

УДК 669.162.2:669.16.114.12

А.С.Нестеров, А.Д.Джигота (*Институт цеонолї металлургїи НАН України*)
Е.Н. Виноградов, А.А.Калько, Е.В.Карунова *ОАО «Северсталь»*
А.М.Кузнецов, А.В.Зубенко (*ПАО «ЕМЗ»*), **О.А.Калько** (*ЧГУ*)

СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ ФУРМЕННОГО КОКСА ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ РАЗЛИЧНОГО ОБЪЕМА

Целью исследования являлось экспериментальное определение свойств фурменного кокса ПАО «Енакиевский металлургический завод» для изучения различных аспектов доменной плавки. Показано, что в результате прохождения кокса через доменную печь в раздувочный период его металлургические свойства существенно изменяются: степень озоления составляет 13,7-30,0 %; истираемость увеличивается более чем на 30 %, кокс измельчается до среднего размера 35,5 мм, что на 35,7% меньше его исходного значения.

Ключевые слова: **фурменный кокс, гранулометрический состав, истираемость, степень озоления**

Состояние вопроса. Ряд нарушений работы доменных печей, особенно таких, как загромождение горна, горение фурм и связанные с этим негативные последствия в значительной степени связаны с разрушением кокса в высокотемпературной зоне доменной печи. Способность кокса противостоять разрушительным воздействиям температуры, механическим и химическим нагрузкам определяется его термомеханическими свойствами. Вместе с тем, большое влияние на поведение кокса в этой зоне оказывают также шихтовые и технологические параметры плавки. Как показали лабораторные исследования дренажной способности мелких фракций кокса (размер зерен 5-7 и 7-10 мм), при проплавке конечного доменного шлака основностью 1,2 через коксовую насадку в случае снижения порозности слоя кокса на 10% скорость дренажа шлака снижается на 7-8%, а масса остатка шлака на коксе увеличивается на 15% [1].

В условиях реальной плавки наиболее точную и достоверную оценку качественному потенциалу конкретного кокса в условиях работы конкретной доменной печи дает состояние ее фурменного кокса, прошедшего все стадии доменной плавки. Только фурменный кокс в наиболее полном объеме отражает весь комплекс воздействий плавки и дает возможность экспериментального изучения различных аспектов проявления отдельных процессов доменной плавки [2]. Кроме того, в доменном процессе кокс выступает основным регулирующим агентом доменной шихты на всех горизонтах печи, который по мере опускания в горн работает в очень жестких термохимических условиях, осложненных механическими воздействиями шихтовых материалов. Поэтому для успешного обеспечения этой работы доменный кокс должен обладать достаточно высоким уровнем физико-механических и физико-химических

свойств, то есть устойчивой к изменениям вещественной структурой по мере продвижения кокса в горн доменной печи, вплоть до сгорания в фурменных очагах. Целостность вещественной структуры куска кокса обуславливает общность свойств, а также химического состава и предопределяет их проявление в конкретных технологических условиях.

Общая схема поведения кокса в доменной печи (от колошника до фурм) характеризуется рядом этапов трансформации его состава и свойств, которые по мере опускания кокса в доменной печи изменяются под воздействием тепловых, физико-химических и механических воздействий условий плавки. Результаты исследования влияния реакционной способности кокса на процесс формирования газовой фазы при работе доменной печи на комбинированном дутье показали, что реакция Будуара наиболее активно протекает в высокотемпературной части горна и приводит к существенным изменениям металлургических свойств кокса [3].

Дать точную характеристику термомеханических и физико-химических свойств кокса (даже в условиях термообработки в среде CO_2), а также выработать правильные требования к ним сложно из-за того, что с точки зрения комплексного взаимодействия окислов углерода с коксом и другими шихтовыми материалами недостаточно изучены цепочки вторичных реакций продуктов газификации и их количественные соотношения. Имеющие место «переплетения» первичных и вторичных реакций сильно усложняют анализ динамики газообразования и ее роли в общем процессе плавки. Вместе с тем, влияние термомеханических свойств кокса особенно проявляется во всех зонах доменной печи, имеющих температуру более 800°C , где железорудные материалы уже потеряли свои начальные кондиции.

Целью исследования являлось экспериментальное определение свойств фурменного кокса ПАО «Енакиевский металлургический завод» для изучения различных аспектов доменной плавки.

Методика настоящих исследований предусматривала определение данных, позволяющих дать сравнительную оценку тем изменениям, которые претерпевает кокс в доменной печи на пути от колошника до фурменных очагов. Поэтому исследовали те характеристики кокса, которые обеспечивают выполнение основных возложенных на него функций в процессе доменной плавки: химический состав (зольность), физико-механические (гранулометрический состав и истираемость, а также показатели CSR и CRI по ASTM D 5341). Кроме того, оценивали свойства кокса, характеризующие его устойчивость в условиях доменного процесса.

