком долевым участии формованного кокса (до 50% замены обычного кокса). На таком составе шихты оставшегося формованного кокса хватило только на пять смен работы доменной печи. В общей сложности за все периоды этой опытно-промышленной плавки (с заменой в шихте 10, 25 и 50% обычного кокса) было использовано около 3000 т формованного кокса следующего качества:

$$M_{40} = 85 - 93\%; \quad M_{10} = 3,4 - 8,8\%;$$

$$\text{зольность, } A^c: 5,81 - 10,60\%;$$

$$\text{сернистость, } S_r^d: 1,25 - 1,80\%.$$

Неравномерность качества формованного кокса была обусловлена причинами отработки технологии его производства. Несмотря на это, доменная печь работала ровно, без прогара фурм. Приведенная производительность печи в опытном периоде, по сравнению с сопоставимым, возросла на 4,3%, а приведенный удельный расход кокса снизился на 1,5 кг. При замене 50% обычного кокса формованным отмечалась тенденция снижения перепада давлений по высоте печи, что свидетельствовало об улучшении газопроницаемости столба шихтовых материалов [11].

На основе результатов этой опытной плавки был сделан вывод о пригодности формованного кокса как нового вида топлива для доменного производства, а также о необходимости проведения повторных опытных плавков на 100% формованного кокса. Такие испытания были проведены на заводе в период с 18 по 27 декабря 1972 г. (ДП №6). Следует отметить, что отличительными признаками формованного кокса от обычного являлись следующие особенности, характеризующие его качество. Формован-

ный кокс представлялся, в основном, двумя классами крупности 80 – 60 мм и 60 – 40 мм, в то время, как у слоевого кокса имеются еще классы > 80 и 40 – 25 мм, содержание которых составляет ~30%. Формованный кокс с размерами отдельностей 41x61x62 мм обладает и меньшим, чем слоевой кокс, выходом мелких фракций <25мм. У формованного кокса с размерами отдельностей 33x57x58 мм содержание класса <25мм, наоборот – на 1,7% выше, чем у слоевого кокса. Равномерность гранулометрического состава по крупности формованного кокса в 3,3 раза выше, чем у кокса слоевого процесса коксования. Товарный формованный кокс обладает значительно более высокой механической прочностью по показателям дробимости (M_{40} у формованного кокса выше на 11,6%, а M_{25} – на 20%, чем у слоевого кокса). Средневзвешенные показатели качества товарных коксов (слоевого и формованного), применявшихся в опытно-промышленных испытаниях, приведены в табл.2.

Таблица 2.Сводные данные по показателям качества товарных коксов.

№ № пп	Показатели качества	Средневзвешенные показатели качества		
		Кокс доменный КХЗ им. Калинина	Сформованный кокс	
			размер 41x61x62	размер 33x57x58
1	Гранулометрический состав (%) по классам крупности, мм:			
	>80	8,2	–	–
	80–60	20,0	22,7	3,5
	60–40	51,4	65,9	82,8
	40–25	17,3	8,5	8,9
	25–0	3,1	2,9	4,8
2	Механическая прочность, %			
	M40	78,6	87,9	–
	M25	85,6	89,0	87,6
	M10	6,8	7,5	8,8
3	Технический анализ, %			
	W_t^r	4,5	6,2	14,6
	A_t^α	9,6	11,2	13,9
	V^{daf}	0,59	1,53	1,59
	S_t^d	1,69	1,41	1,33
4	Коэффициент равномерности по крупности кусков, K_p	3,12	10,40	9,70

Переходный период (одни сутки) печь работала при 50% замены обычного кокса, а затем была переведена на 100% формованного кокса с сохранением той же системы загрузки. Результаты показали, что применение 100% формованного кокса не вызвало существенных изменений режима плавки. Расход дутья (1250 – 1400 м³/мин.), его давление (1,97 –

