

УДК: 669.162.2:662.74(477)

И.Г.Товаровский, В.И.Большаков, Т.Г.Бень*,
А.Е.Меркулов, О.В.Лялюк*

ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАМЕЩЕНИЯ КОКСА УГЛЯМИ И ГАЗАМИ В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ УКРАИНЫ

*Институт чёрной металлургии НАН Украины
Национальная металлургическая академия Украины

Показано, что при отсутствии необходимых инвестиционных ресурсов для перехода на технологию вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) экономически эффективным является реализация менее капиталоемкой технологии вдувания коксового газа вместо природного в сочетании с технологией замещения части кокса кусковым антрацитом. Предлагается также генераторный газ, полученный на основе технологии газификации углей и утилизации отходов в доменных печах.

Современное состояние вопроса. Основным энергоносителем, замещающим 15–20% кокса в доменной плавке, до сих пор остается природный газ (ПГ), цена которого увеличивается и достигает критических значений (более 0,7 от цены 1 т. кокса за 1000 м³ газа), при которых использовать его в доменных печах экономически невыгодно [1]. Снижение себестоимости чугуна в этих условиях может быть достигнуто за счет решения общих проблем энергосбережения и использования других энергоносителей, в том числе вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) [2].

Технология вдувания ПУТ освоена на Донецком металлургическом заводе [3]. Её реализация в широком масштабе требует больших инвестиций и длительного времени, в течение которого доменные печи Украины будут работать в неэкономичных режимах. Кроме того, как показано в работе [3], вдувание ПУТ наиболее эффективно при сочетании с вдуванием ПГ или коксового газа (КГ).

Выход из сложившейся ситуации возможен путем постепенной замены ПГ коксовым газом и использования кускового антрацита для замещения кокса. Первая из этих технологий освоена на Макеевском металлургическом заводе [4, 5], вторая наиболее полно разработана и реализована на меткомбинате ОАО «Миттал Стил Кривой Рог» [6] и используется на многих предприятиях Украины. Реализация вдувания КГ требует для сооружения комплекса тонкой очистки и транспортировки КГ не столь больших инвестиций, как ПУТ (30–40 млн. грн. против 150–250 млн. грн. для доменного цеха), а использование кускового антрацита не требует капиталовложений.

Методика исследования. Расчетно-аналитическое исследование проблемы выполнили по разработанной в ИЧМ методике [7] применительно к одной из доменных печей меткомбината ОАО «Миттал Стил Кривой Рог» полезным объемом 2000 м³ (среднегодовые показатели). В таблице 1

приведены результаты прогноза показателей плавки для ряда периодов: База 1 – при фактических параметрах с вдуванием ПГ и подачей 11% кускового антрацита в состав загружаемого твердого топлива; База 2 – то же, но с повышением температуры дутья до 1200⁰С, т.к. рассматриваются перспективные режимы; КГ=2·ПГ – замена ПГ двойным объемом КГ; КГ=3·ПГ – замена ПГ тройным объемом КГ с увеличением доли антрацита в загружаемом топливе до 20% (освоено на меткомбинате «Миттал Стил Кривой Рог»); ПУТ+КГ – вдувание ПУТ совместно с КГ (доля антрацита 11%).

Цены материалов и другие затраты приняты по данным меткомбината «Миттал Стил Кривой Рог» за 2005 год, а цены на топливо следующие (грн/т; грн/1000 м³): кокс – 800; антрацит – 500; ПГ – 600; КГ – 150; ПУТ – 300.

Изложение основных материалов исследования. Из результатов расчета следует (табл.1), что технология КГ=3·ПГ позволяет уменьшить расход твердого топлива с 495,7 до 443,6 кг/т, а кокса с 441,2 до 354,9 кг/т. Себестоимость чугуна уменьшается на 65 грн/т (8%), что создаст условия для формирования инвестиций в реализацию технологии вдувания ПУТ+КГ. Последняя позволит совершить дальнейший сдвиг в уменьшении расхода кокса (еще на 56,5 кг/т) и соответственно уменьшении себестоимости чугуна (еще на 54,3 грн/т).

