

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-40-47

УДК 662.741.3.022.001.5

ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА ОТ СУММЫ ОТОШАЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ

Заостровский Анатолий Николаевич,

канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, catalys01@rambler.ru

Институт углехимии и химического материаловедения Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН, 650000, Россия, г. Кемерово, Советский проспект, 18



Информация о статье

Поступила:
08 ноября 2021 г.

Рецензирование:
30 ноября 2021 г.

Принята к печати:
05 декабря 2021 г.

Ключевые слова:

каменный уголь, петрографический анализ угля, сумма отошающих компонентов, показатель отражения витринита, рефлектограмма, шихта, механическая прочность кокса.

Аннотация.

Исследованы концентраты каменных углей Кузнецкого бассейна, составляющих основу шихт для коксования с целью установления взаимосвязи механической прочности кокса от суммы отошающих компонентов углей. Показано, что один из основных параметров, используемых в России для классификации углей и их оценки как сырья для производства кокса, толщина пластического слоя (Y , мм) практически линейно уменьшается с увеличением суммы отошающих компонентов (ΣOK , %). Индекс свободного вспучивания (SI) как показатель спекаемости угля изменяется со стадией метаморфизма и существенно зависит от петрографического состава, снижаясь при увеличении суммы отошающих компонентов.

Установлено, что индекс Рога (RI), который служит показателем спекаемости на основе характеристики механической прочности нелетучего остатка, полученного при быстром нагревании (при 850°C) смеси угля и эталонного антрацита, заметно снижается с увеличением суммы отошающих компонентов.

Полученные результаты определения спекаемости углей различными методами в зависимости от суммы отошающих компонентов могут служить при расчёте шихт и прогноза качества кокса.

Для цитирования: Заостровский А.Н. Зависимость механической прочности кокса от суммы отошающих компонентов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 6 (148). – С. 40-47 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-40-47

Введение

Для обеспечения нормальных условий работы доменных печей большое значение имеет комплекс физико-механических свойств. Высокое качество кокса в большей мере зависит от того, как он выполняет одну из главных функций, о которой в наибольшей степени зависит повышение производительности доменной печи, создание наилучшей проницаемости столба доменной шихты для газовых потоков и для схода шлака и чугуна в горн. Следовательно, прочность доменного кокса является наиболее важным показателем его качества.

Процесс разрушения кокса происходит под влиянием многочисленных внешних воздействий как при транспортировке кокса от коксовых печей к доменным печам, так и в самой доменной печи. Здесь имеются многократные падения (например, перегрузка с транспортёра на транспортёр) кокса с высоты в несколько метров на твёрдую поверхность, крошение и истирание кокса в бункерах для его хранения и особенно в доменной печи.

Механическую прочность кокса определяют следующие его свойства: дробимость и истираемость. Но поскольку процесс разрушения кокса нельзя оценивать по законам, применимым к твёрдым телам, которые не имеют подобно коксу многочисленных пор и трещин, то оценка механических свойств кокса очень трудна и недостаточно исследована.

Таблица 1. Технический анализ и пластометрические показатели исследованных исходных проб углей и их смесей

Table 1. Technical analysis and plastometric parameters of the studied initial samples of coals and their mixtures

Обогащительная фабрика, шахта	Марка	Технический анализ, %			Пластометрические показатели, мм	
		W^a	A^d	V^{daf}	X	Y
Антоновская ОФ	Ж+ГЖ	3,6	7,6	37,4	38	22
Ш. им. С.Д. Тихова	Ж	1,3	7,6	33,4	23	29
Беловская ЦОФ	Ж+КС	5,2	11,0	30,1	37	24
Северная ОФ	К	5,9	10,1	23,2	37	17
Восточная ОФ	К+КЖ	5,0	11,8	24,1	35	18
Междуреченская ОФ	КС	1,5	10,1	19,8	23	7

Таблица 2. Петрографическая характеристика углей; Индекс Рога; Индекс свободного вспучивания

Table 2. Petrographic characteristics of coals; Roga Index; Free swelling index

Обогащительная фабрика, шахта	Марка	Петрографический состав угольных концентратов, %			Индекс Рога	Индекс свободного вспучивания
		$R_{o,r}$	V_t	$\sum OK$		
Антоновская ОФ	Ж+ГЖ	0,90	60	14	78	7½
Ш. им. С.Д. Тихова	Ж	0,96	89	13	65	8
Беловская ЦОФ	Ж+КС	0,99	71	27	79	8
Северная ОФ	К	1,19	49	52	42	4
Восточная ОФ	К+КЖ	1,19	57	44	62	4½
Междуреченская ОФ	КС	1,39	55	48	14	1

