

Розглянуто можливість використання забійного сигналізатора визначення моменту зустрічі покладу корисної копалини для підвищення відбору кондиційних проб керну при бурінні свердловин інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами.

Ключові слова: буріння, бурова коронка, породи, що перемежуються, вугілля, сигналізатор, якість.

The article describes the downhole detector signaling the time of first contact with mineral deposits and its applicability to drilling by superhard bits to improve the core sampling.

Key words: drilling, drill bit, alternating rocks, coal, signal device and quality.

Литература

1. Пат. РФ № 2263197, Е21В 10/48. Р. К. Богданов, А. А. Шульженко, А. П. Загора, А. М. Исонкин. Буровая коронка. – Опубл. 27.10.2005; Бюл. № 30.
2. А. с. СССР № 1141188, кл. Е21В 47/12. Забойный датчик сигнализатора встречи угольных пластов; БИ № 7, 1985.
3. Сулакшин С. С. Современные способы и средства отбора проб полезных ископаемых. – М.: Недра, 1970. – 248 с.
4. Пат. України 26192, Е21В 47/12. Сигналізатор зустрічі м'яких продуктивних пластів / В. С. Щербачов, В. І. Сорокін. – Опубл. 10.09.2007; Бюл. № 14.

Поступила 19.06.12

УДК 622.27.7.3

А. А. Кожевников¹, д-р техн. наук;

Ю. Н. Вахалин², **А. Г. Александров**², кандидаты технических наук

¹Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепропетровск, Украина

²Государственное высшее учебное «Химико-технологический университет»,
г. Днепропетровск, Украина

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ТРЕЩИНОВАТОСТИ УГЛЕЙ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Рассмотрено влияние тепловой термоциклической обработки на прочность углей и изменение их макро- и микротрещиноватости.

Ключевые слова: уголь, прочность угля, тепловое воздействие, трещиноватость угля.

Считается нерентабельной и поэтому не осуществляется разработка сложноструктурных и малых по запасам участков угольных месторождений, хотя на действующих шахтах некондиционные запасы составляют 3,9 млрд. т, из них 2,6 млрд. т забалансовые по зольности и горнотехническим условиям. В этой связи перспективно создание нетрадиционных способов добычи угля, которые будут обеспечивать экономически выгодное его извлечение в любых условиях. Одним из возможных направлений решения этой проблемы является приведение угля в подвижное или ослабленное состояние на месте залегания геотехнологическими методами, основанными на физических, химико-физических, химических, биологических процессах и их комбинациях с последующей выдачей на поверхность. Поэтому, актуальными являются исследования по изучению поведения угля при различных методах воздействия на него.

Исследователи (ИГТМ АН Украины, МГИ, ИГД им. А. А. Скочинского и др.) проводили определенный объем работ по исследованию гидроимпульсного, вибрационного, химико-физического, микробиологического и газификационного способов геотехнологической добычи угля и получили положительные результаты [1].

Результаты исследований крепких горных пород показали, что их крепость можно эффективно перевести в более низкую категорию термоциклическим воздействием, основанным на последовательном нагревании и охлаждении участков поверхности горных пород. Последовательное чередование нескольких циклов термоциклического воздействия на поверхность крепкого гранита приводит к снижению крепости обрабатываемых участков в несколько раз. Вопрос возможности применения термоциклического разрушения в технологии добычи угля требует дополнительного изучения. Как показывают расчеты, при резком охлаждении угля, обладающего высокими упругими свойствами βE (где β – коэффициент теплового расширения, E – модуль Юнга), возникают большие растягивающие напряжения, достигающие предельных значений при температурной разности между углем и охлаждающей средой 10–20 К. В отличие от крепких горных пород, нагревание и охлаждение которых могут осуществляться преимущественно поверхностно, с учетом пористости и трещиноватости породы угля эффективность термоциклической обработки можно существенно повысить за счет обработки массива теплоносителями и хладоагентом в режиме фильтрации.

