

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СПЕКАЕМОСТЬ И СПЕКАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ УГЛЕЙ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА

© 2009 Соловьев М.А. (ОАО «Алчевсккокс»),
Шмалько В.М., к.т.н. (УХИИ)

В статье изложены результаты исследований по влиянию крупности угольных зерен, скорости нагрева и плотности угольной загрузки на спекаемость и спекающую способность углей разной степени метаморфизма.

The results of research work concerning influence of coal particles' size, rate of heating and density of coal charge on the parameters of caking ability and caking power of coals of different metamorphism degree are given in the article.

Ключевые слова: спекаемость, спекающая способность, уплотненные угли.

Известно, что на спекание углей значительное воздействие оказывают различные факторы: крупность угольных зерен, скорость нагрева, уплотнение угольной загрузки и др. [1-3]. Управление ими дает возможность направленного регулирования протекания химических реакций и физико-химических процессов, обуславливающих спекание углей. Вместе с тем, влияние таких факторов, как крупность угольных зерен и скорость нагрева на спекаемость и спекающую способность уплотненных углей разной степени метаморфизма практически не изучено.

С помощью разработанного нами способа прямого определения спекаемости и спекающей способности [4-5] была произведена оценка влияния скорости нагрева угольной загрузки, крупности угольных зерен и плотности загрузки на показатели спекаемости и спекающей способности углей различной степени метаморфизма, составляющих сырьевую базу по технологии коксования трамбованной шихты.

Для исследований были взяты спекающиеся угли различных марок и ЦОФ. Качественные характеристики углей по данным технического и пластометрического анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики исследованных углей по данным технического и пластометрического анализа

ЦОФ	Марка угля	Технический анализ, %				Пластометрические показатели, мм	
		A ^d	S _t ^d	V ^d	V ^{dar}	x	y
Селидовская	Г	8,4	2,12	33,1	36,2	36	10
Комсомольская	Г	8,5	0,92	31,9	34,9	42	13
Стахановская	Г	5,4	2,08	34,5	36,5	40	11
Распадская	ГЖ	8,2	0,62	31,8	34,7	31	18
Кузбасская	ГЖО	11,2	0,23	31,1	35,0	37	7
Киевская	Ж	11,5	1,92	28,4	32,1	-1	30
Альфа (США)	Ж	9,5	0,75	25,8	28,5	14	19
Дзержинская	Ж	5,4	2,12	33,4	35,2	20	27
Пролетарская	К	9,7	2,32	27,2	30,1	20	16
Славяносербская	К	8,1	1,80	22,0	24,0	25	17
Чумаковская	К	8,8	1,60	33,0	36,2	44	15
Узловская	ОС	6,4	1,96	20,4	21,8	30	8

1. Влияние скорости нагрева угольной загрузки

При проведении испытаний уплотненных углей скорость подъема температуры в угольной загрузке составляла: 10 °С/мин, 15 °С/мин, 20 °С/мин. Остальные условия проведения испытаний были неизменными: степень измельчения углей и эталонного антрацита ≤0,2 мм, плотность загрузки – 1,15 г/см², влажность – 12 %, конечная температура нагрева 600 °С, продолжительность изотермической выдержки 30 мин [6].

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного пакета для статистической обработки Origin 8.0. По ниспадающим участкам кривых рассчитывали параметры линейных уравнений – спекаемость (σ_0 , МПа) и спекающую способность (А, масс.ч.) [4].

В табл. 2 приведены результаты испытаний углей по показателям спекаемости и спекающей способности при различных значениях скорости нагрева угольной загрузки.

Таблица 2

Результаты испытаний спекаемости и спекающей способности уплотненных углей в зависимости от скорости их нагрева.