В качестве фурменного кокса отбирались первичные пробы фурменных материалов доменной плавки, взятой при замене фурм. Затем, после охлаждения, вручную выбирали куски кокса, а оставшаяся мелкая фракция первичной пробы разделялась с помощью магнита на металлизированную и углеродистую (немагнитную) части. Пробы

фурменного кокса для исследований были отобраны из зоны воздушных фурм доменной печи № 3 (объем 1719 м³) ПАО «ЕМЗ» в период ее задувки (октябрь 2011 г.) и из зоны воздушных фурм № 15 и № 18 доменной печи № 3 в апреле 2013 года. На ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ» пробы фурменного кокса отбирали из фурмы №15 ДП № 1 (объем 1033 м³) в декабре 2013 г. и из воздушной фурмы № 21 ДП № 5 (объем 5500 м³) в феврале 2014 г.

Для оценки гранулометрического состава проб металлургического и фурменного кокса производили их рассев на ситах с квадратными отверстиями 80; 60; 40; 25; 10 мм для определения классов крупности - менее 10; 10-25; 25-40; 40-60; 60-80 и более 80.

Исследования механической прочности (истираемость) фурменного кокса ПАО «ЕМЗ» проводились по методике ИЧМ в шестигранном барабане, в котором на кокс накладываются только истирающие воздействия (200 оборотов). Результаты испытаний кокса доменной печи № 3 ПАО «ЕМЗ» в период ее раздувки показали, что значение истираемости для загруженного кокса составляло 13,5%, а для фурменного 17,7%; следовательно, степень разупрочнения кокса по механической прочности составляла 31%.

Изложение основных результатов исследования.

Результаты исследований физико-механических свойств кокса на всех объектах приведены в табл.1. Полученные данные свидетельствуют о значительном разупрочнении металлургического кокса в результате прохождения всех основных зон доменной печи.

Как отмечалось выше, надежной сопоставительной характеристикой химической устойчивости кокса в условиях доменной плавки может служить его зольность. Для экспериментального исследования зольности кокса использовали усредненные пробы фракций отобранного на всех объектах металлургического и фурменного кокса.

Для более объемной характеристики озоления кокса в результате прохождения в зону фурменных очагов определяли зольность поверхностного слоя (на глубине до 12 мм) кусков кокса размером более 40 мм и их средней (внутренней) части. Результаты исследований зольности кокса, проведенных на доменной печи № 3 ПАО «ЕМЗ» в период ее раздувки приведены в табл.2. Изменения, которые претерпевает кокс в различных частях горна доменной печи, определяли по состоянию фурменного кокса из фурм № 15 и № 18 доменной печи № 3 ПАО «ЕМЗ».

Несколько отличную картину озоления кокса в результате прохождения в зону фурменных очагов показывают результаты определения общей зольности отдельных фракций фурменного кокса. Результаты этих исследований приведены в табл.3. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлены параметры свойств фурменного кокса ПАО «ЕМЗ».

Таблица 1. Сравнительные характеристики свойств металлургического и фурменного кокса меткомбинатов «Северсталь» (ДП 5 и ДП 1) и «ЕМЗ» (ДП 3 в период ее задувки - октябрь 2011 г. и в апреле 2013 года фурмы № 15 и № 18)

Кокс	Гран.состав (%) по классам крупности, мм					Средн. диам., мм	CSR, %	Порозн. см ³ /кг
	+80	60-80	40-60	25-40	-25			
«С-ст.» ДП5 скипов.	8,8	55,9	24,7	9,5	1,1	62,6	42,0	1078
«С-ст.» ДП5 25-40	-	-	5,3	75,2	19,5	29,5	50,4	745
«С-ст.» ДП5 фурмен.	-	-	20,6	33,4	46,0	26,9	32,4	747
«С-ст.» ДП1 металл.	26,3	41,4	24,0	4,1	1,8	64,9	33,0	1109
«С-ст.» ДП1 фурменн.	-	-	18,0	46,0	35,95	28,5	22,8	727
«ЕМЗ» металл.	0,7	54,3	42,7	1,8	0,5	60,6	40,0	1035
«ЕМЗ» фурмен.(раздувка)	-	-	29,7	58,1	12,0	35,3	-	795
«ЕМЗ» фурма 15	-	3,6	41,8	40,0	14,6	38,3	-	817
«ЕМЗ» фурма 18	-	-	21,2	20,3	58,5	33,1	-	716

