

УДК 662.749.2

МЕТОД ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТИРАЕМОСТИ И АБРАЗИВНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИТЕЙНОГО КОКСА *

Иванова В.А.¹, к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии материалов, стандартизации и метрологии (ivanova-waleriya@mail.ru)

Вдовин К.Н.², д.т.н., профессор, зав. кафедрой литейного производства и материаловедения (vdovin@magtu.ru)

¹Ярославский государственный технический университет
(150023, Россия, Ярославль, Московский пр., 88)

²Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова
(455000, Россия, Магнитогорск, пр. Ленина, 38)

Аннотация. В настоящее время отсутствуют стандартные методы определения истираемости и абразивной способности кокса в условиях, приближенных к условиям движения кокса по ленте транспортера, конвейеру или в шахте печи. В данной работе предложен метод испытания для определения истираемости и абразивной способности литейного кокса. Для испытаний отбирались образцы классов крупности 40 – 60 и 60 – 80 мм из четырех различных партий литейного кокса. Испытания проводились на вибрационной установке с действительной суммарной амплитудой колебаний 1,6 мм. Вибратором, оснащенный специальным приспособлением в виде емкости с закрепленной на дне алюминиевой пластиной, создавались колебания, передающиеся на образец кокса и обеспечивающие условия испытания. Время испытания составляло 30 мин. Относительные потери массы образцов кокса свидетельствуют о его истираемости, а относительные потери алюминиевой пластины – об абразивной способности кокса. Полученные значения истираемости и абразивной способности после испытаний согласуются с показателем прочности M_{40} . Кокс класса 60 – 80 мм обладает большей абразивной способностью, чем кокс класса 40 – 60 мм. При этом с увеличением прочности литейного кокса его истираемость для классов 40 – 60 и 60 – 80 мм снижается на ~ 22 и 41 % соответственно, а абразивная способность возрастает в 7,6 и в 2,3 раза соответственно.

Ключевые слова: литейный кокс, метод испытаний, истираемость, абразивная способность, крупность кокса, прочность, транспортировка.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-3-149-153

Прочность литейного кокса, влияющая на появление мелочи и пыли в процессе плавки, характеризуется рядом показателей и относится к свойствам, определяющим его качество [1 – 19]. Прочность кокса зависит от многих его свойств: реакционная способность, содержание серы, крупность, пористая структура [5, 6, 10 – 13]. На прочность большое влияние оказывает транспортировка [13 – 16] литейного кокса в связи с удаленностью плавильных участков от коксохимических предприятий. При испытаниях на прочность определяют показатели истираемости кокса (по МИКУМ – M_{10} , %; по Ирсид – I_{10} , %), которые по мнению некоторых исследователей также относятся к показателям качества каменноугольного кокса [4, 12, 17 – 19].

Истираемость каменноугольного кокса определяется различными стандартными способами. В одном случае истираемость после реакции с диоксидом углерода характеризуется отношением массы кокса, прошедшего через сито 0,5 мм, к массе кокса, оставшегося после реакции и подвергнутого меха-

нической обработке в барабане (ГОСТ Р 50921-2005, ГОСТ Р 54250-2010) в процентах. В другом – выходом класса менее 10 мм после механической обработки в барабане (ГОСТ 8929-75). В любом случае сущность этих методов заключается в определении количества образующейся коксовой мелочи после обработки в барабане, которая имитирует условия пересыпания и способствует разрушению кокса в основном под воздействием ударных нагрузок. При этом стандартный метод определения истираемости кокса в условиях, имитирующих движение кокса по ленте транспортера, конвейеру или в шахте печи в настоящее время отсутствует.

Знание абразивной способности литейного кокса имеет значение для оценки стойкости футеровки вагранки. Метод определения абразивной способности (ГОСТ 30827-2002) разработан для углей с целью определения износа деталей и узлов конвейерного, дробильного и складировочного оборудования. Сущность метода заключается в определении массового износа четырех стальных ножей, вращающихся при определенных условиях в горизонтальной плоскости лабораторной мельницы в твердом топливе массой 2 кг. Истирающая

* Работа выполнена при участии В.В. Хапеевой, магистранта Ярославского государственного технического университета, выпуск 2014 г.

