



Лялюк В.П. /д.т.н./, Кассим Д.А. /к.т.н./
Криворожский металлургический институт КНУ

Тараканов А.К. /д.т.н./
НМетАУ

Оторвин П.И. /к.т.н./
ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Влияние послереакционной прочности кокса на его удельный расход в доменной плавке

Металлургическим предприятиям для успешного функционирования на рынках необходимо снижать себестоимость выпускаемой продукции, прежде всего, за счет совершенствования и внедрения в производство новых технологических процессов и оборудования. В доменной плавке на сегодня таковыми являются технология вдувания ПУТ и широко опробованная на комбинате «Криворожсталь» технология загрузки в доменные печи кускового антрацита. Реализация этих технологий требует значительного улучшения качества кокса. Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: доменная печь, производительность, расход кокса, показатели качества кокса, антрацит

For the successful operation on the markets the steelmaking companies should reduce production costs, primarily due to the improvement and implementation of new technological processes and equipment. Today in blast furnace smelting pulverized coal injection technology and lump anthracite charging technology in the blast furnace extensively tested at the plant "Kryvorizhstal" are such progressive technologies. The implementation of these technologies requires the significant upgrading of coke quality.

Keywords: blast furnace, productivity, coke consumption, coke quality parameters, anthracite

Новая волна мирового экономического кризиса привела к тому, что в настоящее время на мировых рынках баланс спроса и предложения нарушен, в том числе и на рынке металла. Имеет место пере-производство проката. Одной из причин было то, что Китай замедлил рост своей экономики и поставил на рынок по низким ценам избыток своей металло-продукции. Для того, чтобы успешно конкурировать, металлургическим предприятиям в этих условиях необходимо снижать себестоимость выпускаемой продукции, прежде всего, за счет совершенствования и внедрения в производство новых технологических процессов и оборудования, снижения затрат топливно-энергетических ресурсов на производство основных видов продукции. При этом, внедрение таких высокоэффективных технологий как вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи (ДП) в количестве 150-200 кг/т чугуна или технологии использования кускового антрацита в количестве до 70-90 кг/т чугуна с коэффициентом замены кокса 0,8-1,0 кг/кг, относятся к важнейшим направлениям повышения конкурентоспособности металлургических предприятий и успешного их функционирования на внутреннем и внешнем рынках [1, 2]. При этом следует подчеркнуть, что вторая технология обеспечивает значительный экономический эффект за счет снижения расхода кокса и себестоимости чугуна при полном отсутствии дополнительных капитальных вложений, как этого требует внедрение технологии вдувания ПУТ. При использовании вместо сырого антрацита

продукта с улучшенными прочностными свойствами – термоантрацита его расход можно довести до 100-140 кг/т чугуна при коэффициенте замены кокса термоантрацитом 1,0 кг/кг, что даст дополнительное снижение расхода кокса на доменную плавку и, соответственно, – себестоимости чугуна [3].

Однако обе эти технологии требуют, прежде всего, опережающего повышения качества кокса. Дополнительные затраты на это на коксохимических предприятиях окупаются в доменном производстве, поэтому экономическую эффективность ощутят не только те металлургические предприятия, в составе которых есть коксохимические подразделения, но и отдельные коксохимические заводы через обоснованно повышенную цену кокса, более высокого качества.

По данным 9-ти мес. 2012 г., высококачественный кокс с показателями, %: CSR 56,71-60,31; CRI 30,59-32,48; M₂₅ 90,3-92,1; M₁₀ 3,9-4,3, отвечающий требованиям технологии вдувания ПУТ, производили в цехе № 3 ПАО «Алчевсккокс» на батарее № 10-бис., где при использовании качественных угольных концентратов совмещены технологии трамбования шихты и сухого тушения кокса. Этот кокс, а также кокс с батареи № 9-бис., где показатели качества кокса несколько ниже из-за использования мокрого тушения кокса, подавали в ДП № 1 и 5 Алчевского МК, где с середины 2009 г. внедрена технология вдувания ПУТ. На ДП № 1 объемом 3000 м³ на этом коксе достигли удельного расхода кокса 378,1 кг/т чугуна при расходе ПУТ 167 кг/т, а на ДП № 5 объемом 1719 м³ удель-

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ный расход кокса был 418,8 кг/т при расходе ПУТ 149 кг/т чугуна.

