

10. Ярошевский С.Л. Изучение процесса горения дополнительного топлива в фурменных зонах доменной печи / С.Л. Ярошевский, А.Т.Анисимов // Сталь. – 1985. - №2. – С.9-13.
11. Бабий В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208с.
12. Мухин П.Я. О поведении частицы пылеугольного топлива в горне печи / П.Я. Мухин // Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема. – М.: Металлургия, 1977.– С.52-54.
13. Померанцев В.В. Основы практической теории горения / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др. – Л.: Энергия, 1986.- 312с.
14. Андронов В.Н. Расчетная оценка режима и полноты сгорания пылеугольного топлива в доменной печи / В.Н.Андронов, В.В.Степанов, А.И. Бабич, В.В. Кочура // Технология выплавки чугуна. - М.: Металлургия, 1989.- С. 39-42.
15. Wu R. Research of utilization of Injected Pulverized Coal into BF at large PCI Rate/ K.Wu, W.Pan, W.Hu, et al.//Steel Research Int. - 2008. - No.12. - P.904-907.
16. Shen F. Technology progress and strategy in blast furnace ironmaking in China / F.Shen, T. Yang, B. Gao // Steel Research International. - 2005. - V.76. - No.10. - P.676-682.
17. Wu K. Research on Unconsumed Fine Coke and Pulverized Coal of BF Dust under Different PCI Rates in BF at Capital Steel Co./ K. Wu, R. Ding, Q.Han, et al.// ISIJ International, Vol. 50 (2010). - No. 3ю - P. 390–395.
18. Технология доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива и природного газа на дутье, обогащенном кислородом / А.Н. Рыженков, С.Л. Ярошевский, Б.П.Крикунов и др. // Сталь.- 2005 . - №12. – С. 3-6.
19. Перепелицин В.А. Основы технической минералогии и петрографии / В.А. Перепелицин. – М.: Недра, 1987.- 255с.
20. Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд / С.А. Юшко. - М.: Недра, 1984.-389с.

Поступила в редакцию 02.07.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Н. Смирнов

© Кочура В.В., Ярошевский С.Л., Купенко В.И.,
Попов В.Е., Иванов С.А., 2010

УДК 669.162

А.М. Новохатский, Г.Д. Михайлюк, А.В. Карпов

ПРИМЕНЕНИЕ АНТРАЦИТА В КАЧЕСТВЕ ЗАМЕНИТЕЛЯ КОКСА В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Проанализированы результаты промышленного использования угля как заменителя кокса. Определены горячая и холодная прочностные характеристики антрацита. Представлены рекомендации к выбору поставщиков для применения антрацита в качестве заменителя кокса в доменном производстве.

Ключевые слова: антрацит, кокс, промышленный опыт замены кокса, механическая прочность

Введение

Основной статьей стоимости выплавляемого чугуна является стоимость кокса. В связи с этим доменщиками непрерывно ищутся пути снижения расхода дорогого и дефицитного кокса. На текущий момент экономии кокса обеспечивают обычно такие его заменители:

– природный газ: в современных условиях, при его высокой стоимости и дефицитности, использование является экономически нецелесообразным, так как коэффициент замены кокса природным газом в реальных условиях обычно не превышает значения 0,7;

– коксовый газ: применение его в доменной плавке осложняется тем, что для вдувания в печь необходимо повышать давление в газодувках, работа которых затруднена из-за содержания в нем смолистых веществ, от которых необходимо предварительно его очистить. Кроме того, имеющиеся объемы коксового газа целесообразнее применять как топливо в прокатном производстве и т.д.;

– пылеугольное топливо: для вдувания ПУТа необходима закупка большого количества дополнительного дорогостоящего оборудования, а также последующее обслуживание его, что является серьезным недостатком.

Основная часть

Все вышеперечисленные методы предполагают подачу заменителей кокса непосредственно через фурмы в зону горения. В силу этого невозможно обеспечить расход кокса ниже 250-300 кг/т чугуна. Это объясняется тем, что кокс должен выполнять еще и роль «разрыхлителя» столба шихтовых материалов.