ЦОФ	Марка угля	Заданная скорость нагрева, °С/мин	Спекаемость, σ_0 , МПа	Спекающая способность А, масс.ч	Прирост спекаемости*, $\Delta\sigma_0$, МПа	Прирост спекающей способности**, ΔA , масс.ч.
Селидовская	Г	10	5,37	2,49	0,65	0,45
		15	5,66	2,73		
		20	6,02	2,94		
Комсомольская	Г	10	5,43	2,90	0,74	0,57
		15	5,81	3,25		
		20	6,17	3,47		
Стахановская	Г	10	5,24	4,01	1,09	0,58
		15	6,11	4,36		
		20	6,33	4,59		
Распадская	ГЖ	10	5,50	5,61	0,55	0,53
		15	5,84	5,96		
		20	6,05	6,14		
Кузбасская	ГЖО	10	2,67	0,71	0,48	0,51
		15	2,95	0,95		
		20	3,15	1,22		
Киевская	Ж	10	9,58	6,60	0,34	0,32
		15	9,85	6,84		
		20	9,92	6,92		
Альфа (США)	Ж	10	9,05	5,83	0,69	0,47
		15	9,37	6,11		
		20	9,74	6,30		
Дзержинская	Ж	10	7,83	3,04	0,92	0,61
		15	8,40	3,48		
		20	8,75	3,65		
Славяносербская	К	10	7,81	2,67	0,69	0,48
		15	8,41	2,98		
		20	8,66	3,15		
Чумаковская	К	10	7,89	2,54	0,81	0,36
		15	8,35	2,73		
		20	8,70	2,90		
Пролетарская	К	10	11,71	3,32	0,73	0,53
		15	12,15	3,69		
		20	12,44	3,85		
Узловская	ОС	10	4,10	2,45	0,47	0,34
		15	4,44	2,63		
		20	4,57	2,79		

* разность между спекаемостью при 20 °С/мин и при 10 °С/мин ($\sigma_0 - \sigma_{0,10}$)

** разность между спекающей способностью при 20 °С/мин и при 10 °С/мин ($A_{20} - A_{10}$)

Из полученных результатов следует, что с увеличением скорости нагрева угольной загрузки в исследованном диапазоне спекаемость и спекающая способность испытанных углей в целом возрастает.

Вместе с тем, если сравнивать прирост показателей спекаемости $\Delta\sigma_0$ и спекающей способности Δ_A (при увеличении скорости с 10 °С/мин до 20 °С/мин) для углей одной и той же марки, но разных ЦОФ, то он неодинаков. Так, для группы исследованных газовых углей наибольший прирост данных показателей отмечается для угля ЦОФ «Стахановская» ($\Delta\sigma_0 = 1,09$ МПа, $\Delta_A = 0,58$ масс.ч), а наименьший – для угля ЦОФ «Селидовская» ($\Delta\sigma_0 = 0,65$ МПа, $\Delta_A = 0,45$ масс.ч). Газовый уголь ЦОФ «Комсомольская» по приросту показателей спекаемости и спекающей способности занимает промежуточное положение. Для группы исследованных жирных углей наибольший прирост данных показателей отмечается у угля ЦОФ «Дзержинская» ($\Delta\sigma_0 = 0,92$ МПа, $\Delta_A = 0,61$ масс.ч), а наименьший – у угля ЦОФ «Киевская» ($\Delta\sigma_0 = 0,34$ МПа, $\Delta_A = 0,32$ масс.ч). Для испытанных коксовых углей наибольший прирост показателя спекаемости отмечается у угля ЦОФ «Чумаковская» ($\Delta\sigma_0 = 0,81$ МПа), а показателя спекающей способности – у угля ЦОФ «Пролетарская» ($\Delta_A = 0,53$ масс.ч).

Несмотря на то, что толщина пластического слоя газового угля ЦОФ «Стахановская» в свободной засыпи ($y = 11$ мм) незначительно отличается от аналогичного показателя газового угля ЦОФ «Селидовская» ($y = 10$ мм), при испытании данных углей в уплотненном состоянии и при повышении скорости нагрева прирост показателей спекаемости и спекающей способности неодинаков. То же самое можно сказать о коксовых углях.

Если сравнивать прирост показателей спекаемости и спекающей способности углей различных марок, то он также неодинаков. Так, для группы исследованных газовых углей диапазоны прироста этих показателей составляют $\Delta\sigma_0 = 0,65-1,09$ МПа, $\Delta_A = 0,45-0,58$ масс.ч; для группы жирных углей данный диапазоны составляют $\Delta\sigma_0 = 0,34-0,92$ МПа, $\Delta_A = 0,32-0,61$ масс.ч; для группы коксовых углей диапазоны прироста составляют $\Delta\sigma_0 = 0,69-0,81$ МПа, $\Delta_A = 0,36-0,53$ масс.ч и, наконец, наименьший прирост показателей спекаемости и спекающей способности отмечается для угля марки ОС ЦОФ «Узловская» ($\Delta\sigma_0 = 0,47$ МПа, $\Delta_A = 0,34$ масс.ч) и угля марки ГЖО ЦОФ «Кузбасс» ($\Delta\sigma_0 = 0,48$ МПа, $\Delta_A = 0,51$ масс.ч). Таким образом можно сделать вывод, что для испытанных углей различных технологических марок наиболее чувствительными к фактору повышения скорости нагрева являются угли низкой стадии метаморфизма (газовые), а наименее чувствительными – спекающиеся угли высокой стадии метаморфизма (отощенно-спекающиеся). Спекающиеся угли средней стадии метаморфизма (жирные, коксовые) занимают промежуточное положение.

