

УДК 622.236: 539.375

В.Н. Ревва, А.В. Молодецкий, В.В. Завражин, Н.И. Василенко

РАЗРУШЕНИЕ ВОДОНАСЫЩЕННОГО УГЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Институт физики горных процессов НАН Украины

Представлены экспериментальные данные механических свойств водонасыщенных угольных образцов при разных видах напряженного состояния

Ключевые слова: уголь, деформирование, разрушение, механические свойства, влага

Структурно-механические особенности угля обусловлены главным образом дефектностью, неоднородностью и гетерогенностью среды. Наличие пор и трещин в угле предопределяет возможность их заполнения различными флюидами. Флюиды, находящиеся в поровом пространстве углей, могут оказывать как физико-химическое, так чисто механическое влияние на их прочность и пластичность [1]. Поэтому весьма актуальным представляется оценка влияния водонасыщения на поведение углей в объемном неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений.

Наиболее простым способом получения физико-механических характеристик, которые с большой достоверностью отражают процессы, происходящие в горном массиве, является физическое моделирование на установках неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС). Механические испытания углей на таких установках позволяют определять закономерности деформирования углей в объемном напряженном состоянии и получать основные физико-механические характеристики [2].

УНТС, разработанная и используемая в ИФГП НАНУ [3], дает возможность моделировать и определять свойства любой части горного массива. Это связано в первую очередь с тем, что рабочая камера, в которую помещается натуральный материал, позволяет в трех взаимно перпендикулярных направлениях создавать независимые напряжения, по величине и направлению аналогичные напряжениям в горном массиве.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния водонасыщения на прочностные и деформационные свойства угольных образцов при различных видах напряженного состояния в момент разрушения. Для испытаний изготавливали образцы кубической формы с ребром 55 мм из марки угля К, пласта d_4 , шахты «Красноармейская-Западная №1» с естественной влажностью 1,6% и с влажностью 3,6%.

Грани куба образца выполнялись таким образом, чтобы одна их пара была параллельной системам трещин или прослоям. В процессе нагружения давление, передаваемое по каждой оси, регистрировалось по образцовым манометрам, а смещения граней – по лазерным индикаторам с точностью до 10^{-5} м. Поддержание необходимого давления по каждой грани достигалось путем периодического включения насосов высокого давления или сбросом давления в гидроцилиндрах. Для получения достоверных данных о поведении угольных образцов в объемном неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений и о значениях механических характеристик образцов, проводили 5 единичных испытаний в экспериментах.

Для определения естественной влажности из куска угля был изготовлен образец фракцией 2–2,5 мм, который высушивался согласно методике [4] при 100°C в течение одного часа. Естественная влажность составила $W_e = 1,6\%$.

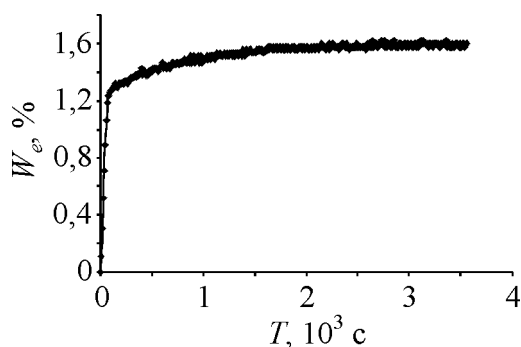


Рис. 1. Потеря естественной влаги образца

Как видно из рис. 1, потеря 80% естественной влаги происходит в течение первых 100 с (выходит наименее связанная влага) [5, 6], остальные 20% выходят в течение оставшегося интервала времени.

Затем образцы помещали в эксикатор на 7 дней, причем каждый день проводили их взвешивание на аналитических весах. После полного периода насыщения влажность образцов увеличилась с 1,6 до 3,6%.

Извлеченные из эксикатора образцы поочередно продавливали по программам, соответствующим различным видам напряженного состояния, которые характеризуются параметром Лоде–Надаи μ_{σ} :

$$\mu_{\sigma} = 2 \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \right) - 1,$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения; $\mu_{\sigma} = -1$ – обобщенное сжатие; $\mu_{\sigma} = 0$ – обобщенный сдвиг; $\mu_{\sigma} = 1$ – обобщенное растяжение.

На рис. 2 представлены зависимости от различных видов напряженного состояния угольных образцов с естественной и увеличенной влажностью: модуля деформации (а), объемной прочности (б), модуля сдвига (в), коэффициента поперечной деформации (г), вида деформационного состояния (д), полной энергии деформирования (е). Как видим, при увеличении влажности на 2%:

а) модуль деформации уменьшается для всех видов напряженного состояния, а при $\mu_{\sigma} = 0$ уменьшается в 2 раза, т.е. происходит увеличение пластических свойств угля;

