

## ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАНА В УГЛЕ ПРИ ЕГО РАЗРУШЕНИИ

д.т.н. Ревва В.Н., к.ф.-м.н. Ульянова Е.В., инж. Бачурин Л.Л., асп. Кольчик П.Е. (ИФГП НАН Украины)

*Здійснена оцінка впливу виду напруженого стану на сорбційні властивості вугілля при його руйнуванні в умовах об'ємного нерівнокомпонентного стиснення*

## INFLUENCE OF TYPE OF THE TENSE STATE ON THE PHASE STATE OF METHANE IN CORNER AT HIS DESTRUCTION

Revva V.N., Ul'yanova E.V., Bachurin L.L., Kolchik I.E.

*The effects of stress condition on sorption properties of coal are determined for the case of coal fracture under true triaxial compression.*

Горные породы, в отличие от других твердых тел, имеют свои специфические особенности, связанные с дефектностью, неоднородностью, гетерогенностью среды и действием в горном массиве, особенно в окрестности горных выработок, неравнокомпонентного объемного поля сжимающих напряжений.

При разработке способов прогноза и управления состоянием горного массива необходимо учитывать указанные особенности горных пород.

Большое влияние на физико-механические свойства угля оказывают флюиды, в том числе метан, находящийся в нем в разном фазовом состоянии. Поскольку уголь в массиве находится в условиях неравнокомпонентного объемного сжатия весьма актуальным является исследование влияния неравнокомпонентности напряженного состояния, характеризуемой видом напряженного состояния  $\mu_\sigma$  (параметр Лоде-Надаи), на фазовое состояние метана в нем при разрушении.

В результате экспериментальных исследований образцов углей на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия УНТС [1] были установлены закономерности изменения вида деформационного состояния

$$\mu_\varepsilon = 2 \left( \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \right) - 1 \text{ от вида напряженного состояния } \mu_\sigma = 2 \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \right) - 1$$

при их разрушении в условиях неравнокомпонентного объемного сжатия, где впервые установлена нелинейность в зависимости  $\mu_\varepsilon$  от  $\mu_\sigma$  (рис. 1) [2]. Также было установлено, что в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия углей наименее энергоемким является обобщенный сдвиг, а обобщенный отрыв энергетически невыгоден.

Флюиды, находящиеся в поровом пространстве углей, оказывают физико-механическое и чисто механическое влияние на их прочность и пластичность.

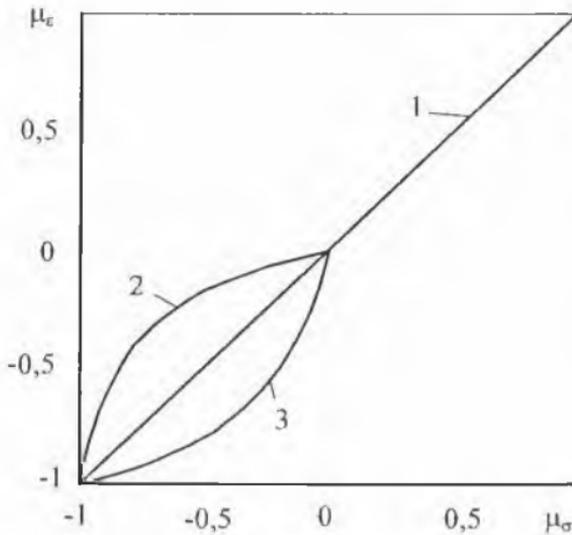


Рис. 1. Зависимость вида деформационного состояния от вида напряженного состояния при разрушении образцов углей на УНТС: 1 – теоретическая прямая; 2 – при нагружении; 3 – при разгрузке.

Физико-химическое влияние (эффект Ребиндера) [3 - 5] объясняется адсорбцией флюида на внутренних поверхностях, что приводит к уменьшению свободной энергии на границе фаз. Уменьшение поверхностной энергии понижает параметр прочности в связи с пластической деформацией, обусловленной скоплением дислокаций на границах кристалл – флюид. Пластифицирование вызывается облегчением выхода дислокаций на поверхность, охрупчивание – блокированием дислокаций, выходящих на поверхность или к границе трещин.

Адсорбция неполярных адсорбатов, в том числе метана, происходит на наиболее активных центрах (оборванных связях). На поверхности твердых тел обнаруживаются все углеродно-водородные фрагменты, отвечающие различным степеням диссоциации метана [6]



Молекулы, участвующие в физической адсорбции за счет сил Ван-дер-Ваальса, никогда не диссоциируют, поэтому можно предположить, что метан может также хемсорбироваться на поверхности угля.

Наряду с физико-химическим эффектом в этих же условиях проявляется и механический эффект давления поровых флюидов, наиболее резко влияющий на деформацию углей. При внешнем сжатии уменьшение объема пор приводит к возникновению давления флюида, которое действует перпендикулярно поверхности зерен. Давление порового флюида уменьшает нормальное напряжение, но не оказывает влияния на касательные напряжения, что, в конечном счете, приводит к охрупчиванию среды.

Для оценки влияния вида напряженного состояния на фазовое состояние метана в угле при его разрушении на УНТС были проведены экс-

периментальные исследования по деформированию образцов углей марки КЖ (шахта им. А.Ф. Засядько, пласт  $m_3$ , гор. 1300 м) при объемном неравнокомпонентном сжатии вплоть до их разрушения. При этом моделировалось два вида напряженного состояния – обобщенное сжатие и обобщенный сдвиг.