2. Влияние крупности угольных зерен.

Определение показателей спекаемости и спекающей способности уплотненных углей различных марок производили при разной крупности исходных угольных зерен: <0,2 мм, <0,5 мм, <1,0 мм. При этом, в угольных пробах крупностью <1,0 мм содержание класса <0,2 мм составляло не более 20 %. Остальные условия проведения испытаний составляли: степень измельчения эталонного антрацита $\leq 0,2$ мм, плотность загрузки уплотненных углей – 1,15 г/см², влажность – 12 %, скорость подъема температуры в угольной загрузке – 15 °С/мин, конечная температура нагрева – 600 °С, продолжительность изотермической выдержки – 30 мин. Обработку экспериментальных данных, как и при исследовании влияния скорости нагрева, проводили с использованием программного пакета для статистической обработки Origin 8.0. По недостающим участкам кривых рассчитывали параметры линейных уравнений σ_0 , A .

В табл. 3 представлены результаты испытаний спекаемости и спекающей способности углей в зависимости от крупности угольных зерен.

Из полученных результатов видно, что в целом для всех испытанных углей увеличение крупности исходных угольных зерен в исследованном диапазоне приводит к повышению спекаемости и спекающей способности. Вместе с тем, при увеличении крупности угольных зерен с <0,2 мм до <0,5 мм данное повышение незначительно и даже в ряде случаев находится в пределах погрешности. Однако, при дальнейшем увеличении крупности угольных зерен (<1,0 мм) различие в показателях спекаемости и спекающей способности становится значимым. Так, к примеру, в результате испытания газового угля ЦОФ «Селидовская» при увеличении крупности угольных зерен с <0,2 мм до <0,5 мм повышение показателей спекаемости и спекающей способности произошло только на 4,1 % и 7,9 % соответственно. А прирост показателей спекаемости и спекающей способности при увеличении крупности угольных зерен с <0,2 мм до <1,0 мм составил 12,2 % и 16,3 % соответственно. Аналогичная тенденция отмечается для всех исследованных углей.

Для испытанных углей одной и той же марки, но различных ЦОФ прирост показателей спекаемости и спекающей способности неодинаков. Так, для газовых углей наибольший прирост этих показателей наблюдается у угля ЦОФ «Стахановская» (соответственно $\Delta\sigma_0 = 0,87$ МПа и $\Delta_A = 0,66$ масс.ч), а наименьший – у угля ЦОФ «Селидовская» (соответственно $\Delta\sigma_0 = 0,68$ МПа и $\Delta_A = 0,43$ масс.ч). Для группы испытанных жирных углей наибольший прирост показателей спекаемости и спекающей способности отмечается у угля ЦОФ «Дзержинская» ($\Delta\sigma_0 = 0,66$ МПа и $\Delta_A = 0,66$ масс.ч). Наименьший прирост показателя спекаемости наблюдается у жирного угля ЦОФ «Киевская», а наименьший прирост

показателя спекающей способности – у угля «Альфа». Прирост показателя спекаемости наблюдается для угля При сравнении углей марки К видно, что наибольший ЦОФ «Пролетарская».

Таблица 3

Результаты испытаний спекаемости и спекающей способности уплотненных углей в зависимости от от крупности угольных зерен