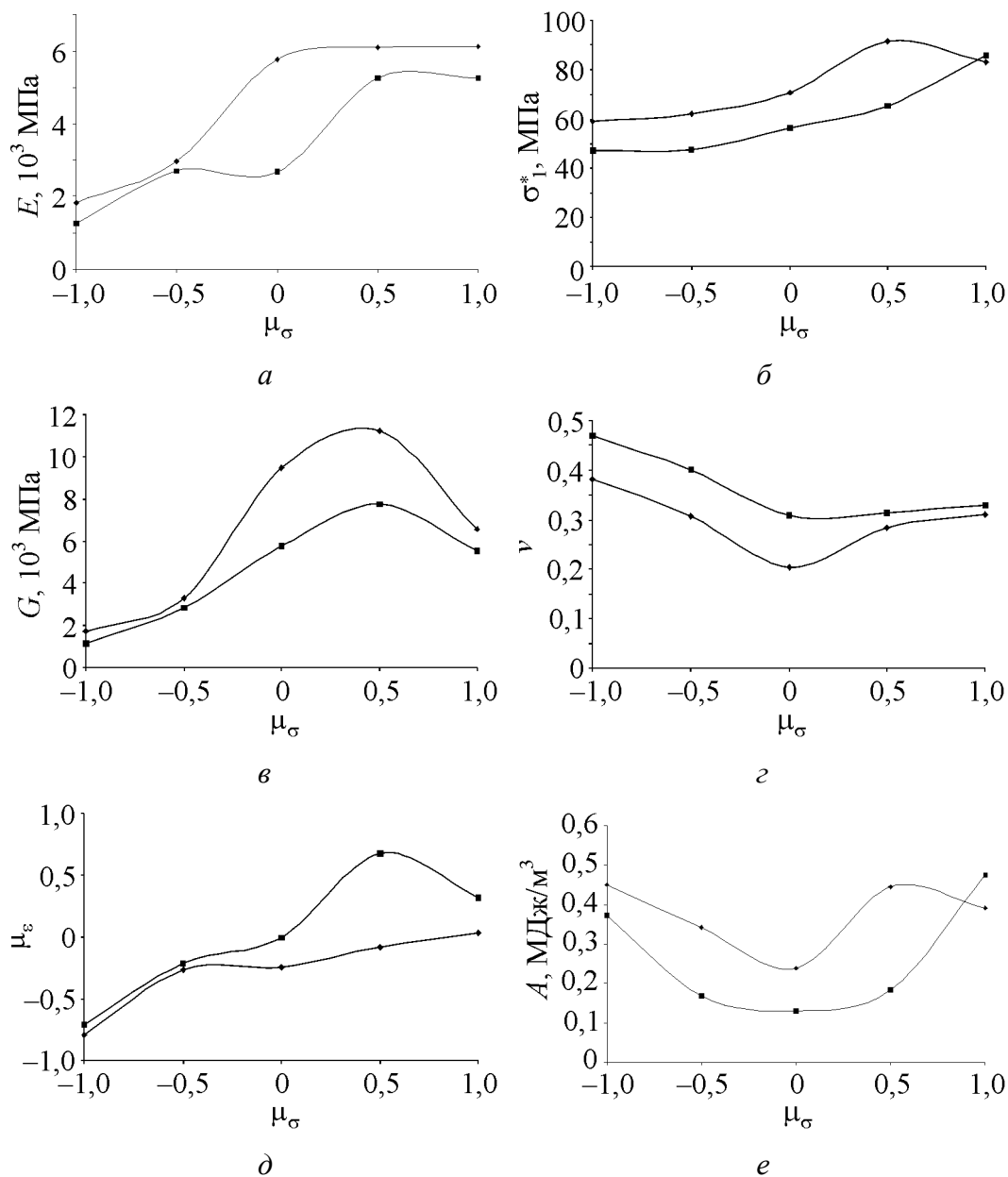


Рис. 2. Влияние вида напряженного состояния на модуль деформации (а), объемную прочность (б), модуль сдвига (в), коэффициент поперечной деформации (г), вид деформационного состояния (д), полную энергию деформирования (е): \blacklozenge – $W = 1,6\%$, \blacksquare – $W = 3,6\%$.

б) объемная прочность снижается на 10–20 МПа для всех видов напряженного состояния, кроме $\mu_\sigma = 1$;

в) модуль сдвига при $\mu_\sigma = 0$ и 0,5 уменьшается в 1,5 раза, что свидетельствует о возрастании роли сдвигового механизма разрушения;

г) коэффициент поперечной деформации при всех видах напряженного состояния увеличивается в среднем в 1,5 раза, т.е. подтверждается сделанный ранее вывод о возрастании пластических свойств угля;

д) в угле наблюдается несоответствие между видами деформационного состояния μ_ε и μ_σ , но оно становится ближе к $\mu_\varepsilon = \mu_\sigma$;

е) разрушение угля локализуется в одной плоскости, и реализуется сдвиговый механизм разрушения, поэтому минимум энергии деформирования наблюдается при виде напряженного состояния, соответствующего обобщенному сдвигу ($\mu_\sigma = 0$).

