Записки Ленинградского горного института, т. VIII, 1934
Annales de l'Institut des Mines à Leningrade, vol. VIII, 1934

Основные механические характеристики некоторых железных руд Криворожья и заключающих их кварцитов

Проф. В. В. Чернявский

Die grundmechanischen Eigenschaften einiger Eisenerze und der sie einschliessenden Quarzite des Bezirks von Kriwoj Rog.

W. Tscherniawsky.

1. Введение

Настоящая экспериментальная работа была предпринята с целью определения основных механических характеристик железных руд и заключающих их кварцитов Ленинского (бывш. Колачевского) рудника Криворожского района, в частности так называемой Театральной залежи, для расчетного определения размеров целиков, камер и возможной их деформации на горизонте в 86,5 *м* (40 саж.) от поверхности. Определению, вследствие этого, подлежали: разрушающее сопротивление сжатию и излому с попутным определением сопротивления растяжению и сдвигу и, для деформации, модуль нормальной упругости при сжатии [E] и коэфициент Пуассона [μ].

Определение последнего особенно важно для расчета деформаций всякого рода проработок, выработок и их целиков, проводимых в горных породах, находящихся в объемном напряженном состоянии и частично меняющих таковое на плоское при проведении выработок. Относительно малая потребность в числе μ в обычных поверхностных и инженерных работах служила причиной малого интереса к его определению исследователями и почти полного отсутствия данных относительно его величины для различных горных пород и его особенностей — вопроса постоянства при изменении нагрузки. Этому содействовало отсутствие приспособлений и приборов для определения числа Пуассона методом достаточно точным, каковым является оптический метод Мартенса, для образцов кубической или призматической формы. В восполнение последнего нами было сделано следующее изменение зеркального прибора Мартенса, не меняющее его точности, но дающее возможность со всей строгостью применять метод многократной нагрузки, аналогичный применяемому при определении модуля продольной упругости. Именно — стальная шпилька, связанная с стальной призмочкой, на которой насаживается зеркальце, загибается под углом 90° по отношению к своей начальной оси (рис. 1). При установке стальной призмочки на грани сжимаемого образца параллельно действию силы сжатия, зеркальце, обращенное наружу образца, получает возможность свободно совершать необходимые повороты. Узкая ножевая пластинка, опирающаяся на призму одним концом при помощи призматической канавки и другим, острым, на образец, помещается на нем горизонтально, в направлении поперечной деформации, и притягивается, вместе с таким же прибором на противоположной грани исследуемого образца, зажимной легкой рамкой, как это делается при испытании каменных материалов в приборе

Мартенса. Рейки для отсчетов помещаются также горизонтально и отсчеты берутся при помощи двух труб (рис. 2). Величина a (рис. 1), изменение расстояния реек от центра вращения призмочки, весьма мала при поперечной деформации и ею можно совершенно пренебречь по сравнению с величиной b — расстоянием от центра вращения до рейки (рис. 2), берущейся не меньше 1 *м*. В наших опытах наблюдаемая длина, т. е. длина узкой ножевой пластинки, принималась равной 5 *см*, и в соответствии с этим испытуемым образцам призматической формы давалось сечение с сторонами не менее 8 *см*.

Описанное видоизменение прибора Мартенса позволяет весьма удачно принять метод повторных нагрузок до появления постоянства деформации. Ход испытаний виден из табл. IV.

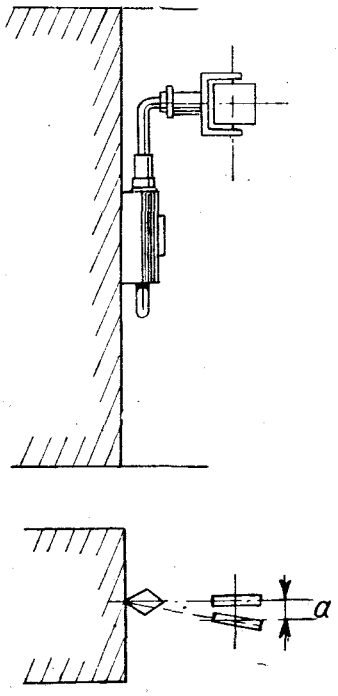


Рис. 1. Изогнутая шпилька видоизмененного прибора Мартенса

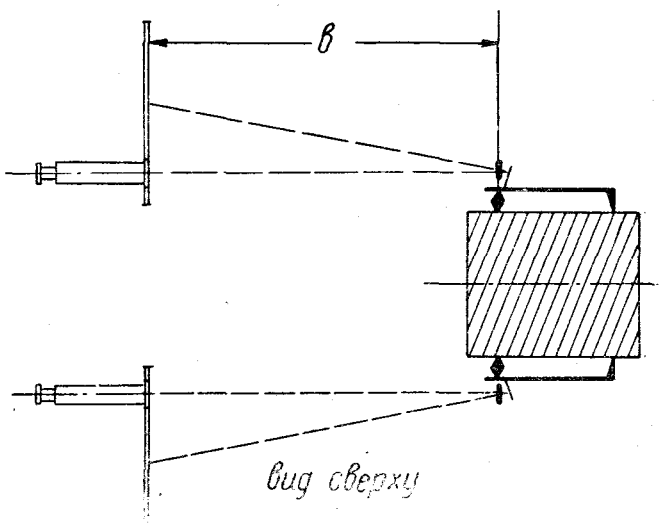


Рис. 2. План (вид сверху) всей установки зеркального прибора.

