

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕДЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Проведено випробування на одновісьовий стиск пластин вугілля. Відзначено циклічність чергування пружних і пластичних деформацій з одночасною зміною форми і характеристик зразка.

THE RESULTS OF RESEARCH OPERATION BEHAVIOUR COAL IS MODEL AT HIGH PRESSURES

The trials for an axial compression of plates coal are held. The repetition combination elastic and plastic strains with simultaneous change of the shape and performances a sample is marked.

Поведение угольных пластов на больших и малых глубинах существенно отличается. С ростом глубины [1,2] интенсивность противовыбросных и дегазационных мероприятий для безопасного ведения горных работ увеличивается. Знания о механизме деформирования угольных пластов при высоких значениях горного давления позволяют сформулировать технические требования к системам разработки и дегазации углепородного массива при интенсивной отработке пластов.

Цель данной работы заключается в установлении особенностей механизма деформирования и разрушения угольных образцов при высоких значениях давления.

Одной из особенностей поведения углепородного массива при выемке пластов является формирование зоны опорного горного давления впереди движущегося забоя, что привело к появлению различных теорий горного давления. Исследования деформирования тонкого слоя горной породы, сделанных авторами в работах [3,4], а также результаты лабораторных и шахтных экспериментов, представленных в работе [5], свидетельствуют о перспективности ведения работ в направлении изучения механизма поведения угля различной степени метаморфизма, при высоких значениях горного давления.

Как известно, образец угля кубической формы при упругом деформировании после снятия нагрузки остается целым с незначительными остаточными деформациями. В случае достижения предела прочности на одноосное сжатие σ_0 на нежестком прессе происходит неконтролируемое хрупкое разрушение образца по образующим плоскостям магистральных трещин с последующим формированием остаточной прочности σ_* . При этом величина σ_0 значительно меньше значений напряжений, испытываемых породами в горном массиве во время ведения горных работ.

Для формирования напряжений в угольном образце, соизмеримых с опорным давлением порядка 3-5 μH , было предложено изготовление квадратных пластин угля (рис1). Из-за контактных условий трения между шероховатыми плитами прессы и поверхностью образца, а также вследствие геометрической

формы образцов (отношение ширины L к высоте h в диапазоне 4-10/1), в центральной части образцов достигается эффект всестороннего сжатия. Для удобства работы с образцами был изготовлен стенд принципиальная схема которого показана на рис.2. Нижняя плита 7 нагружается гидросистемой пресса, передает усилие на камеру 2. Верхняя плита 4 с цилиндром 6 служат упором и угольный образец 1 помещается между камерой 2 и цилиндром 6. Механический индикатор часового типа 5 служит для определения величин деформаций образца 1.

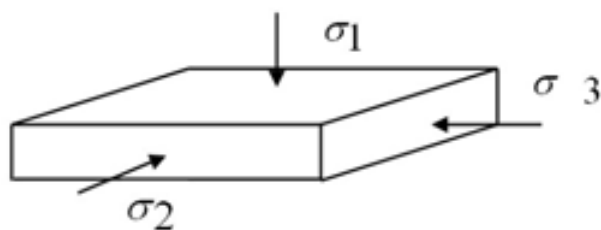


Рис. 1 – Схема действия векторов главных напряжений в угольной пластине при её сжатии.