способность выражается потерей массы металла на 1 кг топлива. Однако стандартных методов, позволяющих оценить абразивную способность каменноугольного кокса, в настоящее время нет.

Таким образом, в данной работе предложен новый метод испытания, позволяющий оценить истираемость и абразивную способность литейного кокса, условия которого моделируют движение кокса по транспортеру или конвейеру, а также в шахте вагранки.

Для проведения испытаний отбирали образцы литейного кокса классов крупности 40 – 60 мм (20 образцов) и 60 – 80 мм (14 образцов) из четырех партий, поставляемых на одно из предприятий Ярославля (табл. 1).

Исследования проведены на базе испытательно-го центра ОАО «Ярославский завод «Красный маяк»» на вибрационной установке, которая включает в себя

верхнюю и нижнюю плиты, соединенные четырьмя пружинами (см. рисунок). На верхней плите станда установлен электромеханический вибратор общего назначения модели ИВ-107А. На верхней крышке вибратора смонтировано приспособление в виде закрытой коробки. Внутренняя поверхность коробки (боковые стенки и крышка) обшита резиновыми прокладками для исключения контакта образца кокса с внутренней поверхностью коробки во время испытания. Для определения абразивной способности литейного кокса в приспособлении вибрационной установки на дне коробки двумя винтами плотно закреплена алюминиевая пластина.

Колебания по осям X, Y и Z составляют 1,50; 0,06 и 0,70 мм соответственно, действительная суммарная амплитуда колебаний вибрационной установки при проведении испытаний – 1,6 мм.

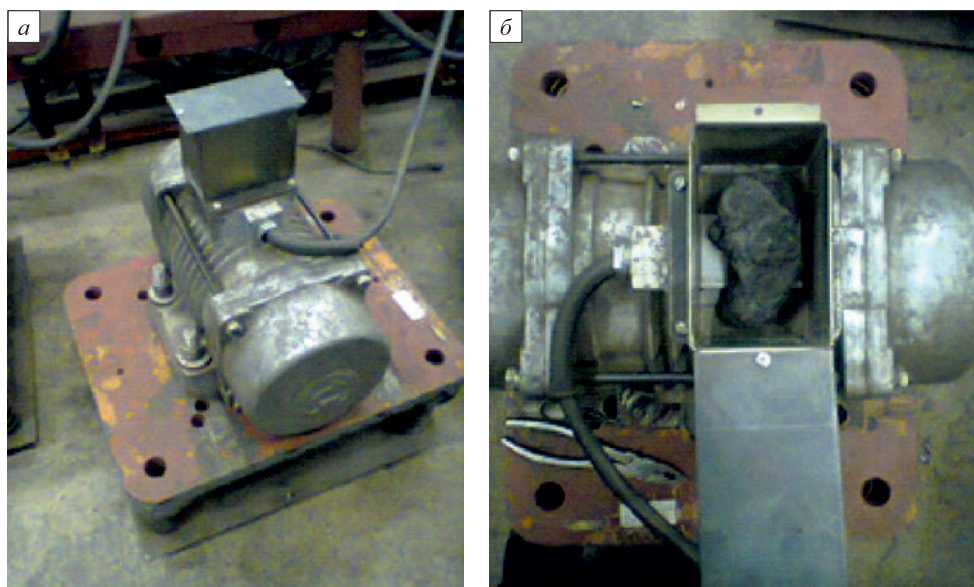
Таблица 1

Показатели качества литейного кокса*

Table 1. Indicators of foundry coke quality

Партия кокса	Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии, W_t^r , %	Зольность, A^d , %	Массовая доля общей серы, S_t^d , %	Показатель прочности, M_{40} , %	Массовая доля кусков размером менее нижнего предела, %
1	4,8	12,0	0,48	73,2	5,9
2	4,8	11,8	0,48	73,3	5,9
3	4,5	11,7	0,44	73,3	5,9
4	4,8	11,6	0,60	73,8	5,8

* Данные сертификатов качества поставщиков на партии кокса.



