

УДК 669.162.2:669.162.16

А.С.Нестеров¹, А.Д. Джигота¹, Е.Н.Виноградов², А.А.Калько²,
Е.В.Карунова², А.В. Зубенко³; О.А. Калько⁴,

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЗКИХ КЛАССОВ КРУПНОСТИ КОКСА

¹ *Институт черной металлургии НАН Украины,*
² *ОАО «Северсталь»,* ³ *ПАО «ЕМЗ»,* ⁴ *ЧГУ*

Проведены исследования узких классов крупности металлургического кокса по методике ИЧМ и закономерностей их изменения при разрушении кусков крупного кокса на примере кокса высокого качества, кокса текущего потребления ПАО «ЕМЗ» и кокса сухого тушения ОАО «Северсталь». Изучены тенденции перераспределения гранулометрического состава металлургического кокса различного качества в результате разрушения его узких классов крупности в «Микум»-барабане и получены количественные характеристики их устойчивости в этих условиях. Показано, что основной вклад в замусоренность доменной шихты коксовой мелочью вносит кокс крупностью >80 мм.

Ключевые слова: металлургический кокс, гранулометрический состав, качество,

Состояние вопроса. Одним из фундаментальных положений высокоэффективной работы доменной печи и основной технологической задачей является условие поддержания ее ровного хода, под которым подразумевается, в первую очередь, стабильность газодинамического режима плавки и нормального теплового состояния процесса. Важнейшим условием поддержания ровного хода доменной печи служит стабильность газопроницаемости загрузки на всех горизонтах печи, которая обеспечивается коксом, который выступает основным регулирующим агентом.

Эффективность использования кокса имеет огромное значение при решении проблем энергосбережения в доменном производстве, поскольку кокс используется для удовлетворения всех энергетических нужд доменного процесса. В доменной печи вещество кокса претерпевает ряд преобразований, которые приводят к образованию новых специфичных для доменной плавки форм углерода, вплоть до графита. Устойчивость матрицы кокса в жестких термохимических условиях доменного процесса определяется уровнем его физико-механических и физико-химических свойств [1-3].

На ОАО «Северсталь» были проведены всесторонние исследования металлургического кокса на пути от загрузки в скипы до фурменных очагов. Как было показано ранее [4], в результате прохождения кокса через доменную печь он претерпевает значительные и неравномерные изменения исходных характеристик металлургических свойств. Так, степень озоления фурменного кокса закономерно увеличивается у более мелких фракций и колеблется в значительных пределах. Поэтому важнейшим

свойством доменного кокса является его способность сохранять в наибольшей мере свою исходную крупность.

Целью исследования является определение характеристик металлургических свойств классов крупности, определяемых согласно технического регламента заводского испытания кокса по методике ИЧМ. Для установления параметров изменения вещественной структуры кокса по мере его продвижения в горн доменной печи исследовали металлургическую ценность отдельных классов крупности кокса.

Важным является выбор критериев оценки, поскольку недостаточно ориентироваться только на показатели физико-механических свойств или другие локальные характеристики, а необходимо учитывать весь комплекс свойств, в том числе, и вещественной структуры, ответственных за поведение кокса в доменном процессе. При этом в условиях работы на коксах от различных поставщиков важно использовать всеобъемлющие характеристики потребительских свойств кокса. Одну из основных характеристик представляет гранулометрический состав кокса. Поэтому одной из основных задач данного исследования являлось установление свойств узких классов крупности кокса, составляющих его насыпную массу, и закономерностей их изменения при разрушении кусков крупного кокса.

Методы исследования.

Исследовали узкие классы крупности металлургического кокса по методике ИЧМ. Для исследования выбрали три вида кокса:

- 1 - кокс (ПАО «ЕМЗ») текущего периода;
- 2 - кокс высокого качества,
- 3 - кокс сухого тушения (ОАО «Северсталь»).