2. Краткая характеристика испытывавшихся пород

Испытанию подверглись следующие руды и породы, краткая характеристика которых здесь приводится.

1. Руда камеры № 10. Средний вес 1 *куб. м* равен 3 770 *кг*. Внешне, в блоке руда значительно неоднородна и таковой выявляется и при обработке во время изготовления образцов. Готовый кубик имеет темносерый цвет фиолетового оттенка, и на нем видно, что одна половина его как бы слитна, хорошо отшлифована, имеет легкие синеватые прослойки, другая пориста, имеет тонкую слоеватость, в углублениях видны блески мелких кристаллов. При обработке сильно поглощает воду, увеличиваясь в весе примерно на 30 — 40%, окрашивает ее и становится значительно более слабой; при обработки пилами и кругами некоторые ее части разваливаются от нажатия рукой. Большая ее неоднородность сказывается при обработке в большой разнице в твердости. После раздавливания приобретает карминный оттенок.

2. Руда камеры № 7. Взята в расстоянии около 27 *м* от руды № 10. Средний вес 1 *куб. м* — 3 800 *кг*. Более однообразна, тонкопориста. Отшлифованные поверхности ее отливают игрой мелких кристаллов темносерого, синеватого ровного оттенка, который остается и после разрушения. При обработке обнаруживает сильную трещиноватость и водопоглощение. Обе руды дают после раздавливания пирамидки.

3. Кварциты висящего бока № 6 — 7, вынутые в полевом штреке посредине между рудами № 6 и № 7. Средний вес 1 *куб. м* — 3 775 *кг*. Имеет в общем

плотное слитное, но извилистое сложение, темносерого цвета с красноватыми прослойками („слоистость"), придающими ему темный карминовый оттенок, но на шлифованных образцах мы видим простым глазом присутствие пустот шириной от $^1/_4$ до $^3/_4$ *мм*, вытянутых по линиям. Видны также изредка попадающиеся небольшие металлические блестящие включения серо-стального цвета, кристаллического сложения, обладающие большой твердостью и вязкостью, вероятно мартита. Один из таких кусочков настолько впился в твердую чугунную сжимающую доску, что его было необходимо отдирать. При сжатии кубик имеет стремление давать вертикальные трещины подобно очень твердым породам.

Испытывавшийся на сжатие кубик обладал столь значительной твердостью, что оставил отпечаток своего основания и своей вертикальной трещины на одной из подкладных толстых, в 3,5 *см* толщиной, железных пластин.

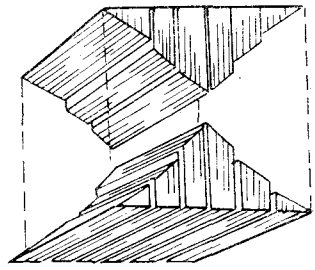


Рис. 3. Необычайная форма разрушения кубиков

4. Кварцит висячего бока № 8. Взят в том же штреке, в растоянии 11—12 *м* от № 6—7. Средний вес 3 460 *кг*. Вполне подобен кварциту № 6, но только более светлый и менее извилистого сложения. Также имеет редкие кристаллические включения, в остальном походит на кварцит № 6 — 7.

5. Кварцит лежачего бока № 10. Взят в полевом штреке, в 3,5 *м* от руды № 10. Средний вес 3 400 *кг*. Чрезвычайно слоистый, оттенок железной ржавчины. Слои более богатые кварцем, толщиной от 1 до 20—25 *мм*, разделяются тонкими слоями синевато-красноватой руды, которая после отделения слоя быстро окисляется и приобретает цвет сурика, сильно пачкает в красно-коричневый цвет. Среди этих прослойков попадаются и видные на глаз слои почти белого кварца. При раздавливании разделяется на пластинки, которые в кубиках небольшего размера долго удерживаются силой трения от отделения, вследствие чего кубик дает весьма большое сопротивление сжатию (1 683 *кг/см*^{2}). Но в образце, имеющем относительно большую высоту, влияние сил трения падает весьма значительно, и уже при небольших сжимающих силах, направленных вдоль слоеватости, происходит отделение частей образца по слоям и их разрушение; в нашем случае сжатия призмы при определении модуля упругости такое отделение произошло при напряжении, равном всего 255 *кг/см*^{2}. В момент разрушения кубиков при сжатии вдоль слоев пластинки совершенно отделяются друг от друга и ломаются, и у верхней и нижней плоскостей сжатия образуется не две пирамиды, а две призмы ступенчато-треугольного сечения, одна из острых граней которых вытянута наралельно слоям и сжимающим плоскостям. Ввиду необычности формы разрушения помещаем рисунок разрушения (рис. 3). При сжатии кубиков в направлении перпендикулярном площадкам появляются пирамидки, но разделенные в одном или двух местах послойно.