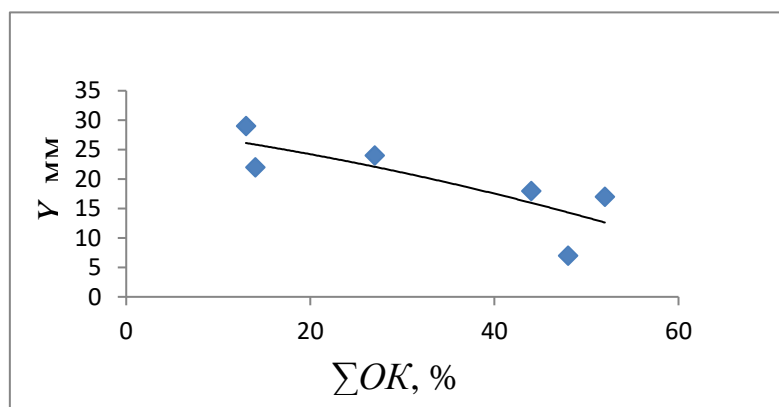


Рис. 1. Взаимосвязь толщины пластического слоя (Y, мм) от суммы отошающих компонентов ($\sum OK, \%$)

Fig. 1. The relationship of the thickness of the plastic layer (Y, mm) of the amount of lean components ($\sum OK, \%$)

Механическая прочность кокса зависит от его строения. Чем меньше пор в коксе, чем больше прочность стенок пор, чем меньше в коксе трещин, чем больше он проплавлен, тем больше будет его способность противостоять разрушению под влиянием механических нагрузок.

Известно, что значительное влияние на прочность кокса оказывают крупные частицы породы, которые являются центрами трещинообразования в куске кокса. Значительная трещиноватость может наблюдаться и в коксе, полученном из сильно усадочной шихты, при которой кокс может быть неоплавленным, рыхлым, очень пористым. Это может привести к тому, что кокс будет плохо противостоять механическим воздействиям [1, 2].

Цель работы – установить зависимость спекаемости углей, как основного фактора формирования механической прочности кокса, от суммы отошающих компонентов.

Экспериментальная часть

Объектом исследования выбраны каменные угли коксующихся марок Кузнецкого бассейна, представляющие оптимальный марочный состав шихт для коксования, состоящих из спекающей основы

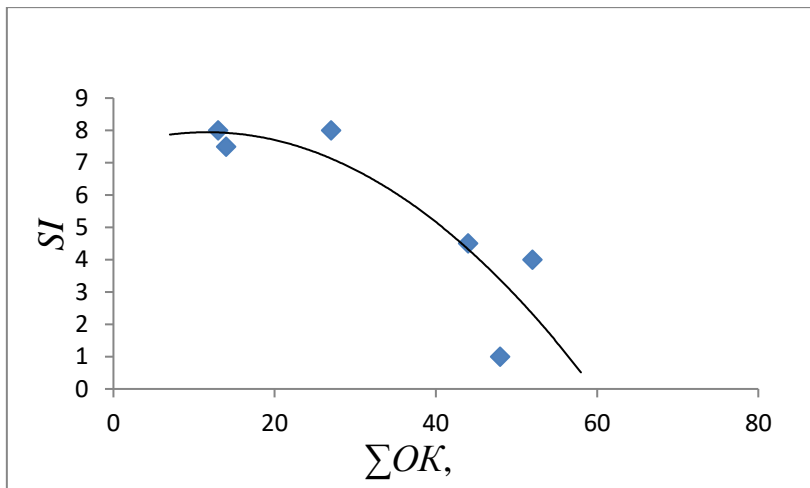


Рис. 2. Зависимость индекса свободного вспучивания от суммы отощающих компонентов
 Fig. 2. Dependence of the free swelling index on the amount of lean components