Таблица 2. Характеристики зольности загруженного и фурменного кокса в период раздувки доменной печи № 3 ПАО «ЕМЗ»

Кокс	Зольность, %	Степень озоления, %
Загруженный	11,7	0
Фурменный:		
наружн.часть	15,2	30,0
внутренняя часть	13,3	13,7
среднее значение	14,3	21,8

Таблица 3. Характеристики зольности отдельных фракций фурменного кокса из фурм №15 и № 18 доменной печи № 3 ПАО «ЕМЗ»

Фракция кокса, мм	Фурма 15		Фурма 18	
	Зольность, %	Степень озоления, %	Зольность, %	Степень озоления, %
Менее 10	16,8	44,0	23,3	99,0
10 - 25	12,1	3,2	12,8	9,0
25 - 40	13,2	13,0	13,1	12,0
40 - 80	12,0	3,0	11,9	2,0

Полученные данные показали, что в результате прохождения кокса через доменную печь (в раздувочный период) он претерпевает следующие изменения металлургических свойств:

- степень озоления кокса, характеризующая величину расходования углерода, составляет 13,7-30,0 %;

- истираемость кокса возрастает с 13,5 до 17,7% и увеличивается более чем на 30 %:
- кокс измельчается до среднего размера 35,5 мм, что на 35,7 % меньше его исходного значения.

Что касается кокса при обычной работе доменной печи № 3, то в этом случае он измельчается до среднего размера 38,3 мм (фурма 15) и 23,3 (фурма 18) что на 31-58 % меньше его исходного значения.

Планом эксперимента на доменных печах № 1 и № 5 ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ» предусматривалось более тщательное исследование мелких фракций фурменного кокса. Дополнительно определяли химический состав и зольность узких фракций (мм): 10-25; 6,3-10; 0,5-6,3 и – 0,5. Результаты приведены в табл.4-5.

Таблица 4. Характеристики зольности кокса доменных печей №1 и №5 ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ», в том числе и мелких фракций

кокс	ДП 1		ДП 5	
	Зольность, %	Степень озоления, %	Зольность, %	Степень озоления, %
загружаемый	11,7	0	11,6	0
фурменный: 40-60	-	-	11,6	0
25-40	36,6	215	12,3	6
10-25	35,9	207	10,9	- 5
6,3-10	56,7	385	14,0	21
0,5-6,3	71,2	508	51,9	35
-0,5	74,9	540	38,4	23

Данные табл.5 служат показательным примером избирательной абсорбции отдельных элементов коксом. Так, сравнительный анализ вещественного состояния металлургического и фурменного коксов показывает резкое увеличение в золе фурменного кокса окислов железа, марганца, щелочных элементов и цинка при снижении концентрации окислов кремнезема и глинозема.

Заключение. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлены параметры свойств фурменного кокса ПАО «ЕМЗ» и ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ», показывающие, что в результате прохождения кокса через доменную печь он претерпевает неравномерные изменения исходных характеристик металлургических свойств, в том числе, по отдельным фурмам доменной печи.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости прогнозирования и учета возможных осложнений технологических условий высокотемпературной зоны доменной печи при конкретном наборе шихтовых материалов плавки.

Таблица 5. Химический состав золы металлургического и фурменного кокса ДП № 5 ОАО «Северсталь»

