

Originality. For the conditions of blast furnace production of Ukraine, the requirements for developing the technology of injection of pulverized coal to the quality of coals, iron-containing materials and coke, preparatory measures are systematized and generalized.

Practical value. The expediency of using coals of Kuzbass instead of coals of Donbas for the preparation of pulverized coal in the Ukrainian conditions of blast-furnace production is substantiated. The main priority indicators of Kuzbass coal are: low ash content at the level of world recommendations, low sulfur content, high grindability, low

swelling of the coal particle in the combustion site, high caloric content, high softening point of the mineral residue.

Key words: blast furnace ironmaking, blast furnace, blast furnace smelting, pulverized coal, coke quality, iron ore.

Рекомендована к публикации
д. т. н. А. К. Таракановым

Поступила 01.08.2017



УДК 669.162

Наука

В. П. Лялюк /д. т. н./, А. К. Тараканов /д. т. н./,
Д. А. Кассим /к. т. н./
П. И. Оторвин /к. т. н./, Д. В. Пинчук

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепро, Украина
«АрселорМиттал Кривой Рог», г. Кривой Рог, Украина

Сравнение технологий доменной плавки при загрузке кускового антрацита и вдувании пылеугольного топлива

V. P. Lyalyuk /Dr. Sci. (Tech.),
A. K. Tarakanov /Dr. Sci. (Tech.),
D. A. Kassim /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine

P. I. Otorvin /Cand. Sci. (Tech.)/, D. V. Pinchuk

«ArcelorMittal Kryvoy Rog», Kryvoy Roh, Ukraine

Comparison of blast furnace technologies with anthracite lump loading and pulverized coal injection

Цель. Сравнить результаты использования на одной печи двух технологий доменной плавки – с загрузкой через колошник кускового антрацита и с вдуванием ПУТ.

Методика. Анализ технико-экономических показателей работы доменной печи в периоды максимальных среднемесячных расходов кускового антрацита и ПУТ.

Результаты. Показано, что в современных условиях доменной плавки технология загрузки в печь кускового антрацита, которая не требует капитальных вложений, может конкурировать с современной технологией вдувания ПУТ – естественно, только до определенного расхода ПУТ, обусловленного технологическими возможностями.

Научная новизна. Установлены факторы, при которых технология доменной плавки с вдуванием ПУТ не имеет преимуществ перед технологией загрузки через колошник кускового антрацита.

Практическая значимость. На доменных печах, где еще не используется технология вдувания ПУТ и где предварительными условиями её освоения должны быть обеспечение печей коксом и железорудным сырьем высокого качества, а также подготовка самой печи и всех ее систем к внедрению ПУТ, технология загрузки в доменные печи кускового антрацита является экономически более оправданной. Особенно эта технология эффективна при ограничениях производительности печей из-за проблем с реализацией готовой продукции, когда печи переводят в низкоинтенсивный режим работы и когда на первый план выходит решение проблем экономики предприятия. (Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: доменная плавка, пылеугольное топливо, кусковый антрацит, загрузка печи, расход кокса.

Постановка проблемы. Эксперименты по частичной замене кокса в доменной плавке каменным углем и антрацитом, загружаемыми через колошник печи, достаточно активно велись в 70–80-х годах прошлого века на ряде металлургических предприятий СССР. Результаты этих испытаний показали практическую невозможность загружать через колошник кусковый уголь в количестве более 10–15 кг/т чугуна. Возможность увеличения расхода угля сверх указанных пределов сдерживалась отрицательным его влиянием на газодинамику доменной плавки в результате интенсивного разрушения его кусков при приходе их в зону с высокой температурой и загромождения горна печи. Преимущественно в этих экспериментах использовался антрацит. Антрацит значительно дешевле кокса и зачастую имеет более высокое содержание углерода, однако уступает ему по показателям прочности, особенно при высоких температурах. Компенсировать этот недостаток можно при использовании специальной технологии предварительной подготовки, а также загрузки и распределения кускового антрацита по радиусу колошника доменной печи. Такая технология была разработана специалистами комбината «Криворожсталь» совместно с учеными Криворожского металлургического института НМетАУ и Института черной металлургии НАНУ [1].