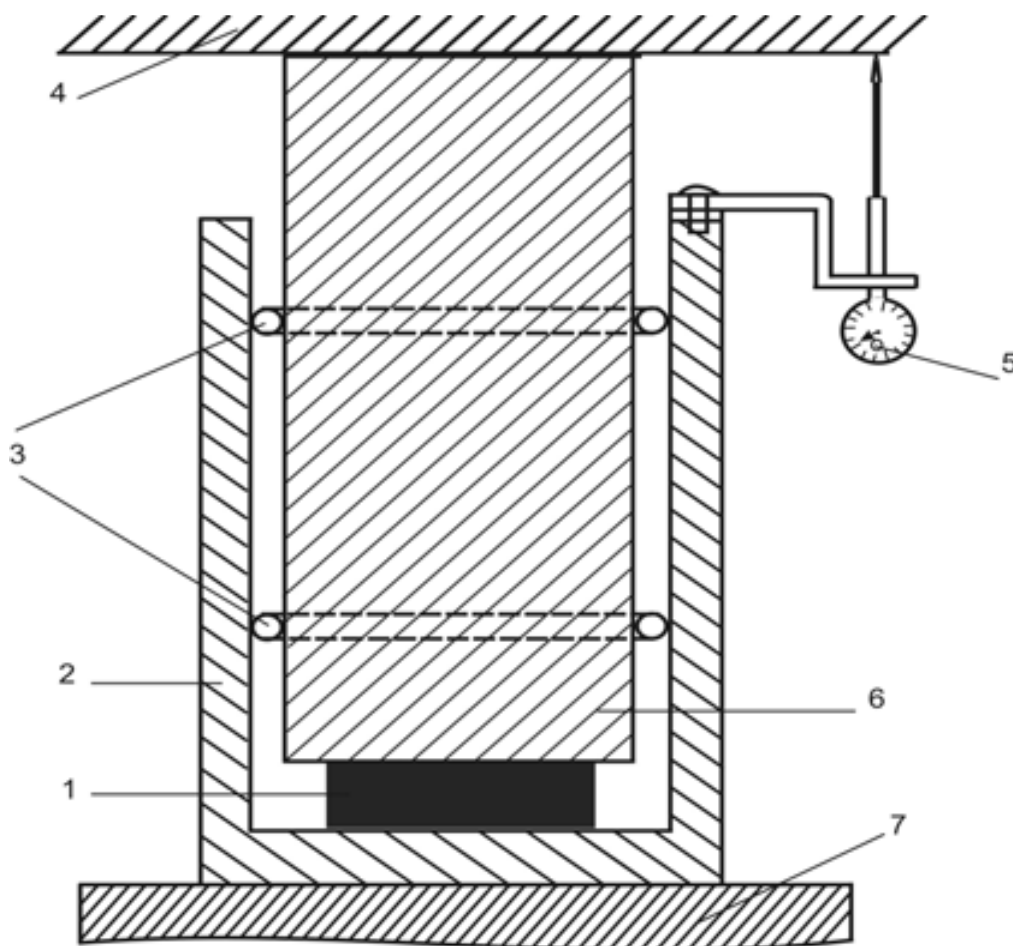


Рис. 2 – Схема стенда для испытания образцов угля, установленного на гидравлическом прессе типа П-50: 1 – угольный образец, 2 – камера стенда, 3 – резиновые кольца, 4 – верхняя плита пресса, 5 – индикатор механический часового типа с точностью измерения смещений 0,01 мм, 6 – цилиндр, 7 – нижняя плита пресса.

В работе [3] предложена формула для предельной нагрузки P_m на угольный целик:

$$P_m = \left(\frac{1 + \frac{\sigma_*}{\sigma_0}}{2} + e_0 \frac{L}{h} \right) \sigma_0 S, \quad (1)$$

где σ_0 – предел прочности на одноосное сжатие образцов кубической формы данного материала, МПа; σ_* – остаточная прочность при испытаниях образцов кубической формы на одноосное сжатие, МПа; e_0 – эмпирический коэффициент, для угля $e_0 = 0,6 \div 0,8$; S – нагружаемая площадь целика, м²; L – длина целика, м; h – высота целика, м.

В данной работе также были указаны критерии (2) безопасности для целиков по фактору горного удара:

$$\begin{aligned} P_n &< P_m \\ N &< N_n \end{aligned} \quad (2)$$

где P_n – фактическая нагрузка, передаваемая породами на целик; P_m – максимальная (предельная) нагрузка, которую он может воспринять; N – жесткость целика; N_n – локальная жесткость вмещающих пород в месте, где он находится целик.

Чтобы предупредить горный удар в работе [3] указано о необходимости выполнения одного из условий (2).

Для исследований был отобран уголь из невыбросоопасного пласта C_7^B шахты Западно-Донбасская, залегающий на глубине 500 м, ОАО «Павлоградуголь», и уголь из выбросоопасного пласта m_3 шахты им. А.Ф. Засядько с глубины 1200 м. Их физико-механические свойства соответственно равны: $\sigma_0 = 35$ МПа; $\sigma_* = 5$ МПа; и $\sigma_0 = 15$ МПа; $\sigma_* = 5$ МПа; а также принятое для обоих пластов $e_0 = 0,7$.