ДП ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» (АМКР) никогда не имели кокса такого качества. Особенно это касается показателей холодной прочности кокса M_{25} и M_{10} . В отношении величин реакционной способности (CRI) и, следовательно, послереакционной прочно-

сти (CSR) кокса, достижение таких показателей, как у кокса ПАО «Алчевсккокс», для печей АМКР сегодня не является первоочередной задачей, т.к. на этих доменных печах не применяется технология вдувания ПУТ, а для используемой технологии загрузки в печи через колошник кускового антрацита, прежде всего, важны высокие показатели холодной прочно-

Таблица 1. Показатели качества кокса КХП АМКР

Год	Показатели								
	W, %	As, %	S, %	M_{25} , %	M_{10} , %	+80, мм	-25, мм	CSR, %	CRI, %
2009	3,9	12,9	0,85	84,4	8,9	10,5	5,8	41,9	41,5
2010	4,4	12,9	0,88	83,4	8,6	7,2	6,8	41,2	41,5
2011	3,8	12,4	0,88	86,6	7,6	10,6	5,1	47,4	42,1

Таблица 2. Технико-экономические показатели работы доменных печей № 7, 8 и 9 АМКР при разных значениях показателя послереакционной прочности (CSR) кокса

Показатели	ДП-7			ДП-8			ДП-9		
	Б	O ₁	O ₂	Б	O ₁	O ₂	Б	O ₁	O ₂
Длительность периода, сут.	31	30	31	31	30	31	31	30	31
CSR кокса	45,0	51,6	50,9	41,8	51,6	50,9	54,9	53	56,4
Удельная производительность, т/(сут.×м ³)	1,83	1,84	1,93	1,83	1,86	1,88	1,97	1,63	1,56
Расход кокса (К), кг/т чугуна	459,5	504,9	511,9	431,9	472,3	475,9	426,8	441,2	435,1
Приведенный расход кокса, кг/т чугуна	—	482,0	496,8	—	484,5	496,5	—	416,1	406,9
Расход антрацита (А), кг/т чугуна	71,7	21,1	22,8	45,9	10,7	11,7	56,0	42,8	37,9
Интенсивность (К+А), кг/м ³ ×сут.	971	965	1031	873	899	917	949	788	739
Дутье: расход, м ³ /мин	3395	3284	3409	4649	4792	4671	7812	7491	7280
температура, °С	929	1041	1028	946	1043	1024	1090	1095	1090
давление, кПа (изб.)	287	286	284	266	293	290	337	327	327
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	70,9	62,0	72,3	61,8	59,9	70,6	87,1	57,5	58,0
Содержание кислорода в дутье, %	26,6	25,7	25,5	25,9	25,8	25,9	30,5	23,6	23,5
Колошниковый газ:									
давление, кПа (изб.)	139	140	140	110	148	145	139	139	130
температура, °С	305	323	319	198	267	261	93,0	113	116
содержание %: CO	24,9	21,5	21,6	24,7	21,2	21,3	30,0	23,2	23,7
CO ₂	18,8	18,1	18,0	17,0	16,4	16,6	18,4	17,7	18,2
H ₂	7,2	6,1	6,0	5,6	6,3	5,9	6,2	5,8	6,2
Анализ чугуна, %: Si	0,73	0,71	0,80	0,79	0,66	0,73	0,84	0,86	0,88
Mn	0,25	0,39	0,32	0,21	0,23	0,25	0,30	0,2	0,17
S	0,026	0,018	0,019	0,021	0,02	0,017	0,019	0,014	0,014
P	0,080	0,073	0,069	0,064	0,062	0,066	0,076	0,063	0,061
C	4,45	4,32	4,31	4,44	4,32	4,34	4,74	4,72	4,71
Рудная нагрузка, т/т	3,94	3,60	3,61	4,22	3,65	3,66	4,07	4,03	4,05
Вынос колошниковой пыли, кг/т чугуна	14,3	38,45	29,28	13,34	22,43	21,14	3,2	4,92	4,78
в т.ч. уловленной, кг/т чугуна	11,5	34,45	25,28	10,98	18,43	17,14	2,8	4,52	4,38
Текущие простои, %	0,74	2,67	1,25	2,49	1,85	1,14	0,83	2,56	2,28
Тихий ход, %	0	0	0	0	0	0	0,03	0,09	0,04
Содержание Fe во всей шихте, %	54,02	54,5	54,64	54,77	55,17	54,95	54,90	54,33	54,86
Качество кокса, %: влага	3,1	4,2	3,6	3,5	4,2	3,6	3,73	4,3	4,2
зола	11,89	11,80	12,00	12,70	11,80	12,00	11,20	10,30	10,40
сера	1,01	0,70	0,75	0,80	0,70	0,75	0,63	0,66	0,66
M_{25}	86,8	86,5	87,0	85,3	86,5	87,0	87,6	87,7	88,4
M_{10}	7,8	7,4	7,3	9,0	7,4	7,3	7,0	6,7	6,7
+80 мм	9,9	9,2	11,5	11,2	9,2	11,5	7,9	7,5	7,1
-25 мм	3,3	5,2	5,0	5,4	5,2	5,0	3,6	3,5	1,7
CRI	36,1	35,2	34,7	39,9	35,2	34,7	31,3	34,2	35,1
Содержание фракции -0,5 мм в железорудной части шихты, %	16,9	19,86	17,57	5,43	15,2	12,2	5,74	8,6	8,8