6. Кварцит лежачего бока № 6 — 7. Вынут в полевом штреке между камерами 6—7. Средний вес 3 350 *кг*. В остальном очень схож с предыдущим.

7. Контактовый кварцит висячего бока № 6—7. Средний вес 1 *куб. м* 3 180 *кг*. Сильно железистый, красновато-серого цвета, довольно слитного сложения. Темносерая масса переслаивается красноватыми прослоями, вполне слитно связанными. После излома видны мелкие блески кристалликов. При сжатии имеет стремление к вертикальным трещинам, подобно твердым породам, и к правильному скольжению под углом 45° [сжатие вдоль слоеватости].

8. Контактовый кварцит висячего бока № 8. Вес 1 *куб. м* его — *около* 3 280 *кг*. Сильно слоист. На глаз видны белые слои кварца, чередующиеся с темносерыми рудными полосами. При сжатии нормально к слоеватости разделяется вертикальными трещинами; обнажающиеся рудные слои дают мумиеобразную окраску. В изломе также замечается блеск малых кристаллов. По причине небольшого количества материала изготовить образец для сжатия вдоль слоев не удалось.

Как было сказано при изготовлении образцов, выяснилось значительное (руда камеры № 10) разнообразие в твердости и сопротивляемости даже в одном и том

№ образца	Что сжималось	Как сжималось относительно слоеватости	Размеры кубика в *см*: в числителе размеры сечения, в знаменателе его высота
1	Руда № 10	вдоль	$\frac{5{,}40 \times 5{,}47}{5{,}50}$
2	„ № 10	перпендикулярно	$\frac{5{,}86 \times 5{,}86}{5{,}85}$
11	Руда № 7	вдоль	$\frac{5{,}01 \times 5{,}02}{5{,}01}$
12	„ № 7	перпендикулярно	$\frac{5{,}05 \times 5{,}05}{5{,}05}$
3	Кварцит висячего бока № 6—7 . . .	вдоль	$\frac{6{,}09 \times 6{,}09}{6{,}07}$
4	„ „ „ № 6—7 . . .	перпендикулярно	$\frac{6{,}00 \times 6{,}00}{5{,}90}$
5	„ „ „ № 8	вдоль	$\frac{5{,}07 \times 5{,}05}{5{,}10}$
6	„ „ „ № 8	перпендикулярно	$\frac{4{,}71 \times 4{,}71}{4{,}71}$
7	Кварцит лежачего бока № 10	вдоль	$\frac{5{,}06 \times 5{,}00}{5{,}05}$
8	„ „ „ № 10	перпендикулярно	$\frac{5{,}05 \times 5{,}05}{5{,}01}$
9	„ „ „ № 6—7 . . .	вдоль	$\frac{5{,}03 \times 5{,}07}{5{,}05}$
10	„ „ „ № 6—7 . . .	перпендикулярно	$\frac{5{,}03 \times 4{,}98}{5{,}05}$
13	Контактов. кварцит висячего бока № 6—7	вдоль	$\frac{4{,}90 \times 4{,}92}{4{,}90}$
14	„ „ „ „ № 6—7	перпендикулярно	$\frac{4{,}91 \times 4{,}93}{4{,}91}$
15	„ „ „ „ № 8 .	вдоль	$\frac{4{,}93 \times 4{,}95}{4{,}92}$

же обрабатываемом блоке, а также большое влияние содержимой влаги на прочность образцов; по этой причине следует пользоваться нижеприводимыми результатами с значительной степенью безопасности (запасом прочности). Быстрая окисляемость разрушенных кубиков и большое влияние влаги на их прочность выявляют еще один главный фактор устойчивости пород Ленинского рудника. Настоящие опыты производились над воздушно-сухими образцами, пробывшими не менее недели на воздухе после обработки, во время которой обильно смачивались.

3. Испытание и результаты.

а. Испытание на сжатие

Производилось над тщательно отшлифованными кубиками нормальных размеров с гранями от 4,9 до 6 *см*, вырезанными так, что можно было производить давление к слоеватости, т. е. к структурным плоскостям, и строго вдоль слоеватости. Испытания велись на прессах, дающих наименьшую погрешность в зависимости от сопротивлений испытуемых пород, определявшихся предварительными пробами. Для более

лица I

Груз при появлении звука в *т*	Разрушающая нагрузка в *т*	Напряжение при появлении звука в *кг/см²*	Среднее из него	Временное сопротивление в *кг/см²*	Среднее из него округло
15,20	16,85	518	—	570	—
17,80	18,00	490	вдоль 550	524	вдоль 580
15,00	15,25	599	перп. 600	607	перп. 730
—	24,20	—	—	949	—
80,00	181,50	2 160	—	4 905	—
—	144,00	—	вдоль 2 650	4 000	вдоль 4 300
93,5	94,50	3 150	перп. 2 000	3 690	перп. 3 490
44,00	65,8	1 999	—	2 977	—
26,30	42,60	1 040	—	1 683	—
24,20	30,70	950	вдоль 1 145	1 204	вдоль 1 665
32,00	42,00	1 255	перп. 820	1 647	перп. 1 100
17,20	25,70	688	—	1 028	—
26,50	27,00	1 100	—	1 120	—
29,20	54,45	1 195	вдоль 820	2 230	вдоль 1 000
13,30	23,40	545	перп. 1 195	959	перп. 2 230

плотного прилегания плоскостей под сжимаемые поверхности подкладывался тонкий картон, толщиной от 0,5 — 0,7 *мм*, согласно выводам опытных работ, посвященных влиянию различного рода подкладок на величину разрушающего усилия [1]).