Цель настоящей работы – исследовать поведение угля в различных условиях термоциклического нагружения, в частности, изменение прочности на сжатие в зависимости от режимов тепловой обработки. Так как изменение прочности после термоциклического воздействия является следствием развития дополнительной трещиноватости угля, изучали также изменение его макро- и микротрещиноватости. Трещиноватость – очень важный показатель угля, который влияет на его газонасыщенность и фильтрационные характеристики, а также дегазацию угольных пластов и нагнетание в них жидкостей для различных технологических целей. В реальных технологических процессах выемки угля из тонких пластов термоциклическое разупрочнение можно использовать как самостоятельно, так и в сочетании с любым другим видом нагрузки. Массив подвергают термоциклической обработке через одну или систему скважин. Тепловое воздействие может осуществляться поверхностно последовательным заполнением скважин теплоносителем или хладоагентом и объемно за счет фильтрации по пласту. В качестве теплоносителя используют нагретые жидкости или газы, в качестве хладоагентов – жидкости, газы, сжиженные газы в широком температурном интервале.

Для изучения влияния агентов температуры, создаваемой в угле при термоциклическом воздействии, на разупрочнение в ИГТМ АН Украины были проведены соответствующие экспериментальные исследования. Образцы Донецкого угля марки Г произвольной формы и объемом не менее 1000 см³ каждый, отобранные из одного участка с приблизительно одинаковой геометрией, подвергали поверхностной тепловой и термоциклической обработке при следующих режимах (T_n – температура нагревания образца, T_{ox} – температура охлаждения образца, τ – продолжительность нагревания, ΔT – разность температур между нагреванием и охлаждением).

1. Нагревали образец в кипящей воде при $T_n = 373$ К, $\tau = 1$ ч, затем в течение 10 мин охлаждали в воде при $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 100$ К.

2. Нагревали в кипящей воде при $T_n = 373$ К, $\tau = 1$ ч и в течение 5 ч, затем охлаждали в той же воде до $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 100$ К.

3. Нагревали в муфельной печи при $\tau = 1$ ч до $T_n = 373$ К, затем охлаждали в воде в течение 10 мин при $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 100$ К.

4. Нагревали в муфельной печи в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 473$ К и охлаждали в воде в течение 10 мин при $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 200$ К.

5. Охлаждали в течение $\tau = 10$ мин сухой образец при $T_n = 273$ К в жидком азоте при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 200$ К.

6. Охлаждали образец влажностью 6 % при $T_n = 273$ К в жидком азоте в течение 10 мин при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 200$ К.

7. Нагревали в кипящей воде в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 373$ К и охлаждали в жидком азоте в течение 10 мин при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 200$ К.

8. Нагревали в муфельной печи при $\tau = 1$ ч до $T_n = 373$ К и охлаждение в жидком азоте 10 мин при $T_{ox} = 77$, $\Delta T = 300$ К.

9. Нагрев в муфельной печи в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 473$ К и охлаждали в жидком азоте в течение 10 мин при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 400$ К.

10. Нагревали в муфельной печи в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 473$ К и охлаждали в жидком азоте в течение 10 мин при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 400$ К (два цикла).

11. Нагревали в кипящей воде в течении $\tau = 1$ ч до $T_n = 373$ К и охлаждали в жидком азоте в течении 10 мин при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 300$ К.

12. Охлаждали сухой образец при $T_n = 273$ К в жидком азоте в течение 10 мин при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 200$ К (пять циклов).

13. Нагревали в муфельной печи в течение $\tau = 2$ ч до $T_n = 678$ К и охлаждали в воде в течение 10 мин при $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 400$ К.

14. Нагревали в муфельной печи в течение $\tau = 2$ ч до $T_n = 623$ К и охлаждали с печью в течение 5 ч до $T_{ox} = 293$ К. $\Delta T = 330$ К.

15. Нагревали в муфельной печи в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 673$ К и охлаждали в воде в течение 10 мин при $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 300$ К.

16. Нагревали в муфельной печи в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 473$ К и охлаждали на воздухе в течение 5 ч до $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 180$ К.

17. Нагревали в воде в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 323$ К и охлаждали в течение 10 мин в воде, $T_{ox} = 273$ К, $\Delta T = 50$ К.