Эффективным направлением коксозаменяющей технологии является использование антрацита. Использование антрацита не приводит к существенному изменению основных технологических параметров процесса: производительность, выход колошникового газа, образование шлака и его основность колеблются в пределах, характерных для работы печей. Чугун по химическому составу соответствует стандарту. Кроме того, преимущество замены кокса каменным углем также в том, что он подается через колошник.

В 1985-1991 гг. ДонНИИчерметом совместно с Краматорским металлургическим заводом выполнена серия научных исследований по отработке технологии доменной плавки с частичной заменой металлургического кокса каменным углем различных марок: донецким антрацитом марки АС, донецким углем марки Т (тощий), углем марки ТПК (тощий, пластовый, калиброванный) Краснобродского угольного разреза (г. Белово Кемеровской обл.) [1].

Полученные результаты плавки показали целесообразность и необходимость частичной замены кокса углем без ограничения полезного объема

доменных печей. Экономическая эффективность использования каменного угля в доменной плавке определяется соотношением стоимости кокса и угля, количеством замененного кокса углем и коэффициентом замены.

Применение антрацита в доменной плавке осложняется его сравнительно низкими прочностными свойствами. Для сохранения газопроницаемости слоя шихтовых материалов существует ряд систем загрузок его на колошник доменной печи.

Существует способ доменной плавки с загрузкой в доменную печь полой руды и кокса, с добавлением в слой руды добавлять до 20 % угля [2].

В способе доменной плавки [3], для исключения загромождения горна, предполагается вести загрузку через колошник подач, состоящих из кокса, рудной части шихты и каменного угля, вводимого в печь с периодом, равным времени пребывания шихты в печи, при заданном массовом соотношении угля к коксу. При этом загрузку подач с каменным углем следует производить с периодом от времени пребывания шихты в печи, до величины произведения времени пребывания шихты в печи на соотношение насыпных весов кокса и угля.

По этой причине максимальная продолжительность периода загрузки подач, топливная часть которых состоит из 100 % угля, должна быть во столько же раз меньше периода загрузки подач со 100 % кокса, с тем, чтобы не допускать заполнения горна только углем и обеспечить его полное удаление.

Помимо этого были проведены исследования распределения угля по сечению колошника в зависимости от типа загрузки, на модели колошника печи объемом 1719 м³, выполненном в масштабе 1:10 [4].

В промышленных объемах антрацит так же применялся в ОАО «АМК». При этом показатели качества антрацита соответствовали следующим требованиям: зола, не более 7,0%; сера, не более 0,7%; влага, не более 5,0%.

Результаты применения антрацита на доменных печах №3 и №5 представлены на рисунках 1 и 2.

Из графиков видно, что удельный расход антрацита в отдельные периоды массового поступления антрацита достигал 60 кг/т чугуна.

При этом существенного ухудшения хода доменных печей не отмечалось, содержание углерода в колошниковой пыли не увеличилось, признаки загромождения горна отсутствовали. Выполненный пофакторный анализ расхода кокса на производство чугуна по итогам 2008 года показал, что коэффициент замены кокса антрацитом составил 0,95-1,0 т/т.

Результаты промышленного испытания показали хаотичные изменения производительности при замене кокса антрацитом. Это так же подтверждается анализом показателей работы печи при применения антрацита в ОАО «ЕМЗ» [5].



Рисунок 1 – Изменение производительности и расхода антрацита по времени на ДП№3 (1386 м) ОАО «АМК»