После того, как поочередно были испытаны все образцы, из них изготавливали одинаковые навески фракцией 2–2,5 мм, которые высушивали при температуре 100°C в течение 1 ч (рис. 3). Из рисунка видно, что выход влаги из угля для различных видов напряженного состояния различен. При $\mu_\sigma = -1$ и $-0,5$ выход влаги происходит медленнее, чем при $\mu_\sigma = 0; 0,5$ и 1. Это связано с тем, что при обобщенном сжатии ($\mu_\sigma = -1$) происходит уплотнение угля, закрытие трещин, а при обобщенном растяжении ($\mu_\sigma = 1$), – наоборот, их раскрытие.

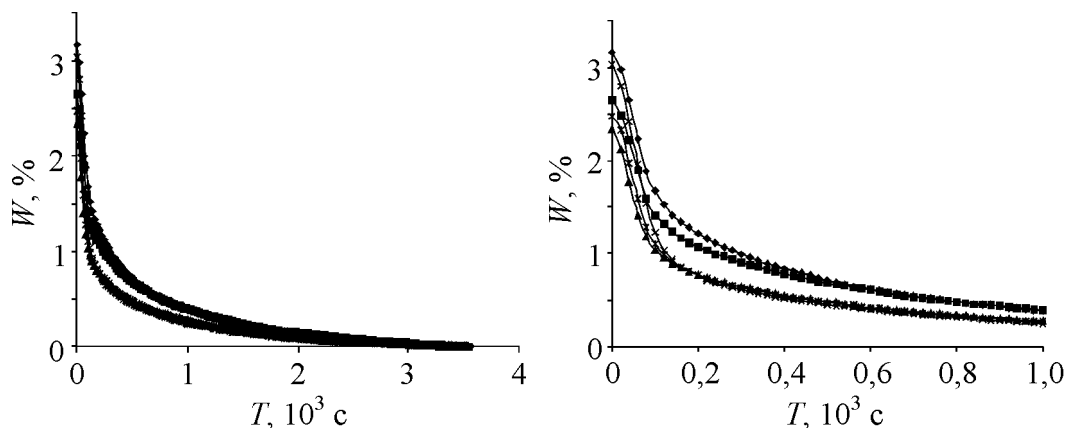


Рис. 3. Кинетика выхода влаги из образцов: \blacklozenge – $\mu_\sigma = -1$; \blacksquare – $(-0,5)$; \blacktriangle – 0; \times – 0,5; $*$ – 1

Таким образом, на основании исследований влагонасыщенных ($W = 1,6–3,6\%$) угольных образцов при объемном неравнокомпонентном нагружении установлено следующее.

Насыщение угля водой приводит к пластификации и уменьшению его упругих свойств – модуля деформации и модуля сдвига (в 1,5 раза). Также при водонасыщении снижается предельная прочность угля (объемная прочность уменьшается на 10–20 МПа), т.е. вода способствует росту трещины, беря на себя часть энергии сорбционного центра, что позволяет разрушить кубик угля при воздействии меньших усилий (напряжений). Приведенные результаты показывают необратимость физических процессов в структуре угольного вещества при увеличении содержания в нем воды.

1. Алексеев А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва, Н.А. Рязанцев. – К.: Наукова думка, 1989. – 168 с.

2. *Норель Б.К.* Изменение механической прочности угольного пласта в массиве / Б.К. Норель. – М.: Наука, 1982. – 128 с.
3. *Алексеев А.Д.* Предельное состояние горных пород / А.Д. Алексеев, Н.В. Недодаев. – К.: Наукова думка, 1982. – 200 с.
4. *Стариков Г.П.* Оценка газодинамического состояния угольного массива по диффузии метана из угля / Г.П. Стариков, В.В. Завражин, Т.А. Василенко, И.Г. Старикова // Физико-технические проблемы горного производства. – 2005. – С. 68–76.
5. *Алексеев А.Д.* Спин-спиновая ЯМР релаксация протонов воды в силикогелях / А.Д. Алексеев, Г.А. Троицкий, Е.В. Ульянова, В.М. Хмара, В.В. Завражин // Физико-технические проблемы горного производства. – 1998. – С. 42–50.
6. *Алексеев А.Д.* Исследование пористой структуры углей импульсным методом ЯМР / А.Д. Алексеев, Г.А. Троицкий, Е.В. Ульянова, В.В. Завражин // Физико-технические проблемы горного производства. – 1999. – С. 3–9.

В.М. Ревва, А.В. Молодецкий, В.В. Завражин, М.И. Василенко

РУЙНУВАННЯ ВОЛОГОНАСИЧЕНОГО ВУГІЛЛЯ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

Представлено експериментальні дані механічних властивостей вологонасичених вугільних зразків при різних видах напруженого стану.

Ключові слова: вугілля, деформування, руйнування, механічні властивості, волога

V.N. Revva, A.V. Molodetsky, V.V. Zavrugin, N.I. Vasilenko

FRACTURE OF THE WATER SATURATED COAL UNDER VARIOUS KINDS OF STRESS STATE

Experimental data on mechanical behavior of the water coal saturated specimens under various kinds of stress state are presented.

Keywords: coal, deformation, fracture, mechanical properties, moisture

Статья поступила в редакцию 3 февраля 2010 года