

TECHNICAL SCIENCES

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ ДЕФОРМАЦІЙ ТА СУПРОТИВУ НА ЗРІЗ ПУХКИХ РУД НАСИЧЕНИХ ВОДОЮ ПРИ ЇХ РУЙНУВАННЯ СТРУМЕНЯМИ ВОДИ

Ковбик К.М.

*Криворізький національний університет,
асистент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин*

DETERMINATION OF THE CHARACTER OF DEFORMATIONS AND RESISTANCE ON SECTIONS OF LOOSE ORES SATURATED WITH WATER AT DESTRUCTION BY WATER JETS

Kovbyk K.

Kryvyi Rih National University, assistant of Department of Underground Mining of Mineral Deposits

Анотація

Для вдосконалення моделі геомеханічних процесів виникла необхідність в отриманні додаткової інформації про параметри пухких руд, деформаційних характеристик (модуль Юнга) і параметрів міцності при навантаженнях, що відповідають умовам залягання руд. Експерименти по циклічності зміни ефективної вертикальної напруги в межах 0,5 - 2,0 МПа при загальному тиску до 8 МПа показали, що випробувані зразки практично не відновлюють деформацію. При проведенні зсуву зразків вертикальні деформації зростали протягом усього періоду зсуву. Це свідчить про те, що мінеральні зерна руди на поверхні зсуву переущільнюються та стискаються.

Abstract

To improve the model of geomechanical processes, it became necessary to obtain additional information about the parameters of loose ores, deformation characteristics (Young's modulus) and strength parameters under loads that correspond to the conditions of occurrence of ores. Experiments on the cyclic change in the effective vertical pressure within 0.5 - 2.0 MPa at a total pressure of up to 8 MPa showed that the tested samples practically do not restore the deformation. When shearing the samples, the vertical deformations increased during the entire period of shearing. This indicates that the mineral grains of the ore on the surface of the landslide are overcompacted and compressed.

Ключові слова: зсув руд, пухка руда, гідровиймання, руйнування струменями води, деформаційні характеристики, гідромеханізація, підземна розробка.

Keyword: Ore shearing, loose ores, hydraulic mining, destruction by water jets, deformation characteristics, hydromechanization, underground development.

Постановка проблеми. Гідровиймання гірських потребувало експериментальної перевірки можливості застосування в розрахункових схемах принципу ефективних напружень [1], що становить основний ключовий момент в удосконалення моделі прогнозу поведінки масиву гірських порід при свердловинному гідровидобутку. Та механізму впровадження технології на підприємства.

Аналіз досліджень і публікацій. Оскільки шахти Кривого Рогу здійснюють виймання корисних копалин здебільшого поверхово камерними системами з обваленням руди і вміщуючи порід. Відсоток їх використання, від загальної кількості система складає приблизно 75%, а питома вартість при вийманні руд слабкої та середньої міцності буде високою [2].

Мартитові руди можна розглядати як двокомпонентні мінеральні системи з гематиту і кремнезему. Між цими компонентами є тісна залежність з коефіцієнтом кореляції 0,93-0,99 [3].

Дісперсногематит-мартитові руди поширені в кількості 20-35% на південних і до 10% на північних шахтах Криворізького басейну. Велика частина руд цього типу представлена пористими (14-24%) низької міцності ($f=2-4$) різновидами.

Дісперсно-гематитові руди найчастіше приурочені до рудних полів південної групи шахт, де складають 15-25%. На північній групі шахт вони складають не більше 4%. Текстура руд шарувата і грубошарова, пористість до 26-31%.

Тому однією з альтернатив традиційним системам видобутку запасів маломіцних залізних руд, що залягають в складних гідро-геологічних і гірничо-механічних умовах родовищ є свердловинна гідро технологія. Вона придатна для безлюдного відпрацювання масивів руд, як з земної поверхні, так і підземним способом [4-8]. В особливу, раніше невідому, групу слід виділити технологічні схеми камерної та безкамерної з обваленням руди відпрацювання глибоко залягаючи залізородні родовища з обводненим рудним масивом [9, 10-12]. Процес відбійки руди в цій групі є комбінованим - поєднання гідромоніторних струменів і силових гідродинамічних і геомеханічних полів.

Мета статі. Експериментально визначити основні параметри та встановити залежності деформації насиченого водою пухкої руди при їх руйнуванні струменями води.

