

УДК 669.162.1

С.Л. Ярошевский, д.т.н.
Н.С. Хлапонин, к.т.н.
А.М. Кузнецов, к.т.н.
В.П. Падалка, к.т.н.
А.В. Кузин, к.т.н.,

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМАЛЬНОМ РАЗМЕРЕ КУСКОВ СКИПОВОГО КОКСА

Донецкий национальный технический университет, e-mail: yarosh@fizmet.dgtu.donetsk.ua
 Донецкий институт железнодорожного транспорта
 ОАО "Енакиевский металлургический завод"

В работе показано, что оптимальный нижний и верхний размеры кусков скипового кокса равны соответственно 35-40 и 80 мм, при обязательном выделении из отсева кокса коксового орешка и введении его в доменную печь в смеси с железорудной шихтой.

В связи с существенным снижением в последние годы расхода кокса и повышением механических и химических нагрузок на кокс, являющихся следствием значительного повышения эффективности применения дополнительных видов топлива, возникла острая необходимость повышения прочностных качеств кокса, что в значительной мере может быть достигнуто за счет современной подготовки кокса к плавке и оптимизации его фракционного состава.

Высокая эффективность подготовки кокса к плавке и оптимизации его фракционного состава подтверждена как теоретически, так и промышленным опытом [1-5].

1. Минимальный размер кусков скипового кокса

Оптимальная величина минимального размера кусков скипового кокса была определена по 3-м критериям.

Во-первых, при размере куска отсеиваемого кокса 32 мм происходит перелом кумулятивной кривой грансостава: до размера куска 32 мм каждый (один) последующий миллиметр увеличения диаметра куска приводит к увеличению количества отсева на 0,31 %; в диапазоне же диаметра куска 32-40 мм этот показатель составляет 2 % (рис. 1, кривая 1).

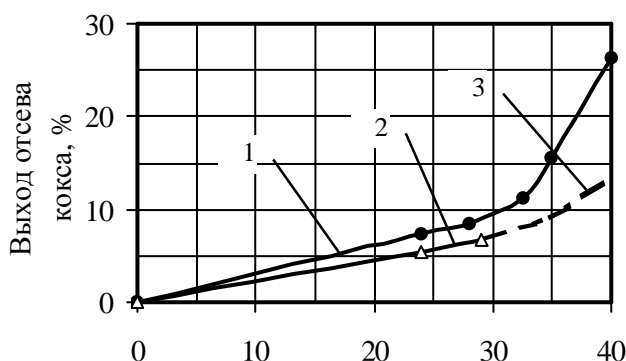


Рис. 1. Выход отсева кокса крупностью до 40 мм при обработке коксов Донецкого региона на вибрационном грохоте

1 – среднее значение по Авдеевскому, Енакиевскому, Макеевскому и Ясиновскому КХЗ;

2 – фактический выход коксового отсева из кокса в условиях ОАО "ЕМЗ" при диаметре отверстий на ситах кокса 24 и 28 мм;

3 – ожидаемый выход коксового отсева из кокса при диаметре отверстий на ситах кокса в диапазоне 28-40 мм.

Исходя из изложенного следует, что увеличение диаметра отверстий на ситах кокса на доменных печах более 32 мм нецелесообразно, если из отсева кокса не выделяют коксовый орешек (в дальнейшем – орешек) для использования его в доменной плавке.

Во-вторых, минимальный размер кусков скипового кокса при условии выделения орешка и использовании его в доменной плавке можно определить по суммарному фактическому выходу скипового кокса и орешка (табл. 1) [1]. Опыты и расчеты для условий ОАО "ЕМЗ" показывают, что суммарный выход скипового кокса и орешка при диаметре отверстий на нижнем сите коксового грохота 35 мм составляет 569,1 из 600 кг металлургического кокса, что на 5,1 кг превышает выход скипового кокса при диаметре отверстий на нижнем сите 25 мм при условии, что из отсева кокса орешек не выделяют (табл. 1, п.7). При диаметре отверстий 40 мм суммарный выход скипового кокса и орешка уменьшается почти до

базового значения (565,4 и 564 кг). Таким образом, по данному показателю минимальный размер кусков скипового кокса рационально принять в пределах 35-40 мм.