18. Нагревали в кипящей воде в течение $\tau = 1$ ч до $T_n = 373$ К образец влажностью 6 % и охлаждали в жидком азоте в течение 10 мин при $T_{ox} = 77$ К, $\Delta T = 296$ К.

Исследовали слоистый уголь со средней прочностью на сжатие $\sigma = 6190 \cdot 10^4$ Па.

Результаты наблюдений в процессе термоциклической обработки образцов угля показали, что большинство режимов обработки приводит к растрескиванию угля по слоям. В режимах с высоким перепадом температуры $\Delta T \geq 300$ К образовывались трещины, перпендикулярные направлению слоев. При трех-, пятикратной обработке угля по схемам, обеспечивающим $\Delta T \geq 300$ К, образцы делятся на фракции размером ≈ 20 мм. После одного цикла обработки все образцы, несмотря на очевидное изменение их прочности, сохраняли целостность.

Изменение прочности угля при термоциклической обработке оценивали прочность на одноосное сжатие σ . Для этого из каждого обработанного образца вырезали не менее 5 кубиков размером $2 \times 2 \times 2$ см и раздавливали их с помощью разрывной машины Р-10 с фиксацией разрушающей нагрузки. Прочность угля при заданном режиме тепловой обработки определяли как среднее арифметическое. Результаты экспериментов приведены в таблице.

В процессе исследований изучали также влияние термоциклического воздействия на более мелкую структуру угля (микротрещины, поры). Под микротрещинами в угле подразумевают невидимые трещины – до 1 мм. Поры угля по размерам делят на три класса: сверхкапиллярные ($> 0,1$ мм), капиллярные (0,002–0,1 мм) и субкапиллярные ($< 0,0002$ мм). Существующие микроскопические методы изучения трещиноватости сводятся в основном к определению количественных показателей, характеризующих нарушенность исследуемого объекта: количества трещин или их длины, отнесенной к единице площади среза аншлифа. В каждом конкретном методе в зависимости от цели исследования определяют дополнительные показатели: среднее зияние трещин, равномерность их распределения на площади, заполнение минеральными примесями, отношение количества заполненных трещин к количеству незаполненных, количество систем трещин, их соотношение и др.

Влияние термической обработки на прочность угля за один цикл

№	Уголь				
	T, K	$\Delta T, K$	$T, \text{мин}$	Вид воздействия	$\sigma \cdot 10^{-4}, \text{Па}$
1	$\frac{373}{273}$	100	$\frac{60}{10}$	<u>Вода</u> Вода	4040
2	$\frac{373}{273}$	100	$\frac{60}{300}$	<u>Вода</u> Вода	4040
3	$\frac{373}{373}$	100	$\frac{60}{10}$	<u>Печь</u> Вода	4040
4	$\frac{473}{273}$	200	$\frac{60}{10}$	<u>Печь</u> Вода	4040
5	$\frac{273}{77}$	200	$\frac{300}{10}$	<u>Воздух</u> Жидкий азот	4040
6	$\frac{273}{77}$	200	$\frac{300}{10}$	<u>Вода</u> Жидкий азот	4040
7	$\frac{373}{77}$	300	$\frac{60}{10}$	<u>Вода</u> Жидкий азот	4040
8	$\frac{373}{77}$	300	$\frac{60}{10}$	<u>Печь</u> Жидкий азот	4040
9	$\frac{473}{77}$	400	$\frac{60}{10}$	<u>Печь</u> Жидкий азот	4040
10	$\frac{473}{77}$	400	$\frac{60}{10}$	<u>Печь</u> Жидкий азот	4040
11	$\frac{373}{77}$	300	$\frac{60}{10}$	<u>Печь</u> Жидкий азот	4040
12	$\frac{273}{77}$	200	$\frac{300}{10}$	<u>Воздух</u> Жидкий азот	4040
13	$\frac{673}{273}$	400	$\frac{120}{10}$	<u>Печь</u> Вода	952
14	$\frac{623}{293}$	330	$\frac{30}{600}$	<u>Печь</u> Печь	952
15	$\frac{573}{273}$	300	$\frac{60}{10}$	<u>Печь</u> Вода	3570
16	$\frac{473}{293}$	180	$\frac{60}{600}$	<u>Печь</u> Печь	3570
17	$\frac{323}{273}$	50	$\frac{60}{10}$	<u>Вода</u> Вода	3570
18	$\frac{373}{77}$	300	$\frac{60}{10}$	<u>Вода</u> Жидкий азот	3570
19	Без обработки				6190

Примечание. В числителе данные, полученные при нагревании, в знаменателе – при охлаждении.