Викладення матеріалу та результати.

Обіг експерименту та його результати наведені у таблиці 1

Таблиця 1

Умови проведення лабораторних експериментів з пухкої рудою та основні результати

Код зразка	Умови експерименту			Результати	
	Тиск рідини, P_0 , МПа	Повна вертикальна напруга, σ , МПа	Ефективна вертикальна напруга, $(\sigma - P_0)$, МПа	Зсувне навантаження при зрізі, τ , МПа	Модуль Юнга, E , МПа
A1	2,0	7,0	5,0	3,0	0,31
A2	4,0	7,0	3,0	1,7	0,19
A3	6,0	7,0	1,0	1,0	0,13
A4	2,0	8,3	6,3	3,4	0,36
A5	4,0	8,5	4,5	2,5	0,29
A6	6,0	8,9	2,9	2,0	0,20
A7	2,0	12,8	10,8	5,3	0,40
A8	4,0	12,8	8,8	4,1	0,33
A9	6,0	12,5	6,5	3,0	0,19
A10	2,0	4,4	2,4	2,4	0,21
B1	2,0	7,0	5,0	3,0	0,23
B2	4,0	7,0	3,0	1,6	1,00
B3	6,0	7,5	1,5	1,0	0,24
B4	2,0	10,0	8,0	4,2	0,51
B5	4,0	10,0	6,0	3,1	0,40
B6	6,0	10,0	4,0	1,9	0,55
B7	2,0	13,0	11,0	5,2	0,38
B8	4,0	13,0	9,0	4,3	0,27
B9	6,0	13,0	7,0	2,9	0,25
B10	6,0	13,0	7,0	-	-

При винесенні результатів експериментів у графік в системі координат «Зсувне навантаження зрізу (τ)» - «Ефективна напруга ($\sigma - P_0$)» виявилося, що всі

точки розташовуються уздовж однієї загальної прямої (рис.1.б.) .

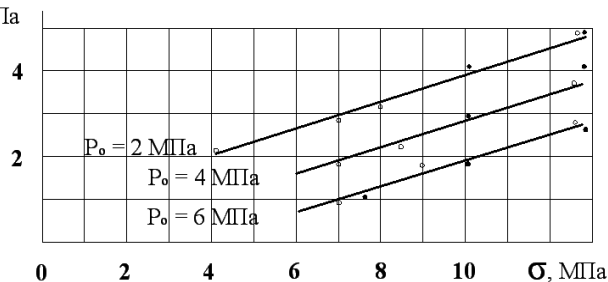
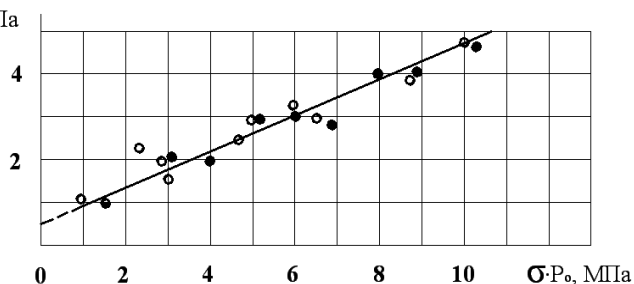
а) τ , МПаб) τ , МПа

Рис. 1. Результати випробувань зразків пухких руд на прямий зріз з урахуванням тиску води: а - залежність зрізуючого напруження τ від повних вертикальних напружень; б - залежність зрізуючого напруження τ від вертикальних ефективних напружень $(\sigma - P_0)$. Чорні точки відповідають зразками серії В (глибина відбору 490 м), білі-серії А (глибина відбору 578 м)

Це переконливо свідчить про можливість використання принципу ефективних напружень при аналізі міцності пухких руд і їх напруженого стану.

Встановлено також, що у всьому діапазоні зміни експериментальних параметрів, крива може бути апроксимована прямою лінією виду:

$$\tau = C + \tan \varphi (\sigma - P_0) \text{ МПа} \quad (1)$$

де C фізична величина зчеплення (затиснення) пухкої руди;

φ - кут внутрішнього тертя, град.