Таблица 1. Показатели доменной плавки при замене ПГ коксовым (КГ) с добавкой кускового антрацита и при вдувании ПУТ совместно с КГ

ПОКАЗАТЕЛИ	База 1 ПГ	База 2 ПГ	КГ= 2·ПГ	КГ= 3·ПГ	ПУТ+КГ
1	2	3	4	5	6
Ср.- суточн. производство, т	2796	2899	2929	2891	3017
Расход тверд. топлива, кг/т	495,7	469,7	468,5	443,6	335,3
В т.ч. кокс	441,2	418,0	417,0	354,9	298,4
Антрацит	54,5	51,7	51,5	88,7	36,9
Дутье: температура, град.	1043	1200	1200	1200	1200
кислород, %	25,5	25,4	25,8	26,8	25,9
Расход тех. кислорода, м ³ /т	84,2	78,1	81,5	96,6	76,1
Расход природного газа, м ³ /т	89,1	88,7	0,0	0,0	0,0
% к дутью	6,9	7,4	0,0	0,0	0,0
Расход коксового газа, м ³ /т	0,0	0,0	182,0	254,5	101,6
% к дутью	0,0	0,0	15,7	22,2	9,6
Расход угля, кг/т	0,0	0,0	0,0	0,0	152,4
г/м ³ к дутью	0,0	0,0	0,0	0,0	144,0
Колошн. газ: темп-ра, ⁰С	279	264	264	282	256
содержание, % СО	23,94	23,62	23,51	23,36	22,33

1	2	3	4	5	6
CO ₂	18,67	19,36	19,06	18,11	21,75
H ₂	5,43	5,58	6,91	9,59	5,03
Расход, кг/т: Агл. КМК	806	806	806	806	808
Агломерат НКГОК-1	782	783	783	783	784
Агломерат НКГОК-2	107	107	107	108	108
Окатыши СевГОК	9	9	9	9	9
Руда	36	36	36	36	36
Известняк	36	32	32	29	15
Конв. шлак обогащ.+ скрап	36+13	36+13	36+13	36+13	36+13
Железо в шихте, %	53,8	53,9	53,9	53,9	54,2
Количество шлака, кг/т	480	478	477	475	469
Расход дутья, м ³ /т	1289	1198	1159	1149	1058
Объем влажного газа	1966	1853	1846	1905	1654
Теор. темп-ра горения, °С	2071	2151	2139	2020	2169
Кол-во сух. кол. газа, м ³ /т	1854	1740	1714	1735	1549
Прямое восстановление Fe, %	24,1	25,9	23,5	16,4	26,0
Степень использов-ния газов, %	44,63	45,91	45,81	44,95	50,30
Себестоимость чугуна, грн/т	826,68	804,54	777,65	761,54	707,20
То же, %	100	97,3	94,0	92,1	85,5

Сочетание вдувания коксового газа с использованием кусковых углей для замещения кокса не требует существенных капитальных вложений и является технологически наиболее удачным и экономически приоритетным решением. Его широкая реализация позволит совершить существенный положительный сдвиг в коксобережении и снижении себестоимости металла в условиях подорожания природного газа в Украине. В дальнейшем при накоплении собственных средств и возможном заимствовании кредитных ресурсов могут быть созданы условия для инвестирования средств в сооружение комплексов для вдувания ПУТ. К тому времени проблема замены природного газа коксовым в значительной мере будет решена, что обеспечит более эффективное применение технологии вдувания ПУТ.

С целью высвобождения коксового газа, необходимого для вдувания в доменные печи, Институтом черной металлургии НАН Украины разработаны основы технологии газификации углей и утилизации отходов в доменных печах [4, 8]. Состав полученного генераторного газа включает 35–36% CO, 10–11% H₂ и до 2% (CO₂+H₂O), остальное – азот (50–52%).

