УДК 622.02

Д.Н.ПЕТРОВ, Д.Б.ЗЫКОВ
Факультет освоения подземного пространства,
аспиранты кафедры строительства горных предприятий
и подземных сооружений

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГИДРОГЕМАТИТОВЫХ РУД ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Описана методика определения прочностных и деформационных свойств руд. Представлены табличные и графические результаты проведенных исследований характеристик руд Яковлевского месторождения. Сделан вывод о характере разрушения руд в условиях одноосного сжатия.

The technique of definition strength and deformation properties of ores is described. The paper includes the results of ore research of the Iakovlevskoe deposit. The character of the ore destruction under one-axial compression has been revealed.

Яковлевское месторождение расположено на территории Курской магнитной аномалии в сложных горно-геологических условиях и обладает уникальными по своим свойствам и содержанию железа рудами.

Объектом исследований являлись руды – скальная и полускальная, гидрогематит-мартитовая, хлоритизированная, грубополосчатая и мартит-гетит-гидрогематитовая, хлоритизированная, карбонатизированная, брекчированная (см. таблицу).

Испытания на сжатие проводились на образцах цилиндрической формы (d = = 30÷56 мм) при соотношении диаметра к высоте равным 1/2 по методике, приведенной в работах [1, 2]. При определении характеристик для каждого конкретного уровня напряженного состояния отобранная разновидность руды была представлена 4-6 образцами. Гидроизоляция образца осуществлялась с помощью полиэтиленовой трубки, изготовленной из полиэтиленовой пленки толщиной 0,3-0,5 мм или специальной резиновой манжеты.

Исследования механических свойств руд при прессовой скорости деформирования $\varepsilon_1 = 10^{-4}c^{-1}$ и температуре t = 20-22 °С проводились при напряженных состояниях одноосного сжатия цилиндрических образцов по образующей, а также при сжатии в условиях сложного напряженного состояния.

Диапазон давлений всестороннего сжатия составлял $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$; 2,0; 5,0; 10; 15 МПа, что соответствует виду напряженного состояния, при котором паспорта прочности исследованных руд выполаживаются.

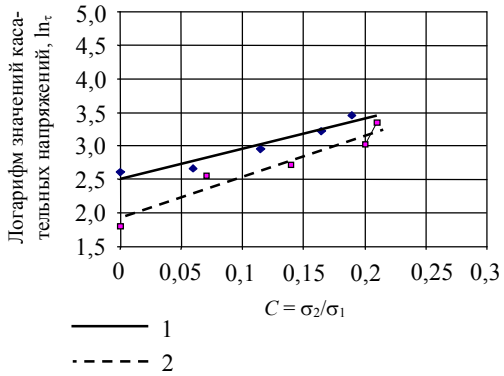


Рис.1. Паспорт прочности для руды скальной и полускальной, гидрогематит-мартитовой, хлоритизированной
1 – предел прочности; 2 – предел остаточной прочности, $\tau = 0{,}5(\sigma_1 - \sigma_2)$

Результаты исследований прочностных и деформационных характеристик руд

$\Delta\sigma_1^{max}$, МПа	$\Delta\sigma_1^{ост}$, МПа	$\Delta\sigma_1^{упр}$, МПа	$E \times 10^{-4}$, МПа	Коэффициент Пуассона, ν	$M \times 10^{-4}$, МПа	$K_4 = M/(E+M)$
Одноосное сжатие $\sigma_2 = 0$						
57,4	19,0	35,0	0,61	0,10	1,10	0,64
7,2	3,2	5,3	0,69		0,08	0,10
8,9	4,0	6,5	0,51		0,11	0,18
26,4	4,5	19,6	0,56	0,11	0,56	0,5
41,4	22,4	28,5	0,49	0,07	0,47	0,49
28,9	15,0	19,0	0,39	0,07	0,28	0,42
22,2	11,26	19,0	0,19	0,09	0,07	0,27
Давление всестороннего сжатия $\sigma_2 = 2$ МПа						
12,1	11,4	11,7	0,52	0,27		
27,5	21,4	22,4	1,38	0,18		
19,8	17,1	12,5	0,18	0,11	0,017	0,08
12,2	12,2	7,2	0,15	0,11	-	-
20,9	18,2	15,2	0,16	0,05	0,01	0,06
62,3	41	54,6	2,10	0,23	0,48	0,19
46,5	35,3	38	1,36	0,13	0,51	0,27
Давление всестороннего сжатия $\sigma_2 = 5$ МПа						
14,1	14,1	9,5	0,83	0,06	-	-
23,9	22,0	17,5	2,4		0,4	0,14
42,5	40,9	34,2	1,65	0,12	-	-
17,1	15,2	10,6	2,4		0,38	0,14
81	44	76,8	2,49	0,23	2,3	0,48
52	44	42	0,72	0,20	0,49	0,4
Давление всестороннего сжатия $\sigma_2 = 10$ МПа						
13,5	8,0	10,3	0,33		0,06	0,15
8,1	5,5	5,3	0,09	0,07	0,014	0,13
33,1	23,6	24,7	3,04		0,81	0,19
25,8	20,5	16,3	3,13		0,5	0,14
60,9	51	42,6	1,18	0,22	0,15	0,11
82	68,3	62	2,30	0,26	0,29	0,11
Давление всестороннего сжатия $\sigma_2 = 15$ МПа						
31,5	25,8	19,4	1,56	0,08	0,38	0,2
25,5	25,5	11,4	1,84	-	-	-
100,5	80,4	78,4	2,12	0,32	0,13	0,06
98,5	98,5	66	2,18	0,18	-	-
59	54	35,5	1,0	0,07	0,47	0,32