В третьих. Выделение из отсева кокса орешка и использование его в доменной плавке, поми-

мо указанного эффекта – непосредственного увеличения суммарного выхода скипового кокса и орешка, обеспечивает и дополнительные преимущества: улучшение однородности фракционного

Таблица 1

Показатели образования и использования в доменной плавке коксового орешка для условий заводов Донбасса

Показатели	Значения показателей при диаметре отверстия (мм) на нижнем сите коксового грохота				
	25 (без выделения орешка)	с выделением собственного коксового орешка			
		25	30	35	40
1	2	3	4	5	6
1. Исходная масса металлургического кокса, кг/т чугуна (база)	600	600	600	600	600
2. Выход отсева из металлургического кокса (при эффективности грохочения 90 %), %	6	6	7,2	9,2	12
3. Содержание фракции + 10 мм в отсеве, %	31,5	31,5	36,5	44	52
4. Выход орешка (+ 10 мм) из металлургического кокса, кг	-	11,4	15,8	24,3	37,4
5. Потери кокса на отсеве мелочи (-10 мм), кг	36	24,6	27,8	30,9	34,6
6. Выход скипового кокса из металлургического, кг	564	564	556,8	544,8	528
7. Суммарный выход скипового кокса и орешка, кг	564	575,4	572,6	569,1	565,4
8. Доля орешка в сумме «скиповый кокс+орешек», %	-	2	2,8	4,3	6,6
9. Снижение общего перепада давления газа в верхней части шахты печи за счет введения орешка, %	-	2,8	3,9	6	9,2
10. Сокращение расхода кокса за счет снижения перепада давления газа в верхней части шахты печи*: %	0	0,59	0,82	1,26	1,93
кг	0	3,3	4,6	6,9	10,2
11. Количество коксового мусора (-10 мм), поступающего в доменную печь со скиповым коксом и орешком, ** кг	9	9,1	7,4	5,7	4,1
12. Скорректированная исходная масса металлургического кокса (с учетом непроизводительно используемой мелочи -10 мм) ***, кг	609,6	609,7	608	606,3	604,7
13 Суммарная экономия металлургического кокса с учетом корректировки на выход отсева кокса и из него орешка ****, кг	0	15,8	16,3	17,4	19,9
14. Приведенный удельный расход металлургического кокса, кг/т чугуна	600	584,2	583,7	582,6	580,1

* Определяется как $9,2 \cdot 0,21 = 1,93$

** В расчетах по п.11 использовали следующие значения: 0,03 – доля коксового мусора (-10 мм) в металлургическом коксе; 0,5 и 0,2 – доля коксового мусора, попадающего в печь при диаметре отверстия на ситах 25 и 40 мм соответственно; 0,02 – доля коксового мусора в орешке. Например, расчет для варианта с диаметром отверстий на нижних ситах кокса 40 мм: $(600 - 10,2 - 37,4) \cdot 0,03 - 0,2 + 37,4 \cdot 0,02 = 4,1$ кг.

*** Определяется как $600 + 4,1/0,88 = 604,7$

**** Расчет для диаметра отверстий на ситах кокса 40 мм: $(\Delta п.7 + \Delta п.10 + \Delta п.11) = 1,4 + 10,2 + 4,9 = 16,5$ кг; $16,5/0,88 + (16,5/0,88 - 16,5) \cdot 0,52 = 19,9$ кг.

состава насыпной массы и порозности скипового кокса и, как следствие, улучшение газопроницаемости слоя шихты, уменьшение поступления в доменную печь коксового мусора 10-0 мм. Эти дополнительные преимущества обеспечивают снижение приведенного удельного расхода металлургического кокса от 600 до 580,1 кг/т чугуна (3,3 %) по сравнению с вариантом при диаметре отверстий на сите 25 мм и без высева орешка (табл. 1).

Имеется убедительный отечественный и зарубежный промышленный опыт, подтверждающий эффективность оптимизации минимального размера кусков кокса.