сти кокса [3].

В настоящее время необходимость обеспечения низкой реакционной способности кокса CRI неоднозначна. Например, японские металлурги ищут пути не снижения, а повышения CRI кокса даже для печей, использующих технологию вдувания ПУТ [4-7]. Кроме этого, при повышении реакционной способности кокса его расход может дополнительно уменьшаться за счёт снижения степени развития прямого восстановления железа, что вполне реально, и это подтвердили японские [4-7] и наши [8, 9] исследования.

Основное количество кокса ДП АМКР получают от собственного коксохимического производства (КХП). Показатели качества кокса КХП в 2009-2011 гг. приведены в табл. 1 [10, 11]. Надо отметить, что показатели холодной прочности кокса, загружаемого в ДП доменных цехов № 1 и 2 АМКР, – самые низкие

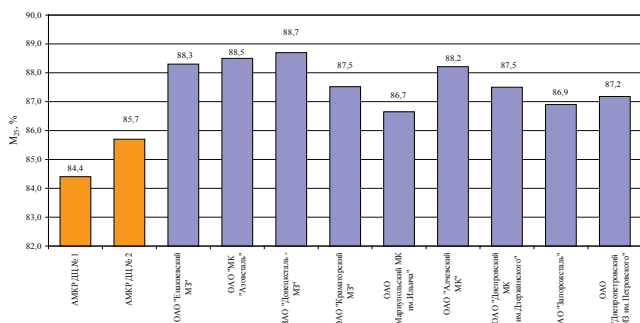


Рис. 1. Прочность кокса по показателю M_{25} по предприятиям Украины в 2009 году

по сравнению с аналогичными показателями качества кокса, используемого на других металлургических комбинатах Украины, и это при том, что кроме кокса КХП на ДП № 9 объемом 5000 м³ дополнительно использовали кокс и других поставщиков с лучшими показателями по прочности и истираемости. Для примера на рис. 1-4 приведены данные о показателях прочности и истираемости кокса по предприятиям Украины в 2009 г. и в сентябре 2010 г.

