

**ВЛИЯНИЕ СПЕКАЕМОСТИ НА УСЛОВИЯ  
ПРОГРЕВА УГЛЕЙ, РЕАКЦИОННУЮ  
СПОСОБНОСТЬ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА КОКСА**

© 2003 Мирошниченко Д.В.,  
Улановский М.Л., к.т.н.,  
Дроздник И.Д., к.т.н.,  
Трегубов Д.Г., к.т.н. (УХИИ)

*Исследовано влияние спекаемости восьми обогащенных спекающихся углей марок Г и Ж на условия их коксования, реакционную способность и термомеханические свойства кокса. Установлено наличие тесной связи между пластометрическим показателем у, условиями нагрева угля в пластическом состоянии, а также реакционной способностью и термомеханическими свойствами кокса. Получены статистические оценки и предварительное описание указанных связей.*

*The influence was studied of caking capacity of eight washed coals of G and Zh grades on the conditions of coking, reactivity and thermal and mechanical properties of coke. A close relation was found between the plastometric index, the conditions of coal heating in the plastic state and also the reactivity and thermal and mechanical properties of coke. Statistic estimations were obtained and preliminary description of the above mentioned relations made.*

Ключевые слова: пластометрический показатель у, кокс, реакционная способность, термомеханические свойства, условия коксования, математическое описание.

Реакционная способность доменного кокса в последнее время все чаще становится предметом обсуждения в периодической литературе [1-5].

Известно, что чем ниже реакционная способность кокса, тем на более низких горизонтах доменной печи он подвергается реакции газификации, практически сохраняя исходную крупность кусков. Это обуславливает хорошую газопроницаемость столба шихтовых материалов, устойчивую фильтрацию металла и шлака в горн печи. С другой стороны, чем выше реакционная способность, тем больше степень выгорания углерода и разрыхление кокса, разрушаемость кусков и степень прямого восстановления окислов железа. Образующаяся при этом мелочь, попадая в шлак, уменьшает его текучесть и, следовательно, газопроницаемость столба шихтовых материалов в доменной печи.

Широкое распространение в мире получил метод определения реакционной способности кокса (CRI) предложенный фирмой «Ниппон Стил» (Япония) [1, 2].

Сущность метода заключается в том, что проба крупностью 19-22,4 мм, массой 200 г подвергается воздействию  $\text{CO}_2$  в течение 2 ч при 1100 °С с расходом газа 300 л/ч, после чего определяется показатель CRI как отношение оставшейся массы кокса к исходной. Совместно с CRI определяют и показатель прочности кокса после реакции с  $\text{CO}_2$  (CRS).

Однако у этого метода есть существенный недостаток – невозможность одновременного воздействия на пробу кокса окислителя при высоких температурах и механических нагрузок, как это происходит в доменной печи.

Эти недостатки были учтены в методе, разработанном УХИИом: на испытываемую пробу одновременно воздействуют высокая температура, окислительная газовая среда и механические нагрузки. В основу этого метода, положен принцип прямого электронагрева пробы кокса в режиме микродугового объемного разряда [3]. В результате испытаний определяют реакционную способность Г (%), термомеханическую прочность П (%) и среднюю скорость истирания W (мг/гмин).

Известно, что на формирование качества кокса, в том числе и на термомеханические свойства, оказывают! определяющее влияние свойства шихты, а также условия коксования [5]. Для изучения влияния этих факторов на реакционную способность и термомеханические свойства кокса использовали лабораторный метод получения и испытания коксового королька [6]. Сущность метода заключается в коксовании углей и их смесей в двухкамерной лабораторной печи с односторонним нагревом коксуемой загрузки в буферной угольной засыпи.

По этому методу на «горячей» стороне печи должен быть выдержан следующий режим нагрева: от исходной температуры до 400 °С скорость подъема температуры 10 °С/мин, от 400 °С до 1250 °С 5 °С/мин. Затем достигнутая температура выдерживается постоянной в течение 2,5 ч, после чего коксование и прекращают.

В нашем случае дополнительно измерялась температура на «холодной» стороне загрузки. Цель замера после дующее вычисление скорости нагрева (как одной из основных технологических характеристик коксования) и

оценка влияния на нее пластических свойств исходного сырья. Одновременно изучали влияние скорости нагрева на качественные характеристики кокса.