На доменной печи № 1 ОАО "Енакиевского металлургического завода" (ОАО «ЕМЗ») для производства коксового орешка в 2004 г. вместо вращающихся барабанов с отверстиями по

окружності установлені два виброгрохота інерційного типу ГИ-22 продуктивністю до 35 т/ч. Їх використання дозволило знизити вміст мелочи в орешку 10-0 мм до 1,5-3,0 % замість 11,2-19,7 % в аналогічному продукті, виробимому в обертаючих барабанах.

Розрахункові та експериментальні дані про гранулометричний склад кокса свідчать, що розширення щілини на нижньому ситі з 25 до 40 мм забезпечує збільшення середнього еквівалентного розміру шматка скипового кокса з 47,5 до 53,2 мм, його порозності - з 0,587 до 0,604 м³/м³, що, очевидно, може сприяти покращенню газопроникливості коксової линзи шихти. Раніше було показано, що газопроникливість рудної линзи шихти при введенні в неї орешка покращується на величину до 12-14 % [1].

Технологія плавки з використанням орешка (фракції 15-35 мм), завантаженого в суміші з залізорудної шихтою була освоєна на доменній печі № 1 ОАО «ЕМЗ» в 2004 р.

Послідовно витрати орешка збільшили до 20-30 кг/т чугуна шляхом збільшення до 32-36 мм діаметра отворів на нижньому ситі коксового виброгрохота.

З окремого шихтового бункера орешок завантажували в скіп з агломератом вагон-вагами, використовуючи систему завантаження шихти АОККК↓ 1,5 м. Об'ємна частка орешка в залізорудній частині шихти становила 5-7 %.

В ході експериментально-промислових плавок показано, що використання орешка в кількості 25 кг/т чугуна сприяло зменшенню фактичного витрати металургічного кокса на 10,7 кг/т чугуна, в тому числі на 6,7 кг за рахунок зменшення втрат при висіві мелочи (-15 мм) з металургічного кокса, і на 4 кг/т чугуна - завдяки вдосконаленню процесу при введенні орешка технологічного режиму доменної плавки.

В зарубіжній практиці використання орешка в суміші з залізорудною шихтою стало загальноприйнятим після освоєння доменними цехами пылеугольної технології і відповідного (20-40 %) зменшення витрати кокса, що в значній мірі сприяло збереженню високого базового рівня продуктивності доменних печей (табл.2) [2-4].

Таблиця 2

Показники роботи доменних печей Європи в 2002, 2004 і 2005 рр.

Показники	2002 г.			2004 г.			2005 г.		
	середнє	min	max	середнє	min	max	середнє	min	max
Загальна кількість працюючих печей	58			59			58		
з них з висівом орешка	52			56			56		
Об'єм доменних печей, м ³	1939	400	4769	2156	400	4769	2016	400	4769
Продуктивність, т/(м ³ ·сутки)	2,31	1,11	3,18	2,31	1,36	3,47	2,31	1,33	3,35
Витрати кокса (сухого) + орешка, кг/т	382,1	299,4	568	369,7	285,3	600	362,6	274,3	531
Витрати орешка, кг/т	33,9	4,2	94,6	38,8	6	111,8	42,4	6,2	94,3
Розмір орешка	11...32	0	40	10...32	0	40	10...34	0	40
Витрати ПУТ, кг/т	86	0	214,5	92,6	0	227,2	101,7	0	233,2
Температура дутья, °С	1119	884	1233	1126	909	1212	1132	950	1241
Вихід шлаку, кг/т	256	159	311	256	151	324	259	148	320

В табл. 3 наведені типові варіанти використання орешка.

Режим 1 характеризується рекордними рівнями витрати кокса + орешок на 1 т чугуна і продуктивності печі при високому рівні витрати ПУТ. При цьому коксовий орешок використовували в кількості 21,6 кг/т чугуна (7,9 % від витрати кокса і орешка).

Режим 2 - витрати власне скипового кокса зменшені до рекордних 207,2 кг/т чугуна при введенні в залізорудну частину 111,8 кг/т чугуна орешка (35,2 % від витрати кокса і орешка). При цьому частка скипового кокса в шихті зменшена ≈ до 32-34 %.