Физические параметры характеризовались влажностью (W_p , %), зольностью (A_c , %), пористостью (Π , %), кажущейся плотностью ($\gamma_{нас.}$, г/см³) и структурной прочностью ($СП$, %). Разрушение узких классов крупности кокса производили в «Микум»-барабане при 100 его оборотах. Испытывали пробы узких классов крупности, мм: >80; 60-80; 40-60; 25-40. Масса проб 50 кг. Результаты представлены в табл. 1- 3.

Основные результаты исследований.

В результате проведенных исследований были получены данные, позволившие установить металлургическую ценность узких классов крупности кокса. Более мелкие классы (табл. 1) содержат больше влаги и обладают более высокой структурной прочностью благодаря кажущейся плотности. Вместе с тем, структурная прочность класса 25-40 мм, как правило, ниже средних значений у класса 40-60 мм. Это объясняется тем, что в процессе разрушения товарного кокса этот класс крупности постепенно пополняется от более крупных непрочных кусков. Причем эти закономерности в общем виде повторяются для всех типов исследованного кокса.

Таблица 1.- Физические свойства узких классов товарного доменного кокса.

Вид кокса	Класс крупности, мм	Влажность, %	Зольность, %	Кажущаяся плотность, г/см ³	Пористость, %	Структурная прочность, %
1	25-40	4,5	13,6	1,15	42	79,1
	40-60	4,0	13,5	1,11	44	78,0
	60-80	3,8	13,2	0,97	51	76,8
	>80	3,5	13,1	0,95	52	76,4
2	25-40	3,2	13,0	1,10	44	84,1
	40-60	3,0	12,8	1,02	48	83,4
	60-80	2,7	12,6	0,96	52	78,4
	>80	2,5	12,5	0,96	52	78,2
3	25-40	-	11,5	1,01	49	85,8
	40-60	-	11,6	0,99	50	85,9
	60-80	-	11,9	0,96	52	85,9
	>80	-	11,6	0,94	53	84,6

Таблица 2. Результаты испытания механической прочности узких классов крупности кокса в «Микум»-барабане.

Вид кокса	Класс крупности, мм	Гранулометрический состав (%) по классам крупности, мм							Показатели прочности, %		
		>80	60-80	40-60	25-40	10-25	<10	M 25	M 10		
1	25-40	-	-	-	85,5	8,0	6,5	85,5	6,5		
	40-60	-	-	59,2	30,0	4,0	6,8	89,6	6,8		
	60-80	-	42,0	21,6	22,8	4,0	9,6	86,4	9,6		
	>80	12,8	34,0	19,6	16,8	4,4	12,4	83,2	12,4		
2	25-40	-	-	-	86,0	8,0	6,0	86,0	6,0		
	40-60	-	-	70,5	20,0	2,5	7,0	90,5	7,0		
	60-80	-	52,0	21,0	14,5	4,6	7,9	87,5	7,9		
	>80	31,2	28,8	15,4	10,5	5,3	8,8	85,9	8,8		
3	25-40	-	-	-	87,5	6,2	6,3	87,5	6,3		
	40-60	-	-	73,0	16,8	3,4	6,8	89,8	6,8		
	60-80	-	51,2	22,3	13,5	5,0	8,0	87,0	8,0		
	>80	33,5	25,3	17,5	10,2	4,7	8,8	86,5	8,8		

Таблица 3.- Свойства узких классов крупности кокса (проба 1), образовавшихся в результате разрушения крупных кусков в «Микум»-барабане.

Класс крупности, мм исходный	Класс крупности, мм образованный		Влажность, %	Зольность, %	Какаяющаяся плотность, г/см ³	Пористость, %	Структурная прочность, %	М 25 сборной пробы	М 10 сборной пробы
	< 10	20-25							
40-60	< 10		7,8	18,7	-	-	73,5	-	-
	20-25		5,1	14,5	1,17	41	76,7	-	-
	25-40		4,0	13,8	1,15	42	82,5	-	-
	40-60		3,8	13,5	0,98	51	80,3	92,0	6,4
60-80	< 10		6,9	17,5	-	-	70,3	-	-
	10-25		4,2	15,1	1,17	41	75,0	-	-
	25-40		3,8	14,1	1,15	42	81,7	-	-
	40-60		3,8	13,8	0,98	51	78,5	-	-
>80	60-80		3,5	13,0	0,95	52	78,3	87,1	7,6
	< 10		5,3	16,0	-	-	65,8	-	-
	10-25		4,0	13,3	1,15	42	70,3	-	-
	25-40		3,5	12,8	1,10	44	82,0	-	-
>80	40-60		3,3	12,8	0,99	50	79,3	-	-
	60-80		3,2	12,2	0,97	51	79,0	-	-
	>80		3,0	12,1	0,95	52	77,6	86,2	8,5

