

Л. А. ШРЕЙНЕР и О. П. ПЕТРОВА

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком С. А. Христиановичем 4 III 1954)

Все горные породы при обычных методах механических испытаний ведут себя как упруго-хрупкие тела. В условиях же всестороннего сжатия многие из них до момента хрупкого разрушения дают довольно значительную пластическую деформацию, достигающую 30% и более. Исследования по изучению механических свойств горных пород в условиях всестороннего сжатия требуют применения сложной аппаратуры, к тому же очень трудоемки и поэтому малодоступны.

При различных процессах разрушения горных пород, например при бурении, в горных породах под плоскостью контакта с инструментом возникает значительное по величине всестороннее сжатие. В этих условиях разрушение горных пород должно сопровождаться пластической деформацией, которая в сильной степени сказывается на кинетике процессов разрушения, поэтому возможность измерения пластических свойств горных пород при помощи простого и достаточно чувствительного метода приобретает и практический интерес.

Одним из авторов данной статьи в Институте физической химии АН СССР был разработан метод определения твердости горных пород вдавливанием штампа⁽¹⁾. При вдавливании штампа под его основанием в объеме горной породы возникает всестороннее сжатие, и этим создаются условия, благоприятствующие протеканию пластической деформации. Вследствие этого при вдавливании штампа можно одновременно определить твердость горных пород и их пластические свойства.

Кратко опишем метод измерения и некоторые экспериментальные данные.

Для проведения экспериментальной работы был использован небольшой гидравлический пресс, соответствующим образом переоборудованный. Схема установки изображена на рис. 1. Перед началом испытаний жидкость через кран 1 подается насосом в компенсатор 2 и давление в нем доводится до значения, превышающего давление, необходимое для хрупкого разрушения. Это давление определяется при пробном опыте на данном образце испытуемой породы. В это время регулировочный кран 3, соединяющий компенсатор с гидравлическим цилиндром прессы, закрыт. Включение в установку компенсатора давлений позволяет плавно нагружать образец и поддерживать в случае необходимости давление постоянным при помощи регулировочного крана 3. Плоско-параллельный образец испытуемой горной породы 4 устанавливается на столике поршня гидравлического цилиндра 5. На отполированную поверхность образца устанавливается штамп 6 с площадью основания 1—2 мм², а в некоторых случаях 3—5 мм². При вдавливании штампа, помимо местной напряженной зоны, возникающей под его основанием, одновременно весь образец испытывает напряжение, стремящееся разорвать его. Если отношение площади поперечного сечения образца к площади осно-

вания штампа относительно невелико, то прежде чем напряжения под штампом достигнут своего предельного значения и произойдет местное хрупкое разрушение, образец будет разорван. При площади основания штампа в 1 мм^2 на поверхности образца горной породы диаметром в 50 мм можно провести до 20 измерений, а при диаметре в 20 мм — максимум одно измерение в центре образца.

Измерение давлений в гидравлическом цилиндре производится при помощи 3—4 образцовых манометров 8 с различными пределами

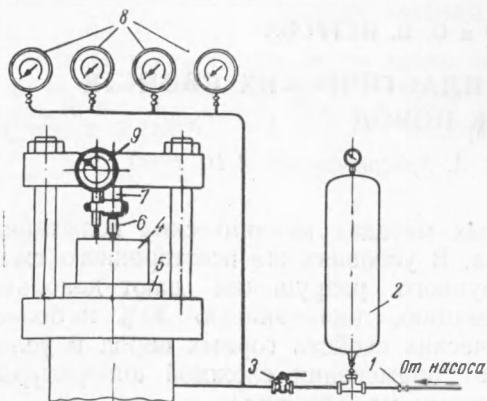


Рис. 1

измерений от 5 до 50 атм. Манометры смонтированы таким образом, чтобы можно было переходить от измерения давления одним манометром к другому, не прерывая опыта.

Штамп, установленный на образце, при помощи открытия регулировочного крана 3 плавно доводится до соприкосновения его верхнего основания с упором 7.

Для измерения деформаций на нижнем конце упора укрепляется измерительный индикатор 9 с точностью отсчета $0,001\text{--}0,002 \text{ мм}$, ножка которого опирается на поверхность испытуемой породы.

Когда верхняя часть штампа приходит в соприкосновение с упором, индикатор устанавливается на нуль.

При испытаниях нагружение производится не непрерывно, а ступенями, причем при каждой нагрузке наблюдают за тем, чтобы деформация протекала до конца.

