

УДК 62-663.7

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНОГО КОКСА НА ЕГО РАЗРУШЕНИЕ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ

© 2020 г. В. А. Иванова^{1,*}, Е. О. Побегалова^{1,**}

¹ ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», 150023 Ярославль, Россия

*e-mail: ivanova-waleriya@mail.ru

**e-mail: pobegalovaeo@gmail.com

Поступила в редакцию 09.07.2019 г.

После доработки 17.08.2019 г.

Принята к публикации 25.11.2019 г.

Проведены исследования по изучению влияния свойств литейного кокса на его разрушение в процессе транспортирования. Установлено, что при транспортировании на расстояние свыше 900 км показатель разрушения образцов литейного кокса возрастает в 1.23–6.14 раз. Содержание класса крупности 80 мм и более снижается на 9.2–9.7%, а класса 40 мм и более возрастает на 0.25–1.41%. Показано, что на степень разрушения литейного кокса при транспортировании оказывают влияние не только показатель прочности и зольность, но и особенности кокса, полученного различными коксохимическими предприятиями.

Ключевые слова: *литейный кокс, разрушение, транспортирование, гранулометрический состав, прочность, зольность*

DOI: 10.31857/S002311772002005X

ВВЕДЕНИЕ

Транспортирование литейного кокса от предприятия-изготовителя до предприятия-потребителя осуществляется железнодорожными вагонами по ГОСТ 22235-2010 [1]. При этом качество литейного кокса, отличающегося большей крупностью по сравнению с металлургическим, не остается неизменным в связи с нагрузками, которые испытывает кокс при транспортировании.

В соответствии с данными исследований, проведенных для железнодорожных систем США и Западной Европы [2], при перевозках железнодорожным транспортом существуют три типа воздействий на перевозимый груз: удары, имеющие место при маневрировании состава; удары при движении состава вследствие межвагонных столкновений; вибрация, возникающая при движении транспортного средства по рельсовому пути. При этом на груз воздействуют как стационарные вибрации, возникающие после достижения транспортным средством установившейся скорости движения, так и нестационарные вибрации при низких скоростях движения. Наиболее жесткие условия транспортирования характерны для вагонов с простыми пружинными амортизаторами, используемых для перевозки минерального сырья.

Изменение значений показателей качества литейного кокса начинается уже при его погрузке в вагоны. Исследования, проведенные для металлургического кокса, показали, что прохождение

одного перепада, погрузочного желоба и падение в вагон приводит к снижению содержания в коксе класса 60 мм и более на 16.8% [3]. Также было замечено, что при транспортировании литейного кокса от изготовителя до предприятия-потребителя показатель прочности M_{40} может в среднем увеличиться на 0.4–9.0%, а показатель прочности M_{10} уменьшиться на 4–12% [4]. Улучшение качества по показателям прочности связано со снижением содержания крупных классов (за счет разрушения наименее прочных крупных кусков литейного кокса) предпочтительных для ваграночной плавки [5, 6]. По данным исследования [4] при транспортировании литейного кокса содержание класса 80 мм и более может снизиться в 2.0–11.4 раза, а класса 60–80 мм – в 1.3–2.2 раза.

Таким образом, установлено, что при транспортировании металлургического кокса в вагонах происходит его разрушение, сопровождающееся изменением гранулометрического состава. Так как предприятия литейного производства располагаются, как правило, за пределами коксохимических заводов, интерес представляют исследования в области разрушения литейного кокса при транспортировании, отличающегося большим содержанием классов крупности 60–80 мм и 80 мм и более. Цель работы – исследование влияния свойств литейного кокса на его разрушение в процессе транспортирования на различные расстояния.

Таблица 1. Характеристика исследованных образцов литейного кокса

Показатель	Завод-поставщик кокса		
	ОАО “Губахинский кокс”	АО “Москокс”	
	партия кокса		
	№ 1	№ 2	№ 3
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии, W_r^t , %	1.00	2.50	1.10
Зольность, A^d , %	10.60	11.50	11.10
Массовая доля общей серы, S_d^t , %	0.58	0.60	0.60
Выход летучих веществ, V^{daf} , %	–	0.30	0.30
Показатель прочности, M_{40} , %	78.40	81.60	82.60
Массовая доля кусков размером менее нижнего предела, %	6.00	13.90	19.20
В том числе менее 40 мм, %	–	4.30	3.40

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследований было отобрано 45 образцов литейного кокса различной крупности из трех партий: 40–60; 60–80; 80 мм и более (табл. 1). Образцы партий № 1 и 2 по данным сертификатов качества поставщиков соответствовали требованиям ГОСТ 3340-88 [7], а партии № 3 – ТУ 0761-032-00187852-2015 [8].