На первом этапе исследовали 8 проб обогащенных спекающихся углей индивидуальных марок с максимальным (для реальных сырьевых баз коксохимзаводов) интервалом значений пластометрического показателя у.

Характеристика состава и свойств исследованных углей приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Марочная и качественная характеристика углей**

Наименование шахты, ЦОФ	Марка по ДСТУ 3472-96	Технический анализ, %				Толщина пластического слоя у, мм
		A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	
Новодонецкая	Г	7,7	2,88	34,6	37,5	10
Добропольская ЦОФ	Г	7,9	2,05	33,9	36,8	12
Белозерская	Г	4,3	1,96	34,6	36,2	12
Алмазная	Г	6,1	1,41	32,3	34,4	13
Распадская ЦОФ	Г	11,6	0,45	31,7	35,8	15
Самсоновская-Западная	Ж	4,6	1,80	32,4	34,0	17
Дуванная Им. 50 лет. СССР	Ж	5,4	3,67	31,3	33,1	27
	Ж	5,6	3,82	31,6	33,5	31

Из данных табл.1 видно, что выборка представлена марками Г и Ж, доля которых составляет примерно 60-70 % современной сырьевой базы коксохимзаводов Украины. С другой стороны, угли даже в пределах одной марки существенно различаются по величинам пластометрического показателя у, что позволяет оценить его влияние на скорость нагрева коксующей засыпи и на свойства кокса.

На рисунке ниже представлены графики подъема температуры на «горячей» стороне печи (1), а также на «холодной» стороне для максимально различных по пластометрическому показателю углей: у = 10 мм (2) и у = 31 мм (3). На температурной шкале графиков условно выделены три стадии термического превращения углей: I стадия (350 - 550 °С) – пластическое состояние и формирование структуры полуккокса; II стадия (550 - 750 °С) - твердофазные превращения и формирование структуры средне-температурного кокса; III стадия (750 - 800 °С) - переход к структуре кокса.

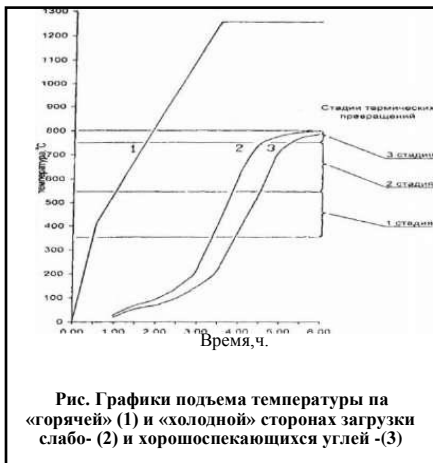


Рис. Графики подъема температуры на «горячей» (1) и «холодной» сторонах загрузки слабо- (2) и хорошо спекающихся углей (3)

На рисунке четко видно различие темпов подъема температуры по кривым (2) и (3), хотя форма их остается принципиально подобной.

Особенности заключаются в разном времени достижения граничных температур выделенных стадий термического превращения углей и, следовательно, в скоростях прохождения этих стадий.

Интересно проследить зависимость скорости прохождения указанных стадий термического превращения разными углями (V) от их пластометрического показателя у и, в свою очередь, оценить, как это отражается на свойствах кокса.

Значения величин V<sub>i</sub> показателей реакционной способности и термомеханических свойств полученных из них коксов представлены в табл. 2, а в табл. 3 приведены значения коэффициентов парной корреляции исследованных связей.

Данные табл. 3 свидетельствуют о тесной зависимости скорости V<sub>1</sub> от у (r = - 0,93), что можно объяснить особенностями структуры пластической массы углей различной спекаемости [7].

Пластическая масса представляет собой смесь твердых, жидких и газообразных веществ, включающую зону газонасыщенности и именуемую в силу этого малую поверхность взаимного контакта и низкую тепло- и температуропроводность.

Графики на рисунке иллюстрируют влияние величины у на скорость нагрева углей на I стадии. Статистически достоверной зависимости V<sub>2</sub> и V<sub>3</sub> от у не обнаружено.

Это может служить еще одним доказательством того, что свойства кокса закладываются, в основном, именно в периоды пластического состояния угля и формирования структуры полуккокса.