ЦОФ	Марка угля	Крупность угольных зерен, мм	Спекаемость, σ_0 , МПа	Спекающая способность A , масс.ч.	Прирост спекаемости*, $\Delta\sigma_0$, МПа	Прирост спекающей способности**, ΔA , масс.ч.
Селидовская	Г	<0,2	5,56	2,63	0,68	0,43
		<0,5	5,79	2,84		
		<1,0	6,24	3,06		
Комсомольская	Г	<0,2	5,71	3,15	0,74	0,44
		<0,5	5,93	3,31		
		<1,0	6,45	3,59		
Стахановская	Г	<0,2	6,01	4,26	0,87	0,66
		<0,5	6,32	4,38		
		<1,0	6,88	4,92		
Распадская	ГЖ	<0,2	5,74	5,86	0,58	0,51
		<0,5	5,97	6,03		
		<1,0	6,32	6,37		
Кузбасская	ГЖО	<0,2	2,85	0,85	0,45	0,36
		<0,5	3,00	0,94		
		<1,0	3,30	1,21		
Киевская	Ж	<0,2	9,75	6,74	0,59	0,49
		<0,5	9,88	6,89		
		<1,0	10,34	7,23		
Альфа (США)	Ж	<0,2	9,27	6,01	0,62	0,41
		<0,5	9,45	6,17		
		<1,0	9,89	6,42		
Дзержинская	Ж	<0,2	8,30	3,38	0,66	0,66
		<0,5	8,53	3,53		
		<1,0	8,96	4,04		
Славяносербская	К	<0,2	8,31	2,88	0,71	0,66
		<0,5	8,43	3,14		
		<1,0	9,02	3,54		
Чумаковская	К	<0,2	8,25	2,63	0,62	0,47
		<0,5	8,42	2,79		
		<1,0	8,87	3,10		
Пролетарская	К	<0,2	12,05	3,59	0,73	0,53
		<0,5	12,39	3,78		
		<1,0	12,78	4,12		
Узловская	ОС	<0,2	4,34	2,53	0,36	0,37
		<0,5	4,43	2,65		
		<1,0	4,70	2,90		

* $\sigma_0, 1,0-\sigma_0, 0,2$

** $A, 1,0-A, 0,2$

Если сравнивать угли различных марок по показателю прироста спекаемости и спекающей способности, то наиболее чувствительными к фактору увеличения крупности угольных зерен являются газовые угли ($\Delta\sigma_0 = 0,68-0,87$ МПа, $\Delta A = 0,43-0,66$ масс.ч), а наименее чувствительными – отощенно-спекающиеся угли ($\Delta\sigma_0 = 0,36$ МПа и $\Delta A = 0,37$ масс.ч). Что касается жирных и коксовых углей, то диапазон прироста показателей спекаемости и спекающей

способности для первых составляет $\Delta\sigma_0 = 0,59-0,66$ МПа и $\Delta A = 0,41-0,66$ масс.ч, для вторых – $\Delta\sigma_0 = 0,62-0,73$ МПа и $\Delta A = 0,47-0,66$ масс.ч. Таким образом, прирост данных показателей для коксовых углей несколько выше, чем для жирных углей.

Неодинаковый прирост показателей спекаемости и спекающей способности для углей разной стадии метаморфизма и даже углей одной и той же марки, но различных ЦОФ, объясняется, по-видимому, различной

степень изменений протекания физико-химических процессов в микро- и макромолекулярных структурах углей при увеличении крупности угольных зерен.

3. Влияние плотности угольной загрузки

Определение спекаемости и спекающей способности углей разной степени метаморфизма производили при разной плотности угольной загрузки – 0,8 г/см³ и 1,0 г/см³. Остальные условия проведения испытаний составляли: степень измельчения уплотненных углей и эталонного антрацита – ≤0,2 мм, скорость подъема температуры в угольной загрузке –

15 °С/мин, конечная температура нагрева – 600 °С, продолжительность изотермической выдержки – 30 мин. Обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного пакета для статистической обработки Origin 8.0. По ниспадающим участкам кривых зависимости прочности полукокса от содержания в исходной смеси наполнителя рассчитывали параметры линейных уравнений σ_0, A .

В табл. 4 приведены результаты испытаний углей по показателям спекаемости и спекающей способности при различной плотности угольной загрузки.

Таблица 4

Результаты испытаний по показателям спекаемости и спекающей способности в зависимости от различной плотности угольной загрузки