Исследования проводились на аттестованном вибрационном электродинамическом стенде УВЭ-100/5-300, имитирующем условия транспортирования на железнодорожном транспорте. Максимальная амплитуда виброускорения составляла 29.4 м/с^2 (3 g), а частота вибрации – 30 Гц. Режимы испытаний выбраны в соответствии с ГОСТ Р 51909-2002 [9], ГОСТ Р 51908-2002 [10], ГОСТ РВ 20.57.305-98 [11]. Образцы литейного кокса каждой партии испытывались отдельно в течение 70 мин, что соответствует транспортированию по железной дороге на расстояние приблизительно в 2100 км. Для оценки степени разрушения образцов литейного кокса при транспортировании был введен показатель разрушения, определяемый как относительное изменение массы образцов (P_T , %) по формуле

$$P_T = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_1 – масса образца литейного кокса до испытаний, г; m_2 – масса образца литейного кокса после испытаний, г.

Погрешность косвенных измерений показателя разрушения литейного кокса при транспортировании P_T рассчитывалась в соответствии с МИ 2083-90 [12]. Полученные значения погрешности

косвенных измерений показателя разрушения литейного кокса при транспортировании P_T не превышает 0.014.

Гранулометрический состав рассчитывался в соответствии с требованиями ГОСТ 5954.1-91 [13].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенных исследований (рис. 1) свидетельствуют о том, что литейный кокс наибольшей прочности по показателю M_{40} (табл. 1, партия № 3) менее устойчив к разрушению при транспортировании на расстояния от 900 до 1500 км. Наименьшей устойчивостью к разрушению при транспортировании отличается кокс партии № 2, характеризующийся большей влажностью и зольностью. Вероятно, это связано с тем, что включения золы в коксе являются кон-

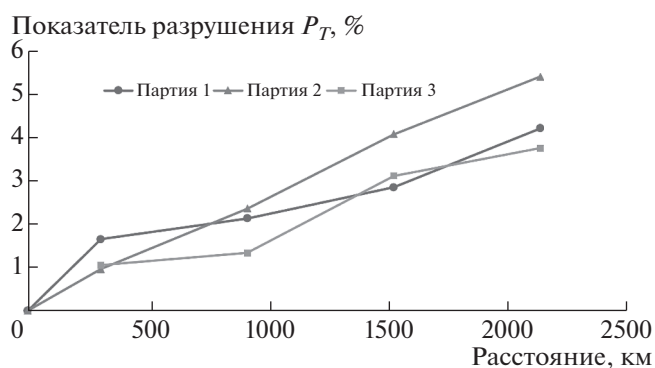


Рис. 1. Разрушение литейного кокса в зависимости от расстояния транспортирования.

Таблица 2. Разрушение образцов литейного кокса в зависимости от расстояния при транспортировании

Партия кокса	Диапазон расстояний при транспортировании, км			
	0–300	300–900	900–1500	1500–2100
	Значение показателя разрушения образцов, P_T , %			
№ 1	1.66	0.45	0.66	1.29
№ 2	0.96	1.40	1.72	1.33
№ 3	1.05	0.29	1.78	0.64

Таблица 3. Изменение гранулометрического состава литейного кокса в зависимости от расстояния при транспортировании

Партия кокса	Класс крупности, мм	Расстояние транспортирования, км				
		0	300	900	1500	2100
		Гранулометрический состав, %				
№ 1	Менее 40	0	0	0	1.44	1.41
	40–60	8.11	8.20	8.20	8.12	8.14
	60–80	31.32	40.70	40.71	39.20	39.07
	80 и более	60.57	51.10	51.09	51.24	51.38
№ 2	Менее 40	0	0.42	0.42	0.43	0.43
	40–60	7.59	7.54	7.52	7.56	7.55
	60–80	29.36	29.41	38.4	38.69	38.70
	80 и более	63.05	62.63	53.66	53.32	53.32
№ 3	Менее 40	0	0.25	0.25	0.25	0.25
	40–60	11.90	11.87	11.87	11.81	11.78
	60–80	22.59	22.30	22.24	22.18	22.16
	80 и более	65.51	65.58	65.64	65.76	65.81

