

УДК 621.745

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ ЛИТЕЙНОГО КОКСА

© В. А. Иванова, В. В. Хапеева¹*Статья поступила 4 февраля 2014 г.*

Описана методика проведения испытаний литейного кокса на истирание. Представлены результаты исследования влияния прочности, крупности и макроструктуры литейного кокса на его способность разрушаться при истирающих нагрузках.

Ключевые слова: литейный кокс; испытания на истирание; прочность; макроструктура.

Прочность литейного кокса имеет большое значение для эффективности ваграночной плавки, она не только способствует уменьшению содержания мелочи в поставляемых партиях (вагонах), но и обеспечивает дренажную способность для жидкой и газовой фаз при плавке чугуна.

В настоящее время прочность кокса определяется различными методами:

Показатель прочности кокса	Наименование национального/межгосударственного стандарта, устанавливающего метод испытаний
Истираемость ПИ, %, показатель прочности после реакции CSR, %	ГОСТ Р 50921–2005. Кокс каменноугольный с размером кусков 20 мм и более. Метод определения прочности после реакции с двуокисью углерода
Прочность кокса после реакции CSR, %, показатель истираемости AV, %	ГОСТ Р 54250–2010. Кокс. Определение реакционной способности кокса (CRI) и прочности кокса после реакции (CSR)
Дробимость M_{40} , %, истираемость M_{10} , %	ГОСТ 8929–75. Кокс каменноугольный. Метод определения прочности
Микум-показатели M_{40} , M_{20} , M_{10} , % и др. Микум-показатели, Ирсид-показатели I_{40} , I_{30} , I_{20} , I_{10} , %, коэффициент дробимости K_d , %	ГОСТ 5953–93. Кокс с размером кусков 20 мм и более. Определение механической прочности
Индексы сбрасывания 80, 50, 40, 25 и 10 мм	ГОСТ 28946–91. Кокс каменноугольный. Метод определения прочности на сбрасывание

Условия испытаний кокса на прочность должны моделировать условия его поведения при плавке чугуна. Показатели истираемости ПИ (%), AV (%) и прочности после реакции CSR (%) характеризуют прочность кокса после его реакции с двуокисью углерода при 1100 °С и моделируют поведение кокса в вагранке в высокотемпературной зоне. При этом прочность его определяется степенью разрушения кусков при обработке во вращающемся барабане.

Показатели M_{40} и M_{10} (%), Микум-показатели и Ирсид-показатели также характеризуют степень раз-

рушения кокса во вращающемся барабане только без предварительного нагрева. При этом значения Ирсид-показателей получают при вращении барабана со скоростью 500 оборотов за испытание, других показателей — 100 оборотов. Условия испытаний для определения этих показателей моделируют поведение кокса при пересыпании. Индексы сбрасывания соответствуют степени его разрушения при падении с относительно большой высоты. Однако эти испытания не моделируют условия транспортировки кокса непосредственно в вагонах и по конвейерам, когда он испытывает истирающие нагрузки. В этой связи были проведены испытания кокса в условиях, приближенных к условиям транспортировки.

Для исследования истираемости были отобраны образцы кокса, поставляемого на одно из предприятий г. Ярославля, классов крупности 40 – 60 и 60 – 80 мм из четырех партий (табл. 1). Каждый образец был идентифицирован по следующим параметрам: порядковый номер, номер сертификата качества, линейные размеры (длина × ширина), масса.

Для определения истираемости образцов кокса класса крупности 40 – 60 мм были подобраны алюминиевые пластины размером 60 × 42 × 5 мм (класс А), класса крупности 60 – 80 мм — алюминиевые пластины размером 70 × 50 × 5 мм (класс Б). Выбор линейных размеров алюминиевых пластин (длина × ширина) обусловлен достижением примерно одинаковой площади контакта образцов кокса с пластинами, пропорциональной классу крупности образцов кокса.

Таблица 1. Показатели качества литейного кокса*

Номер партии 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 на партии кокса.

¹ ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия;
e-mail: ivanova_valeriya@mail.ru

Толщина алюминиевых пластин обусловлена удобством ее крепления. Рабочая поверхность алюминиевых пластин была подвергнута механической обработке шлифованием. Твердость рабочей поверхности пластин составила 41,3 – 46,3 *HВ*.

Масса пластин и образцов кокса определялась с помощью весов лабораторных равноплечих модели ВЛР-200 г.