В 2011 г. в связи с изменением сырьевой базы коксования качество кокса на КХП заметно улучшилось в сравнении с 2009 и 2010 гг. (табл. 1) и значительно улучшилось качество кокса КХП по итогам 9 мес. 2012 г. При этом шихту на КХП в 2012 г. стали составлять таким образом, чтобы обеспечить, прежде всего, рост послереакционной прочности кокса (CSR). В результате ДП № 7 (2000 м³) и № 8 (2700 м³) с января по сентябрь (включительно) 2012 г. получали кокс только КХП с показателями, %: M_{25} 85,9-88,0; M_{10} 7,3-7,8; CSR 48,0-51,9 и CRI 33,7-36,7. ДП № 9 в этот же период получала кокс КХП и привозной кокс «АрселорМиттал Польша», причем расход последнего непрерывно рос. Так, если в апреле этого года кокса грузили в печь 50,9 %, то в сентябре – уже 84,8 %. В результате на этой печи показатели качества кокса были несколько выше, %: M_{25} 87,0-88,2; M_{10} 6,7-7,3; CSR 50,4-53,9 и CRI 33,2-36,5.

За последние 12 лет самые низкие показатели по

расходу кокса на ДП № 7 и 9 были зафиксированы в 2006 г. при самых высоких среднемесячных расходах антрацита, а на ДП № 8, которая простояла на капитальном ремонте с 2003 г. по август 2008 г. [12], – в 2009 г. (лучшие месяцы работы этих печей в указанные периоды

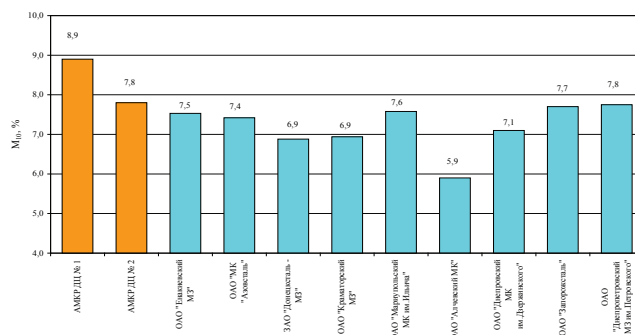


Рис. 2. Истираемость кокса по показателю M_{10} по предприятиям Украины в 2009 году

традиционно используют как базовые). В связи со значительным ростом CSR кокса КХП для ДП № 7 и 8 в 2012 г. (лучшие месяцы работы этих печей будем считать опытными) проведем сравнительный анализ работы этих печей с базовыми периодами.

В базовом периоде 2006 г. в ДП № 9 подавали кокс с показателем CSR более высоким, чем в трех кварталах 2012 г., и только в опытном периоде № 2 этого года CSR превысило этот показатель качества кокса базового периода. Технико-экономические показатели работы ДП № 7, 8 и 9 на коксе разного качества и при загрузке в печи различного количества антрацита приведены в табл. 2.

Приведение в таблице производительности к одинаковым условиям не производилось, так как она определяется количеством заказов на металлопродукцию. А вот приведенный расход кокса позволяет

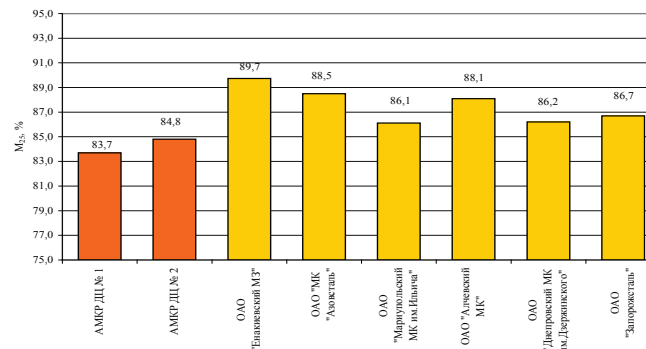


Рис. 3. Прочность кокса по показателю M_{25} по предприятиям Украины в сентябре 2010 года

оценить уровень технологии на конкретном агрегате. По нему можно судить, как могла бы измениться себестоимость чугуна при соблюдении определенного уровня технологии доменной плавки.