Полученные в этих печах продукты газификации углей могут быть использованы для отопления коксовых печей и других энергетических нужд наряду с более полным использованием доменного газа при рационализации структуры топливного баланса предприятия. Возможно вдувание полученных продуктов газификации – генераторных газов (ГГ) в до-

менные печи. Так, в случае затруднений с ресурсами КГ задача реализации технологии вдувания ПУТ осложнена тем, что при необходимости поддержания высоких температур дутья и некоторого обогащения его кислородом для интенсификации сжигания ПУТ развиваются недопустимо высокие температуры у фурм. Понижение температур у фурм до рационального по условиям ровного хода плавки уровня может быть реализовано подачей пара в дутьё. Последнее приводит к увеличению расхода кокса.

В этом случае наиболее рациональным решением является вдувание ГГ. При вдувании 100 м³/т чугуна ГГ экономится кокса 6–7 кг/т и уменьшается теоретическая температура горения на 80–90⁰С. Затраты материальных ресурсов на получение ГГ полностью покрываются стоимостью производимого чугуна даже при меньшей цене, чем по цеху.

Расчетно-аналитическую оценку ожидаемых результатов выполнили по упомянутой выше методике. В табл.2 приведены результаты прогноза показателей плавки для ряда периодов: База – при фактических параметрах с вдуванием ПГ и подачей 11% кускового антрацита в состав загружаемого твердого топлива; Прогноз 1 – вдувание 150 кг/т пылеугольного топлива и 50 м³/т природного газа; Прогноз 2 – вдувание 150 кг/т ПУТ без ПГ; Прогноз 3 – замена ПГ (88,7 м³/т) на ГГ (200 м³/т); Прогноз 4 – то же, но с повышением температуры дутья до 1200⁰С и расхода ГГ до 250 м³/т.

Из результатов расчета следует, что технология вдувания ПУТ+ГГ позволяет уменьшить расход твердого кускового топлива с 498,6 до 362,3 кг/т, а кокса с 443,7 до 322,5 кг/т. Себестоимость чугуна уменьшается на 121,6 грн/т (14,8%). Вдувание ГГ не требует существенных капитальных вложений, а его сочетание с ПУТ является технологически наиболее удачным и экономически приоритетным решением.

Изложенная программа рационализации использования топлива в доменном производстве Украины позволит в сложившихся условиях инвестиционного дефицита перейти к ритмичному развитию отрасли, а в перспективе – к реализации новых технологий, например, вдуванию в доменные печи горячих восстановительных газов - продуктов газификации углей [4].

Таблица 2. Показатели доменной плавки при замене природного газа вдуванием ПУТ совместно с ГГ

ПОКАЗАТЕЛИ	База	Прогноз	Прогноз	Прогноз	Прогноз
		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Среднесут. произв-во, т	2780	2845	2951	2779	2812
Расход тв. топлива, кг/т	498,6	359,3	403,5	386,4	362,3
В т.ч. кокс	443,7	319,8	359,0	343,9	322,5
Антрацит	54,8	39,5	44,4	42,5	39,9
Дутье: температура, ⁰С	1043	1043	1043	1043	1200
кислород, %	25,4	24,8	24,8	24,7	24,7