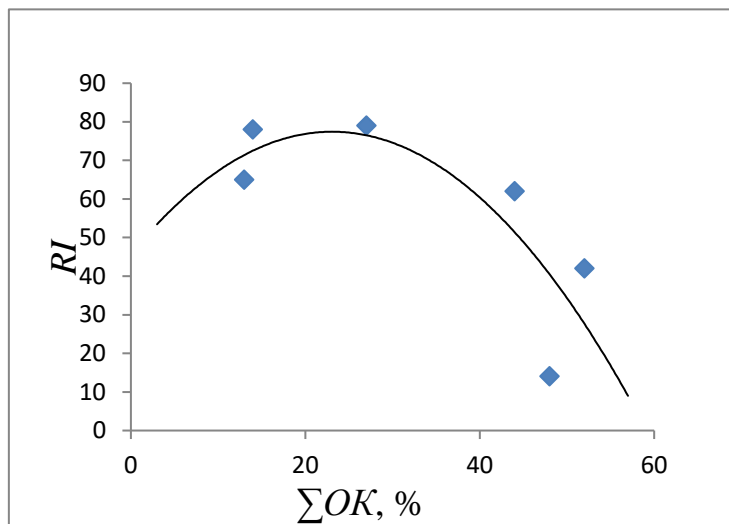


Рис. 3. Зависимость индекса Рога от суммы отощающих компонентов
 Fig. 3. Dependence of the Roga index on the amount of lean components

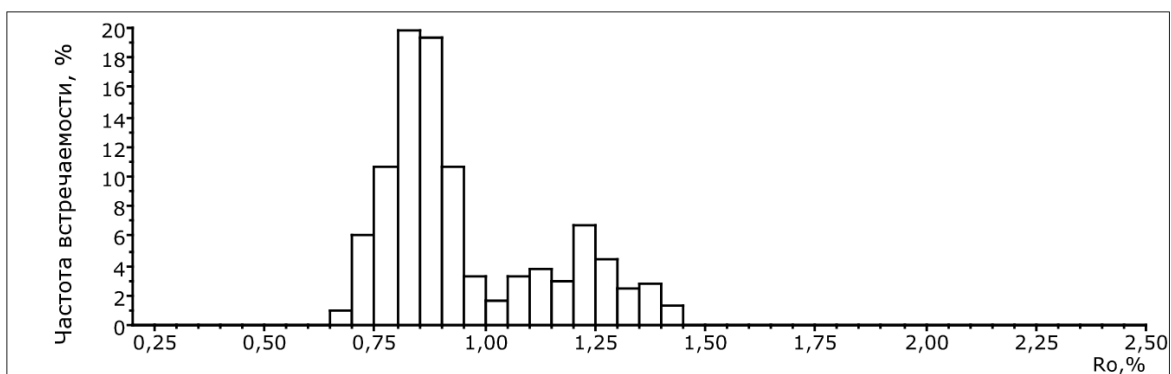


Рис. 4. Рефлектограмма шихты
 Fig 4. Reflectogram of the charge

(Ж+ГЖ; Ж), коксовой группы (К) и отощающей присадки (КС).

Подготовка аналитических проб и технический анализ исследованных углей был выполнен по стандартным методикам. В таблице 1 приведён технический анализ и пластометрические показатели изученных угольных концентратов, показывающий соответствие качественных характеристик углей требованиям коксохимического производства.

Петрографическое исследование проводилось по единому стандартному методу,

регламентированному ГОСТ Р 55662–2013 (ИСО 7404-3:2009), ГОСТ Р 55663-2013 (ИСО 7404-2:2009), ГОСТ Р 55659-2013 (ИСО 7404-5:2009) и ГОСТ 12112-78 с использованием автоматизированного анализатора (SIAMS 620) и компьютерных программ к нему [3-7]. Результаты петрографических характеристик сведены в таблице 2.

Определение показателя толщины пластического слоя (Y , мм) и пластометрической усадки (X , мм) проводили по единой классификации (ГОСТ 25543-2013). Показатель толщины пластического слоя (таблица 1) наиболее пригоден для оценки углей со средней и умеренно высокой спекаемостью.

Показателем спекающей способности служит индекс Рога (RI). Сущность метода (ГОСТ 17070-2014) заключается в быстром нагревании при постоянном давлении смеси угля с инертным материалом (эталонным антрацитом) и определении механической прочности нелетучего остатка (кокса) в лабораторном барабане. Спекающую способность оценивают по прочности кокса на истирание, т.е. по величине сопротивления измельчению. Индекс Рога величина – величина безразмерная (значения могут составлять от 0 до 80-85 ед. Результаты приведены в таблице 2.