Анализ табл. 2 показывает, что при существенном увеличении CSR кокса, загружаемого в печи № 7, 8 и 9, ни на одной из доменных печей в опытных периодах увеличить рудную нагрузку на кокс не удалось. При этом, несмотря на существенное увеличение температуры дутья, а в некоторых периодах и расхода

природного газа получить более низкий расход кокса на печах № 7 и 8 в сравнении с базовыми периодами не удалось. Приведенный расход кокса вырос на 22,5-64,6 кг/т чугуна. Исключением является только ДП № 9, на которой приведенный расход кокса снизился в опытных периодах, соответственно, на 10,7 и 19,9 кг/т при росте фактического расхода кокса на 14,4 и 8,3 кг/т чугуна. Таким образом, можно констатировать, что затраты, понесенные на приобретение дорогих импортных угольных концентратов для увеличения показателя послереакционной прочности кокса CSR, не окупились.

Если проанализировать показатели холодной прочности кокса по печам, то видно, что M_{25} и M_{10}

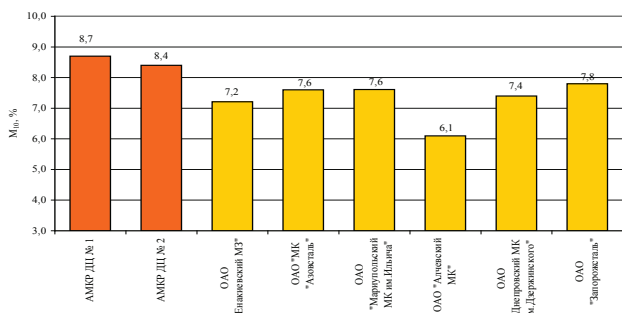


Рис. 4. Прочность кокса по показателю M_{10} по предприятиям Украины в сентябре 2010 года

изменялись незначительно как в одну, так и в другую сторону. Более того, каждый раз, когда предпринимались попытки увеличить показатель CSR для кокса КХП, прочность его по M_{25} всегда уменьшалась. Это видно из зависимости между этими показателями кокса КХП по результатам 2011 г. (рис. 5).

Основной причиной роста расхода кокса на печах в рассматриваемые периоды, в сравнении с базовыми, является снижение норм подачи в печи антрацита, которые к тому же и не выполнялись. Имеет место значительная неритмичность поставки кускового антрацита в доменные цехи. Если бы антрацит был в наличии, то даже при существующих показателях холодной прочности кокса и загрузке в печи антрацита минимум 70 кг/т (технология подачи такого количества антрацита в печи хорошо отработана еще на комбинате «Криворожсталь» [3]), то можно было бы

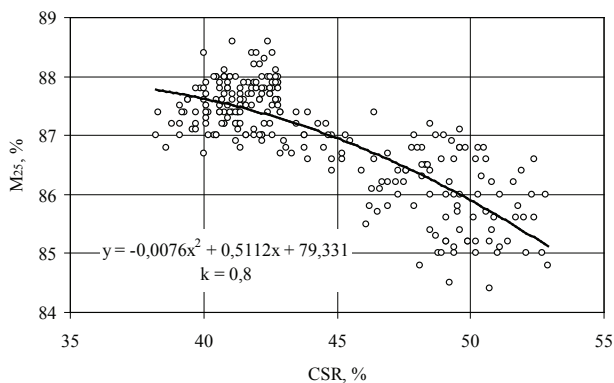


Рис. 5. Зависимость прочности кокса M_{25} от изменения CSR кокса КХП по данным 2011 года

иметь удельный расход кокса на печах № 7 и 8 438-455 и 434-446 кг/т, соответственно, а на печи № 9 379-438 кг/т чугуна.