1	2	3	4	5	6
Расход тех. кислорода, м ³ /т	84,6	66,7	64,5	64,4	60,0
Расход природного газа, м ³ /т	88,7	50	0	0	0
% к дутью	6,8	4,16	0	0,0	0,0
Расход генераторн. газа, м ³ /т	0	0	0	200	250
% к дутью	0	0	0	17,2	23,1
Расход угля, кг/т	0	150	150	150	150
г/м ³ к дутью	0	124,7	129	129,3	138,6
Колошниковый газ:					
температура, °С	280	277	246	282	279
содержание, % СО	23,98	21,95	22,9	22,39	22,12
СО ₂	18,6	20,7	22,5	21,5	21,9
Н ₂	5,39	4,09	1,36	1,87	2,02
Расход, кг/т: Агл. КМК	789	791	791	791	791
Агломерат НКГОК-1	767	768	768	768	768
Агломерат НКГОК-2	105	105	105	105	105
Окатыши СевГОК	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Руда	35	35	35	35	35
Известняк	35	18	23	21	18
Конвертерный шлак обо- гащ.+ скрап	35+1,76	35+12	35+12	35+1,76	35+1,76
Железо в шихте, %	53,8	54,1	54,0	54,0	54,1
Вынос пыли общий, кг/т	27,84	24,9	25,8	25,49	24,98
В чугуне, %: Si	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Mn	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
S	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
В шлаке, %: SiO ₂	38,08	37,1	37,4	37,15	37,08
Al ₂ O ₃	7,86	7,28	7,47	7,40	7,29
CaO	45,47	44,3	44,6	44,48	44,28
MgO	4,9	4,9	4,9	4,9	4,91
S	1,19	0,86	0,97	0,92	0,87
Количество шлака, кг/т	480	472	474	473	472
Расход дутья, м ³ /т	1298	1203	1163	1160	1082
Объем влажного газа	1976	1799	1688	1858	1809
Теорет. тем-ра горения, °С	2075	2067	2300	2038	2053
Кол-во сухого колошн. газа, м ³ /т	1865	1705	1646	1804	1752
Прямое восстан-ие Fe, %	23,97	25,1	35,0	26,77	26,92
Степень использов. газов, %	44,51	49,37	49,8	49,39	50,18
Себест-ть чугуна, грн/т	820,8	729,8	732,5	719,7	699,2
То же, %	100	89	89,2	87,7	85,2

Заключение. В условиях подорожания природного газа рекомендуется переходить на технологию вдувания ПУТ. При отсутствии необходимых для этого инвестиционных ресурсов экономически эффективным является реализация менее капиталоемкой технологии вдувания коксового газа вместо природного в сочетании с технологией замещения части кокса кусковым антрацитом. Применение генераторного газа для высвобождения коксового газа, а также совместное вдувание с ПУТ, позволяет достигать требуемого уровня теоретической температуры горения при полном отключении природного газа и способствует дополнительной (относительно ПУТ) экономии кокса.

1. *Оценка предельной цены природного газа в производстве чугуна / И.Г. Товаровский, Т.Г. Бень, О.В. Лялюк и др. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 6. – С.95–97.*
2. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г. Состояние и перспективы развития черной металлургии Украины на основе энергосберегающих технологий // Metallургическая и горнорудная промышленность.–2006. – №2. – С.1–5.*
3. *Ярошевский С.Л. Резервы эффективности комбинированного дутья в доменных цехах Украины // Познание процессов доменной плавки. Коллективный труд под ред. В.И.Большакова и И.Г.Товаровского. Днепропетровск: Пороги, 2006. – С. 366–387.*
4. *Товаровский И.Г. Доменная плавка. Эволюция, ход процессов, проблемы и перспективы // Днепропетровск: Пороги, 2003. – 596 с.*
5. *Доменная плавка с вдуванием коксового газа / В.Ф. Пашинский, И.Г. Товаровский, П.Е. Коваленко и др. // Киев: Техника, 1991.– 104 с.*
6. *Использование антрацита в доменной плавке для замены части кокса / И.Г. Товаровский, А.В. Сокурено, В.А. Шеремет и др.// Metallургическая и горнорудная промышленность.– 2005.– № 6. – с.5–9.*
7. *Товаровский И.Г. Системный анализ показателей доменной плавки // Познание процессов доменной плавки. Коллективный труд под ред. В.И.Большакова и И.Г. Товаровского. Днепропетровск: Пороги, 2006. – С.296–321.*
8. *Товаровский И.Г., Меркулов А.Е., Вышинская Е.Д. Возможность использования доменной печи в качестве газогенератора некоксуемых углей // Metallургическая теплотехника. Сборник научных трудов. Книга 2. – Днепропетровск: «Пороги». – 2005. – С.333–348.*

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