Слід зазначити, що проведення експериментів при високому тиску дозволяють використовувати

отримані значення C (0,5 МПа) тільки в якості параметра апроксимуючого рівняння (3.6), оскільки при малих тисках (до 0,5 МПа) цілком ймовірно відхилення від прямої до нуля. Однак для умов проведення експериментальних робіт початкова ділянка кривої не має великого значення в силу високих значень напруг в умовах залягання пухких руд. Також результати випробувань для руд, відібраних з різних горизонтів (білі та чорні точки на рис. 2), що дозволяє говорити про ідентичність міцності пухких руд на різних горизонтах і в подальшому розглядати результати експериментів зразків серій А і В спільно. Значення φ для всіх випробуваних зразків згідно рис.2 становить 24° .

В цілому результати експериментів показують значний вплив на руйнування пухких руд тиску рідини. Зокрема, нагнітання рідини в масив під надлишковим тиском розвантажує пухких і руди від нормальних напружень, полегшуючи руйнування масиву в результаті дії зсувних напруг на границях відкритих порожнин в масиві.

Іншою важливою характеристикою пухких руд, що грає визначальну роль в прогнозі зсувів масиву, є модуль Юнга, який представляє собою коефіцієнт пропорційності між деформаціями і напруженнями.

Типові криві "напруга - деформація" представлені в графічному вигляді на рис. 3.6. Всі графіки характеризуються крутою початковою ділянкою (пунктирна лінія на графіку, який відповідає значенню 2МПа, рівне модулю пружності води [13]) і порівняно пологою рівною ділянкою, що характеризує стисливість пухких руд. Аналіз даних свідчить про наявність деякого зростання модуля пружності пухких руд з підвищенням ефективних напружень, проте з достатньою точністю модуль Юнга може бути прийнятий рівним 0,30 МПа. Отримані дані також показують, що зв'язок між деформаціями і напруженнями для пухких руд є лінійний у всьому діапазоні досліджених параметрів.

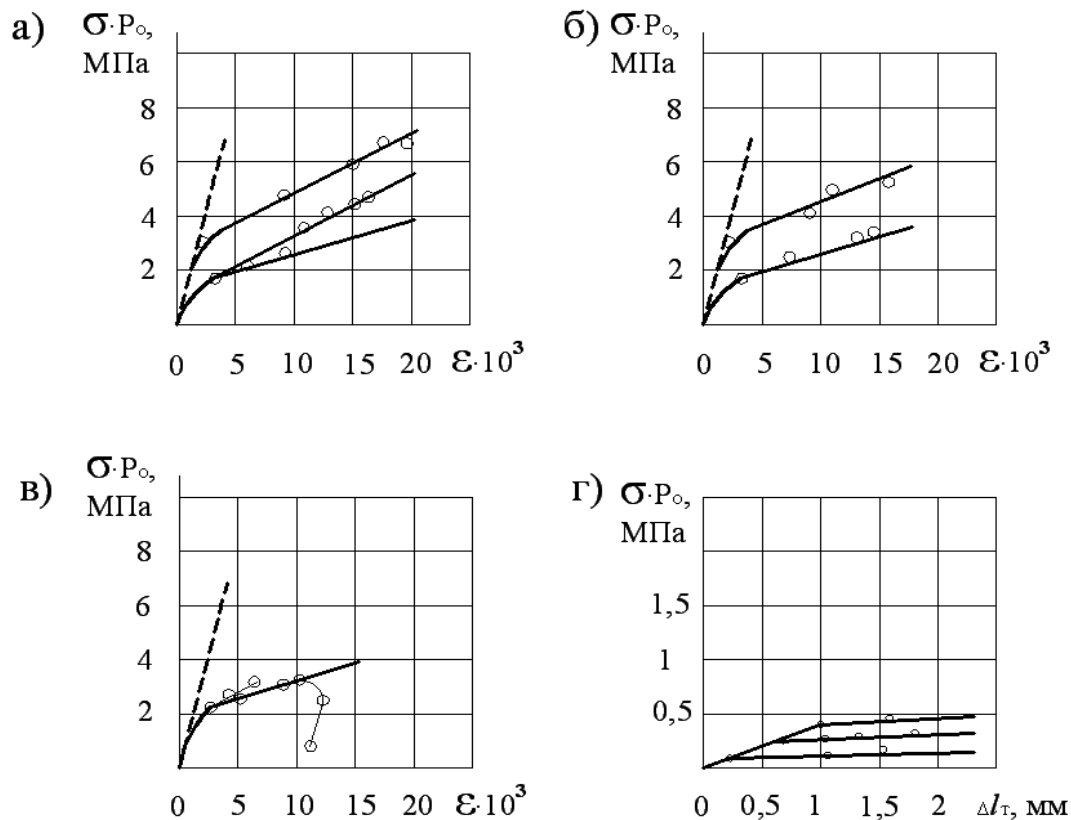


Рис. 2 Характер деформування пухких руд: а, б, в - графіки деформування пухких руд відповідно при $P_0 = 2, 4, 6$ МПа; г - графік залежності вертикальних зсувів від горизонтальних.