Индекс свободного вспучивания (SI), как показатель спекаемости угля, определяется по виду нелетучего остатка, полученного при быстром нагревании измельченного угля в закрытом тигле установленных размеров, путём сравнения контура этого остатка со шкалой нумерованных контуров стандартных образцов (ГОСТ 25543-2013). Индекс свободного вспучивания изменяется со стадией метаморфизма, достигая максимума при $R_{o,r} = 1,1-1,4$ %, и существенно зависит от петрографического состава, снижаясь при увеличении инертинита и липтинита [8-12]. Номера профилей, с которыми совпадает профиль нелетучего остатка, показаны в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Установление зависимости механической прочности кокса от суммы отошающих компонентов углей было исследовано определением спекаемости различными методами. Спекаемость угля определяется его петрографическим составом, стадией метаморфизма и степенью восстановленности. Поэтому если определить эти параметры, с большей или меньшей достоверностью можно судить о спекаемости данного угля.

Определение взаимосвязи толщины пластического слоя от суммы отошающих компонентов (рис. 1) показало, что с увеличением суммы отошающих компонентов углей практически линейно уменьшается толщина пластического слоя. Принимая во внимание критерии оптимальности, распространяющиеся как на марочный состав, так и на свойства угольных шихт для коксования из кузнечных углей, установленные в работе [13] толщина пластического слоя должна быть не менее 15 мм. Экстраполируя значение $Y \geq 15$ мм, получаем, что при данных значениях толщины пластического слоя сумма отошающих компонентов должна быть менее 50 %.

Исследованием зависимости индекса свободного вспучивания от суммы отошающих компонентов (рис. 2) установлено, что максимальным значением индекса вспучивания обладают угли, имеющие показатель $\sum OK \leq 30$ %. При $\sum OK \geq 30$ % индекс SI резко уменьшается.

Характер зависимости индекса Рога от суммы отошающих компонентов (рис. 3) такой же как и у индекса свободного вспучивания. При $\sum OK \geq 30$ % индекс Рога существенно снижается, что указывает на снижение механической прочности кокса [14-18].

Учитывая критерий оптимальности [13] из исследованных углей составлена шихта следующего состава: Ж+ГЖ (25 %); Ж (10 %); Ж+КС (10 %); К (20 %); К+КЖ (15 %); КС(20 %).

Применяя правило аддитивности, выполнен расчёт показателей качества шихты:

$$Vt = (60 \cdot 0,25) + (89 \cdot 0,1) + (71 \cdot 0,1) + (49 \cdot 0,2) + (57 \cdot 0,15) + (55 \cdot 0,2) = 60,35 \%$$

$$R_o = (0,90 \cdot 0,25) + (0,96 \cdot 0,1) + (0,99 \cdot 0,1) + (1,194 \cdot 0,2) + (1,191 \cdot 0,15) + (1,39 \cdot 0,2) = 1,11 \%$$

$$\sum OK = (14 \cdot 0,25) + (13 \cdot 0,1) + (27 \cdot 0,1) + (52 \cdot 0,2) + (44 \cdot 0,15) + (48 \cdot 0,2) = 34,1 \%$$

$$W^a = (3,6 \cdot 0,25) + (1,3 \cdot 0,1) + (5,2 \cdot 0,1) + (5,9 \cdot 0,2) + (5,0 \cdot 0,15) + (1,5 \cdot 0,2) = 3,8\%$$

$$A^d = (7,6 \cdot 0,25) + (7,6 \cdot 0,1) + (11,0 \cdot 0,1) + (10,1 \cdot 0,2) + (11,8 \cdot 0,15) + (8,4 \cdot 0,2) = 9,2 \%$$

$$V^{daf} = (37,4 \cdot 0,25) + (33,4 \cdot 0,1) + (30,1 \cdot 0,1) + (23,2 \cdot 0,2) + (24,1 \cdot 0,15) + (18,4 \cdot 0,2) = 27,6\%$$

$$Y = (22 \cdot 0,25) + (29 \cdot 0,1) + (24 \cdot 0,1) + (17 \cdot 0,2) + (18 \cdot 0,15) + (7 \cdot 0,2) = 18,3 \text{ мм}$$

$$X = (38 \cdot 0,25) + (23 \cdot 0,1) + (37 \cdot 0,1) + (37 \cdot 0,2) + (35 \cdot 0,15) + (23 \cdot 0,2) = 32,7 \text{ мм}$$

$$RI = (78 \cdot 0,25) + (65 \cdot 0,1) + (79 \cdot 0,1) + (42 \cdot 0,2) + (62 \cdot 0,15) + (14 \cdot 0,2) = 54,4$$

$$SI = (7,5 \cdot 0,25) + (8 \cdot 0,1) + (8 \cdot 0,1) + (4 \cdot 0,2) + (4,5 \cdot 0,15) + (1 \cdot 0,2) = 5$$