Испытание проводилось на базе испытательного центра ОАО «Ярославский завод «Красный маяк» на вибрационной установке (рис. 1), состоящей из вибростенда, вибратора и приспособления. Вибростенд включает в себя верхнюю и нижнюю плиты, соединенные четырьмя пружинами. На верхней плите установлен электромеханический вибратор общего назначения модели ИВ-107А. На верхней крышке вибратора смонтировано приспособление в виде закрытой

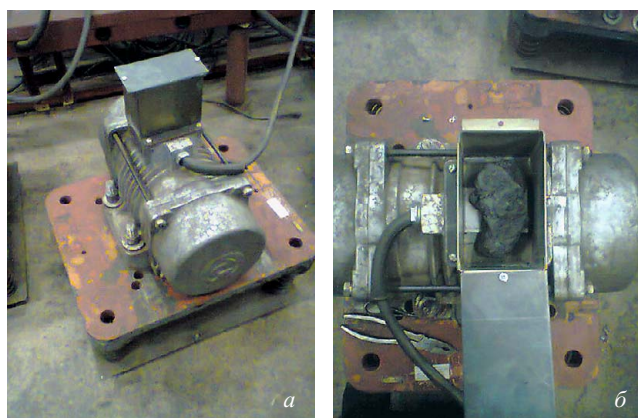


Рис. 1. Вибрационная установка (а) с приспособлением для испытания кокса на истирание (б)

коробки. На дне коробки двумя винтами плотно закреплена алюминиевая пластина, предназначенная для определения абразивной прочности кокса. Внутренняя поверхность коробки (боковые стенки и крышка) обшиты резиновыми прокладками для исключения контакта кокса с внутренней поверхностью коробки во время испытания. Технические характеристики составных частей вибрационной установки приведены в табл. 2.

Истираемость образцов литейного кокса определялась по следующей методике. В коробку на пластину помещался образец кокса, который под действием силы тяжести прижимался к пластине. Вибратором создавались колебания, вынуждающие кусок кокса подвижно контактировать с алюминиевой пластиной (тереться об нее). В результате происходила потеря массы как куска кокса, так и алюминиевой пластины. Время испытания составляло 30 мин.

Осциллограмма колебаний, зарегистрированная на пульте управления вибрационной установки, представлена на рис. 2. Действительная суммарная амплитуда колебаний составляла 1,6 мм.

По окончании испытаний образец кокса и пластина извлекались из приспособления. Производилась очистка их поверхностей от коксовой пыли путем обдува сжатым воздухом. После обдува взвешивали образец кокса и пластину. Затем рассчитывались относительные потери масс образцов кокса и алюминиевой пластины (табл. 3).

Потери кокса при испытаниях на истираемость хорошо согласуются со значениями показателей его прочности M_{40} и крупностью (см. табл. 3). При этом, если с повышением прочности кокса (M_{40}) с 73,2 до 73,8 % его сопротивление истирающим нагрузкам

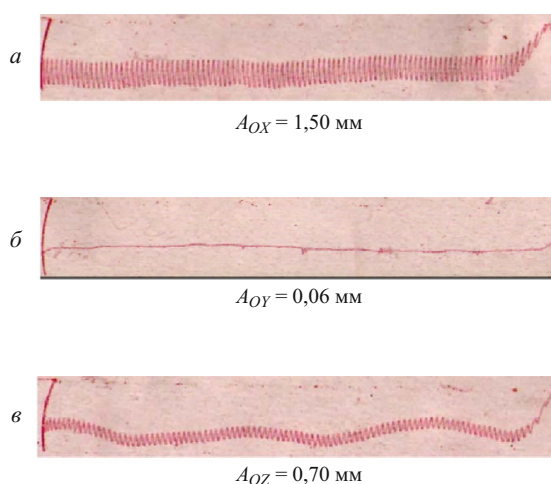
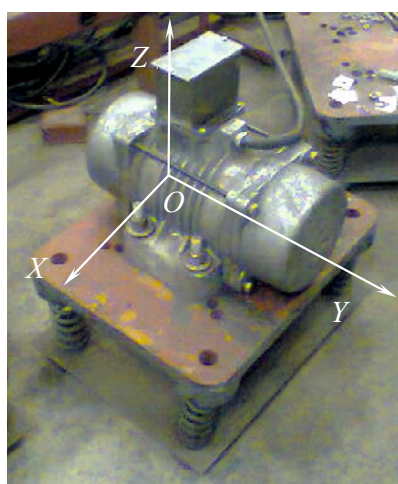


Рис. 2. Осциллограмма колебаний: а, б, в — колебания по оси OX , OY , OZ соответственно

Таблица 2. Технические характеристики вибрационной установки

Составная часть виброустановки	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Частота колебаний, Гц	Статический момент, кг · см
Вибростенд (плита)	545 × 440 × 30	85	—	—
Вибратор	460 × 300 × 280	40	50	20
Приспособление	120 × 70 × 100	0,744	—	—

увеличивается примерно на 39,6 %, то его абразивная прочность повышается в ~3,4 раза! Это свидетельствует о том, что прочный кокс может оказывать отрицательное воздействие на футеровку вагранки. Интерес представляет кокс второй и третьей партий. При равных показателях прочности (см. табл. 1) с уменьшением стойкости к истирающим нагрузкам его абразивная прочность увеличивается. Подобное расхождение может быть связано с различием строения пористого тела кокса.