Висновки та напрямок подальших досліджень. При зменшенні ефективних напружень зразки проявляли досить незначне відновлення деформацій (графік зразка А9), відповідне відновленню пружною деформацією рідини, причому вказане явище зазначалося як при зменшенні ефективних напружень як за рахунок зниження загального навантаження на зразку, так і за рахунок зростання нейтрального тиску.

Експерименти по циклічності зміни ефективної вертикальної напруги в межах 0,5 - 2,0 МПа при

загальному тиску до 8 МПа показали, що випробувані зразки практично не відновлюють деформації структури, але модуль Юнга незначно збільшується за рахунок більш щільної упаковки зерен. Зміна ця знаходиться в межах розкиду результатів випробувань різних зразків і не може враховуватися.

При проведенні зсуву зразків вертикальні деформації зростали протягом усього періоду зсуву. Типові криві взаємозв'язку вертикальних переміщень і горизонтальних переміщень наведені на рис. 4.7г. Це свідчить про те, що мінеральні зерна руди

на поверхні зсуву передроблюються та стискаються більш щільно.

Як подальший розвиток планується проводити дослідження з визначення додаткових параметрів, та обґрунтування впровадження на деяких ділянках Криворізького залізничного басейну технології свердловинного гідро видобування.

Список літератури

1. Шавловский С.С. Основы динамики струи при разрушении горного массива. - М.: Недра, 1979. - 173 с.
2. Малахов Г. М. Особенности разработки рудных месторождений на больших глубинах и пути повышения эффективности разработки руд Кривбасса, Сб. «Пути повышения эффективности подземной добычи руды в Криворожском бассейне», Кривой Рог, КГРИ. - 1971. - С. 5-41.
3. Глушко В.Т., Борисенко В.Г. Инженерно - геологические особенности железорудных месторождений - М.: Недра, 1978.-253с.
4. Бабичев Н.И., Николаев А.Н. Скважинная гидротехнология - новый способ освоения недр – Горный журнал. - 1995. -№ 1. с. 14 - 18.
5. Бабичев Н.И., Николаев А.Н. Скважинная гидротехнология - основа высокоэкономичных малых предприятий по добыче твердых полезных ископаемых / Горный журнал. - 1996. - № 4. –С.5-9.
6. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых. / Арнс В.Ж., Бабичев Н. И., Башкатов А. Д и др. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 295с.
7. Маланчук З.Р., Боблях С.Р., Маланчук Є.З. Гідровидобуток корисних копалин. – Рівне: НУВГП, 2009. – 280 с.
8. Технологія і керування гідровидобутком корисних копалин. / З. Р. Маланчук, А. Д. Калько, Є. З. Маланчук та ін. – Рівне: НУВГП, 2009. – 480с.
9. Гостюхин П.Д., Болотов В.А., Росляков О.А. Технологический комплекс для скважинной гидродобычи глубокозалегающих месторождений богатых железных руд. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. №7. М.: Изд-во МГГУ. С. 206-209.
10. Колибаба В.Л. СГД богатых железных руд КМА. М.: ВИМС, -1989, -25 с.
11. Технология скважинной гидродобычи богатых железных руд КМА / Британ И. В., Гостюхин П. Д., Аллилуев В. Н., Лейзерович С.Г. // Горный журнал. –2004. –№1– С. 62-64.
12. Журинов С.Н. Колесников В.И., Стрельцов В.И. Природопользование при скважинной гидродобыче богатых железных руд. – М.: НИИ – Природа, 2001. – 384 с.
13. Мала гірнича енциклопедія у 3 т. / за ред. В.С. Білецького. — Д.: Східний видавничий дім, 2013.— Т.3: С—Я.— 644с.