Примечание. $\Delta\sigma_1 = \sigma_1 - \sigma_2$, где σ_1, σ_2 – главные напряжения, $\sigma_1 \geq \sigma_2$. Значения $\Delta\sigma_1^{max}, \Delta\sigma_1^{ост}, \Delta\sigma_1^{упр}$ соответствуют наибольшей разности напряжений на участках максимальной прочности, остаточной прочности и упругости.

В качестве коэффициента, определяющего склонность пород к хрупкому разрушению, принят коэффициент K_4 [2, 3] как наиболее полно отражающий физическую природу процесса хрупкого разрушения:

$$K_4 = \frac{M}{E + M},$$

где E, M – соответственно модуль упругости и модуль спада.

Результаты определений механических характеристик руд представлены в таблице, паспорт прочности на рис.1, полные диаграммы «напряжения – деформации» на рис.2.

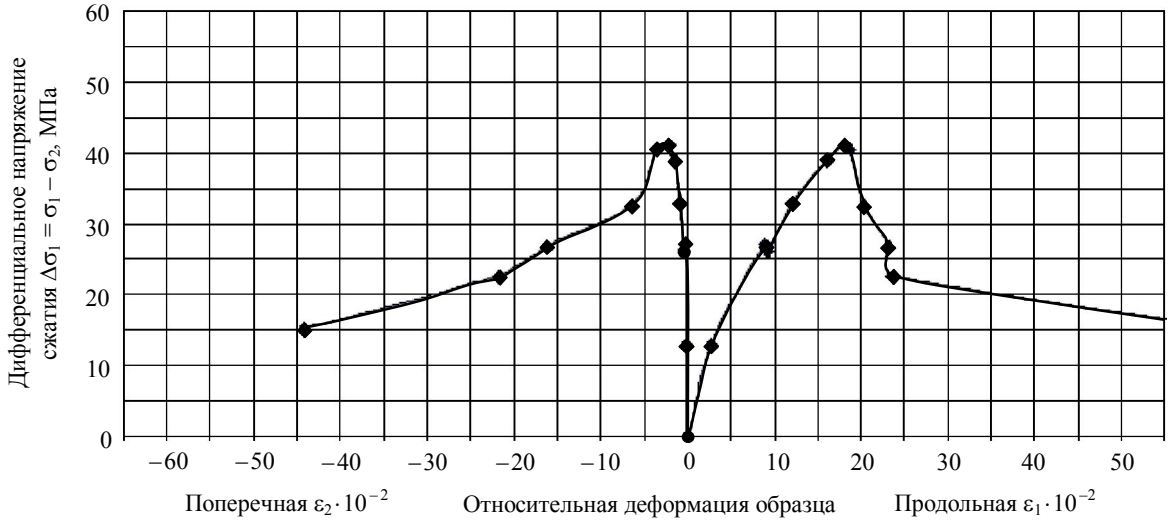


Рис.2. Полная диаграмма «напряжение $\Delta\sigma_1 - \varepsilon_1$ осевая деформация; ε_2 – поперечная деформация»

Общим для исследованных руд является то, что разрушение образцов при одноосном сжатии происходило без динамических явлений, мягко, в основном от вертикальных трещин с последующим дроблением на более мелкие куски от горизонтальных трещин. В запредельной части почти для всех исследованных руд отмечается резкое снижение нагрузки до предела упругости с плавным переходом к пределу остаточной прочности, составляющему около 40 % от максимальной нагрузки.

Для данных руд характерна слабая зависимость от изменения вида напряженного состояния. С ростом давления всестороннего сжатия прочность некоторых образцов практически не изменялась по сравнению с прочностью на одноосное сжатие.

Таким образом, наиболее слабой является руда скальная и полускальная, гидрогематит-мартитовая (рис.1, 2).

Значения коэффициента $K_4 \le 0{,}4$ (см. таблицу) указывают на характер разрушения, модуль упругости и модуль спада исследованных руд показывают, что в условиях одноосного сжатия данные руды не склонны к хрупкому разрушению и проявлению динамических явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ставрогин А.Н.* Механика деформирования и разрушения горных пород / А.Н.Ставрогин, А.Г.Протосеня. М.: Недра, 1992. 224 с.

2. *Ставрогин А.Н.* Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах / А.Н.Ставрогин, А.Г.Протосеня. М.: Недра, 1985. 271 с.

3. *Ставрогин А.Н.* Некоторые прикладные задачи механики горных пород / Деформация и разрушение горных пород. Фрунзе: ИЛИМ, 1981. С. 31-61

Научный руководитель д.т.н. проф. *А.Г.Протосеня*