Введение картонных подкладок помогло установить неправильность объяснения появления звуков потрескивания еще задолго до падения показаний манометра, как результата неточности пригонки поверхностей. Результаты испытаний приводятся в табл. I.

Произведенные опыты и ряд предварительных, не внесенных в таблицу, не подтвердили правила, выведенного вышеупомянутым автором E. F. Woo, о том, что при картонной или бумажной подкладке кубики пород при разрушении дают пирамидальные формы разрушений и явно выраженные плоскости скольжений (в идеальном случае под углом 45°), а при свинцовых, когда текучесть, устремленная наружу, противодействует восстанавливающим силам трения, стремление раскалываться в

[1]) E. E. Woo, Experimental determination of Joung's moduli of Roks, Academia Sinika, Changchai, 1930.

Таб

№ образцов	Что изгибалось	Как изгибалось по отношению к слоеватости	Размер сечения в *см*	Расчетная длина	Момент сопротивл. сечен. в *см*	Ломающий груз в *кг*
2	Руда № 10	Перпендикулярно	1,8 × 1,8	13	0,972	6,85
1	Руда № 10	В плоскости ее	2 × 2	11	1,333	17,36
5	Кварцит висячего бока № 8	Перпендикулярно	1,8 × 2	13	—	150,00
6	Кварцит висячего бока № 8	В плоскости ее	1,10 × 1,02	7	0,191	19,00
7	№ 6—7	Перпендикулярно	0,97 × 0,97	7	0,151	46,00
8	№ 6—7	„	2 × 2	13	1,333	178,87
9	№ 6—7	В плоскости ее	1 × 0,99	7	0,850	8,00
3	Кварц лежач. бока № 10	Перпендикулярно	2 × 2	13	1,333	38,36
4	Кварц лежач. бока № 6—7	„	2 × 2	13	1,333	36,36
10	Контакт. кварц. № 6—7	„	1 × 0,99	7	0,162	36,00
11	Контакт. кварц. № 8	В плоскости ее	0,99 × 0,99	6	0,970	30,00

вертикальном направлении. У нас все опыты производились при одинаковой картонной прокладке и все образцы с большим сопротивлением сжатию и твердостью, именно кварциты висячего бока № 6 — 7, № 8, контактовые кварциты висячего бока № 8, разделялись вертикальными трещинами. Вышеупомянутое вдавливание образца кварцита № 6 —7, при котором осуществляется почти полное его слитие с подкладной плитой, не избавило его от вертикального растрескивания.

Далее было обращено внимание на появление звуков периодического потрескивания при высоких нагрузках. Этот факт обычно объясняют неточностью пришлифовки граней образцов. Для проверки этого объяснения соприкасающиеся поверхности были тщательно обработаны и снабжены мягкими картонными прокладками. При непрерывно и медленно нараставшей нагрузке почти у всех образцов со значительным сопротивлением сжатию наблюдалось возраставшее усиление звуков от начального момента появления, равно как уменьшение величины периодов их появления при приближении к моменту разрушения. В одном случае (кварцит висячего бока № 8) было замечено, что в первый момент появления звука от средины грани кубика отлетела линзообразная частица диаметром около 5 *мм*. Не всегда удавалось улавливать этот момент, так как образцы приходилось закрывать по причине сильного разбрасывания и отметания частиц, „стреляния“ (в момент разрушения кварцитовых пород), сопровождавшихся и значительным звуком. Было подмечено, что если замедлять увеличение нагрузки у момента, близкого к разрушению, количество и величина потрескиваний все возрастают. На основании этого был сделан следующий опыт: нагрузка на кубик кварцита висячего бока № 7 была доведена при все возрастающих звуках до давления 144 *т* и возможное еще нарастание ее было задержано на той же величине; тем не менее звуки все возрастали при неподвижности манометра и продолжались в течение 3 — 4 секунд, потом последовал сильный треск, подобный выстрелу, и разрушение образца, после чего манометр сразу начал падать. Освобожденный от покрытия образец был разделен на много отдельностей как вертикальных, так и под углом к вертикали, сжимался перпендикулярно к слоеватости. На основании приведенных фактов мы можем кон-

лица II

Норм. раст. и сжимающ. напряж. в *кг/см²*	Среднее в *кг/см²*	Сдвиг напряж. в *кг/см²*	Среднее в *кг/см²*	Примечание
± 17,00		1,5		
± 36		3		
> 350	Перпенд. 440	> 31	Перпенд. 34	Случайно сломан во время опыта
± 175		12,5	В плоск. слоев	
± 530	В плоскости слоев	37,5		
± 437	13,5	33,5	10	
± 16,35		8		
± 94	Перпендик. 90	7	Перпенд. 6,5	Изготовить образцы для изгиба в плоскости слоеватости не удалось, — ломались
± 90		6		
± 388		27		
± 46,4		22,5		

статировать отставание или запаздывание деформаций горных пород при нагрузках, близких к разрушению.