На рис. 4 показан петрографический анализ шихты, выполненный в рефлектограммном режиме. Отсутствие свободных «окон» на рефлектограмме указывает на петрографическую однородность шихты, что обеспечивает хорошую спекаемость, а следовательно и механическую прочность кокса.

Оценка коксуемости экспериментальной шихты проведена коксованием в лабораторной электрической печи в соответствии с ГОСТ 9521-74 «Угли каменные. Метод определения коксуемости».

Проба воздушно-сухого угля массой 2 кг крупностью 0-3 мм и зольностью менее 10 % загружалась в железный ящик и помещалась в печь, нагретую до 1000 °С. Нагрев проводился со скоростью 2 °С/мин.

Коксование заканчивалось когда температура в центре загрузки становилась равной 950 °С. Выход валового кокса составлял порядка 70 % на сухую массу. Полученный кокс (рис. 5) испытывался на механическую прочность в специальном барабане. Остаток кокса крупностью более 25 мм составил 63 %, что соответствует требованиям доменного производства [19-21].



Рис. 5. Кокс, полученный в лабораторной печи
Fig. 5. Coke obtained in a laboratory oven

Заключение

Для оценки влияния суммы отошающих компонентов на механическую прочность кокса определена спекаемость углей различными методами.

Основные результаты заключаются в следующем:

- показано, что спекаемость углей, определённая различными методами, зависит от суммы отошающих компонентов;
- для обеспечения оптимальной спекаемости сумма отошающих компонентов углей не должна превышать 50 %;
- при составлении угольных шихт приоритетным являются петрографический и рефлектограммный анализы, показывающие петрографическую однородность угольных шихт, которая улучшает условия химического взаимодействия между компонентами близкой генетической природы, обуславливает спекание зёрен витрита с фюзитом (или дюритом), определяет повышенные структурную прочность и механическую прочность кокса в целом, и пониженную его реакционную способность.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН по проекту ЕГЕСУ 121031500512-7, 2021-2025.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гофман, М.В. Прикладная химия твёрдого топлива. Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по чёрн. и цвет. металлургии. 1963, с. 600.
2. Шукин, П.А. Исследование свойств металлургического кокса. Изд-во «Металлургия». М., 1971, с. 184.
3. Федорова, Н.И. Химико-технологические свойства каменных углей Кузбасса / Н.И. Федорова, А.Н. Заостровский, З.Р. Исмагилов // Вестник КузГТУ, 2015. № 5. С. 121-125.
4. Заостровский, А.Н. Петрографический анализ углей Печорского бассейна / А.Н. Заостровский, Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокина, Н.А. Грабовая, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. 23 (2015), с. 131-134.
5. Заостровский, А.Н. Петрографический состав коксовых углей Кузнецкого бассейна / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, З.Р. Исмагилов З.Р. // Химия в интересах устойчивого развития. 24 (2016), с. 363-367.
6. Заостровский, А.Н. Оценка коксумости углей по показателям петрографического состава / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, Н.И. Федорова, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // Химия уст. разв. 2018. Т. 26, № 6. С. 589-595.
7. Заостровский, А.Н. Петрографическая характеристика газовых углей Кузбасса / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // Кокс и химия. 2017. № 11. С. 25-30.