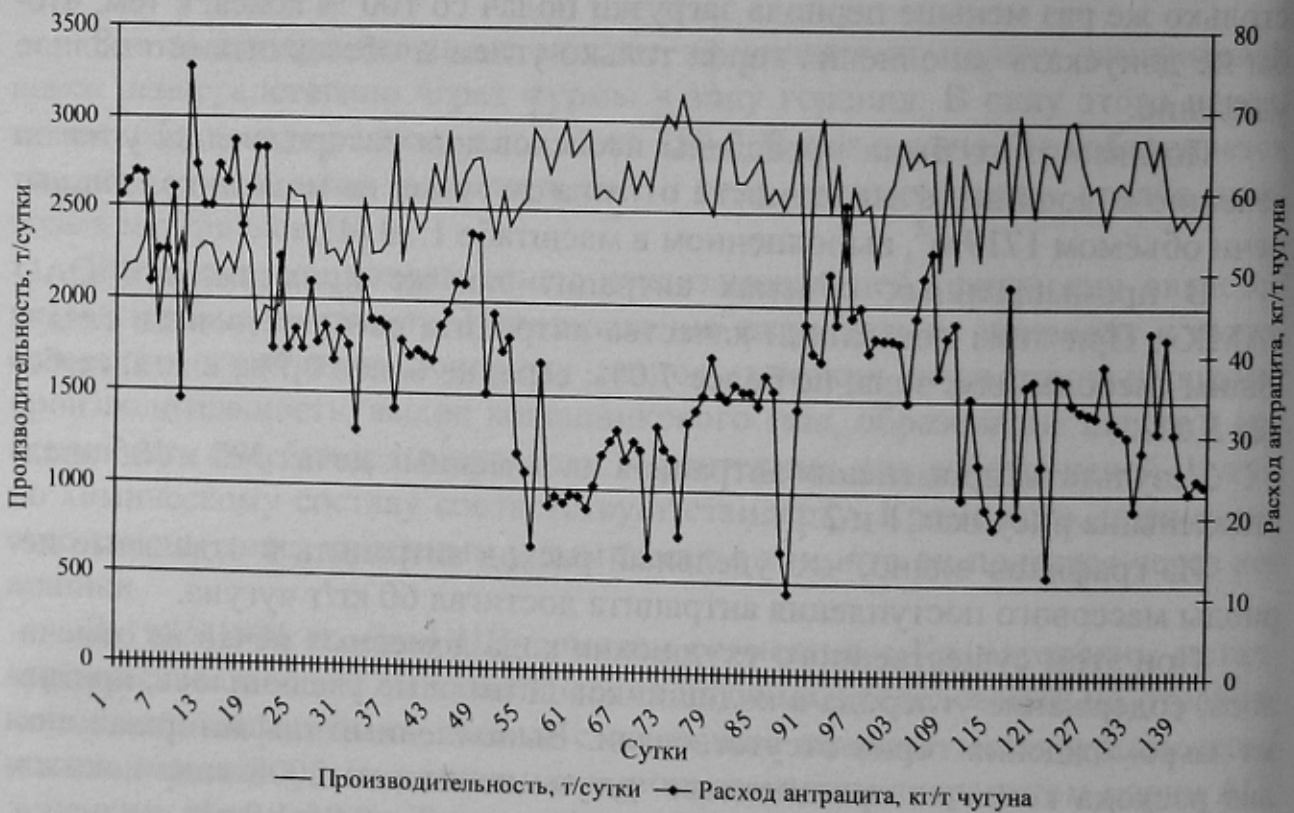


Рисунок 2 – Изменение производительности и расхода антрацита по времени на ДП№5 (1719 м) ОАО «АМК»

С целью обеспечения ровного хода печи, во время применения антрацита, необходимо поддерживать высокое качество шихтовых материалов,

в частности антрацита. Этого можно достигнуть, зная его механические свойства.

В холодном состоянии антрацит и кокс похожи по прочности, однако при нагреве прочность антрацита становится значительно ниже прочности кокса. В связи с этим по предложенной методике [6], были выполнены исследования горячей прочности антрацита.

Для обеспечения наибольшей представительности результатов значение показателя прочности на сжатие, определять для заготовок в форме кубов 15 мм, так как это наиболее соответствует размеру кусков антрацита в доменной печи.

Для изготовления кубов были отобраны пробы, представленные в таблице 1.

Для каждой из пробы были получены по 4 показателя холодного сжатия (при комнатной температуре), прочности при тепловом ударе (пробы резко нагреваются до 350°) и горячей сжатия (нагрев до 900°С).

Таблица 1 – Химический состав проб антрацита

Поставщик	Зола, %	Влага, %	Л.В., %	Сера, %
Ровеньки-Антрацит	2,3	4,5	2,5	1,15
Ровеньки-Антрацит	6,8	4,2	3,8	1,6
Ровеньки-Антрацит	4,9	3,9	2,9	2,1
Лобовские Копи	5,5	3,6	3,8	1,56
Лобовские копи	7	4,9	4,7	1,99
Красный Луч	8,2	6,1	4	1,28
ЦОФ Нагольчанская	5,7	4,5	4,3	1,9
Дарьевка	7,4	5,5	5	2,35
Постиково	7,9	4,2	4,2	2,1
София Бродская	9,7	4,6	3,1	2,3

Для каждой пробы было выполнено испытание в четыре раза. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Сопоставление прочностных характеристик антрацитов, добытых из разных шахт, представлено на рисунке 3.