Вибрационная установка:

a – общий вид; *b* – вид сверху с образцом литейного кокса

Vibration unit:

a – general view; *b* – top view with a foundry coke sample

При определении абразивной способности образцов литейного кокса класса 40 – 60 мм применялись алюминиевые пластины с габаритами 60×42×5 мм (класс А), а для образцов кокса класса 60 – 80 мм – с габаритами 70×50×5 мм (класс Б). Выбор размеров алюминиевых пластин обусловлен достижением примерно одинаковой площади контакта поверхности образцов кокса с пластинами, пропорциональной классу размеров образцов кокса. Рабочая поверхность пластины была подвергнута механической обработке шлифованием. Твердость рабочей поверхности пластин составила 41 – 46 НВ. Массу пластин до и после испытаний определяли взвешиванием на лабораторных равноплечих весах модели ВЛР-200г.

При проведении испытания вибратором создавались колебания, вынуждавшие образец кокса подвижно контактировать с алюминиевой пластиной. Прижим образца кокса к пластине обеспечивался силой его тяжести. Время испытания составляло 30 мин. По окончании испытания образец кокса и пластину извлекали из приспособления, очищали от коксовой пыли путем обдува сжатым воздухом и взвешивали.

В процессе испытаний происходила потеря массы как образца кокса, свидетельствующая об его истираемости, так и алюминиевой пластины, характеризующая абразивную способность кокса. Потери образцов кокса (Δm_k , г) и пластины (Δm_{Al} , г) после испытаний рассчитывали по формулам:

$$\Delta m_k = m_{1k} - m_{2k}; \quad (1)$$

$$\Delta m_{Al} = m_{1Al} - m_{2Al}, \quad (2)$$

где m_{1k} , m_{1Al} – масса образцов кокса и пластины соответственно до испытаний, г; m_{2k} , m_{2Al} – масса образцов кокса и пластины соответственно после испытаний, г.

Истираемость литейного кокса (И, %) определяли по формуле (3), а абразивную способность (АС, %) – по формуле (4):

$$И = \frac{\Delta m_k}{m_{1k}} \cdot 100; \quad (3)$$

$$АС = \frac{\Delta m_{Al}}{m_{1Al}} \cdot 10^5. \quad (4)$$

Результаты испытаний литейного кокса класса 40 – 60 и 60 – 80 мм представлены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, полученные значения истираемости и абразивной способности кокса после испытаний согласуются с показателем прочности M_{40} : чем выше прочность литейного кокса, тем меньше он подвергается разрушению при истирающих нагрузках и тем большей абразивной способностью он обладает. При этом кокс класса 60 – 80 мм обладает большей абразивной способностью, чем кокс класса 40 – 60 мм. Для исключения влияния большей массы образцов кокса класса 60 – 80 при испытаниях, был проведен анализ зависимости массы на истираемость и абразивную способность литейного кокса (табл. 3).

Как видно из данных табл. 3, истираемость литейного кокса не зависит от массы образцов и связана с механическими свойствами вещества кокса. Наибольшая корреляционная связь наблюдается между массой образцов и абразивной способностью кокса класса 40 – 60 мм, а также между массой и абразивной способностью кокса независимо от класса размеров кусков. Кроме того, наблюдается корреляционная связь между значениями истираемости и абразивной способностью кокса именно класса 60 – 80. Это может быть объяснено особенностями пористого строения кокса класса 60 – 80. В любом случае высокая абразивная способность литейного кокса класса 60 – 80 может вызывать разрушение футеровки вагранки.