- 8 Травин, А.Б. Атлас верхнепалеозойских углей Кузнецкого бассейна / А.Б. Травин, Э.М. Сендерзон, В.П. Шорин, Т.А. Громова, Е.Е. Иванькова, К.С. Пермина, Е.М. Попова, В.Ф. Шугуров, Т.С. Юсупов // Под ред. И.Н. Звонарева. Новосибирск: Наука. 1966. 368 с.
- 9 Еремин, И.В. Петрография и физические свойства углей / И.В. Еремин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев // М., Недра. 1980. 263 с.
- 10 Еремин, И.В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / И.В. Еремин, А.С. Арцер, Т.М. Броновец // Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.
- 11 Жемчужников, Ю.А. Основы петрологии углей / Ю.А. Жемчужников, А.И. Гинзбург // М., Изд. АН СССР. 1960. 400 с.
- 12 Штах, Э. Петрология углей / Э. Штах, М.-Т. Маковски, М. Тейхмюллер, Г. Тейлор, Д. Чандра, Р. Тейхмюллер / Пер. с англ. Глушнева С.В., Дубровского В.В., Хасиной А.И. // М., «Мир». 1978. 554 с.
- 13 Штарк П.В., Степанов Ю.В., Попова Н.К., Ворсина Д.В. Об оценке оптимальности состава угольной шихты // Кокс и химия. 2007. № 3. С 2 – 6.
- 14 Тайц, Е.М. Методы анализа и испытания углей / Е.М. Тайц, И.А. Андреева // М., Недра, 1983. 301 с.
- 15 Августевич, И.В. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей // М: НТК «Трек», 2008. 367 с.
- 16 Петрографический кодекс России // С.-Петербург, Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 160 с.
- 17 Арцер, А.С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А.С. Арцер, С.И. Протасов // Кн. 1. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та, 1999. 177 с.
- 18 Арцер, А.С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А.С. Арцер, С.И. Протасов // Кн. 2. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та, 1999. 168 с.
- 19 Лялюк В.П., Учитель А.Д., Ляхова И.А. и др. Качество подготовки шихты для коксования // Кокс и химия. 2011. № 8. С. 2 – 19.
- 20 Станкевич А. С., Круглов В.Н., Ворсина Д.В., Золотухин Ю.А. Модель оптимизации показателей качества кокса на основе химико-петрографических параметров углей и нелинейного программирования // Кокс и химия. 2010. № 7. С. 21 – 29.
- 21 Попова Н.К., Степанов Ю.В. Ещё раз об оптимизации состава угольной шихты // Кокс и химия. 2013. № 5. С. 10 – 12.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-40-47

UDS 662.741.3.022.001.5

DEPENDENCE OF THE MECHANICAL STRENGTH OF THE COKE ON THE AMOUNT OF LANDING COMPONENTS

Anatoly N. Zaostrovsky,

C. Sc. . in Engineering, Leading Researcher, Associate Professor

Institute of Coal Chemistry & Chemical Materials Science, Federal Research Center of Coal & Coal Chemistry, SB RAS, 18 Sovietsky Ave., Kemerovo 650000, Russian Federation



Article info

Received:

08 November 2021

Abstract.

Concentrates of coal from the Kuznetsk Basin, which form the basis of the charge for coking, have been investigated in order to establish the relationship between the mechanical strength of coke and the sum of the lean components of the coal. It is shown that one of the main parameters used in Russia to classify coals and evaluate them as raw materials for coke production, the thickness of the plastic layer (Y , mm) decreases almost linearly with an

Revised:
30 November 2021

Accepted:
05 December 2021

Keywords: bituminous coal, petrographic analysis of coal, sum of lean components, vitrinite reflectance, reflectogram, charge, mechanical strength of coke.

increase in the amount of lean components ($\Sigma OK, \%$). The free swelling index (SI), as an indicator of coal sintering, changes with the stage of metamorphism and significantly depends on the petrographic composition, decreasing with an increase in the amount of lean components.

It was found that the Roga index (RI), which serves as an indicator of sintering capacity based on the characteristics of the mechanical strength of the non-volatile residue obtained by rapid heating (at 850 °C) of a mixture of coal and reference anthracite, significantly decreases with an increase in the amount of lean components.

The results obtained for determining the sintering capacity of coals by various methods, depending on the amount of lean components, can serve for calculating the charge and predicting the quality of coke.

