

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 004.42:622.235

М.А. Волков, Д.В. Соловьев, Л.А. Белина, А.Г. Пимонов

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ РАЗРУШЕНИЯ

При проектировании горных работ и контроле состояния горного массива необходим комплекс сведений о физико-механических свойствах горных пород. Более того, нужна определённая систематизация горных пород по свойствам для того, чтобы без проведения специальных углубленных исследований можно было бы представлять основные особенности поведения массива горных пород при определенных видах воздействий, и тем самым контролировать и прогнозировать процессы разрушения, происходящие в массиве. Систематизация образцов горных пород по

ся классификация массивов горных пород.

В настоящее время уделяется большое внимание разработке и совершенствованию бесконтактных методов контроля и прогнозирования динамических форм проявления горного давления. Одним из таких методов является метод регистрации электромагнитного излучения (ЭМИ). Образование, рост и распространение трещин в деформируемых материалах с различными скоростями нагружения представляют интерес для описания процессов хрупкого разрушения горных пород в условиях их залегания [1].

мого образца. Исследованию подверглись образцы песчаников с шахты Романовской. Из кернов диаметра $d=56$ мм были изготовлены образцы разной высоты h (10 мм, 20 мм, 30 мм). В ходе экспериментов регистрировались нагрузка, деформация и параметры импульсов ЭМИ от начала нагружения до момента достижения предельной нагрузки нагружающим устройством [2]. По экспериментальным данным были построены диаграммы деформирования горных пород (рис. 1).

Одной из характеристик физико-механических свойств горных пород на разных этапах разрушения является коэффициент связи напряжений и деформации. На участке упругого деформирования (рис. 1, II) этот коэффициент имеет смысл модуля упругости горной породы при сжатии – модуль Юнга. Модуль Юнга характеризует горную породу как материала. За пределом упругости (рис. 1, III) происходит пластическое деформирование с образованием необратимых остаточных деформаций. Для характеристики этого процесса используется модуль деформации. Модуль деформации отражает структурные особенности деформируемых образцов, поэтому модуль деформации всегда меньше модуля Юнга. Модуль деформации на этапе раскола образца (рис. 1, IV) или модуль спада является важной характеристикой деформационных свойств горных пород за пределом их прочности на сжатие. На запредельном этапе разрушения

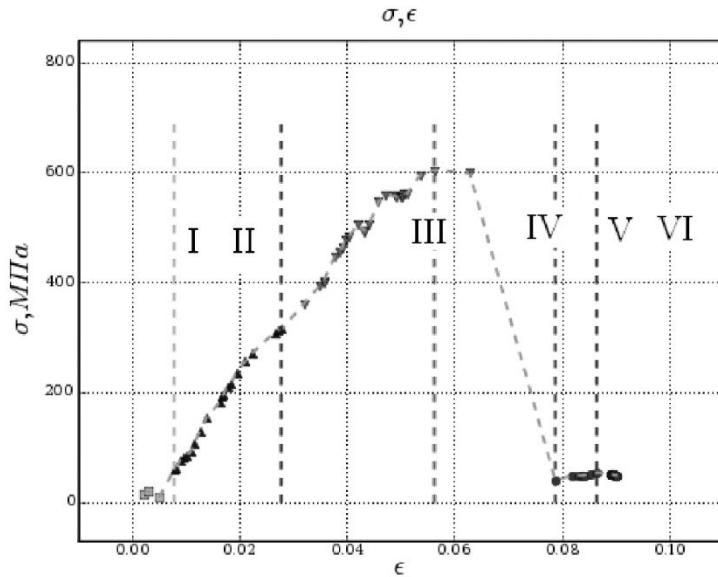


Рис. 1. Диаграмма деформирования образца №9 песчаника (ш. Романовская, $h=30$ мм)

физико-механическим свойствам представляет собой весьма ответственную и чрезвычайно сложную задачу. Ещё более сложной задачей представляет-