Режим 3 - також унікальний: в суміші з залізорудною шихтою використовували отсеви кокса, фракцією 0-40 мм (46,8 кг/т чугуна, 12,8 %). При цьому доменна печі зберегла високий рівень продуктивності - 2,92 т/(м³·сутки).

Таблиця 3

Среднегодовые показатели работы доменных печей Европы

Показатели	Нидерланды Corus Ijmuiden 6 2005 г.	Германия Thyssen Krupp Hamborn 9 2004 г.	Австрия Voestalpine Linz A 2005 г.
Режимы	1	2	3
Объем печи (рабочий), м ³	2328	1833	3125
Производительность, т/(м ³ ·сутки)	3,17	2,92	2,48
Шихта, кг/т чугуна:			
руда > 42 % Fe	39	274	437
агломерат	688	982	661
окатыши	815	296	521
Расход топлива, кг/т чугуна:			
сухой кокс+орешек	274	318	365,6
орешек	21,6	111,8	46,8
ПУТ	233,2	175,1	0
мазут	0	0	64
Размер орешка, мм	12...35	10...35	0...40
Дутье:			
давление, бар	4,29	3,65	5,04
содержание O ₂ , %	32,9	26,8	23,34
температура, °C	1146	1068	1215
Теоретическая температура горения, °C	2187	2170	2223
Колошниковый газ:			
давление, бар	2,67	2,38	3,17
температура, °C	118	121	122
содержание, % CO ₂	26,5	23,5	23,2
CO	27,2	25,3	22,8
H ₂	6,4	3,8	4,2
Выход шлака, кг/т чугуна	219	272	261
Содержание в шлаке, % : MgO	10,50	7,20	8,65
Al ₂ O ₃	10,70	12,10	10,69
Основность шлака (CaO+MgO)/SiO ₂	1,47	1,37	1,2
Содержание в чугуне, %			
Si	0,41	0,38	0,42
Mn	0,38	0,23	0,64
S	0,032	0,047	0,063
Температура чугуна, °C	1503	1498	1478

Если использование коксового орешка способствовало повышению коэффициента использования кокса в доменной печи до 95-96 %, то в последнем варианте технологии данный коэффициент повышен до 100 %.

2. Максимальный размер кусков скипового кокса

Из литературных данных известно, что скиповый кокс крупнее 80 мм недостаточно эффективен в доменной плавке, т.к. куски кокса размером +80 мм разрушаются в печи с выделением коксового мусора (куски размером менее 10 мм и 25 мм) [5-7].

Проведены обстоятельные исследования динамики разрушения кокса и отдельных его фракций в барабане, либо при сбрасывании этих материалов на металлическую плиту [5]. Показано, что воздействие дробящих и истирающих нагрузок в барабане моделирует нагрузки на кокс при опускании его в печи. В данном вопросе наиболее обстоятельной является работа [5].

Вместе с тем, в этой работе [5] так же, как и в других, динамика разрушения кокса и отдельных его фракций в зависимости от числа оборотов барабана не соотнесена с горизонтами печи.

В связи с этим целесообразно воспользоваться данными работы, в которой представлены обобщенные результаты ряда исследований по изучению динамики разрушения кокса в печи, начиная от бункера кокса и колошника печи и заканчивая уровнем воздушных фурм. По этим

усредненным данным можно принять, что от уровня кокса в бункере у доменной печи до его уровня в распаре средний диаметр кусков кокса уменьшается примерно на 25 %. Средний диаметр кусков кокса при обработке в барабане уменьшается на 25 % после 100 оборотов барабана (от 62,12 до 48,13 мм) . Поэтому можно принять, что нагрузки, которые испытывает кокс при прохождении от верха печи до уровня распара, соответствуют нагрузкам при 100 оборотах барабана.