For citation Zaostrovsky A.N. Dependence of the mechanical strength of the coke on the amount of landing components. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, no.6 (148), pp. 40-47. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-40-47

REFERENCES

1. Gofman, M.V. *Prikladnaya khimiya tvordogo topliva*. Gos. nauch.-tekhn. izd-vo lit-ry po chorn. i tsvet. metallurgii. 1963, s. 600.
2. Shchukin, P.A. *Issledovaniye svoystv metallurgicheskogo koksa*. Izd-vo «Metallurgiya». M., 1971, s. 184.
3. Fedorova, N.I. *Khimiko-tekhnologicheskiye svoystva kamennykh ugley Kuzbassa* / N.I. Fedorova, A.N. Zaostrovskiy, Z.R. Ismagilov // *Vestnik KuzGTU*, 2015. № 5. S. 121-125.
4. Zaostrovskiy, A.N. *Petrograficheskiy analiz ugley Pechorskogo basseyna* / A.N. Zaostrovskiy, N.V. Zhuravleva, R.R. Potokina, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov // *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 23 (2015), s. 131-134.
5. Zaostrovskiy, A.N. *Petrograficheskiy sostav koksovykh ugley Kuznetskogo basseyna* / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov Z.R. // *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 24 (2016), s. 363-367.
6. Zaostrovskiy, A.N. *Otsenka koksuyemosti ugley po pokazatelyam petrograficheskogo sostava* / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, N.I. Fedorova, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // *Khimiya ust. razv.* 2018. T. 26, № 6. S. 589-595.
7. Zaostrovskiy, A.N. *Petrograficheskaya kharakteristika gazovykh ugley Kuzbassa* / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // *Koks i khimiya*. 2017. № 11. S. 25-30.
8. Travin, A.B. *Atlas verkhnepaleozoyskikh ugley Kuznetskogo basseyna* / A.B. Travin, E.M. Senderzon, V.P. Shorin, T.A. Gromova, Ye. Ye. Ivan'kova, K.S. Permina, Ye.M. Popova, V.F. Shugurov, T.S. Yusupov // *Pod red. I.N. Zvonareva*. Novosibirsk: Nauka. 1966. 368 s.
9. Yeremin, I.V. *Petrografiya i fizicheskiye svoystva ugley* / I.V. Yeremin, V.V. Lebedev, D.A. Tsikarev // M., Nedra. 1980. 263 s.
10. Yeremin, I.V. *Petrologiya i khimiko-tekhnologicheskiye parametry ugley Kuzbassa* / I.V. Yeremin, A.S. Artser, T.M. Bronovets // *Kemerovo: Pritomskoye*, 2001. – 399 s.
11. Zhemchuzhnikov, YU.A. *Osnovy petrologii ugley* / YU.A. Zhemchuzhnikov, A.I. Ginzburg // M., Izd. AN SSSR. 1960. 400 s.
12. Shtakh, E. *Petrologiya ugley* / E. Shtakh, M.-T. Makovski, M. Teykhmyuller, G. Teylor, D. Chandra, R. Teykhmyuller / *Per. s angl. Glushneva S.V., Dubrovskogo V.V., Khasinoy A.I.* // M., «Mir». 1978. 554 s.
13. Shtark P.V., Stepanov YU.V., Popova N.K., Vorsina D.V. *Ob otsenke optimal'nosti sostava ugol'noy shikhty* // *Koks i khimiya*. 2007. № 3. S 2 – 6.
14. Tayts, Ye.M. *Metody analiza i ispytaniya ugley* / Ye.M. Tayts, I.A. Andreyeva // M., Nedra, 1983. 301 s.
15. Avgushevich, I.V. *Standartnyye metody ispytaniya ugley. Klassifikatsiya ugley* // M: NTK «Trek», 2008. 367 s.
16. *Petrograficheskiy kodeks Rossii* // S.-Peterburg, Izd-vo VSEGEI, 2009. 160 s.
17. Artser, A.S. *Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye* / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kn. 1. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 177 s.
18. Artser, A.S. *Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye* / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kn. 2. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 168 s.
19. Lyalyuk V.P., Uchitel' A.D., Lyakhova I.A. i dr. *Kachestvo podgotovki shikhty dlya koksovaniya* // *Koks i*

khimiya. 2011. № 8. S. 2 – 19.

20 Stankevich A. S., Kruglov V.N., Vorsina D.V., Zolotukhin YU.A. Model' optimizatsii pokazateley kachestva koksa na osnove khimiko–petrograficheskikh parametrov ugley i nelineynogo programmirovaniya// Koks i khimiya. 2010. № 7. S. 21 – 29.

21 Popova N.K., Stepanov YU.V. Yeshcho raz ob optimizatsii sostava ugol'noy shikhty // Koks i khimiya. 2013. № 5. S. 10– 12.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).