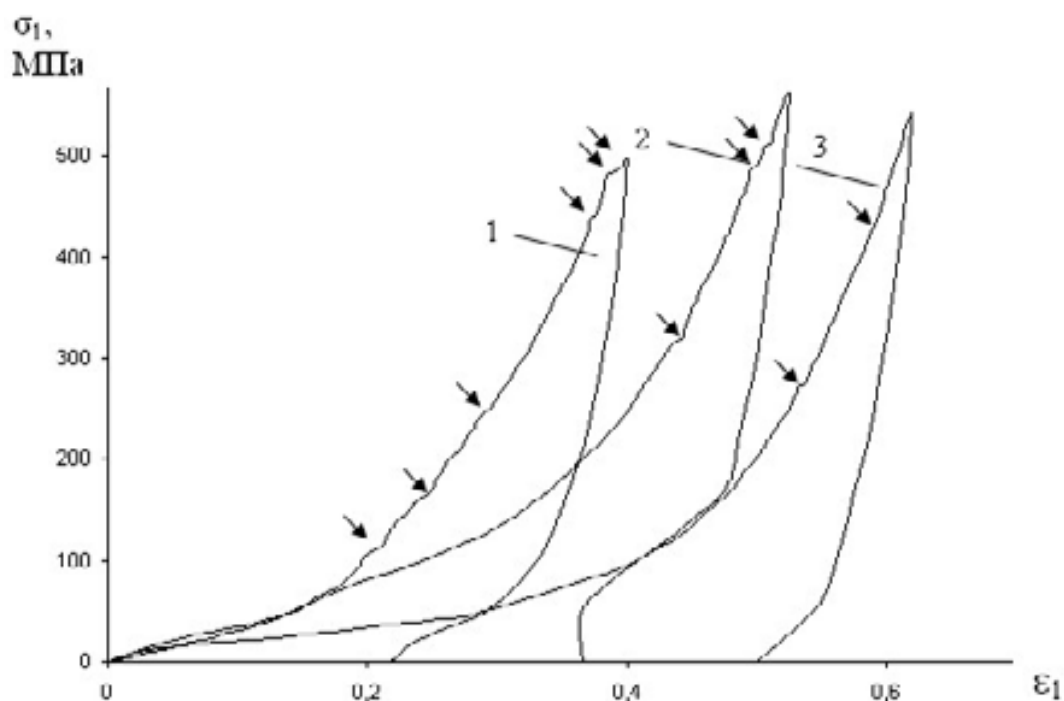
На камнерезной машине были изготовлены образцы с различным отношением L/h и вычислены по формуле (1) расчетные значения нагрузок $P_{m \text{ расч.}}$ для каждого образца и внесены в табл. 1. Образцы изготовлены таким образом, что их нагружаемые поверхности параллельны напластованию.

В результате лабораторных испытаний на гидравлическом прессе типа П-50 с использованием стенда, показанного на рис.2, были определены фактические $P_{m \text{ факт.}}$ Значения несущей способности каждого образца и также внесены в табл.1. Хорошая сходимость значений $P_{m \text{ расч.}}$ с $P_{m \text{ факт.}}$ отмечена для угля пласта C_7^B с расхождением значений не более 5т, а для образцов угля пласта m_3 фактический предел несущей способности $P_{m \text{ факт}}$ не был достигнут даже при достижении напря-

жений σ_1 до уровня 500 МПа, хотя по расчетам, при невыполнении обоих условий (2) должно происходить интенсивное разрушение угля подобно горному удару. Для объяснения данного факта были проанализированы кривые зависимостей напряжений σ_1 от относительных деформаций ε_1 (рис. 3), где 1,2,3 соответствует образцам угля со значениями L/h , равные 9,03; 5,71; 4,25.

Таблица 1 – Параметры к определению несущей способности пластин угля

		пласт C_7^B				пласт m_3			
S, см ²	L/h	P _{м расч.}		P _{м факт.}		S, см ²	L/h	P _{м расч.}	
		МПа	т	МПа	т			МПа	т
16	4,58	131	21	93	15	9	4,25	54	4,9
16	9,75	256	41	256	41	9	5,71	69	6,2
9	8,78	233	21	177	16	9	9,03	104	9,4



Значения L/h соответственно равны: 1 – 9,03; 2 – 5,71; 3 – 4,25;
 ————— — характерные участки пластического поведения горной породы
 Рис. 3 – Кривые деформаций при различных напряжениях

При детальном анализе диаграмм зависимостей ε_1 от σ_1 для образцов с различным значением L/h (рис.3) было замечено, что в целом уголь ведет себя как упругое тело, но на различных участках наблюдается характерное для пластического течения пологое поведение кривых.