Пробы разрушенного материала угольных образцов, на которых моделировались разные виды напряженного состояния, помещались в систему высокого давления (СВД). СВД состоит из баллона с метаном емкостью 2 л, манометра и контейнеров высокого давления, в которые помещаются стеклянные ампулы. Контейнеры изготовлены из бериллиевой бронзы с уплотнением из фторопласта. В баллоне находится очищенный сухой метан под давлением 8 МПа. Для сравнения исследования производились на образцах углей, которые не подвергались разрушению при объемном неравнокомпонентном сжатии. Исследуемые угли измельчались до фракций 0,1 – 1 мм и высушивались при  $T = 110^{\circ}C$  в течение 1 часа. Затем каждую пробу угля засыпали в стеклянную пробирку диаметром 10 мм и помещали в СВД, позволяющую регулировать давление насыщающего газа (метана) в пределах 0,1 – 8 МПа.

Затем, используя насос ВН-461, СВД подвергали вакуумированию в течение получаса, что исключало влияние кислорода, адсорбированного на угольных образцах. После этого пробы углей насыщались метаном при давлении 4 МПа в течение 10 дней. Далее пробы поочередно помещались в контур ЯМР – спектрометра широких линий. По уменьшению интенсивности узких линий  $I_1$  спектрометров ЯМР можно проследить скорость десорбции метана из образцов углей [7]. Интенсивность широких линий  $I_2$  спектров ЯМР углей для данной марки оставалась неизменной. Зависи-

мость  $\frac{I_1}{I_2}$  от времени характеризует скорость десорбции исследуемых образцов (рис. 2). Откуда видно, что максимальное количество метана сорбирует уголь не подверженный действию объемного неравнокомпонентного сжатия. Скорость его десорбции невелика – за сутки уголь теряет около 35 % сорбированного метана. Уголь после разрушения в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия при виде напряженного состояния, соответствующему обобщенному сжатию, сорбирует только 85 % метана (по сравнению с исходным углем) и за сутки теряет около 55 % метана. После разрушения угля при виде напряженного состояния, соответствующему обобщенному сдвигу, он обладает минимальной сорбционной способностью: сорбирует только 60 % метана (по сравнению с сорбированным метаном в исходном угле), а десорбирует за сутки 65 % метана (по сравнению с первоначально сорбированным количеством) [8].

Таким образом, сорбционная способность угля, подверженного разрушению в условиях объемного неравнокомпонентного поля сжимающих напряжений при виде напряженного состояния, соответствующем сдвигу, наименьшая, а скорость десорбции – наибольшая. Изменение сорбционных свойств угля после разрушения позволяет сделать вывод о том, что в его структуре происходят изменения не только на макро-, но и на микроуровне – происходит уменьшение сорбционных центров. Наибольшее изменение в

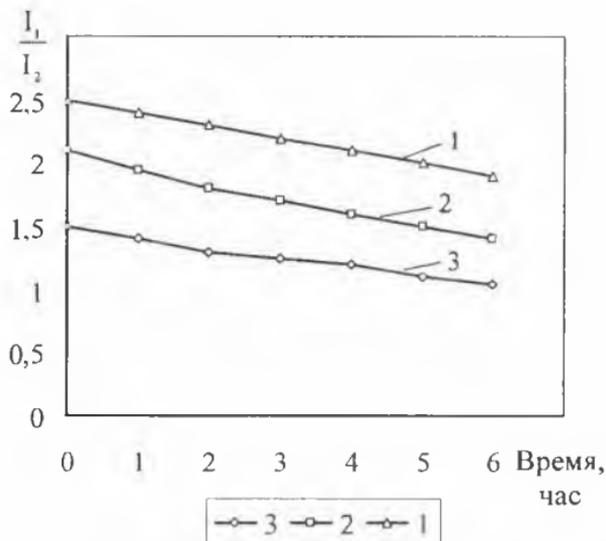


Рис. 2. Зависимость от времени отношения интенсивностей линий спектров ЯМР метанонасыщенных образцов углей: 1 – исходный уголь (не деформированный); 2 – после обобщенного сжатия; 3 – после обобщенного сдвига.

структуре углей при разрушении его в объемном неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений происходит при виде напряженного состояния, соответствующем обобщенному сдвигу.

### СНИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород. – Киев: Наукова думка. – 1982. – 200 с.
2. Алексеев А.Д., Ревва В.Н., Рязанцев Н.А. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. – Киев: Наукова думка. – 1989. – 168 с.
3. Баррет Ч.С. Хрупкое разрушение // Атомный механизм разрушения. – М.: Металлургиздат. – 1963. – С. 401 – 410.
4. Вествуд А., Прис К., Камбар М. Хрупкое разрушение в среде жидкого металла // Разрушение. – М.: Мир. – 1976. – т. 3. – С. 202 – 212.
5. Лихтман В.И., Шукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов. – М.: Изд. АН СССР, -1982. - 303 с.
6. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. – М.: Мир, 1980. – 488 с.
7. Алексеев А.Д., Зайденварг Е.В., Синолицкий В.В., Ульянова Е.В. Радиофизика в угольной промышленности. – М.: Недра. – 1992. – 186 с.
8. Алексеев А.Д., Ревва В.Н., Ульянова Е.В. Влияние давления на сорбционные свойства углей // ФТВД. – 2001. – т. 11. - № 1. – С. 9 – 11.