Анализ результатов испытаний механической прочности узких классов крупности кокса в «Микум»-барабане (табл. 2) показывает, что значения прочности М25 и М10 дифференцируют коксы различного качества. Так, наиболее высокими различиями значений прочности отличались крупные классы крупности (>80 и 60-80 мм) кокса высокого качества (2,3). Кокс классов крупности 40-60 и 25-40 мм в меньшей степени зависит от общего уровня качества. Однако разница в качестве как общей массы кокса, так и его отдельных узких классов крупности хорошо видна на примере формирования гранулометрического состава кокса в результате разрушения его крупных классов крупности. Характерным показателем этого процесса может служить доля сохранившегося количества кокса каждого класса крупности после испытания в барабане. По этому критерию кокс текущего производства соответствует коксу высокого качества только на 60% по крупным классам крупности (>60 мм) и на 80% - по средним (25-60 мм).

В таблице 3 представлены свойства узких классов крупности кокса, образовавшихся в результате разрушения крупных кусков в «Микум»-барабане при испытании кокса текущего производства. Приведенные данные по механической прочности (М 25 и М 10) относятся к результатам повторного испытания кокса этих классов крупности, собранных после первого этапа испытаний в «Микум»-барабане и показывают существенную прибавку прочности: по М 25 - до 3% и М 10- до 4% (в наибольшей степени для класса крупности >80 мм).

По показателям влажности и зольности необходимо отметить более существенное их возрастание в направлении от крупного кокса к мелкому. Это свидетельствует о том, что при разрушении кокса в мелочь отходят более высокозольные частички, следовательно, процесс разрушения кусков происходит по линиям полей их минеральной анизотропии. Подтверждением этому служат и результаты по структурной прочности узких классов крупности кокса.

Результаты выполненных на данном этапе исследований позволили установить следующие характеристики узких классов крупности кокса.

Класс >80 мм.

Исходный кокс этого класса крупности представляет собой продолговатые трапециевидные куски с явными трещинами. При испытании этого кокса в «Микум»-барабане в разряд более мелких кусков переходит 65-83% исходной массы, а мелочи < 10 мм образуется 8,8-12,4%. Этот кокс обладает самой высокой пористостью и самыми низкими значениями зольности, влажности и структурной прочности пористого тела. Повторное испытание этого класса крупности в «Микум»-барабане показало прибавку его прочности примерно на 30% (относительных) по М 10.

Класс 60-80 мм.

Степень преобразования этого класса после испытания в «Микум»-барабане составляет 49-58%. Разрушившиеся куски в основном образуют

класс крупности 40-60 мм и мелочь <10 мм, причем, последней на 0,8-1,8% меньше, чем при разрушении кусков >80 мм. По показателям физических свойств этот класс крупности занимает промежуточное положение между классами >80 мм и 40-60 мм. Повторное испытание этого класса в «Микум»-барабане свидетельствует о его упрочнении примерно на 20%.

Класс 40-60 мм.

При механических испытаниях этого кокса в «Микум»-барабане он проявляет высокую устойчивость к разрушениям. Степень преобразования начальной крупности 27-40%, мелочи <10 мм образуется 6,8-7%, что меньше, чем у кокса крупностью 60-80 мм. Физические свойства этого класса крупности отличаются высокими значениями структурной прочности (за счет повышенной кажущейся плотности). Причем диапазон изменений свойств этого класса для коксов различного качества меньший, чем у крупных классов крупности. То же наблюдается и при повторном испытании в «Микум»-барабане. Прибавка прочности составляет только 6%.

Класс 25-40 мм.