Для всех кривых характерно одинаковое поведение в интервале напряжений $0 \div 11$ МПа, после чего достигается предел текучести и кривые выполаживаются. Кривая № 1 выполаживается в интервале значений $\sigma_1 = 20 \div 41$ МПа при $\varepsilon_1 = 73 \div 130 \cdot 10^{-3}$, после чего прослеживается упругое поведение системы пресс-

образец в интервале $\sigma_1=41 \div 102,6$ МПа, $\varepsilon_1=130 \div 196,8 \cdot 10^{-3}$. При значении $\sigma_1=110 \div 115$ МПа, $\varepsilon_1=207,8 \div 215 \cdot 10^{-3}$ происходит проявление пластического деформирования угля. Далее зубья текучести, известные из теории пластичности [6], проявляются на графике незначительно при $\sigma_1=140; 165; 248$ МПа, соответственно $\varepsilon_1=238; 252; 287 \cdot 10^{-3}$. Хорошо выражены зубья текучести при $\sigma_1=437; 479; 489$ МПа, $\varepsilon_1=376; 385; 394 \cdot 10^{-3}$. Принципиальное поведение кривых 2,3 сходно.

Перед установкой образцов на пресс в их структуре отмечено наличие естественной трещиноватости. После цикла нагружения (рис.3) до 500 МПа и снятия с пресса, при визуальном осмотре образцов отмечено закрытие трещин, увеличение прочности и приобретение поверхностью образцов характерного металлического блеска. Также замечено дробление краевых частей угольных образцов с образованием матовой полосы шириной 3-4 мм, тогда как центральная, основная часть образцов, однородна и приобретает гладкую, блестящую поверхность с наличием радиальных трещин длиной 10-15 мм, развивающихся перпендикулярно краевым частям образцов и направленных к их центру.

Нагружение пластины угля пласта m_3 вызывает нарушение структуры угольного вещества с развитием микротрещин, что приводит сначала к упругому поведению кривых $\sigma_1(\varepsilon_1)$, а затем к пластическому деформированию. Из-за формы образца и шероховатых поверхностей камеры 2 и цилиндра 6 стенда показанного на рис.2, в угле не происходит раскрытие магистральных трещин, поэтому протекает трансформация угольного вещества, приводящая к закрытию крупных трещин с одновременным образованием микротрещин. В результате трансформации, при нагружении образуется новая структура угольного вещества, которая приводит к увеличению значения несущей способности образца, что видно в последующем упругом характере поведения кривых графика $\sigma_1(\varepsilon_1)$, до некоторого значения σ_1 , при котором снова происходит пластическая деформация и описанный выше процесс деформирования повторяется.

После снятия нагрузки с образцов отмечено наличие больших значений остаточных деформаций (рис.3) и коренное изменение состояния образца позволило сделать следующие выводы.

В целом поведение пластин угля пласта m_3 соответствует поведению упругого тела и схематично показано на рис. 4 штриховой линией, основным принципом характерного поведения есть пропорциональное увеличение горизонтальной составляющей σ_3 ($\sigma_3 = \sigma_2$) при увеличении σ_1 .

С увеличением L/h более интенсивно проявляется цикличность в характере поведения системы пресс-образец, что видно по кривой 1 (рис.3) при сравнении с кривыми 2,3.

На подобное поведение системы пресс-образец преобладающее влияние оказывают следующие факторы. Во-первых, крепость сжимающих плит больше крепости сжимаемого материала. Во-вторых, скорость нагружения, шероховатая поверхность сжимающих поверхностей, и нежесткие характеристики на-

гружающего устройства по отношению к образцу. В-третьих, физико-механические свойства угля пласта m_3 , что в условиях «нежесткого» нагружения, больших скоростях деформаций, порядка $5 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$ и превышения предельных значений $P_{т\text{ расч.}}$ нагрузок на образец, не приводит к развязыванию эффекта мгновенного разрушения угольного вещества, типа горного удара.