б. Испытание на перелом или изгиб

Производилось над призматическими образцами — балочками размерами от $1 \times 1 \times 7$ *см* до $2 \times 2 \times 19$ *см*, вырезанными вдоль и поперек к структурным плоскостям, опертыми по концам на 2 опоры и нагружавшимися посредине сосредоточенной силой. Большие балочки нагружались непосредственной нагрузкой в виде гирек и дроби, помещавшихся в сосуде, подвешенном к концам поперечного давящего валика. Была создана особая установка, опорные и нажимные элементы которой были заимствованы из перегибного прибора Михаэлиса и дополнены необходимыми приспособлениями. Малые образцы изгибались на специальном приборе на изгиб на прессе Гагарина.

Испытаний на разрыв над отдельными образцами не производилось, так как ныне установлено, что испытание на разрыв над сравнительно небольшими образцами дает весьма значительную ошибку в сторону приуменьшения результатов[1]), а разрывающее сопротивление более рационально исчислять из изгиба (излома) и принимать равным растягивающему при нем. Величина сопротивления срезу вычислена по изгибу и фактически может быть много выше определенной таким образом.

Результаты испытаний на излом (изгиб) прямоугольных призм приведены в табл. II, где показаны и наибольшие сдвигающие напряжения, исчисленные на основании испытаний на излом по формуле.

$$\tau = \frac{3Q}{2F},$$

[1]) Н. А. Шапошников и Б. В. Залесский. Некоторые материалы к методике механических испытаний камней. Камен. стр. мат., сборн. 3.

где

Q — перерезывающая сила (в опоре),

F — площадь сечения образца.

Номера 1 — 5 и 8 изгибались непосредственно под весом грузов, а номера 6, 7, 9, 10 и 11 — на прессе Гагарина.

в. Определение модуля упругости при сжатии

Модуль упругости при сжатии определялся вдоль и поперек слоеватости только у руды, а у кварцитов висячего и лежачего боков — только вдоль слоеватости.

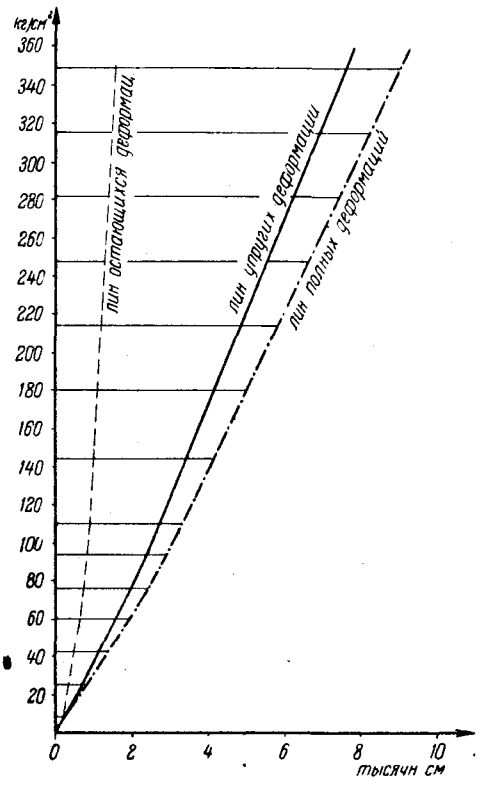


Рис. 4*a*. Продольные деформации руды № 10. Сжатие вдоль слоеватости.

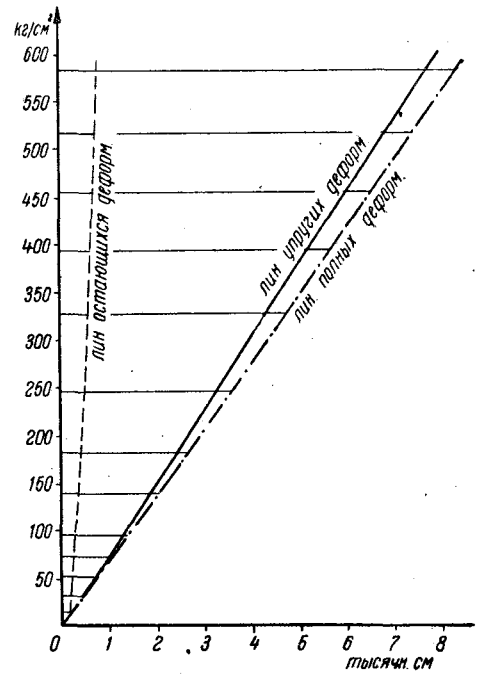


Рис. 4*b*. Продольные деформации кварцита висячего бока. Сжатие вдоль слоеватости.