2,06 ати), температура (1038 – 1040°C) и перепад давления газов в печи (0,93 – 1,1 ати) находились в таких же пределах, как и при обычной работе печи. Практически на протяжении всего опытного периода ход печи оставался ровным, устойчивым, а тепловое состояние горна – нормальным. Продукты плавки были хорошо прогреты и легко обрабатывались. Чугун содержал: 0,74% Si; 0,54% Mn; 0,032% S. Температура – 1452°C, а температура шлака – 1504°C. Производительность печи в среднем составляла 1328 тонн в сутки (в сопоставительном периоде – 1324 тонны в сутки). Удельный расход сухого кокса в опытном периоде составил в среднем 533,6 кг на тонну чугуна (в сопоставительном – 536 кг на тонну чугуна). Исследования свойств формовок, извлеченных из фурменной зоны и шлаковой летки, показало, что каких-либо существенных превращений пористого тела формованного кокса не наблюдается и в этом отношении формованный кокс не отличается от слоевого. Результаты опытно-промышленных исследований формованного кокса подтвердили высокий уровень технологических возможностей формованного кокса, производимого из некоксуемых углей и что этот кокс может быть полноценным заменителем слоевого кокса [12].

В 70-х годах прошлого века получила промышленное развитие технология производства кокса из частично брикетированной угольной шихты. Наиболее широкое распространение эта технология получила в Японии [13, 14], где около 40% доменного кокса производилось с применением новой эффективной технологии подготовки угольной шихты для коксования. Применение этой технологии позволило Японии не только сократить импорт дорогостоящих хорошо коксующихся углей, но при этом – заметно улучшить качество доменного кокса.

Как вариант решения аналогичных отечественных проблем сырьевой базы коксования в начале 80-х годов определилась настоятельная необходимость осуществить промышленную проверку способа частичного брикетирования угольной шихты и установить эффективность работы доменных печей на коксе, полученном по новой технологии. Комплексный промышленный эксперимент впервые в СССР проводили в августе – сентябре 1982 г. на базе предприятий Украины (брикетная фабрика ”Донецкая”, Днепропетровский коксохимический завод, а также металлургический завод им. Петровского). Научно-техническое обеспечение проекта осуществляли УХИН и ИЧМ. Угольная шихта, из которой производились брикеты, содержала суммарное количество донецких углей марок К и Ж – 25,5%, а доля таких брикетов в шихте для коксования составляла 32%. Несмотря на это коксование опытной угольной шихты позволило улучшить физико-механические свойства кокса (табл.3).

В опытный период кокс из частично брикетированной угольной шихты поступал на все доменные печи завода. Чугун, как в опытном, так и в сопоставительном периодах, выплавлялся заданного качества: Si = 0,56 – 0,65%; Mn = 0,52 – 0,57%; S = 0,023 – 0,031% в соответствии с ТУ.

Таблица 3. Показатели качества опытного и обычного коксов из частично брикетированной угольной шихты

№№ пп	Наименование показателей	Опытный кокс	Обычный кокс
1	Гранулометрический состав (%) по классам крупности, мм:		
	>80	7,7	8,0
	80–60	27,0	29,2
	60–40	45,2	44,7
	40–25	16,9	15,1
	25–0	3,2	3,0
2	Механическая прочность, %		
	M25	86,7	86,1
	M10	6,8	7,8
3	Технический анализ, %		
	W_t^r	3,7	3,4
	A^α	10,6	10,8
	V^{daf}	1,0	0,9
	S_t^d	1,50	1,50

Результаты показали, что доменные печи на опытном коксе работали заметно ровнее. Уменьшилось количество случаев тугого хода, практически отсутствовали осадки, продукты плавки обрабатывались нормально. Заметно снизилось количество мусора, выносимого из печи, и уменьшился вынос колошниковой пыли, а также (почти в 2 раза) содержание в ней углерода. Анализ технико-экономических показателей работы доменных печей показал, что средневзвешенное повышение производительности составило 1,54%, а удельный расход кокса снизился, в среднем, на 14,8 кг на тонну чугуна, что свидетельствовало о высокой технико-экономической эффективности применения частичного брикетирования угольной шихты для улучшения качества кокса [15].