ЦОФ	Марка угля	Плотность угольной загрузки, г/см ³	Спекаемость, σ_0 , МПа	Спекающая способность A , масс.ч	Прирост спекаемости*, $\Delta\sigma_0$, МПа	Прирост спекающей способности**, ΔA , масс.ч																																																																																																										
Селидовская	Г	0,8	4,66	1,75	0,78	0,95																																																																																																										
		1,0	5,44	2,70			Комсомольская	Г	0,8	5,11	2,74	0,51	0,36	1,0	5,62	3,10	Стахановская	Г	0,8	4,78	2,80	1,18	1,37	1,0	5,96	4,17	Распадская	ГЖ	0,8	5,17	5,24	0,36	0,44	1,0	5,53	5,68	Кузбасс	ГЖО	0,8	2,29	0,53	0,32	0,27	1,0	2,61	0,80	Киевская	Ж	0,8	9,20	6,38	0,40	0,33	1,0	9,60	6,71	Альфа (США)	Ж	0,8	8,16	5,50	0,79	0,44	1,0	8,95	5,94	Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34	1,0	8,27	3,24	Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35
Комсомольская	Г	0,8	5,11	2,74	0,51	0,36																																																																																																										
		1,0	5,62	3,10			Стахановская	Г	0,8	4,78	2,80	1,18	1,37	1,0	5,96	4,17	Распадская	ГЖ	0,8	5,17	5,24	0,36	0,44	1,0	5,53	5,68	Кузбасс	ГЖО	0,8	2,29	0,53	0,32	0,27	1,0	2,61	0,80	Киевская	Ж	0,8	9,20	6,38	0,40	0,33	1,0	9,60	6,71	Альфа (США)	Ж	0,8	8,16	5,50	0,79	0,44	1,0	8,95	5,94	Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34	1,0	8,27	3,24	Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59						
Стахановская	Г	0,8	4,78	2,80	1,18	1,37																																																																																																										
		1,0	5,96	4,17			Распадская	ГЖ	0,8	5,17	5,24	0,36	0,44	1,0	5,53	5,68	Кузбасс	ГЖО	0,8	2,29	0,53	0,32	0,27	1,0	2,61	0,80	Киевская	Ж	0,8	9,20	6,38	0,40	0,33	1,0	9,60	6,71	Альфа (США)	Ж	0,8	8,16	5,50	0,79	0,44	1,0	8,95	5,94	Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34	1,0	8,27	3,24	Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																
Распадская	ГЖ	0,8	5,17	5,24	0,36	0,44																																																																																																										
		1,0	5,53	5,68			Кузбасс	ГЖО	0,8	2,29	0,53	0,32	0,27	1,0	2,61	0,80	Киевская	Ж	0,8	9,20	6,38	0,40	0,33	1,0	9,60	6,71	Альфа (США)	Ж	0,8	8,16	5,50	0,79	0,44	1,0	8,95	5,94	Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34	1,0	8,27	3,24	Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																										
Кузбасс	ГЖО	0,8	2,29	0,53	0,32	0,27																																																																																																										
		1,0	2,61	0,80			Киевская	Ж	0,8	9,20	6,38	0,40	0,33	1,0	9,60	6,71	Альфа (США)	Ж	0,8	8,16	5,50	0,79	0,44	1,0	8,95	5,94	Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34	1,0	8,27	3,24	Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																																				
Киевская	Ж	0,8	9,20	6,38	0,40	0,33																																																																																																										
		1,0	9,60	6,71			Альфа (США)	Ж	0,8	8,16	5,50	0,79	0,44	1,0	8,95	5,94	Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34	1,0	8,27	3,24	Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																																														
Альфа (США)	Ж	0,8	8,16	5,50	0,79	0,44																																																																																																										
		1,0	8,95	5,94			Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34	1,0	8,27	3,24	Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																																																								
Дзержинская	Ж	0,8	7,69	2,90	0,58	0,34																																																																																																										
		1,0	8,27	3,24			Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33	1,0	8,25	2,71	Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																																																																		
Славяносербская	К	0,8	7,80	2,38	0,45	0,33																																																																																																										
		1,0	8,25	2,71			Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39	1,0	8,10	2,55	Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																																																																												
Чумаковская	К	0,8	7,58	2,16	0,52	0,39																																																																																																										
		1,0	8,10	2,55			Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41	1,0	11,68	3,42	Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																																																																																						
Пролетарская	К	0,8	11,12	3,01	0,56	0,41																																																																																																										
		1,0	11,68	3,42			Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32	1,0	4,34	2,59																																																																																																
Узловская	ОС	0,8	3,99	2,27	0,35	0,32																																																																																																										
		1,0	4,34	2,59																																																																																																												

* $\sigma_{0, 0,8} - \sigma_{0, 1,0}$

** $A_{0,8} - A_{1,0}$

Из данных табл. 4 видно, что с увеличением плотности угольной загрузки показатели спекаемости и спекающей способности для всех углей возрастают.