Из рисунка видно, что связь между холодной и горячей прочностью отсутствует. Например, уголь от поставщиков ЦОФ Нагольчанская и Дарьевка имеет практически одинаковое значение холодной прочности, однако антрациты от ЦОФ Нагольчанская на 34,4% имеют выше показатель горячей прочности.

Температура колошникового газа составляет примерно 350°С, из за этого весь материал, загружаемый в печь сразу подвергается тепловому удару. Это воздействие не ухудшает прочность железорудных материалов и кокса, но снижает прочность антрацита.

Таблица 2 – Показатели прочности антрацита сжатием, МПа

Поставщик	Холодное сжатие				Тепловой удар (350°C)				Горячее сжатие (900°C)			
	Ровеньки-Антрацит	0,5	0,9	1,6	0,7	0,5	0,9	0,6	0,8	0,6	1,1	0,3
Ровеньки-Антрацит	0,8	1,5	1,3	0,8	1,3	1,3	0,7	1,5	1,1	0,5	0,7	1,5
Ровеньки-Антрацит	1,0	1,2	1,1	2,1	1,3	0,7	1,0	0,6	0,5	0,6	0,4	0,9
Лобовские Копи	1,5	0,7	2,0	2,5	2,5	2,0	1,0	0,5	1,7	1,0	0,8	0,6
Лобовские копи	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	0,6	0,5	0,8	0,3	1,2	0,4	0,5
Красный Луч	0,6	1,5	1,8	1,5	0,9	0,9	0,9	0,7	0,2	0,6	0,3	0,3
ЦОФ Нагольчанская	1,0	1,0	1,7	1,3	0,9	0,9	1,1	2,0	0,8	1,5	0,8	0,7
Дарьевка	1,0	1,1	2,0	1,1	0,9	1,9	1,0	0,8	0,5	0,7	0,8	0,5
Постиково	0,9	1,0	1,1	0,6	0,9	0,7	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2
София Бродская	1,4	1,0	0,9	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,5	0,6	0,4