При изучении физико-механических свойств горных пород на разных этапах деформирования нами были учтены особенности каждого исследуе-

Таблица 1. Сводная таблица деформационных свойств образцов песчаника (ш. Романовская)

Высота (<i>h</i>), мм	10			20			30		
	Образец, №	1	2	3	4	5	6	7	8
Модуль Юнга (<i>E</i>), 10^2 МПа	14,46	12,25	11,05	33,57	69,14	62,70	90,26	122,07	127,73
Модуль деформации при сжатии, 10^2 МПа	8,48	6,55	10,05	34,52	48,62	44,62	92,60	120,72	112,35
Модуль спада (<i>M</i>), 10^2 МПа	5,49	7,71	6,44	124,83	84,28	298,68	288,05	387,67	251,44
Модуль запредельной деформации, 10^2 МПа	3,68	3,90	4,50	10,02	9,84	9,80	20,55	16,03	17,86
Остаточная прочность (σ_o), МПа	0,00	0,00	21,48	38,23	29,52	43,13	38,07	41,75	41,98
Коэффициент остаточной прочности (ξ), %	0	0	36	43	42	50	45	47	48
Предел прочности на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$), МПа	43,61	57,14	59,91	89,77	70,83	86,74	84,21	88,57	87,07
Коэффициент пластичности (Π)	2,10	1,71	1,56	2,35	1,59	1,96	2,02	2,08	1,92
Коэффициент удароопасности ($K_{уд}$)	0,48	0,58	0,64	0,42	0,63	0,51	0,49	0,48	0,52

(рис. 1, V, VI) определяется модуль запредельной деформации. Рассчитанные характеристики деформационных свойств образцов песчаника приведены в табл. 1.

Отношение модуля спада к модулю деформации при сжатии характеризует склонность горных пород к хрупкому разрушению. Остаточная прочность горных пород изменяется

обычно в интервале от 3% до 20% от предела прочности на одноосное сжатие. В наших исследованиях это отношение находилось в интервале от 42% до 50% при *h*=20,30мм, т.к. дефор-

Таблица 2. Сводная таблица показателей работы разрушения образцов песчаника (ш. Романовская)

Высота (<i>h</i>), мм	10			20			30		
	Образец, №	1	2	3	4	5	6	7	8
Полная работа допредельного разрушения (<i>A_p</i>), Дж	12,9	25,3	32,9	82,4	57,5	76,6	95,3	88,9	116,1
Удельная работа допредельного разрушения (<i>A*</i>), 10^5 Дж/м ³	199,8	362,2	455,7	286,1	202,1	263,1	220,5	184,7	251,4
Работа упругого деформирования (<i>A_y</i>), Дж	1,4	3,0	3,6	14,5	9,4	11,1	18,6	16,0	17,0
Работа неупругого допредельного деформирования (<i>A_{нл}</i>), Дж	11,5	22,3	29,3	67,9	48,1	65,5	76,7	72,8	99,1
Работа запредельного деформирования (<i>A_з</i>), Дж	118,9	110,6	89,6	67,5	58,4	77,6	28,4	28,7	29,3
Коэффициент хрупкости (<i>K_{хр}</i>)	0,11	0,12	0,11	0,18	0,16	0,14	0,19	0,18	0,15

мирование образцов производилось в постоянном объеме.

Предел прочности при одностороннем сжатии образцов горных пород – наиболее часто определяемая характеристика прочности. Прочность на сжатие пород даже образцов из одного керна в зависимости от состава и структуры может колебаться в широком диапазоне. В наших исследованиях предел прочности принимал значения от 84 до 90 МПа при $h=20,30$ мм. Образец №5 имел структурные особенности, повлиявшие на его прочностные свойства.