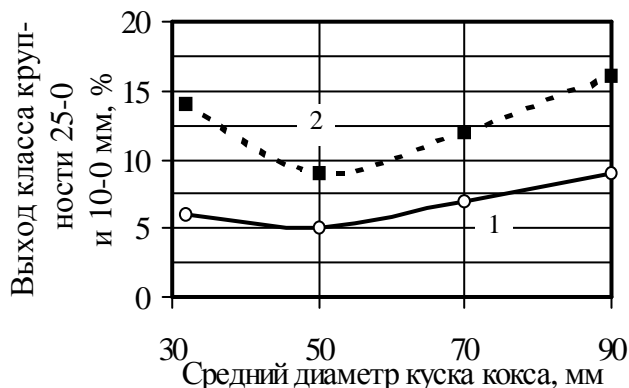


Рис. 2. Вихід класів крупності 25-0 і 10-0 мм із різних фракцій кокса при обробці останніх в барабані (100 об/мин.)

1 - клас крупності 10-0 мм;
2 - клас крупності 25-0 мм.

мер, при підвищенні расхода ПУТ до 120-150 кг/т чугуна і рудних нагрузок вище 4,0-4,5 т/т кокса, максимальний розмір кусків скипового кокса, по видимому, буде необхідно зменшити до 65-70 мм.

Ефективність оптимізації верхнього розміру скипового кокса, також як і нижнього, нашла підтвердження в умовах промислової експлуатації доменних цехів.

На ОАО «ЕМЗ» вперше в Україні в промисловому масштабі побудовано і освоєно склад окатышей і кокса (СОК) на якому здійснюється попередня обробка маси кокса з метою мінімізації вмісту в ній фракції + 80 мм.

СОК був введений в експлуатацію в грудні 2005 г. в рамках реконструкції комплексу ДП № 5. В склад СОК входять: розгужочне пристрій, безпосередньо склад окатышей і кокса; вузол сортировки матеріалів; ділянка погрузки отсева окатышей; система конвеєрів для транспортування окатышей і кокса.

Со складу окатыши і кокс подаються на вузол сортировки, де встановлено два грохота. Один грохот для отсева із окатышей мелочи, другий - для виділення із кокса фракції більше 80 мм.

Кокс фракції менше 80 мм після грохочення подається системою конвеєрів в бункера доменних печей. Фракція більше 80 мм дробиться на двухвалкової дробилці вузла дроблення кокса. Після дроблення кокс також подається в бункера доменних печей.

На даному етапі експлуатації до 80 % від загальної маси кокса, що споживається ДП № 5, проходить обробку на СОК. Зазначена обробка дозволила знизити середній вміст фракції + 80 мм в скиповому коксі більше, ніж в 2 рази (табл. 4).

Таблиця 4

Фракційний склад скипового кокса АКХЗ, завантаженого в доменну печь № 5 ОАО "ЕМЗ"

Вид завантаженого кокса	Фракційний склад (мм) кокса, %					
	+80	80-60	60-40	40-25	25-10	10-0
Кокс, що поступає через СОК	4,45	10,68	51,98	26,07	5,90	0,94
Кокс, що поступає без обробки	11,38	16,69	47,37	20,73	3,25	0,58

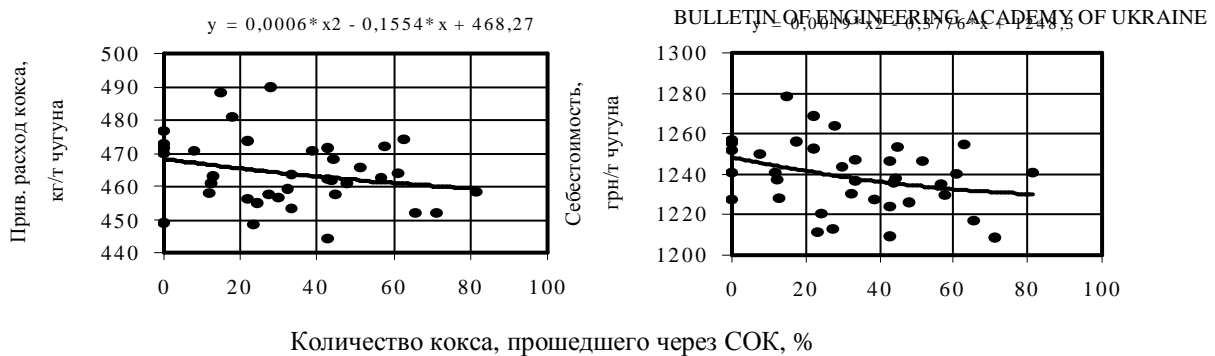


Рис. 3. Зависимость основных показателей доменной плавки ДП № 5 ОАО "ЕМЗ" от количества кокса, прошедшего через СОК (период 20.11-31.12.07 г., количество - 37 опытов).