Если бы шихту на КХП составляли с учетом обеспечения показателей холодной прочности кокса M_{25} 90 % и M_{10} 6 %, вместо повышения показателя послереакционной прочности CSR до уровня 55-60 %, то расход кокса можно было бы снизить ещё дополнительно [13] и получить значительную экономию не только за счет отказа от дорогих импортных углей, но и иметь значительную экономию в доменном производстве, прежде всего, за счет снижения расхода кокса и разницы цен на кокс и антрацит. В настоящее время цена на кусковый антрацит ниже цены на кокс в 2,5-2,7 раза, и при использовании даже до 70 кг/т антрацита можно получить значительное снижение себестоимости чугуна.

Выводы

Для успешного функционирования на внутреннем и внешнем рынках металлургическим предприятиям необходимо снижать себестоимость выпускаемой продукции, прежде всего, за счет снижения затрат на энергоносители в доменном производстве.

К важнейшим направлениям повышения эффективности доменного производства относятся технология вдувания пылеугольного топлива в доменные печи в количестве 150-200 кг/т чугуна и технология использования кускового антрацита в количестве до 70-90 кг/т чугуна на тех доменных печах, где еще не внедрена технология вдувания ПУТ.

Обе эти технологии требуют опережающего повышения качества кокса, причем если для технологии ПУТ, прежде всего, необходимо повышать послереакционную прочность кокса CSR в связи со значительным сокращением расхода твердого топлива в доменной плавке, то для технологии загрузки в печи кускового антрацита, прежде всего, необходимо повышать качество кокса за счет улучшения показателей его холодной прочности как минимум, до M_{25} = 90 % и M_{10} = 6 %.

Библиографический список

1. Лялюк В.П., Товаровский И.Г., Тараканов А.К. Проблемы реализации вдувания пылеугольного топлива и альтернативных технологий доменной плавки // БНТИ Черная металлургия. - 2011. - № 11. - С. 20-26.
2. Товаровский И.Г., Большаков В.И., Лялюк В.П. Альтернативные коксосберегающие технологии – перспектива развития доменного производства // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2011. - № 2. - С. 10-13.
3. Антрацит и термоантрацит в шихте доменной плавки // В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский, Д.А. Демчук и др. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 245 с.
4. Enhancement of blast furnace reaction efficiency through the use of highly reactive coke / S. Nomura, S. Matsuzaki, M. Naito et al. // FISTech 2006. Proceedings. P. 31-37 (ОАО «Черметинформация») // Новости чёрной металлургии за рубежом. - 2007. - № 1. - С. 15-18.
5. Subjects for achievements of blast furnace operation with low reducing agent rate / Y. Ujisawa, K. Na-

kano, Y. Matsukura et al. // Tetsu-to-Hagane. 2006. 92. № 12. P. 323-329. (ОАО «Черметинформация»). Новости чёрной металлургии за рубежом. - 2008. - № 1. - С. 27-30.

6. Shimizu M., Naito M. Technological progresses and researches on blast furnace ironmaking in the new century // Tetsu-to-Hagane. 2006. 92. №12. P. 694-702. (ОАО «Черметинформация»). Новости чёрной металлургии за рубежом. - 2007. - № 4. С. 22-31.

7. Naito M. Necessity of high strength and high reactivity for coke // CAMP ISIJ. - 2007.20. P. 620-623. (ОАО «Черметинформация»). Новости чёрной металлургии за рубежом. - 2008. - № 5. - С. 15-22.