центраторах внутренних напряжений. Известно ее отрицательное влияние на показатель прочности после реакции с CO_2 [14, 15]. Исследования [16] показали, что на каждый процент снижения зольности кокса показатель CSR возрастает приблизительно на 3.6%. Необходимо отметить, что образцы литейного кокса № 2 процессе испытаний имели большую склонность к раскалыванию, чем образцы других партий (рис. 1).

При транспортировании литейного кокса на расстояния более 900 км и до 1500 км (табл. 2) происходит наиболее интенсивное разрушение образцов партий № 1 и 2 (АО «Москокс»). По сравнению с транспортированием на расстояния от 300 до 900 км для партии № 2 разрушение увеличилось в 1.2 раза, а для партии № 3 – в 6.1 раза.

Для партии № 1 литейного кокса, характеризующегося минимальным значением показателя прочности M_{40} (табл. 1), наибольшее разрушение наблюдается в первые 300 км (табл. 2). На участке 1500–2100 км интенсивность разрушения для этой партии возрастает с 0.66 до 1.29%. В то время как для партии № 3 с максимальным значением показателя прочности M_{40} (табл. 1) при транспортировании на расстояния от 1500 до 2100 км интенсивность разрушения снизилась в 2.8 раза, а для партии № 2 – в 1.3 раза по сравнению с расстоянием от 900 до 1500 км.

Для литейного кокса со значением показателя прочности M_{40} равным 78.40% и зольностью равной 10.60% (табл. 1, партия № 1, ОАО «Губахинский кокс») интенсивность разрушения прямо пропорциональна пройденному расстоянию.

Кокс с большим значением зольности – 11.50 и 11.10% (табл. 1, партии № 1 и 2, АО “Москокс”) характеризуется наибольшим разрушением на участке 900–1500 км. Кокс партии № 3 с большим значением показателя прочности M_{40} (82.6%) разрушается в 1.6 раза меньше по сравнению с коксом партии № 1 и в 4.8 раза меньше по сравнению с коксом партии № 2 при транспортировании на расстояние от 300 до 900 км и в 2 раза меньше по сравнению с коксом партий № 1 и 2 при транспортировании на расстояние от 1500 до 2100 км.

Такая неоднозначность результатов может быть объяснена различиями свойств кокса, на которые влияет исходная угольная шихта и технология коксования [17, 18] различных коксохимических предприятий (партия № 1 – ОАО “Губахинский кокс”, партии № 2 и № 3 – АО “Москокс”). В этой связи на основании данных только сертификатов качества, которые содержат значения показателей качества в соответствии с требованиями ГОСТ 3340-88 невозможно дать точную оценку причин подобного разрушения литейного кокса при транспортировании. Следовательно, необходимо учитывать, что при примерно одинаковых значениях показателей качества литейного кокса в сопроводительной документации, характер разрушения литейного кокса в процессе транспортирования изменяется при смене поставщика.

Исследования показали, что при транспортировании литейного кокса партий № 1 и 2 происходит снижение содержания класса крупности 80 мм и более: для партии № 1, обладающей меньшей зольностью на 9.2%, для партии № 2, максимальной зольности, на 9.7% (табл. 3). Литейный кокс партии № 3 с наибольшим значением показателя прочности M_{40} характеризуется также более стабильным гранулометрическим составом. Для всех партий литейного кокса наблюдается увеличение класса крупности менее 40 мм в объеме, обратно пропорциональном значению показателя прочности M_{40} .