Повышение на 10 % доли кокса, прошедшего обработку на СОК, способствовало снижению его расхода на 1,1 кг/т чугуна и себестоимости чугуна на 2,5 грн/ т чугуна (рис. 3).

Исследованиями, проведенными в Финляндии (фирма Rautaruukki) показано, что снижение содержания фракции + 80 мм на 1 % в массе скипового кокса способствовало повышению производительности доменной печи на 1,6 % .

Изложенная выше современная подготовка кокса к плавке, рассчитанная на максимальное повышение в скиповом коксе содержания фракций 40-80 мм, реализована в 2004-2007 гг. На ОАО «ЕМЗ»; ее массовая реализация за рубежом в 80-90 гг. XX века стала одним из факторов, обеспечивших сохранение высокого уровня производительности доменных печей при массовом использовании пылеугольного топлива и повышении рудных нагрузок на кокс до 4,5-6,5 т/т кокса [1-4].

Выводы

1. Расчетные и экспериментальные данные показывают, что расширение щели на нижнем сите от 25 до 40 мм обеспечивает увеличение среднего эквивалентного размера куска скипового кокса от 47,5 до 53,2 мм, его порозности – от 0,587 до 0,604 м³/м³, что, очевидно, может способствовать улучшению газопроницаемости коксовой линзы шихты. Ранее было показано, что газопроницаемость рудной линзы шихты при введении в нее косового орешка улучшается на 12-14 %.

2. Аналитические, экспериментальные и производственные данные показывают, что в сложившихся шихтовых и технологических условиях оптимальный нижний и верхний размеры кусков скипового кокса равны соответственно 35-40 и 80 мм, при обязательном высеве из отсева кокса орешка и введении его в доменную печь в смеси с железорудной шихтой. Указанная современная подготовка кокса к плавке в настоящее время является оптимальной и общепринятой в зарубежной практике.

3. Современная подготовка кокса к плавке в 2004-2007 гг. реализована на ОАО «ЕМЗ»; ее повсеместная реализация за рубежом стала одним из факторов, обеспечивших сохранение высокого уровня производительности доменных печей при массовом использовании пылеугольного топлива и повышении рудных нагрузок на кокс до 4,5-6,5 т/т кокса.

Список литературных источников

1. Эффективность технологии доменной плавки при загрузке в печь коксового орешка в смеси с железорудной шихтой / Л.Ф. Литвинов, С.Л. Ярошевский, А.М. Кузнецов и др. // Металл и литье Украины. – 2004. – № 12. – С. 5-9.
2. Савчук Н.А., Курунов И.Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом. - 2000.- Часть II.- Приложение 5. - М.: ОАО Черметинформация. – 42 с.
3. Ярошевский С.Л., Кузнецов А.М., Афанасьева З.К. Резервы эффективности комбинированного дутья в доменных цехах Украины – Донецк: Норд компьютер, 2006. – 31 с.
4. Производство и использование коксового орешка в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, Н.С. Хлапонин, А.М. Кузнецов, А.В. Кузин – Донецк: УНИТЕХ, 2006 – 68 с.
5. Об оптимальной крупности кокса для доменной плавки // В.А. Улахович, К.К. Шкодин, А.П. Котов и др. // Сталь. – 1982. – № 12. – С. 34-38.
6. Бронштейн Л.П., Макаров Г.Н., Цейтлин М.А. Изменение термоустойчивости и прочности доменного кокса в процессе предварительной механической обработки // Кокс и химия. – 1970. – № 11. – С. 15-20.