Начало разработки этой технологии на комбинате относится к 2000 г. на печи № 1 объемом 1719 м³. Уже к 2005–2006 гг. удалось выйти на загрузку в печи первого доменного цеха кускового антрацита до 50–60 кг/т чугуна в среднем за год и до 70–85 кг/т чугуна в отдельные месяцы при снижении расхода кокса до 400 кг/т чугуна. На доменной печи № 6 объемом 2000 м³ при загрузке антрацита расход кокса опускался даже до 384 кг/т чугуна. В отдельные непродолжительные периоды выходили на расход антрацита до 90–100 кг/т чугуна. Более высокие расходы сдерживались нерегулярными поставками на комбинат антрацита и недостаточным качеством кокса по показателям холодной и особенно горячей прочности. На доменной печи № 9 объемом 5000 м³ комбината «Криворожсталь» технологию загрузки антрацита начали осваивать в 2003 г. [1; 2], а технологию с вдуванием ПУТ на этой же печи ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» – с декабря 2015 г.

Формулировка цели. В настоящее время представлялась возможность выполнить сравнительный анализ этих двух технологий на большой доменной печи объемом 5000 м³ ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Фактический материал. При всех сложностях использования антрацита в шихте такой боль-

шой доменной печи специально разработанная технология позволила в 2005 г. выйти на среднегодовую загрузку антрацита 42 кг/т чугуна при расходе кокса 427 кг/т, а в 2006 г. средний расход антрацита составил 52 кг/т чугуна. В отдельные месяцы на этой печи расход кускового антрацита поднимался в среднем до 72,8 кг/т, а расход кокса опускался до 400 кг/т чугуна [1–3].

Разработанная на «Криворожстали» технология использования антрацита предусматривает, прежде всего, изменение режима загрузки доменной печи, обеспечивающее значительное увеличение толщины слоёв кокса, что при частичной замене кокса антрацитом не ухудшает газодинамику зоны «когезии» и позволяет газовому потоку перераспределяться под каждым рудным слоем, в результате чего улучшается обработка газом рудных материалов в районе «рудного гребня». Вторым обязательным условием использования данной технологии является загрузка антрацита совместно с железорудной частью шихты, что исключает «замусоривание» коксовых слоев мелочью, образующейся при разрушении угля, и обеспечивает практически полную газификацию угольной мелочи кислородом шихты. Третьим обязательным условием использования технологии является регулирование распределения антрацита по радиусу печи, особенно при увеличении его расхода на тонну чугуна. Эта задача легко решалась на доменной печи № 9, оборудованной бесконусным загрузочным устройством и конвейерной шихтоподачей. Здесь антрацит загружался на железорудную порцию шихты на сборном конвейере в среднюю или в головную часть порции с учётом используемых углов наклона лотка при выгрузке этой порции в печь. И, наконец, для эффективного использования данной технологии необходима ритмичная поставка в цех качественного антрацита крупностью не более 60 мм [1–3].

Изложение основных результатов исследований. Использование двух технологий на доменной печи № 9 позволяет провести их сравнительный анализ. Так, в табл. 1 приведены технико-экономические показатели работы печи в периоды максимальных среднемесячных расходов кускового антрацита и ПУТ.

Сравнение работы печи при среднемесячном расходе антрацита 72,8 кг/т с вдуванием природного газа 27 м³/т (февраль 2006 г.) и при вдувании ПУТ в количестве 101,6 кг/т (апрель 2017 г.) показывает снижение во втором случае фактического удельного расхода кокса с 459,7 до 408,0 кг/т чугуна. Однако после приведения расхода кокса к одинаковым условиям этот результат нивелируется, т. е. при таких низких расходах ПУТ достичь потенциального преимущества технологии

Сравнение технико-экономических показателей работы доменной печи объемом 5000 м³ в периоды максимальных расходов кускового антрацита и ПУТ