Вырезать соответственной величины призму из кварцитов лежачего бока из имевшегося в распоряжении малого количества породы не удалось, так как при обработке происходило разделение ее по слоям.

Определение модуля происходило над призматическими образцами, высота которых колебалась от 2 до 4 величин наименьших поперечных размеров, по методу повторных нагрузок и разгрузок, „приучений", вплоть до появления постоянной упругой деформации. Само установление не сразу постоянных деформаций и необходимость затраты времени на ее установление подтверждает мысль о запаздывании деформаций у горных пород и каменных материалов. Наблюдение деформаций производилось зеркальным прибором Мартенса при 500-кратном увеличении. Постоянные деформации устанавливались довольно скоро, примерно после 2 — 6 операций—пример табл. IV. На основании полученных данных построены диаграммы (рис. 4*a* и *b*)[1]). Из них видно, что упругие деформации горных пород, кристаллоидов с крупными кристаллами, значительно больше остающихся.

[1]) Даны лишь два примера.

Почти все испытанные образцы, за исключением кварцитов лежачего бока, дали линию упругих деформаций, весьма близкую к прямой, при нагрузках больших 50 — 150 *кг/см²*. До этого предела линии деформаций слегка вогнуты. В особенности должен быть отмечен в этом отношении кварцит висячего бока камеры № 8. Он дал вполне прямую линию упругих изменений и ничтожные остающиеся деформации: модуль упругости его вдоль слоеватости 1 284 000 *кг/см²* оказался несколько бо́льшим модуля упругости бронзы и чугуна. Также вполне прямую линию дал и кварцит висячего бока № 6 — 7 и почти тот же модуль сжатия — 1 156 000 *кг/см²*. Соответственные вычисления не приводятся.

Полученные результаты вполне согласуются с данными, полученными над испытаниями гранитов, мрамора, кварцитов обыкновенных и известняковых, приводимых проф. E. F. Woo в вышеупомянутой работе. У него начало подчинения закону пропорциональности начинается примерно с 250 *кг/см²*.

Исследованием этих двух образцов устанавливается наличие естественных ископаемых материалов высокого временного сопротивления сжатию (около 3 — 3,5 тыс. *кг/см²*), почти равного половине такового же чугуна и бронзы, подчиняющегося закону Гука; материала, который в состоянии заменять в некоторых случаях чугун там, где не требуется сопротивления растяжению и могущего итти на ответственные места специальных сооружений. В табл. III дана сводка испытаний.

Таблица III

№ образцов	Что сжималось	Размер: в числителе поперечн. разм., в знаменателе — высота	Направление сжатия	Наблюдаемая длина в *см*	Модуль упругости в *кг/см²*
1	Руда № 10	$\frac{9{,}90 \times 5{,}90}{20{,}05}$	Вдоль слоеватости	15	Постоянен 667 000
2	Руда № 10	$\frac{6{,}08 \times 6{,}49}{15{,}11}$	Перпендикулярно к ней	10	„ 670 000
3	Кварцит висячего бока № 8	$\frac{8{,}18 \times 4{,}85}{20{,}15}$	Вдоль слоеватости	15	Постоянен 1 284 000
4	Кварцит висячего бока № 6 – 7	$\frac{0{,}02 \times 5{,}98}{18{,}79}$	Вдоль слоев	15	„ 1 156 000
5	Кварцит лежачего бока № 10	$\frac{8{,}60 \times 5{,}25}{20{,}65}$	Вдоль слоев	15	До 100 *кг/см²* — 790 000 После 100 *кг/см²* — 690 000 Среднее из 2 последних — 740 000

Пример записи продольных деформаций дается в табл. IV на стр. 186.

г. Определение коэфициента Пуассона

Производилось при помощи вышеупомянутого изменения прибора Мартенса над призматическими образцами с шириной граней, к которым прикреплялись зеркальца, равной 8 *см*, при наблюдаемой длине, т. е. длине ножа, в 5 *см*, методом повторных нагрузок до появления постоянной деформации. Коэфициент Пуассона определялся лишь для руды № 10 и кварцита висячего бока при сжатии вдоль слоеватости, как образцов лимитных свойств испытуемого комплекса. Ступени нагрузки, ввиду малости поперечных деформаций, приходилось значительно повышать, соответственно чему возрастает количество необходимых повторных нагрузок, как видно из табл. V (стр. 187), испытания руды № 10.