Таблица 2

## Скорость прохождения отдельных стадий термического превращения углей и свойства полученных из них коксов

Наименование шахты, ЦОФ	1 стадия t=350- 550 °С	2 стадия t=550- 750»С	3 стадия t=750- 800 °С	Показатели качества кокса		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	Степень газифика- ции Г, %	Прочность, П, %	Средняя ско- рость истирания мг/т-мин
Новодонецкая	9,09	4,44	1,06	32,3	54,9	2,11
Добропольская ЦОФ	8,00	3,70	1,28	32,8	54,3	2,11
Белозерская	7,14	3,77	1,67	32,0	59,2	1,71
Алмазная	7,41	4,35	1,00	27,0	65,6	1,70
Распадская ЦОФ	7,69	3,64	1,16	28,0	63,1	1,66
Самсоновская-Западная	7,69	3,85	1,72	24,2	68,7	1,40
Дуванная	5,56	9,09	2,08	16,4	79,3	0,89
Им. 50 - летия СССР	5,00	4,44	1,11	16,3	78,4	1,08

Данные табл. 3 отражают также наличие тесной зависимости свойств кокса (показателей Г, П и W) от величины пластометрического показателя у исходного угля: коэффициенты парной корреляции равны соответственно -0,95; 0,93; -0,90, т.е. с ростом спекаемости угля снижаются реакционная способность и истираемость кокса, а его прочность после реакции с CO<sub>2</sub> возрастает.

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции исследованных связей							
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	y	Г	П	W
V <sub>1</sub>		-0,53	-0,35	-0,93	0,87	-0,89	0,89
V <sub>2</sub>	-0,53		0,63	0,57	-0,64	0,63	-0,66
V <sub>3</sub>	-0,35	0,63		0,29	-0,36	0,40	-0,54
y	-0,93	0,57	0,29		-0,95	0,93	-0,90

Одним из объяснений снижения реакционной способности может служить тот факт, что угли с высокой текучестью образуют относительно легко графитируемый кокс преимущественно с анизотропной структурой, а она, в свою очередь, обладает пониженной реактивностью.

Угли же с пониженной спекаемостью дают кокс с преимущественно аморфной высокорективной структурой [8].

Зависимость величин Г, П и W от V<sub>1</sub> косвенно отражает влияние спекаемости, поскольку величина V<sub>1</sub> сама зависит от y.

Вместе с тем известны технические приемы изменения скорости прохождения интервала пластического состояния углей и воздействия таким образом на качество кокса [5].

Коэффициенты аппроксимирующих линейных

уравнений исследованных связей, а также значения коэффициентов детерминации сведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты аппроксимирующих  
линейных уравнений и коэффициенты  
детерминации исследованных связей

Вид связи	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>
V <sub>1</sub> =f(y)	9,920	0,159	0,865
Г=f(y)	40,490	-0,820	0,903
П=f(y)	45,428	1,168	0,865
W=f(y)	2,472	-0,052	0,810
П=f(V <sub>1</sub> )	-5,788	4,432	0,757
П=f(V <sub>2</sub> )	111,907	-6,456	0,792
W=f(V <sub>1</sub> )	-0,544	0,296	0,792

В соответствии с полученными регрессионными уравнениями спекаемость углей в исследованном интервале значений 10 ≤ y ≤ 31 мм следующим образом влияет на условия прогрева загрузки (V<sub>1</sub>) и свойства кокса (Г, П, W):

$$V_1 = 9,920 - 0,159 \cdot y \quad (R^2 = 0,865) \quad (1)$$

$$\Gamma = 40,490 - 0,820 \cdot y \quad (R^2 = 0,903) \quad (2)$$

$$P = 45,428 + 1,168 \cdot y \quad (R^2 = 0,865) \quad (3)$$

$$W = 2,472 - 0,052 \cdot y \quad (R^2 = 0,810) \quad (4)$$

Видно, что изменения значений каждого из изученных откликов на 80 и более процентов обусловлены различием величин показателя спекаемости углей.

Увеличение объема выборки при проведении лабораторных, а также полупромышленных и промышленных коксований позволит в дальнейшем уточнить полученные на первом этапе результаты и описания взаимосвязи пластических свойств углей и условий коксования с реакционной способностью и термомеханическими свойствами кокса.

## Библиографический список