Известно², что истираемость кокса зависит от его плотности (рис. 3) или пористой структуры. В данном случае плотность представляет собой отношение суммарной длины стенок (межпорового пространства) к суммарной длине пор на единице длины поверхности кокса. Поэтому были проведены исследования по определению параметров макроструктуры образцов литейного кокса.

Из каждой партии были отобраны образцы кокса в соответствии с классами крупности, мм: 25 – 40; 40 – 60; 60 – 80; более 80. Макроструктурные характеристики определяли прямым микроскопическим методом³.

Пористость (P , %), ячеистость (Z , %) и плотность (D) определялись линейным методом и рассчитывали их по формулам [6]:

$$P = L_P/L \cdot 10^{\circ}; \quad (1)$$

$$Z = L_Z/L \cdot 10^{\circ}; \quad (2)$$

$$D = Z/P = L_Z/L_P \quad (3)$$

где L_P и L_Z — суммарная замеренная длина соответственно пор и стенок пор материала кокса; $L = 6$ мм — длина исследуемого участка.

Результаты измерений параметров макроструктуры литейного кокса различных партий представлены в табл. 4. Кокс второй и третьей партий вообще имеет

² Филоненко Ю. Я. Основы оценки качества доменного кокса и прогноз эффективности использования его в процессе доменной плавки: дис. докт. техн. наук. — Липецк: ЛПИ, 1984. — 356 с.

³ Иванова В. А., Лаптева Е. Н., Туров А. М. Оценка качества литейного кокса / Технология машиностроения. 2013. № 1. С. 13 – 15.

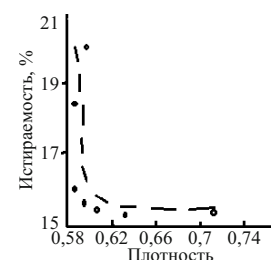


Рис. 3. Влияние плотности кокса на его истираемость [1]

Таблица 3. Средние значения относительных потерь массы образца кокса и алюминиевой фольги

Номер партии	Показатель прочности M_{40} , %	Массовая доля кусков размером менее нижнего предела, %	Относительные потери массы, %	
			кокса	пластины
1	73,2	5,9	15,035	0,058
2	73,3	5,9	12,562	0,095
3	73,3	5,9	12,666	0,112
4	73,8	5,8	9,080	0,197

отличное строение от кокса первой и четвертой партий. Этот кокс характеризуется большим количеством пор на единице длины поверхности, чем кокс первой и четвертой партий. Кроме того, кокс третьей партии имеет на поверхности наименьшее число мелких пор и наибольшее количество крупных, большее количество мелких стенок размером <0,1 мм. Подобное строение может привести к большему разрушению при испытаниях на истирающие нагрузки при сохранении абразивной прочности, которая может иметь отношение к прочности материала кокса, а не к его макроструктуре.

Таким образом, проведены исследования поведения литейного кокса при истирающих нагрузках, позволяющие прогнозировать степень его разрушения при транспортировке, а также абразивную прочность. Выявлено, что прочный кокс более устойчив к истирающим нагрузкам, однако он обладает повышенной абразивной прочностью. Стойкость литейного кокса к истирающим нагрузкам зависит от параметров пористой структуры поверхности.

Таблица 4. Распределение пор и межпорового пространства по размерам, значения пористости, ячеистости и плотности для различных партий литейного кокса

Номер партии	Классы размеров, мм										Суммарная замеренная длина, мм		Пористость P , %	Ячеистость Z , %	Плотность D
	пор					стенок пор (межпорового пространства)					пор	стенок пор			
	<0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,5	>0,5	<0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	> 0,3					
	Содержание пор, %					Содержание стенок пор, %									
1	42,14	32,18	14,46	9,63	1,60	15,51	23,75	26,19	15,04	19,52	2,60	3,40	43,38	56,62	1,31
2	36,86	49,19	8,42	5,49	0,05	42,42	15,99	31,09	9,67	0,83	3,37	2,63	56,21	43,79	0,78
3	27,22	36,64	22,40	11,33	2,41	33,30	31,59	9,69	18,37	7,05	3,19	2,81	53,16	46,84	0,88
4	44,56	38,04	10,36	5,99	1,04	20,70	24,44	29,50	12,58	12,78	2,99	3,01	49,78	50,22	1,01