Трещиноватость угля изучали на аншлифах в отраженном свете под микроскопом ПОЛАМ Р-313 и на шлифах в проходящем поляризованном свете при увеличении 25–60. Такое увеличение обусловлено необходимостью наблюдения больших полей зрения при исключении значительной ошибки количественных измерений.

На аншлифах и шлифах угля под микроскопом определяли основные показатели: удельную длину микротрещин, их среднее зияние и коэффициент вариации удельной длины трещин на площади шлифа.

Интенсивность микротрещин оценивали по их удельной длине (суммарной протяженности микротрещин, приходящейся на 1 мм^2 шлифа). Проведенные исследования показали, что термоциклическое воздействие на образцы угля приводит к развитию макротрещин, а также влияет на длину и раскрытие микротрещин и пор.

В результате термоциклической обработки угля в различных режимах происходит удлинение и раскрытие природных микротрещин и пор. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в режимах с предварительным нагреванием в печи (схемы обработки 13–15) микротрещины резко увеличиваются – в 3–4 раза по сравнению с исходным углем. При других режимах термоциклической обработки микротрещины в большей степени удлиняются, нежели раскрываются.

В результате тепловой обработки резко увеличивается ширина, в основном, микротрещин заполненных в исходном состоянии кальцитом. Таких трещин в изучаемых углях до 70 %. По-видимому, это обусловлено тем, что кальцит, подверженный термообработке (особенно в печи), расширяется и распирает трещины и поры.

У незаполненных микротрещин после термоциклической обработки в большей степени наблюдается увеличение длины и в меньшей – ширины.

Таким образом, характер увеличения искусственных микротрещин в угле определяется не только перепадом температуры, но и в определенной мере наличием и свойствами минерального заполнителя природных микротрещин.

В результате микроскопических исследований установили, что вследствие термоциклической обработки угля удлиняются и раскрываются природные системы микротрещин, т. е. по природным развиваются искусственные микротрещины. Количественное определение удельной длины и среднего зияния микротрещин подтверждают результаты микроскопических наблюдений.

Характер и интенсивность развития искусственной микротрещиноватости в изученных образцах угля зависит в основном от режима термоциклической обработки. На эту зависимость накладываются колебания, связанные с неоднородностью вещественно-петрографического состава и интенсивности систем природных трещин.

Выводы

1. Термоциклическое воздействие на уголь приводит к снижению его прочности в 1,5–6,5 раз в зависимости от режима обработки.
2. Снижение прочности обусловлено удлинением и раскрытием в угле природных систем как крупных трещин (макротрещин), так и микротрещин и пор.
3. Все режимы термообработки приводят к видимому растрескиванию угля по слоям.
4. Режимы обработки при температуре $\Delta T \geq 300 \text{ К}$ приводят также к развитию трещин, перпендикулярных к направлению слоев.
5. При трех-, пятикратной обработке угля по схемам, обеспечивающим $\Delta T \geq 300 \text{ К}$, образцы рассыпаются на фракции размером $\approx 20 \text{ мм}$.

Розглянуто питання впливу теплової термоциклічної обробки на міцність вугілля та його макро- та мікротріщинність.

Ключові слова: вугілля, міцність вугілля, тепловий вплив, тріщини у вугіллі.

The influence thermal thermocycle of processing on durability coals and change them big and small crack is considered.

Key words: coal, strong coal, thermal influence, crack in coal.

Литература

1. Нетрадиционные технологические процессы добычи угля. / В. Н. Потураев, С. А. Полуянский, А. Н. Зорин и др. – К.: Техніка, 1986. – 117 с.

Поступила 11.06.12