Этот кокс обладает наибольшей устойчивостью к разрушению в «Микум»-барабане (степень преобразования до 15%). Необходимо отметить, что все испытанные пробы этого класса давали почти одинаковые показатели разрушения. Так, диапазон изменения показателя выхода мелочи <10 мм находится в пределах 6-6,5%. Структурная прочность этого класса крупности высокая, однако этот кокс характеризуется и повышенной по отношению к крупным классам влажностью и зольностью. Повторное испытание этого класса крупности кокса показало, что прибавка прочности наиболее значительно наблюдается по М 25.

Выводы.

Исследование узких классов крупности кокса показало:

1. Класс крупности кокса >80 мм из коксов различного исходного качества оказался наиболее нестабильным по механической прочности и его участие в насыпной массе металлургического кокса приводит к увеличению замусоренности доменной шихты коксовой мелочью (на каждый процент кокса >80 мм количество мелочи, образующейся в печи, соответственно изменяется на 0,25%).

2. Наибольшей устойчивостью к разрушению в «Микум»-барабане (степень преобразования 12,5-15,0% и 27,0-40,0% соответственно) обладают фракции кокса крупностью 25-40мм и 40-60мм. Структурная прочность этого класса крупности высокая, однако эти фракции кокса характеризуются и повышенной по отношению к крупным классам, влажностью и зольностью. Что касается конкретно класса 25-40, то по физико-механическим характеристикам этот класс крупности, как наиболее стабильный (независимо от происхождения), представляет ценность для использования в доменном процессе по специальным приемам.

3. Поскольку мелкие фракции кокса при разрушении его крупных кусков пополняются осколками повышенной зольности, то для исключе-

ния негативных последствий попадания этого кокса в доменную печь необходимо принять меры для максимального отсева этой фракции перед наполнением скипов.

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. – 2005. – Выпуск 11. – 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.
3. *Можаренко Н.М., Джигота А.Д.* Роль и поведение кокса в высокотемпературной области доменной печи при использовании топливных добавок // Угле-химический журнал. 2002. № 3-4, с.25-28.
4. Состояние и особенности фурменного кокса из доменных печей различного объема. / А.С.Нестеров, А.Д.Джигота, Е.Н.Виноградов и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн.тр.ИЧМ. – 2014. – Выпуск 28. – С.110-116.

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

*О.С.Нестеров, О.Д.Джигота; Є.Н.Віноградов, А.О.Калько, О.В.Карунова,
О.В.Зубенко; О.О. Калько*

Металургійні властивості вузьких класів крупності коксу

Проведено дослідження вузьких класів крупності металургійного коксу за методикою ІЧМ і закономірностей їх зміни при руйнуванні шматків крупного коксу на прикладі коксу високої якості, коксу поточного споживання ПАТ «ЄМЗ» і коксу сухого гасіння ВАТ «Северсталь». Вивчено тенденції перерозподілу гранулометричного складу металургійного коксу різної якості внаслідок руйнування його вузьких класів крупності в «Мікум»-барабані і отримано кількісні характеристики їх стійкості в цих умовах. Показано, що основний внесок в засміченість доменної шихти коксової дрібнотою вносить кокс крупністю > 80 мм.

Ключові слова: металургійний кокс, гранулометричний склад, якість

A.S.Nesterov, A.D. Dzhigota, E.N.Vinogradov, A.A.Kalko, E.V.Karunova, A.V. Zubenko, O.A. Kalko

Metallurgical properties of narrow classes sized coke

The investigations of narrow size fractions of metallurgical coke as described in the ISI-technique and the regularities of their changes in the destruction of large pieces of coke on the example of high quality coke, coke current consumption of PJSC «EMZ» and coke dry quenching JSC «Severstal». xamined trends in the redistribution of particle size distribution of different quality metallurgical coke in the destruction of its narrow size fractions in the «Mikum» -barabane and obtain quantitative characteristics of their stability under these conditions. It is shown that the main contribution to litter in the domain of the charge coke breeze makes coke particle size > 80 mm.

Keywords: metallurgical coke, grain size, quality