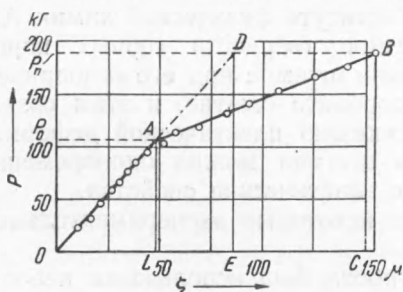


Рис. 2

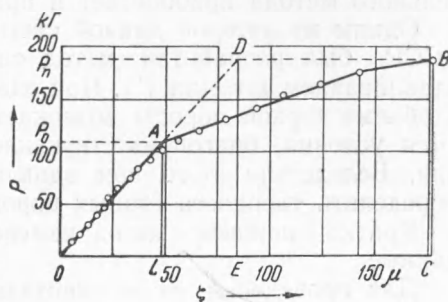


Рис. 3

В упругой области величина деформации устанавливается сразу и со временем не меняется. При переходе в пластическую область, после доведения нагрузки до данного значения начинается медленное течение, поэтому необходимо выждать некоторое время, поддерживая нагрузку постоянной, чтобы исчерпать пластическую деформацию. Затем нагрузка поднимается на следующую ступень и т. д. до тех пор, пока не наступит местное хрупкое разрушение под основанием штампа. При каждой нагрузке измеряется предельная величина деформации.

По полученным данным строится диаграмма деформации за вычетом собственных деформаций штампа, которые определяются путем вычисления.

Для хрупких горных пород диаграмма деформаций представлена только упругой областью и поэтому не приводится.

На рис. 2 и 3 приведены две наиболее характерные диаграммы деформаций для пластичной горной породы в координатах нагрузка P и

деформация ϵ . Можно применять и обычно принятые координаты, т. е. по оси ординат откладывать контактное давление, а по оси абсцисс — относительную деформацию, потому что величина деформации как в упругой, так и в пластической области приближенно пропорциональна диаметру штампа.

На рис. 2 и 3 приведены диаграммы деформаций при вдавливании штампа в глинистый сланец. На рис. 2 имеется только одна область пластической деформации с довольно сильным упрочнением, причем переход из упругой области в пластическую происходит плавно. Зависимость деформаций от нагрузки в пластической области также имеет примерно линейный характер. Пересечение прямых для упругой и пластической областей дает значение нагрузки P_0 для вычисления приближенного значения предела текучести, хотя его можно определить, и притом более точно, при измерениях в процессе опыта. Прямая для упругой области большей частью не проходит через начало координат, а смещена на 2—3 μ , иногда на 5 μ , что не имеет существенного значения, так как общая деформация достигает 100—300 μ и более.

На рис. 3 приведена диаграмма деформаций для того же сланца, но, в отличие от диаграммы рис. 2, она имеет 2 области пластической деформации. Во второй области упрочнение или очень мало или течение идет без всякого упрочнения вплоть до хрупкого разрушения, поэтому переход из первой области во вторую происходит с резким изменением направления кривой деформаций.

Обычно для одного и того же образца породы почти все опыты дают или только одну область пластической деформации или же 2. У очень пластичных горных пород иногда приходится выделять 3 и даже 4 пластических области.

Приведенные диаграммы деформаций характерны не только для глинистых сланцев, но и для подавляющего большинства карбонатных, сульфатных и других осадочных пород.

Оценку пластичности горных пород можно производить различными способами. За меру пластичности нами принято отношение общей работы, затраченной до хрупкого разрушения (площадь $OABC$, рис. 2), к упругой работе, которое названо коэффициентом пластичности k . За величину упругой работы принимается вся работа упругих деформаций (площадь треугольника ODE), т. е. с учетом упругих деформаций и в пластической области. Коэффициент пластичности можно вычислять и как отношение общей деформации OC ко всей упругой деформации OE , что более просто. Другие способы вычисления коэффициента пластичности носят более формальный характер, но очень сильно упрощают обработку наблюдений.

На основании диаграмм деформаций можно определить и коэффициент упрочнения, который следует вычислять только для первых областей пластической деформации, потому что в последней области он очень мал или даже равен нулю.

Таким образом, диаграммы деформаций дают возможность получить следующие данные о механических свойствах горных пород: $p = P_r/S$ (S — площадь штампа) — предел прочности на вдавливание — твердость; $p_0 = P_0/S$ — предел текучести; k — коэффициент пластичности; α — коэффициент упрочнения.

Институт нефти
Академии наук СССР

Поступило
5 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. А. Шрейнер, ДАН, 34, 146 (1942); Л. А. Шрейнер, Твердость хрупких тел, Изд. АН СССР, 1949.