Выводы. Разработан метод испытаний, позволяющий оценить истираемость и абразивную способность литейного кокса, а также прогнозировать степень его разрушения в условиях транспортировки и движения в шахте вагранки. Испытания литейного кокса по данной методике свидетельствуют об увеличении абразивной способности более тяжелого кокса независимо от крупности, а также о повышении способности литейного кокса разрушаться при вибронагрузках с уменьшением традиционных показателей прочности.

Таблица 2

Средние значения истираемости и абразивной способности литейного кокса

Table 2. Average values of abrasion index and abrasive ability of foundry coke

Партия кокса	Показатель прочности M_{40} , %	Зольность, A^d , %	Класс размеров 40 – 60 мм		Класс размеров 60 – 80 мм	
			И, %	АС, %	И, %	АС, %
1	73,2	12,0	12,775	24,07	13,975	89,77
2	73,3	11,8	12,696	51,88	12,428	137,68
3	73,3	11,7	13,807	79,32	11,525	143,11
4	73,8	11,6	9,963	183,02	8,197	210,29

Влияние массы образцов на истираемость и абразивную способность литейного кокса

Table 3. Influence of samples mass on abrasion index and abrasive ability of foundry coke

Класс размеров 40 – 60 мм	Класс размеров 60 – 80 мм
Значение истираемости, И, %	
$I = -0,0004m^2 + 0,0525m + 10,98;$ $R^2 = 0,0136$	$I = 0,0006m^2 - 0,158m + 21,671;$ $R^2 = 0,0877$
$I = 0,0001m^2 - 0,0342m + 13,964; R^2 = 0,0548$	
Абразивная способность, АС, %	
$AC = 0,1447m^{1,5714};$ $R^2 = 0,6855$	$AC = -0,0179m^2 + 5,1633m - 203,54;$ $R^2 = 0,1458$
$AC = 2,8392m^{0,8078}; R^2 = 0,5652$	
$AC = 0,8742I^2 - 41,002I + 482,15; R^2 = 0,5245$	
$I = 14,066e^{-0,001AC};$ $R^2 = 0,2298$	$I = 1E - 05AC^2 - 0,0492AC + 18,521;$ $R^2 = 0,8559$
Примечание: m – масса исходных образцов литейного кокса, г; R^2 – коэффициент детерминации.	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Липницкий А.М. Плавка чугуна и сплавов цветных металлов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 192 с.
- Иванов Е.Б., Мучник Д.А. Технология производства кокса. – Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 232 с.
- Долотов Г.П., Кондаков Е.А. Печи и сушила литейного производства: Учебник для металлургических техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 304 с.
- Плужников А.И., Риферт О.Г., Трембач А.А. Критерии оценки качества доменного кокса. Перспективы его улучшения на ОАО «Испат-Кармет» // Кокс и химия. 2001. № 1. С. 8 – 10.
- Титов В.В., Морозов О.С., Юхименко В.И. Зависимость показателя CSR от прочности пористого тела кокса CBS и химического состава его золы // Кокс и химия. 2004. № 12. С. 21 – 22.
- Филоненко Ю.Я. Основы оценки качества доменного кокса и прогноз эффективности использования его в процессе доменной плавки: Дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1984. – 356 с.
- Глуценко И.М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1990. – 296 с.
- Степанов Ю.В., Гилязетдинов Р.Р., Попова Н.К., Махортова Л.А. Влияние оптимизации состава шихты и ее зольности на показатели качества кокса // Кокс и химия. 2005. № 7. С. 14 – 18.
- Мизин В. Г., Зиновьева Л.А., Клюкин С.Н. Комплексный подход к оценке металлургического кокса, производимого в условиях ОАО «НЛМК» // Кокс и химия. 2009. № 9. С. 44 – 50.
- Оценка высокотемпературных свойств кокса // Новости черной металлургии за рубежом. 2001. № 2. С. 27 – 29. (Bai Chenguang, Zou Deyu, Li Rensheng et al. The investigation of the high temperature properties of the coke used in blast furnaces of CISCO // Asia Steel International Conference. 2000. Vol. B. Ironmaking. С. 72 – 77. Англ.)
- Гайниева Г.Р., Рябченко А.Д., Никитин Л.Г. Составление шихт для коксования по минеральным составляющим золы углей // Кокс и химия. 2003. № 10. С. 18 – 22.
- Улановский М.Л., Мирошниченко Д.В. О методе фирмы «Ниппон СтилКорпорейшн» определения качества кокса // Кокс и химия. 2005. № 6. С. 18 – 21.
- Шукин П. А. Исследование свойств металлургического кокса. – М.: Металлургия, 1971. – 184 с.
- Нефедов П.Я., Страхов В.М. Качество и эффективность использования литейного кокса в вагранках // Кокс и химия. 2003. № 7. С. 16 – 26.
- Сосненко М.Н. Шихтовщик литейного цеха: Учебник для подготовки рабочих на производстве. – М.: Высшая школа, 1971. – 232 с.
- Мучник Д. А., Иванов Е.Б. Сортировка кокса. – М.: Металлургия, 1968. – 296 с.
- Сысов К.И., Вербицкая О.В. Основные закономерности поведения кокса при вторичном нагревании. – М.: Металлургиздат, 1962. – 112 с.
- Сысов К.И. Теория поведения кокса в доменном процессе. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – 199 с.
- Гайниева Г. Р., Чуднова Н.Т., Бызова В.И. и др. Комплексная оценка свойств доменного кокса // Кокс и химия. 2002. № 6. С. 10 – 12.