Результаты исследований гранулометрического состава (табл. 3) свидетельствуют о том, что для литейного кокса, характеризующегося большей прочностью, при транспортировании сохраняется класс крупности 80 мм и более, который является предпочтительным для плавки чугуна в вагранке. При этом появление класса крупности литейного кокса менее 40 мм при транспортировании происходит за счет разрушения кокса классов крупности 80 мм и более, который характеризуется меньшей прочностью по сравнению с коксом класса крупности 40–60 мм из-за особенностей формирования коксового пирога при коксовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по влиянию свойств литейного кокса на его разрушение при транспортировании, свидетельствуют о следующем:

1) при транспортировании литейного кокса изменение содержания класса крупности менее 40 мм обратно пропорционально значению показателя его прочности M_{40} ;

2) повышение зольности литейного кокса с 11.1 до 11.5% приводит к снижению класса крупности 80 мм и более при транспортировании на 2100 км на 9.7%;

3) при транспортировании на расстояние свыше 900 км способность литейного кокса сопротивляться разрушению уменьшается, при этом значение показателя разрушения образцов партии № 1 (ОАО “Губахинский кокс”) возрастает в 1.47, партии № 2 (ОАО “Губахинский кокс”) – в 1.23, партии № 3 (АО “Москокс”) – в 6.14 раз;

4) при транспортировании литейного кокса с показателями прочности M_{40} равными 78.4 и 81.6% содержание класса крупности 80 мм и более снижается на 9.2 и 9.7%, 60–80 мм возрастает на 7.75 и 9.34%, а содержание класса крупности менее 40 мм возрастает на 1.41 и 0.25% соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 22235-2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ (с Изменением N 1). М.: Стандартинформ, 2011. 19 с.
2. ГОСТ Р 57211.3-2016/IEC/TR 62131-3:2011. Внешние воздействия. Данные о воздействии на электротехническое оборудование вибрации и ударов. Ч. 3. Оборудование, перевозимое железнодорожным транспортом. М.: Стандартинформ, 2016. 47 с.
3. Мучник Д.А., Бабанин В.И. Возможности улучшения качества кокса вне печной камеры. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 368 с.
4. Нефедов П.Я., Страхов В.М. // Кокс и химия. 2003. № 7. С. 16.
5. Страхов В.М., Швед В.С. // Кокс и химия. 2014. № 2. С. 20 [Coke and Chemistry, 2014, vol. 57, no. 2, p. 43. DOI: 10.3103/S1068364X14020148] <https://doi.org/10.3103/S1068364X14020148>
6. Иванова В.А. Качество литейного кокса. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2014. 144 с.
7. ГОСТ 3340-88. Кокс литейный каменноугольный. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1989. 4 с.
8. ТУ 0761-032-00187852-2015. Кокс литейный каменноугольный. Технические условия. 2015. 13 с.
9. ГОСТ Р 51909-2002. Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Ис-

- пытания на транспортирование и хранение. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 8 с.
10. ГОСТ Р 51908-2002. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 20 с.
 11. ГОСТ РВ 20.57.305-98. Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методы испытаний на воздействие механически факторов. М.: Издательство стандартов, 2001. 50 с.
 12. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. М.: Изд-во стандартов, 1991. 10 с.
 13. ГОСТ 5954.1-91 (ИСО 728-81). Кокс. Ситовый анализ класса крупности 20 мм и более. М.: Издательство стандартов, 1992. 11 с.
 14. *Пинчук С.И.* // Кокс и химия. 2001. № 8. С. 12.
 15. *Улановский М.Л.* // Кокс и химия. 2014. № 8. С. 17 [Coke and Chemistry, 2014, vol. 57, no. 8, p. 317. DOI: 10.3103/S1068364X14080109] <https://doi.org/10.3103/S1068364X14080109>
 16. *Степанов Ю.В., Гилязетдинов Р.Р., Попова Н.К., Махортова Л.А.* // Кокс и химия. 2005. № 7. С. 14.
 17. *Гольмалиев А.М., Султангузин И.А. Бологова В.В.* // ХТТ. 2012. № 2. С. 22 [Solid Fuel Chemistry, 2012, vol. 46, no. 2, p. 90. DOI: 10.3103/S0361521912020061] <https://doi.org/10.3103/S0361521912020061>
 18. *Карунова Е.В., Трифанов В.Н., Султангузин И.А., Гольмалиев А.М., Гагарин С.Г.* // ХТТ. 2005. № 5. С. 4 [Solid Fuel Chemistry, 2005, vol. 39, no. 5, p. 35.]