Показатель	Период	
	Февраль 2006 г.	Апрель 2017 г.
Длительность периода, сут.	28	30
Производительность, т/сут.	7683	7371
Приведенная производительность, т/сут.	7683	6876
Расход кокса (К), кг/т	459,7	408
Приведенный расход кокса, кг/т	459,7	471,3
Расход антрацита (А), кг/т	72,8	0
Расход ПУТ, кг/т	0	101,6
Дутье: расход, м ³ /мин давление, кПа (изб.) температура, °С	7696	6185
	342	233
	972	1040
Расход природного газа, м ³ /т	27,0	27,1
Содержание кислорода в дутье, %	24,5	25,12
Колошниковый газ: давление, кПа (изб.) температура, °С содержание %: CO CO ₂ H ₂	158	51
	111	104
	24,4	23,2
	18,5	20,6
	4,5	5,5
Степень использования СО, доли ед.	0,43	0,47
Анализ чугуна, %: Si Mn S P	0,84	0,81
	0,32	0,23
	0,024	0,011
	0,073	0,088
Уловленная колошниковая пыль, кг/т	4,0	5,95
Текущие простои, %	4,22	3,55
Тихий ход, %	0	0
Содержание Fe во всей шихте, %	53,91	55,26
Рудная нагрузка на кокс, кг/кг	3,85	4,26
Основность шлака, ед.	1,20	1,14
Расходы, кг/т: железная руда агломерат АФ № 1 агломерат АФ № 2 окатыши СевГОК шлак обогащенный скрап металлический известняк	0	6,7
	168,8	2,6
	1330,1	1677,1
	169,8	5,9
	66,7	41,2
	39,2	13,8
	21,7	0
Качество кокса, %: влага зола сера M ₂₅ M ₁₀ +80 мм -25 мм CSR CRI	3,19	5,6
	11,4	11
	1,07	0,5
	88,9	86,9
	6,9	6,6
	9,4	5,3
	3,3	4,5
	44,4	57,8
38,9	31,3	
Средневзвешенная фракция -5 мм в железорудной шихте, %	7,68	6,8

вдувания ПУТ перед загрузкой кускового антрацита пока не удалось. Аналогичные результаты были получены при выполнении сравнительного анализа по результатам работы доменной печи в 2016 г. [4].

Следует подчеркнуть, что на сегодняшний день технология вдувания ПУТ обеспечивает в мировой практике самые высокие технико-экономические показатели работы доменных печей при расходах ПУТ не менее 200 кг/т чугуна [5].

В работе [6] была выполнена оценка возможности достижения минимального расхода кокса, в частности и на доменной печи № 9 до принятия решения об использовании ПУТ. Для анализа был выбран лучший период работы печи с использованием методики учета влияния технологических факторов на удельный расход кокса и производительность доменной печи. Этот анализ показал, что максимальный эффект (сопоставимый с эффектом от использования технологии вдувания ПУТ) от использования частичной замены кокса антрацитом возможен, прежде всего, при повышении качества кокса, особенно по показателям CSR и CRI (табл. 1), чего не наблюдалось за весь период использования технологии загрузки в печь кускового антрацита.

Вывод. На доменных печах, где еще не используется технология вдувания ПУТ и где условиями её освоения должны быть обеспечение печей коксом и железорудным сырьем высокого качества, а также подготовка самой печи и всех ее систем к внедрению ПУТ, технология загрузки в доменные печи кускового антрацита может обеспечить значительное снижение расхода кокса и себестоимости чугуна.

Библиографический список / References

1. Антрацит и термоантрацит в шихте доменной плавки / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский, Д. А. Демчук, и др. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 245 с.

Lyalyuk V. P., Tovarovskiy I. G., Demchuk D. A. (2008). *Antratsit i termoantratsit v shihte domennoy plavki* [An anthracite and thermoanthracite in the charge of the domain melting]. Dnepropetrovsk, Porogi, 245 p. (in Ukrainian).