8. Лялюк В.П., Тараканов А.К., Кассим Д.А. Влияние реакционной способности кокса на технико-экономические показатели доменной плавки // Кокс и химия. - 2011. - № 2. - С. 16-22.

9. Тараканов А.К., Лялюк В.П., Кассим Д.А. Обоснование современных подходов к оценке качества доменного кокса // Сталь. - 2011. - № 7. - С. 20-22.

10. Итоги работы предприятий ассоциации «Укр

рkokс» в 2010 году. – Днепропетровск: Украинская научно-промышленная ассоциация «Укрkokс». - 2011. – 109 с.

11. Итоги работы предприятий ассоциации «Укрkokс» в 2011 году. – Днепропетровск: Украинская научно-промышленная ассоциация «Укрkokс», 2012. – 107 с.

12. Опыт эксплуатации, выдувки, ремонта и пуска после реконструкции доменной печи объемом 2700 м³ / В.А. Шеремет, В.П. Лялюк, А.В. Кекух и др. // БНТИ Черная металлургия. - 2010. - № 3. - С. 50-59.

13. Выбор направлений развития коксоберегающей технологии доменной плавки / В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский, В.А. Шеремет и др. // БНТИ Черная металлургия. - 2010. - № 1. - С. 37-41.

Поступила 19.12.2012



Производство

УДК 669.184.16

Ярошевский С.Л. /д.т.н./, Минаев А.А. /д.т.н./, Кузин А.В. /к.т.н./, Мишин И.В.

Донецкий НТУ

Кузнецов А.М. /к.т.н./

ПАО «Енакиевский МЗ»

Ресурсы и эффективность полной и комплексной компенсации при использовании пылеугольного топлива (ПУТ) в доменной плавке

На основе принципа полной и комплексной компенсации выполнен расчет технологических режимов с применением ПУТ (от 0 до 230 кг/т) для доменной печи № 3 ПАО «Енакиевский металлургический завод» («ЕМЗ»). Реализация ПУТ-технологии в сложившихся шихтово-технологических условиях ДП № 3 ПАО «ЕМЗ» может обеспечить вдувание на 1 т чугуна 160 кг ПУТ, вывод из состава дутья ПГ (43,0 м³/т), снижение расхода кокса на 170 кг/т (33,5 %). Теоретические соображения, современный промышленный опыт подтверждают, что на основе данного принципа и при наличии соответствующих компенсирующих мероприятий реальной становится возможность замены до 60-80 % скипового кокса дополнительным топливом, снижения расхода кокса до 200-300 кг/т чугуна. Табл. 7. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: доменная плавка, полная и комплексная компенсация, кокс, пылеугольное топливо

The calculation of technological modes with the use of pulverized coal fuel (from 0 to 230 kg/t) is executed on the basis of a principle of full and complex compensation for a blast furnace No. 3 of Yenakiiyev Iron and Steel Works. The realization of pulverized coal technology in the existing burden-technological conditions of a blast furnace No. 3 of Yenakiiyev Iron and Steel Works can provide injection of 160 kg such fuel per 1 t pig-iron, a removal of natural gas from composition of hot blast (43.0 m³/t), decrease in the coke consumption by 170 kg/t (33.5 %). Theory and modern industrial experience confirm that on the basis of the given principle and in the presence of corresponding compensating actions real there is a possibility of replacement of 60-80 % skip coke by additional fuel, decrease of coke consumption to 200-300 kg/t of pig iron.

Keywords: blast furnace operation, full and complex compensation, coke, pulverized coal

Развитие и совершенствование технологии комбинированного дутья, применение в качестве дополнительного топлива ПУТ показали, что замена допол-

нительным топливом более 15-20 % кокса вызывает значительные нарушения важнейших параметров доменной плавки – теплового и газодинамического

© Ярошевский С.Л., Минаев А.А., Кузин А.В., Мишин И.В., Кузнецов А.М., 2013 г.