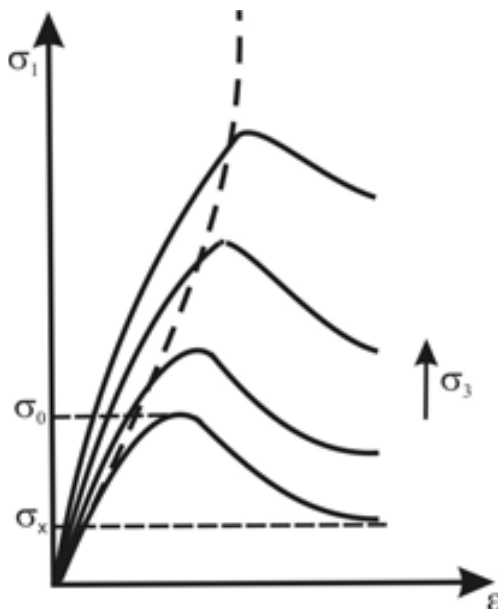


Рис. 4 – Полные диаграммы деформирования ε_1 горной породы при различных значениях σ_3 .

Из-за циклического сочетания упругих и пластических деформаций угольных образцов достигается циклическое изменение структуры угольного вещества на макро и, по мнению автора на микро уровнях с одновременным увеличением несущей способности образца.

Данное свойство перспективно использовать при изготовлении угольных брикетов различной формы для лабораторных исследований характера поведения угля в разнокомпонентном напряженном состоянии, что до настоящего времени трудноосуществимо из-за высокой трещиноватости угля а также сложности подготовки образцов.

Динамический характер взаимодействия системы пресс-образец для пласта m_3 проявился только при резком сбросе нагрузок с образцов, начиная от значения напряжений 125 МПа и более, причем, интенсивность и чувствительность системы к динамическому характеру разрушения при «разгрузке» увеличивались с увеличением уровня нагружения.

Большая удельная поверхность отброшенного материала при «сбросе» по отношению к удельной поверхности материала при разрушении образцов кубической формы магистральными трещинами, свидетельствует о совершении большей удельной работы на разрушение при динамическом явлении.

Пластины изготовленные из угля пласта C_8^B , при невыполнении условий (2), разрушаются с мгновенным дроблением и отбросом угольного вещества от краёв

пластин в направлении пространства, ограниченного стенками камеры 2 (рис. 2).

Пластины угля изготовленные из пласта m_3 не разрушаются даже при превышении значений $P_{m \text{ факт.}}$ над $P_{m \text{ расч.}}$ в 5-10 раз.

Мгновенное разрушение образцов достигается при «сбросе» нагрузки. При этом границей инициирования мгновенного разрушения есть напряжения, при которых начинает проявляться цикличность поведения графика $\sigma_1(\varepsilon_1)$ с характерным переходом от упругого к пластическому и опять к упругому поведению. Цикличность проявляется после достижения напряжений в испытываемых образцах, соответствующих значениям предельной несущей способности P_m , рассчитанных по формуле (1). Для пластин угля изготовленных из пласта m_3 величина P_m является не пределом несущей способности образца, а граничным значением нагрузки, при достижении и превышении которой резкое уменьшение величины нагружения приводит к явлению горного удара.

Существенный интерес представляет рассмотрение случая развития радиальной трещины в газонасыщенном угле при высоких механических давлениях. Так как трещина привносит в центральную часть образца, находящегося в состоянии всестороннего сжатия, концентрацию касательных напряжений при её вершине, и «газовую», внутривещную разгрузку в угольном веществе. Это может вызвать эффект «сброса», в свою очередь приводящий к развязыванию динамического явления, что укажет о существовании предела прочности на одноосное сжатие газонасыщенных пластин угля пласта m_3 в системе пресс-образец-газ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорин А.Н., Колесников В.Г. О природе динамических проявлений горного давления // ДАН УССР, серия А, 1990, № 10.
2. Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2001. – 413 с.
3. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М., Недра, 1983. – 280 с.
4. Деформация слоя горной породы между жесткими плитами. Линьков А.М., Тр. ВНИИ горной геомех. и маркшейд. дела, 1978, сб. 109. – С. 87-95.
5. Методические указания по определению несущей способности целиков. – Л., ВНИМИ, 1972.
6. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М., Гос. изд-во технико.-теоретической литературы., 1956. – 324 с.