2. Теоретические и экспериментальные исследования доменной плавки / В. П. Лялюк, Д. А. Кассим, В. Н. Онопа, Е. Е. Донсков – Кривой Рог: Дионат, 2016. – 621 с.

Lyalyuk V. P., Kassim D. A., Onopa V. N., Donskov E. E. (2016). *Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya domennoy plavki* [Theoretical and experimental studies of blast furnace smelting]. Krivoy Rog, Dionat, 621 p.

3. Технологические особенности использования кускового антрацита в доменной плавке /

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В. П. Лялюк, А. К. Тараканов, Д. А. Кассим и др. // *Металлург.* – 2016. – № 2. – С. 25–30.

Lyalyuk V. P., Tarakanov A. K., Kassim D. A. (2016). *Tehnologicheskie osobennosti ispolzovaniya kuskovogo antratsita v domennoy plavke* [Technological features of the use of lump anthracite in the blast furnace melting]. *Metallurg*, no. 2, pp. 25-30.

4. Сравнительный анализ эффективности технологий доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива и с загрузкой кускового антрацита / В. П. Лялюк, А. К. Тараканов, Д. А. Кассим и др. // *Сталь.* – 2017. – № 7. – С. 2–4.

Lyalyuk V. P., Tarakanov A. K., Kassim D. A. (2017). *Sravnitelnyiy analiz effektivnosti tehnologii domennoy plavki s vduvaniem pyileugolnogo topliva i s zagruzkoj kuskovogo antratsita* [Comparative analysis of the efficiency of blast furnace smelting technologies with pulverized coal injection and with the loading of lump anthracite]. *Stal*, no 7, pp. 2-4.

5. Лялюк В. П. Проблемы реализации вдувания пылеугольного топлива и альтернативных технологий доменной плавки / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский, А. К. Тараканов // *Черная металлургия.* – 2011. – № 11. – С. 20–26.

Lyalyuk V. P., Tovarovskiy I. G., Tarakanov A. K. (2011). *Problemy realizatsii vduvaniya pyileugolnogo topliva i alternativnyih tehnologiy domennoy plavki* [Problems of realization of insufflation of PCI and alternative technologies of the domain melting]. *Chernaya metallurgiya*, no 11, pp. 20-26.

6. Выбор направлений развития коксо-сберегающей технологии доменной плавки / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский, В. А. Шеремет и др. // *Черная металлургия.* – 2010. – № 1. – С. 37–41.

Lyalyuk V. P., Tovarovskiy I. G., Sheremet V. A. (2010). *Vyibor napravleniy razvitiya koksosberegayuschey tehnologii domennoy plavki* [Choice of directions of development of technology of substituting for a

coke in domain melting]. *Chernaya metallurgiya*, no 1, pp. 37-41.

Purpose. Compare the results of use on the same furnace of two technologies of blast-furnace smelting – loading through the furnace top of the lump anthracite and pulverized coal injection.

Methodology. Analysis of technical and economic parameters of blast furnace in the periods of the maximum average monthly consumptions of lump anthracite and PCI.

Findings. It is shown that in modern conditions of blast furnace smelting technology of loading in a furnace of a lumped anthracite, which does not require capital investments, can compete with modern technology PCI – naturally, only up to a certain flow rate of pulverized coal, due to technological possibilities.

Originality. Factors have been established, in which the blast furnace smelting technology with PCI has no advantages over technology of loading through the top of lump anthracite.

Practical value. On blast furnaces, where the technology of PCI is not yet used, and where the primary conditions for its development should be to provide furnaces with coke and iron ore raw materials of high quality, and preparation of the furnace itself and all of its systems for the introduction of PCI, blast furnace charging technology of lump anthracite can ensure the economics of blast furnace smelting. Especially this technology is effective with limitations on furnace performance due to problems with the sale of finished products, when the furnace is switched to a low-intensity operation mode and when the solution of the problems of the enterprise's economy comes to the forefront.

Key words: Blast furnace, pulverized coal, lumped anthracite, furnace loading, coke consumption.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. А. К. Таракановым**

Поступила 29.08.2017