Таблица IV

Продольные деформации при сжатии вдоль слоеватости кварцита висячего бока № 8

Нагрузка в *кг*		Отсчет в 1/500 *см*		Сумма отсчетов в 1/1 000 *см*	Сжатие Δl в 1/1 000 *см*		
полная	на 1 *см*²	левый	правый		полное	остающееся	упруг.
1 000	25,21	9,00	16,00	25,00			
2 000		9,16	16,11				
1 000		9,00	16,00				
2 000	50,42	9,18	16,15	25,33	0,33	0	0,33
1 000		9,00	16,00	25,00			
3 000		9,32	16,29				
1 000		9,00	16,00				
3 000		9,35	16,30				
1 000		9,01	16,02				
3 000	75,63	9,20	16,30	25,50	0,50	0,03	0,47
1 000		9,01	16,02	25,03			
5 000		9,65	16,63				
1 000		9,01	16,00				
5 000		9,65	16,63				
1 000		9,02	16,00				
5 000	126,05	9,65	16,63	26,28	1,28	0,02	1,26
1 000		9,02	16,00	25,02			
7 000		10,00	17,00				
1 000		9,02	16,00				
7 000		10,00	17,00				
1 000		9,03	16,00				
7 000	176,47	10,00	17,00	27,00	2,00	0,03	1,97
1 000		9,03	16,00	25,03			
1 000		10,48	17,50				
1 000		9,03	16,00				
10 000		10,49	17,50				
1 000		9,03	16,00				
10 000	252,10	10,49	17,50	27,99	2,99	0,03	2,96
1 000		9,03	16,00	25,03			
13 000		10,95	18,00				
1 000		9,03	16,00				
13 000	327,73	10,98	18,00	28,98	3,98	0,03	3,95
1 000		9,03	16,00	25,03			
16 000		11,42	18,60				
1 000		9,03	16,00				
16 000	403,36	11,40	18,60	30,00	5,00	0,03	4,97
1 000		9,03	16,00	25,03			
20 000		12,03	19,30				
1 000		9,03	16,00				
20 000		12,03	19,30				
1 000		9,03	16,00				
20 000	504,20	12,03	19,30	31,33	6,33	0,03	6,30
1 000		9,03	16,00	25,03			
24 000		12,65	20,00				
1 000		9,03	16,00				
24 000	605,04	12,65	20,00	32,65	7,65	0,03	7,62
1 000		9,03	16,00	25,03			
28 000		13,25	20,70				
1 000		9,03	16,00				
28 000	705,88	13,25	20,70	33,95	8,95	0,03	8,92
1 000		9,03	16,00	25,03			

Таблица V

Поперечные деформации руды № 10. Сжатие вдоль слоеватости

Нагрузка в *кг*		Отсчет в 1/500 *см*		Сумма отсчетов в 1/1 000 *см*	Сжатие в 1/1 000 *см*		
полная	на 1 *см*²	левый	правый		полное	остающееся	упруг.
1 000	25,32	26,30	24,20	50,50			
2 500		26,38	24,30				
1 000		26,35	24,30				
2 500		26,40	24,35				
1 000		26,39	24,30				
2 500		26,42	24,38				
1 000		26,39	24,35				
2 500	63,60	26,42	24,39	50,81	0,31	0,24	0,07
1 000		26,39	24,35	50,74			
2 500		26,47	24,45				
1 000		26,45	24,40				
4 500		26,50	24,50				
1 000		26,48	24,42				
4 500		26,52	24,50				
1 000		26,50	24,48				
4 500		26,55	24,54				
1 000		26,52	24,50				
4 500	113,94	26,58	24,58	52,26	0 66		
1 000		26,52	24,50	51,02		0,52	0,14
6 500		26,61	24,65				
1 000		26,60	24,56				
6 500		26,65	24,69				
1 000		26,63	24,60				
6 500		26,70	24,70				
1 000		26,68	24,65				
6 500		26,78	24,82				
1 000		26,76	24,72				
6 500		26,81	24,85				
1 000		26,80	24,78				
6 500	164,58	26,85	24,10	51,75	1,25	1,09	0,16
1 000		26,80	24,78	51,69			
10 500		26,93	25,00				
1 000		26,90	24,88				
10 500		27,28	25,32				
1 000		27,20	25,20				
10 500		27,32	25,20				
1 000		27,28	26,25				
10 500		27,38	25,45				
1 000		27,30	25,30				
10 500		27,42	25,50				
1 000		27,38	25,36				
10 500		27,50	25,55				
1 000		27,42	25,40				
10 500		27,53	25,60				
1 000		24,48	25,48				
10 500		27,60	25,65				
1 000		25,59	25,50				
10 500		27,63	25,70				
1 000		27,58	25,58				
10 500		27,70	25,75				
1 000		27,62	25,60				
10 500	265,86	27,73	25,80	53,53	3,03	2,72	0,31
1 000		27,62	25,60	53,22			
16 500		27,88	26,00				
1 000		27,75	25,76				
16 500		27,98	26,10				
1 000		28,90	26,95				

Продолжение

Нагрузка в *кг*		Отсчет в 1/500		Сумма отсчетов в 1/1 000 *см*	Сжатие в 1/1 000 *см*		
полная	на 1 *см*²	левый	правый		полное	остающееся	упруг.
16 500		29,20	27,25				
1 000		29,98	27,10				
16 500		29,20	27,35				
1 000		29,05	27,10				
16 500		29,28	27,41				
1 000		29,15	27,20				
16 500		29,35	27,50				
1 000		29,20	27,30				
16 500	417,78	29,42	27,60	57,02	6,52	6,06	0,46
1 000		29,26	27,30	56,56			

Размер образца руды был $\frac{8 \times 4{,}94}{16}$ *см*, размер поперечного кварцита $\frac{8{,}18 \times 4{,}86}{20{,}15}$.
Полученные диаграммы поперечных деформаций даны на рис. 5 *a* и *b*.