Вместе с тем, прирост данных показателей (при увеличении плотности с 0,8 г/см³ до 1,0 г/см³) для углей одной и той же марки, но разных ЦОФ, различен. Так, рассматривая полученные результаты для группы газовых углей, мы видим, что наибольший прирост показателей спекаемости и спекающей способности отмечается для угля ЦОФ «Стахановская» ($\Delta\sigma_0 = 1,18$ МПа, $\Delta A = 1,37$ масс.ч), наименьший прирост данных

показателей отмечается для угля ЦОФ «Комсомольская» ($\Delta\sigma_0 = 0,51$ МПа, $\Delta A = 0,36$ масс.ч). Газовый уголь ЦОФ «Селидовская» по показателю прироста спекаемости и спекающей способности занимает промежуточное положение. Для группы жирных углей наибольший прирост показателей спекаемости и спекающей способности отмечается для угля «Альфа» (США): $\Delta\sigma_0 = 0,79$ МПа, $\Delta A = 0,44$ масс.ч. Наименьший прирост показателей спекаемости и спекающей способности отмечается для угля ЦОФ «Киевская» ($\Delta\sigma_0 = 0,4$ МПа, $\Delta A = 0,33$ масс.ч). Для

коковых углей наибольший прирост данных показателей отмечается у угля ЦОФ «Пролетарская» ($\Delta\sigma_0 = 0,56$ МПа, $\Delta_A = 0,41$ масс.ч), а наименьший – у угля ЦОФ «Славяносербская» ($\Delta\sigma_0 = 0,45$ МПа, $\Delta_A = 0,33$ масс.ч). Коксовый уголь ЦОФ «Чумаковская» по показателю прироста спекаемости и спекающей способности занимает промежуточное положение.

Следует отметить, что по приросту показателей спекаемости и спекающей способности угли разной степени метаморфизма также отличаются между собой. Так, наибольший прирост вышеуказанных показателей отмечается для испытанных газовых углей ($\Delta\sigma_0 = 0,51-1,18$ МПа, $\Delta_A = 0,36-1,37$ масс.ч). Наименьший прирост показателей спекаемости и спекающей способности наблюдается для угля ГЖО ЦОФ «Кузбасс» ($\Delta\sigma_0 = 0,32$ МПа, $\Delta_A = 0,27$ масс.ч) и угля марки ОС ЦОФ «Узловская» ($\Delta\sigma_0 = 0,35$ МПа, $\Delta_A = 0,32$ масс.ч). Прирост показателей спекаемости и спекающей способности для жирных углей ($\Delta\sigma_0 = 0,4-0,79$ МПа, $\Delta_A = 0,33-0,44$ масс.ч) больше, чем для коксовых ($\Delta\sigma_0 = 0,45-0,56$ МПа, $\Delta_A = 0,33-0,41$ масс.ч).

Таким образом, наиболее чувствительными к фактору уплотнения являются угли низкой стадии метаморфизма (газовые), а наименее чувствительными – угли марки ГЖО и ОС. Угли средней стадии метаморфизма (жирные, коксовые) занимают промежуточное положение.

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы

1. Разработанный способ прямого определения спекаемости и спекающей способности уплотненных углей (шихт) позволяет оценивать влияние различных факторов (скорость нагрева, крупность угольных зерен и плотность загрузки) на данные показатели, что делает его гибким лабораторным инструментом подбора

сырьевой базы, а также определения условий проведения коксования трамбованных шихт.

2. Воздействие вышеуказанных факторов приводит к различному изменению показателей спекаемости и спекающей способности не только для спекающихся углей разной степени метаморфизма, но и для углей одной и той же марки, но разных поставщиков (ЦОФ).

3. Способ прямого определения спекаемости и спекающей способности уплотненных углей (шихт) может служить инструментом дальнейших более глубоких научных исследований по влиянию различных факторов на сложный процесс спекания углей.

Библиографический список

1. Склад М.Г. Интенсификация коксования и качество кокса. – Москва: Металлургия, 1976. – 256 с.
2. Грязнов Н.С. Основы теории коксования. – Москва: Металлургия, 1976. – 312 с.
3. Склад М.Г. Физико-химические основы спекания углей. – Москва: Металлургия, 1984. – 200 с.
4. Шмалько В.М., Соловьев М.А. Прямой способ определения спекаемости и спекающей способности уплотненных углей и шихт // Кокс и химия. – 2008. – № 8. – С. 15-22.
5. Патент № 38100 на корисну модель. С10В 57/00. Спосіб визначення спікливості та спікливої здатності вугілля та вугільних шихт; опубл. 25.12.2008, бюл. № 24.
6. Соловьев М.А., Шмалько В.М. Экспериментальное и статистическое обоснование условий проведения эксперимента по способу определения спекаемости и спекающей способности уплотненных углей и шихт // Углехимический журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 86-92.

Рукопись поступила в редакцию 19.10.2008