Поступила 18 февраля 2015 г.

TEST METHOD FOR THE DETERMINATION OF ABRASION STRENGTH AND ABRASIVE ABILITY OF FOUNDRY COKE

V.A. Ivanova¹, K.N. Vdovin²

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
²Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Nowadays there are no standard methods for the determination of abrasion strength and abrasive ability of foundry coke under conditions close to the conditions of coke moving on a conveying belt, conveyor or in a furnace shaft. The present work presents the test method for the determination of foundry coke abrasion strength and abrasive ability.

For tests making the coke samples with particle sizes of 40–60 and 60–80 mm were selected from four different coke lots. The testing was carried out in the vibration machine with total amplitude of vibration of 1.6 mm. Vibrator was equipped with a special tool of the form of container with the aluminum plate fixed at the bottom. It created vibrations which were communicated to the coke sample and created testing conditions. The testing time was 30 min. The fractional losses of coke sample mass indicate its abrasion strength and the fractional losses of aluminum plate – the coke abrasive ability. Obtained values of abrasion strength and abrasive ability after testing were in agreement with M_{40} strength index. The coke of 60–80 mm size has more abrasive ability than coke of 40–60 mm. At this time, the coke abrasion strength decreases about 22 and 41 % correspondingly for coke of 40–60 and 60–80 mm with increase in foundry coke strength, and the abrasive ability increases by 7.6 and 2.3 times correspondingly.

Keywords: foundry coke, test method, abrasion strength, abrasive ability, size of coke pieces, coke strength, transportation.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-3-149-153