Пластические свойства могут быть также охарактеризова-

исследованиях он принимал значения от 1,56 до 2,35. Альтернативным показателем по отношению к коэффициенту пластичности является коэффициент хрупкости, отражающий способность горных пород разрушаться без проявления необратимых (остаточных) деформаций. Он определяется соотношением работы, затраченной на деформирование породы до достижения предела упругости к общей работе на разрушение. Значения коэффициента хрупкости для различных пород изменяются в весьма широких пределах. В наших исследованиях он принимал значения от

среде и при расколе. В ходе эксперимента регистрировались времена нарастания фронта импульсов ЭМИ. По значениям скорости и времени нарастания фронта импульсов были определены линейные размеры микротрешин и поверхности разрушения на всех этапах. Расчитанные линейные и скоростные показатели образцов песчаника приведены в табл. 3.

Приведенные характеристики были рассчитаны с использованием автоматизированной информационно-расчетной системы для изучения физико-механических свойств горных пород на разных этапах разру-

Таблица 3. Сводная таблица линейных и скоростных показателей образцов песчаника (ш. Романовская)

Высота (h), мм	10			20			30			
	Образец, №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предельная скорость распространения микротрешин в упругой среде (V_m), 10^2 м/с		2,76	2,52	2,42	4,20	6,08	5,81	6,94	8,06	8,19
Предельная скорость распространения микротрешин при расколе (V_p), 10^2 м/с		1,70	2,00	1,85	8,11	6,71	12,69	12,40	14,37	11,49
Полная поверхность допредельного разрушения (Σ), 10^{-5} м ²		56	63	66	163	211	142	219	232	223
Полная поверхность всех этапов разрушения (Σ_n), 10^{-5} м ²		200	200	240	236	267	227	259	241	245
Средний размер микротрешин (L_{cp}), 10^{-4} м		7	5	6	8	4	12	9	11	12
Критическая концентрация микротрешин (N^*), 10^6 м ³		124,30	396,79	214,87	113,18	642,51	28,52	62,49	39,08	32,49

ны коэффициентом пластичности, для вычисления которого предложено несколько подходов. Один из них, получивший широкое признание, определяется отношением полной деформации до достижения предела прочности материала к упругой деформации, т. е. до предела упругости. В наших

исследованиях он принимал значения от 0,14 до 0,19 при $h=20,30$ мм. Полученные оценки работы разрушения образцов песчаника на разных этапах приведены в табл. 2.

На основе ранее приведенных модуля Юнга и модуля спада были рассчитаны предельная скорость распространения микротрешин в упругой

среде [3]. Определяемые физико-механические свойства являются прочностными характеристиками не массива горных пород, а образцов, имеющих определенную форму, дефектность и нагружаемых определенным способом при определенных условиях. Количество оцениваемых физико-механи-

ческих свойств горных пород может быть сколь угодно велико. Для прогнозирования и кон-

троля процессов, происходящих в массиве горных пород, в первую очередь, представляют ин-

терес механические и плотностные свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров П.В. и др. Исследование разрушения твердых тел методом регистрации импульсного электромагнитного излучения.– Кемерово: Кузбассвузиздат, 2001.– 201 с.
2. Волков М.А. и др. Комплекс программ оценки физико-механических свойств горных пород по результатам исследования процесса разрушения методом электромагнитного излучения// Влияние научно-технического прогресса на экономическое развитие Кузбасса: Материалы I Региональной научно-практической конференции.– Прокопьевск: изд-во КузГТУ, 2007.– С. 167-170.
3. Волков М.А. и др. XML-хранилище для оценки электрофизических характеристик нагружаемых образцов горных пород// Вестн. КузГТУ.– 2006.– №6.2.– С. 68-72.

□ Авторы статьи:

Волков

Михаил Анатольевич
– аспирант каф. вычислительной техники и информационных технологий

Соловьев

Дмитрий Валерьевич
– аспирант каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом

Белина

Любовь Александровна
– канд. техн. наук, доц.
каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом

Пимонов

Александр Григорьевич
– докт. техн. наук, проф.,
зав. каф. вычислительной техники и информационных технологий