Еще один масштабный инновационный коксо-доменный проект, осуществленный в опытно-промышленном варианте с участием металлургического завода им. Петровского, заключался в организации и проведении доменных плавки с участием опытного кокса из угольных шихт с нефтяной спекающей добавкой (НСД) взамен части хорошо спекающихся углей. Работа была проведена в январе – феврале 1989г. Опытный кокс с НСД-40 производился на всех коксовых батареях Днепропетровского КХЗ, опытные доменные плавки проводили на доменных печах №5 и №6, которые работали только на коксе с НСД. В опытном периоде в марочном составе плановой угольной шихты было увеличено содержание газовых

углей (на 10%) добавлен НСД–40 (10%) и уменьшено количество жирного угля (на 20%). Качество кокса в опытном и сопоставительном периодах характеризовалось следующими показателями (табл.4).

Таблица 4. Показатели качества кокса в период испытания технологии производства кокса с НСД.

№№ пп	Наименование показателей	Опытный кокс	Обычный кокс
1	Гранулометрический состав (%) по классам крупности, мм:		
	>80	5,6	5,8
	80–60	26,2	27,5
	60–40	49,1	49,7
	40–25	16,3	14,2
	25–0	2,8	2,8
2	Механическая прочность, %		
	M25	88,1	87,9
	M10	6,7	6,7
3	Технический анализ, %		
	W_t^r	4,6	4,7
	A^{α}	9,5	10,2
	V^{daf}	1,0	1,0
	S_t^d	1,74	1,75

Результаты испытаний показали, что кокс, полученный из шихт, содержащих нефтяную спекающую добавку НСД–40, несмотря на близкие значения стандартных показателей (см. табл. 4), обладал разнонаправленно измененными физико–химическими свойствами. Так, горючесть у опытного кокса была повышена (~ на 22%), а реакционная способность, наоборот, снизилась (~ на 18%) за счет обусловленного данной технологией изменения макроструктуры кусков кокса. Такое разнонаправленное изменение реакционных свойств опытного кокса оказывало и соответствующее воздействие на параметры высокотемпературной зоны доменной печи, а именно: понижение реакционной способности приводило к расширению зоны косвенного восстановления оксидов, вследствие чего вязкопластичная зона поднималась вверх, а повышение горючести кокса приводило к расширению объема фурменного очага с максимальной температурой (при увеличении количества дутья, что имело место в опытном периоде).

Применение в доменной плавке опытного кокса с НСД, позволило улучшить показатели плавки за счет стабилизации процесса, положения

вязкопластичной зоны и повышения ее газопроницаемости. В результате применения этого кокса в доменных печах завода им. Петровского было достигнуто снижение удельного расхода кокса на 1,0 – 1,5 кг и установлена возможность увеличения этого показателя до 5 – 6 кг/т чугуна при условии соблюдения постоянства качества прочих шихтовых материалов доменной плавки и соответствующей коррекции подачи.

Следует отметить, что программы описанных экспериментальных исследований не предусматривали (целенаправленно) оптимизацию управления ходом доменной плавки. Вместе с тем, если применить накопленные позже знания, и научные разработки как по системам загрузки шихтовых материалов в доменную печь, так по высокотемпературной зоне [16–18], то эффективность доменной плавки на таких коксах будет выше.

Таким образом, выполненные широкомасштабные опытно–промышленные исследования новых технологий производства доменного кокса на действующих доменных печах показали высокую их эффективность как в части расширения сырьевой базы коксования, так и за счет улучшения качества кокса. По–нашему мнению данная коксо–доменная проблема на сегодняшний день для Украины представляется не менее остро. Считаем целесообразным изыскать возможность воплощения результатов проведенных опытно–промышленных испытаний новых технологий получения качественного доменного кокса в реальных проектах внедрения в коксохимическом и доменном производстве.