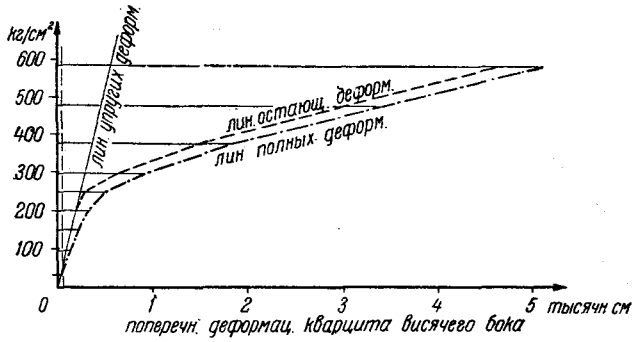


Рис. 5*a*. Поперечные деформации кварцита висячего бока

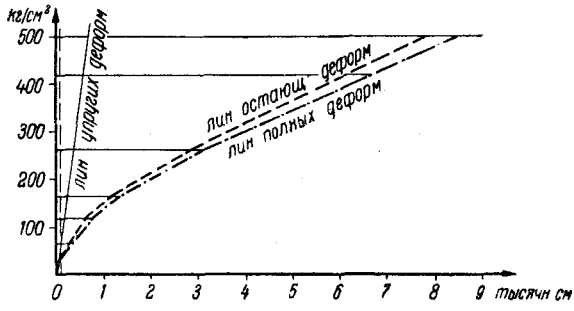


Рис. 5*b*. Поперечные деформации руды № 10

Из приведенных диаграмм мы устанавливали:

1) интересный факт, что в поперечном направлении остающиеся деформации больше упругих, т. е. совершенно так же, как у металлов за пределом упругости;

2) постоянство коэфициента Пуассона при возрастании нагрузок, выражающееся на диаграмме прямой линией.

Взяв отношение поперечной деформации к продольной при $\sigma = 300$ *кг/см*² у руды № 10 и при $\sigma = 400$ *кг/см*² у кварцита, не приводя здесь обычных вычислений, находим величину его для руды равную 0,156 и для кварцита — 0,208.

Заключение

Произведенные опыты дали возможность установить:

1. Независимость форм разрушений кубиков пород исключительно от характера подкладок.

2. Запаздывание деформации сжатия при высоких нагрузках.

3. Почти полную пропорциональность между упругой деформацией и напряжениями у большинства образцов при удельных нагрузках свыше 50—150 *кг/см*² и некоторое нарушение этой строгости при нагрузках меньших, что согласуется в общем с вышеупомянутыми выводами E. F. Woo [1].

4. Установить постоянство коэфициента Пуассона при возрастании нагрузки и определить его величину для железной руды и кварцита при помощи особого видоизменения зеркального прибора Мартенса.

5. Отметить превышение величины остающихся поперечных деформаций над упругими и превышение упругих над остающимися в направлении сжатия.

[1] E. F. Woo. Op. cit.

6. Определить потребные величины разрушающих нагрузок при сжатии железной руды и кварцитов, их сопротивление излому, с попутным установлением сопротивления растяжению и сжатию.

7. Определить модули упругости испытуемых пород при сжатии.

Zusammenfassung

Der Verfasser verfolgt den Zweck die wesentlichen mechanischen Eigenschaften des Eisenerzes und der umgebenden Quarzite in den sogenannten «theatralischen Lagerstätten» des Lenin-Bergwerkes bei Kriwoi Rog zu bestimmen und gibt nebst Ergebnissen der Prüfungen eine Beschreibung der ausgeführten Arbeiten.

Nach einem Hinweis auf die Bedeutung der Poissonischen Zahl zur Berechnung der Pfeiler und Abbaukammern, folgt die Beschreibung der Modifikation des Verfassers des Martens-Spiegelapparates, der die Möglichkeit gewährleistet die erforderlichen Bemessungen leicht zu vollzieh. Auf Grund der geleisteten Arbeit kommt der Verfasser zu folgenden schlüssen:

1. Verspätung der Deformation der Pressung der Gesteinwürfel bei hohem Druck.
2. Die Zersplitterungsformen der Druckwürfel werden nicht ausschliesslich vom Charakter der Unterlagen bestimmt.
3. Beinahe vollkommene Proportionalität zwischen den meisten Prüfmustern bei Drucken über 50—150 kg/cm², was den Ergebnissen E. F. Woo — «Experimental determination of Joung's moduli of ro ks», Academia Sinica, Changchai, 1930 — entspricht.
4. Der Verfasser zeigt die Beständigkeit des Poissonischen Quarkürüngsverhältnises bei Erhöhung der Drucke an und bestimmt ihren Wert für das Eisenerz bei Quer-und Längspressungen und für das Quarzit nur bei Längspressungen der Schichtung.
5. Er weist darauf hin, dass in der Querrichtung des Gesteinwürfels die bleibenden Querdeformationen gegenüber den elastischen vorherrschen, in der Pressrichtung im Gegenteil, die elastischen gegenüber den bleibenden.