REFERENCES

- Lipnitskii A.M. *Plavka chuguna i splavov tsvetnykh metallov* [Melting of cast iron and non-ferrous alloys]. Leningrad: Mashinostroyeniye, 1973, 192 p. (In Russ.).
- Ivanov E.B., Muchnik D.A. *Tekhnologiya proizvodstva koksa* [Technology of coke production]. Kiev: Izdatel'skoe ob"edineniye "Vishcha shkola", 1976, 232 p. (In Russ.).
- Dolotov G.P., Kondakov E.A. *Pechi i sushila liteinogo proizvodstva: Uchebnik dlya metallurgicheskikh tekhnikumov* [Furnaces and driers for foundry: Textbook for metallurgical colleges]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1990, 304 p. (In Russ.).
- Pluzhnikov A.I., Rifert O.G., Trembach A.A. Criteria of evaluating the quality of blast furnace coke. Prospects for its improvement at Ispat-Karmet. *Koks i khimiya*. 2001, no. 1, pp. 8–10. (In Russ.).
- Titov V.V., Morozov O.S., Yukhimenko V.I. Dependence of the strength of CIR porous body of CBS coke and chemical composition of its ash. *Koks i khimiya*. 2004, no. 12, pp. 21–22. (In Russ.).
- Filonenko Yu.Ya. *Osnovy otsenki kachestva domennogo koksa i prognoz effektivnosti ispol'zovaniya ego v protsesse domЕННОЙ plavki: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Basis for assessing the quality of coke and the forecast efficiency of its use in the blast furnace process: Dr. Tech. Sci. Diss.]. Moscow: 1984, 356 p. (In Russ.).
- Glushchenko I.M. *Teoreticheskie osnovy tekhnologii goryuchikh iskopaemykh: Uchebnik dlya vuzov* [Theoretical foundations of technology combustible IP Cop: Textbook for Universities]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 296 p. (In Russ.).
- Stepanov Yu.V., Gilyazetdinov R.R., Popova N.K., Makhortova L.A. Influence of composition of coal materials on coke quality. *Koks i khimiya*. 2005, no. 7, pp. 14–18. (In Russ.).
- Mizin V.G., Zinov'eva L.A., Klyukin S.N. Assessing the metallurgical coke produced at OAO NLMK. *Coke and Chemistry*. 2009, vol. 52, no. 9, pp. 412–417.
- Bai Chenguang, Zou Deyu, Li Rensheng et al. The investigation of the high temperature properties of the coke used in blast furnaces of CISCO. *Asia Steel International Conferece*. 2000. V.B: Ironmaking, pp. 72–77.
- Gainieva G.R., Ryabchenko A.D., Nikitin L.G. Compilation of charge for coking of mineral constituents of coal ash. *Koks i khimiya*. 2003, no. 10, pp. 18–22. (In Russ.).
- Ulanovskii M.L., Miroshnichenko D.V. Method of "Nippon Steel Corporation" for determination of coke quality. *Koks i khimiya*. 2005, no. 6, pp. 18–21. (In Russ.).
- Shchukin P.A. *Issledovanie svoystv metallurgicheskogo koksa* [The study of properties of metallurgical coke]. Moscow: Metallurgiya, 1971, 184 p. (In Russ.).
- Nefedov P.Ya., Strakhov V.M. Quality and efficiency of utilization of foundry coke in cupola. *Koks i khimiya*. 2003, no. 7, pp. 16–26. (In Russ.).
- Sosnenko M.N. *Shikhtovshchik liteinogo tsekha: Uchebnik dlya podgotovki rabochikh na proizvodstve* [Charge worker of foundry shop: Textbook for training of workers in manufacturing]. Moscow: Vysshaya shkola, 1971, 232 p. (In Russ.).
- Muchnik D.A. Ivanov E.B. *Sortirovka koksa* [Coke sorting]. Moscow: Metallurgiya, 1968, 296 p. (In Russ.).
- Syskov K.I., Verbitskaya O.V. *Osnovnye zakonomernosti povedeniya koksa pri vtorichnom nagrevanii* [Basic laws of coke behavior at secondary heating]. Moscow: Metallurgizdat, 1962, 112 p. (In Russ.).
- Syskov K.I. *Teoriya povedeniya koksa v domennom protsesse* [Coke behavior at blast furnace process]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1949, 199 p. (In Russ.).
- Gainieva G.R., Chudnova N.T., Byzova V.I., Nikitin L.D., Bazegskii A.E. Comprehensive assessment of properties of domain coke. *Koks i khimiya*. 2002, no. 6, pp. 10–12. (In Russ.).

Acknowledgements. The work was performed with the assistance of V. Khapaeva, a student of the Yaroslavl State Technical University, 2014.

Information about the authors:

V.A. Ivanova, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Head of the Chair of Materials Technology, Standardization and Metrology (ivanova-waleriya@mail.ru)

K.N. Vdovin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Materials Science and Foundary" (vdovin@magtu.ru)

Received February 18, 2015