1. Луазон Р., Фош П., Буайе А. Кокс. – М.: Metallurgy, 1975. – 520 с.
2. Миура Е. Современное состояние и исследование свойств доменного кокса. //Тэцу то хаганэ. – 1981. – Т.67. – № 3. – С.468–479.
3. Сысков К.И. Теоретические основы оценки и улучшения качества доменного кокса. – М.: Metallurgy, 1984. – 182 с.
4. Джигота А.Д., Костенко Г.С., Коваленко П.Л. Характеристика качества кокса некоторых металлургических предприятий // Вопросы производства чугуна в доменных печах. Сб.тр. ИЧМ – М.: Metallurgy, 1984. – С.64–72.
5. Рудыка В.И. Роль и значение технологической базы на нынешнем этапе развития металлургического и коксового производства. // Углекимический журнал. – 2006. – № 5, 6. – С.3–8.
6. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. – М.: Metallurgy, 1988. – 176 с.
7. Повышение качества кокса для доменных печей, работающих с высокими расходами пылеугольного топлива. / Ред. Г.С.Ухмылова // Новости черной металлургии за рубежом. – 1997. – № 2. – С.140–145.
8. Исследование качества ответной партии формованного кокса / Ю.Б.Тютюнников, Л.Г.Синцера, В.В.Гавриков и др. // Кокс и химия. – 1974. – № 6. – С.13–18.

9. *Влияние* марочного состава брикетируемых угольных смесей на прочность кокса / А.Г.Дюканов, Ю.С.Кафтан, Ю.В.Бирюков и др. // Кокс и химия. – 1983. – № 1. – С.6–7.
10. *Роль* мезогенных добавок в образовании структуры кокса / Е.М.Тайц, А.И.Ольферт, Г.И.Еник и др. // Кокс и химия. – 1984. – № 12. – С.22–25.
11. *Использование* формованного кокса в доменной печи / М.С.Шептовицкий, Э.И.Торяник, А.Д.Джигота и др. // Бюл. «Черметинформация». – 1987. – № 21. – С.31–35.
12. *Свойства* формованного металлургического кокса, полученного из смеси слабоспекающихся углей Донецкого бассейна / Э.И.Торяник, М.С.Шептовицкий, А.Г.Вольфовский. и др. // Кокс и химия. – 1986. – № 8. – С.8–12.
13. *Ухмылова Г.С.* Развитие процесса коксования частично брикетированной шихты в Японии. // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». – 1978. – № 11. – С.54–55.
14. *Nakamura N., Togino G.* Philosophy of bending coal and coke making technology in Japan. // Coal, Coke and Blast Furnace. – 1977. – P.93–106.
15. *Промышленная* проверка эффективности способа частичного брикетирования угольной шихты со связующим / Ю.С.Васильев, А.Г.Дюканов, Ю.Г.Кафтан и др. // Кокс и химия. – 1985. – № 6. – С.10–14.
16. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
17. *Джигота А.Д., Можаренко Н.М.* Исследование поведения кокса в высокотемпературной зоне доменной печи. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.тр. ИЧМ. – 2001. – Вып.4. – С.21–26.
18. *Особенности* проявления физико–механических и физико–химических свойств кокса в доменной печи / А.Д.Джигота, Н.М.Можаренко, А.С.Нестеров и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.тр. ИЧМ. – 2005. – Вып.11. – С.27–33.

Сведения об авторах:

Можаренко Николай Михайлович, канд.техн.наук, зав.отделом металлургии чугуна Института черной металлургии НАН Украины;

Джигота А.Д., канд.техн.наук, ст.научн.сотр. Института черной металлургии НАН Украины

Васюченко А.И. канд. техн. наук, металлургический завод им. Петровского.