Название химического элемента	Кокс из фурм. ошага						Скиповый кокс						Кокс. фракция	
	фр. 0,5	фр. 0,5-6,3	фр. 6,3-10	фр. 10-25	фр. 25-40	фр. 40	фр. 2,5-40	фр. 2,5	фр. 40-50	фр. 60-80	фр. +80	фр. 2,5	фр. 2,5-40	фр. +40
SiO ₂	29,53	29,98	34,5	47,4	45,1	49,24	52,80	52,62	52,30	52,01	52,73	50,67	48,81	50,81
Al ₂ O ₃	15,9	16,3	21,15	22,7	22,81	22,79	24,26	24,12	24,25	23,56	24,33	23,73	23,00	24,15
Fe ₂ O ₃	41,6	38,77	27,77	14,88	16,93	14,12	11,84	11,33	12,1	12,73	11,64	14,39	15,84	13,17
CaO	4,75	7,27	7,25	4,25	5,74	3,73	3,13	3,5	3,06	3,32	3,26	3,14	3,99	3,48
SO ₃	1,16	1,07	0,731	0,524	0,629	0,624	1,58	1,58	1,45	1,37	1,47	1,53	2,00	1,55
P ₂ O ₅	0,548	0,31	0,459	0,596	0,512	-	-	0,791	0,789	0,751	-	0,878	0,809	0,887
K ₂ O	1,89	1,68	1,77	3,16	2,55	2,87	1,29	1,20	1,30	1,30	1,32	1,10	1,03	1,23
TiO ₂	0,868	0,918	1,25	1,36	1,35	1,36	1,33	1,32	1,35	1,29	1,31	1,28	1,21	1,31
MgO	1,88	2,08	3,29	2,54	2,47	2,56	1,49	1,63	1,48	1,55	1,55	1,36	1,33	1,48
Na ₂ O	0,677	0,595	0,420	1,35	0,699	1,30	0,990	1,00	0,946	0,944	0,908	1,04	0,967	0,990
BaO	0,173	0,146	0,253	0,269	0,28	0,280	0,282	0,270	0,267	0,257	0,297	0,272	0,271	0,271
SrO	0,126	0,125	0,178	0,211	0,184	0,185	0,153	0,178	0,194	0,165	0,180	0,199	0,181	0,201
ZnO	0,201	0,0601	0,0309	0,0153	0,0188	0,0252	0,0096	0,0275	0,0138	0,0226	0,0887	0,0133	0,0453	0,033
V ₂ O ₅	0,0607	0,0665	0,0739	0,0636	0,0711	0,0608	0,0574	0,0532	0,0606	0,0575	0,0488	0,0525	0,0453	0,056
MnO	0,360	0,383	0,615	0,313	0,372	0,233	0,131	0,112	0,129	0,124	0,12	0,100	0,108	0,131
NiO	0,0329	0,0167	0,0251	0,03	0,0285	0,0369	0,0370	0,0354	0,03923	0,0398	0,0379	0,0378	0,0380	0,0397
CuO	0,0546	0,0295	0,0181	0,0189	0,0202	0,0243	0,0221	0,0213	0,0189	0,0214	0,0174	0,0157	0,0209	0,0245
Cr ₂ O ₃	0,0522	0,0553	0,0556	0,0704	0,0888	0,0890	0,0562	0,0577	0,049	0,0497	0,0531	0,043	0,0402	0,0477
ZrO ₂	0,0436	0,0491	0,0584	0,0715	0,0680	0,0657	0,0504	0,0571	0,0646	0,0525	0,0504	0,0605	0,0565	0,0601

При угрозе переизмельчения кокса следует обращать особое внимание на обоснование и подбор шлакообразующих материалов для обеспечения достаточного дренажа жидких продуктов плавки в горн доменной печи. Исследование процессов фильтрации расплавов через коксовую насадку в доменной плавке при применении пылеугольного топлива./А.С. Нестеров, В.И. Большаков, Н.М. Можаренко и др.// Сб.научных трудов ИЧМ. Выпуск 19, 2009 г., с. 90-99.

1. *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.научн.тр. ИЧМ. – Вып. 11. – 2005. – С.27-33.
2. *Джигота А.Д.* Исследование влияния газификации кокса на изменение свойств его пористого тела. // Кокс и химия. – 1983. – №4. – С.19-22.

*Статья рекомендована к печати
канд.техн.наук. Н.М.Можаренко*

*О.С.Нестеров, О.Д.Джигота, Е.Н.Виноградов, А.О.Калько,
Є.В.Карунова, О.М.Кузнецов, О.В.Зубенко, О.О.Калько*

Стан та особливості властивостей фурменого коксу для доменних печей різного обсягу

Метою дослідження є експериментальне визначення властивостей фурменого коксу ПАТ «Єнакіївський металургійний завод» для вивчення різних аспектів доменної плавки. Показано, що в результаті проходження коксу через доменну піч в раздувочний період його металургійні властивості істотно змінюються: ступінь озолення становить 13,7-30,0%; стираність зростає більш ніж на 30%, кокс подрібнюється в середньому до розміру 35,5 мм, що на 35,7% менше його вихідного значення.

Ключові слова: фурменний кокс, гранулометричний склад, стираність, ступінь озолення

*A.S.Nesterov, A.D.Djigota, E.N.Vinogradov, A.A.Calco, E.V.Karunova,
A.M.Kuznetsov, A.V.Zubenko, O.A.Calco*

State properties and characteristics of the blast coke blast furnaces of various sizes

The aim of the study was the experimental determination of the properties of the blast coke PJSC "Enakiyev Steel" for the study of various aspects of the blast furnace. It is shown that as a result of passing through the blast furnace during the blowing metallurgical coke properties vary considerably: 13,7-30,0% is ash; wearability increases by more than 30%, the coke is crushed to an average size of 35.5 mm, which is 35.7% less than its original value.

Keywords: tuyere coke, grain size, wearability, the degree of ashing