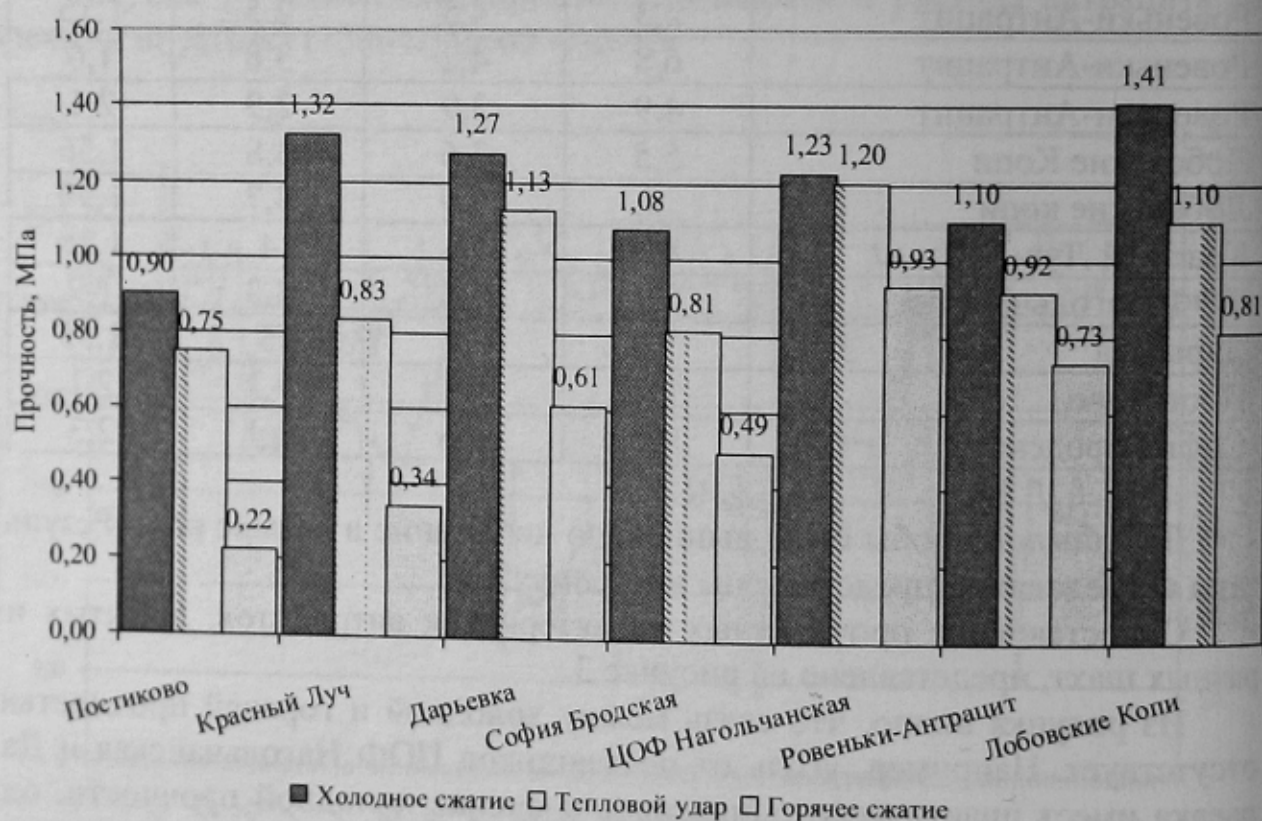


Рисунок 3 – Усредненные показатели прочности антрацитов сжатием при разных температурах

В антрацитах содержится примерно 5% влаги, при нагреве их до 350°C происходит активное испарение воды. В связи с этим повышается

внутреннее напряжение в кусках антрацита и падает его прочность. В среднем прочность при тепловом ударе падает на 20%.

Наиболее высокими показателями холодной и горячей прочности обладают угли от следующих поставщиков: Ровеньки-Антрацит, Лобовские Копи, ЦОФ Нагольчанская. Соответственно данные угли рекомендуется использовать в качестве заменителя кокса.

Выводы

В результате вышеизложенного видно, что при применении антрацита в качестве заменителя кокса необходимо тщательно контролировать его прочность. Поскольку предложенную методику [4] сложно реализовать в промышленных масштабах, то в качестве контроля горячей прочности необходимо использовать метод определения индекса реакционной способности кокса и прочности остатка [6]. Использование данного метода позволит контролировать прочность загружаемого антрацита, что обеспечит прогнозируемое изменение производительности доменной печи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт доменной плавки с частичной заменой кокса каменным углем. / И.В. Котельников, Н.Н. Попов, Н.Д. Прядко. и др. // Сталь. – 1994. – №8. – С. 15-20.
2. Способ ведения доменной плавки: МКИ⁴ С 21 В 5/00. / Заявка №1-28802. Япония. - Изобретения за рубежом. - М.: ВНИИГПЭ, 1982.
3. Способ доменной плавки / В.Г. Воскобойников, Б.М. Герман, В.Т. Белолипецкий и др. // А.с. СССР №1158591. - МКИ⁴ С 21В3/00. - М.: Бюллетень ВНИИГПЭ СССР.- 1985.-№20.
4. Бочка В. В. Распределение материалов на колошнике доменной печи при частичной замене кокса кусковым углем / В. В. Бочка // Труды V Международного конгресса доменщиков. - Днепропетровск: Пороги, 1999. - С. 315-317.
5. Новохатский А.М. Проблемы использования антрацита как заменителя кокса в доменном производстве / А.М. Новохатский, Г.Д. Михайлюк, А.В. Карпов // Сборник научн. трудов ДонГТУ. – 2009. – В. 28.
6. Кокс. Метод визначення індексу реакційної здатності коксу (CRI) і міцності залишку коксу після реакції (CSR): ДСТУ 4703:2006 (ISO 18894:2006, MOD). - [Действует с 01.01.2008]. - К.: Держспоживстандарт України, 2008. - 23 с. 34.

Поступила в редакцию 02.07.2010 Рецензент д-р техн. наук, проф. С.Л. Ярошевский

© Новохатский А.М., Михайлюк Г.Д., Карпов А.В., 2010