УДК 530.1; 642.1

А.Н.СТАВРОГИН
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

СТРУКТУРА ГОРНЫХ ПОРОД И МАСШТАБНЫЙ ЭФФЕКТ

В условиях одноосного сжатия при вариации скорости деформирования от 10^{+2} до 10^{-8} $с^{-1}$ исследованы на прочность образцы природной каменной соли. Впервые было обнаружено падение прочности на 40 % в диапазоне высоких скоростей и снижение работы разрушения в десятки раз, что противоречит кинетическим представлениям.

Эксперименты, проведенные на искусственно изготовленных путем прессования образцах соли под давлением 700 МПа, показали хорошее соответствие кинетическим представлениям. Различие в свойствах природной соли и искусственно приготовленных образцов объясняется отличием их структуры: природная соль отличается большим разбросом размеров структурных кристаллитов.

It was investigated the strength for uniaxial compression of the natural salt specimens with variation in deformation speed within the range of 10^{+2} to 10^{-8} 1/sec. For the first time, it was detected the effect of strength decrease by 40 % over the range of high velocities that disagrees with the kinetic theory of strength.

The techniques were developed for making the artificial specimens from grinded rock salt by pressing them under the pressure of 700 MPa. The produced specimens were subjected to strength tests. Experimental data have shown close agreement with the kinetic theory of strength. By the way, the specimens made from fine fractions of the grinded salt gave higher indications of strength in comparison with the specimens made from the large-sized fractions.

Исследовалась каменная соль (галит) Артемовского месторождения в Донбассе. Опыты проводились в условиях одноосного сжатия при вариации скорости деформирования в пределах 10 десятичных порядков от скоростей удара до скоростей ползучести. Образцы имели форму керна диаметром 100 мм и длиной 250 мм. Были проведены петрографические исследования аншлифов и шлифов соли.

Результаты исследований представлены на рис.1. Отличительной чертой является широта распределения размеров структурных зерен: от десятых долей до 18 мм. Максимум при 5 мм на рис.1 определяет наклонную часть луча 1 на рис.2. Результаты исследований прочности галита представлены на рис.2 зависимостью 1.

По вертикали изображена прочность образцов τ, по горизонтали – логарифм скорости относительной деформации $\lg\dot{\varepsilon}_1\, с^{-1}$. В интервале малых скоростей ($\lg\dot{\varepsilon}_1\, с^{-1} = \overline{8} - \overline{6}$) прочность возрастает с ростом скорости, что находится в соответствии с кинетическим уравнением С.Н.Журкова*:

$$\dot{\varepsilon}_1 = \dot{\varepsilon}_0 \exp\frac{(U_0 - \gamma\tau)}{KT}, \qquad (1)$$

где γ – структурно-чувствительный коэффициент.

С возрастанием скорости от значения $\lg\dot{\varepsilon}_1 = \overline{5}\ с^{-1}$ до скорости удара $\lg\dot{\varepsilon}_1 = \overline{1,5}\ с^{-1}$ прочность природных образцов галита постепенно уменьшается почти в два раза, что противоречит требованиям кинетического уравнения. Деформационные характеристики испытываемых образцов изображены на рис.3, где даны зависимости относительной деформации на пределе прочности $\Delta\varepsilon_1^n$ от логарифма скорости деформации и относительного увеличения объема (дилатансии) $\Delta\theta$ от скорости.

* *Ставрогин А.Н.* Экспериментальная физика и механика горных пород / А.Н.Ставрогин, Б.Г.Тарасов. СПб: Наука, 2001. 342 с.

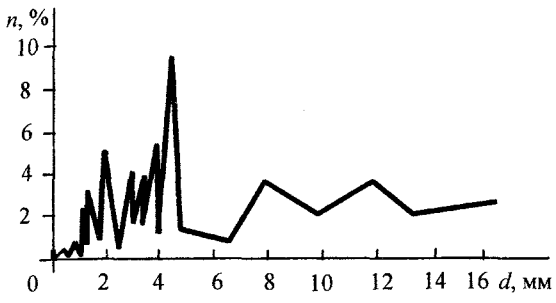


Рис.1. Зависимости процентного содержания кристаллитов n от из размера d

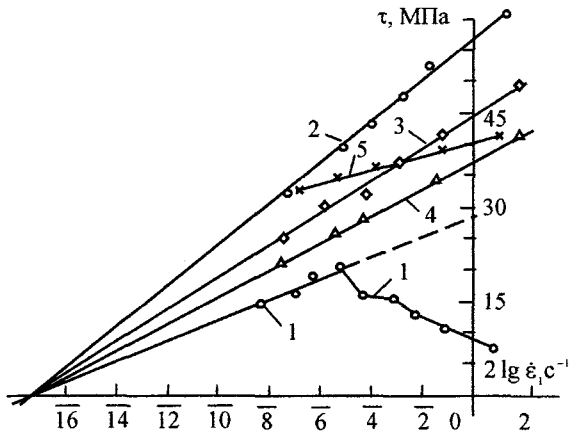
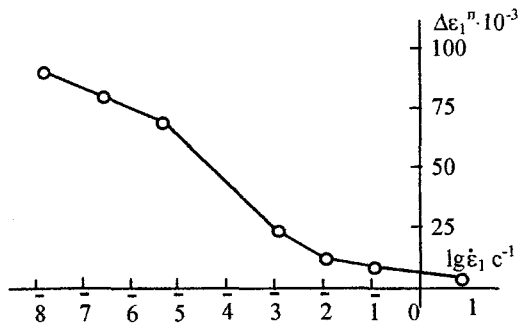


Рис.2. Зависимость прочности галита от скорости деформирования



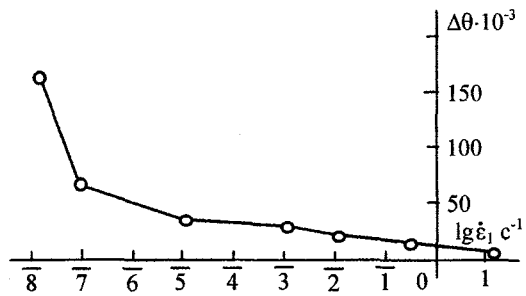


Рис.3. Деформационные характеристики испытываемых образцов

С ростом скорости установлено сильное уменьшение остаточной деформации и остаточного увеличения объема, что означает резкое увеличение хрупкости и снижение энергоемкости разрушения каменной соли. Данный эффект является важным в проблеме горных ударов.

Полученные результаты в опытах с природной каменной солью являются новыми и поэтому заслуживают дальнейшего детального изучения. Каменная соль была размолота, а размолотая масса фракционировалась с помощью системы стандартных сит. Было отобрано три фракции с размером зерен $d \leq 0{,}24$ мм, $d = 0{,}34$-$0{,}7$ мм и $d = 1{,}1$-$2{,}1$ мм. Из этих фракций в пресс-форме при давлении 200-300 МПа и гидростатическом давлении 700 МПа формировались образцы в виде кернов диаметром 30 мм и длиной 80 мм. После прессования плотность образцов равнялась плотности монокристаллов соли. Прессованные образцы испытывались по методике испытаний природной каменной соли.

Результаты опытов с прессованными образцами (см. рис.2), изготовленными из фракций $d \leq 0{,}24$ мм, $d = 0{,}34$-$0{,}7$ мм и d = 1,1-2,1 мм, изображены лучами 2, 3 и 4 соответственно. Экспериментальные точки легли на единые лучи, находящиеся в полном согласии с кинетическим уравнением (1). Лучи 2, 3 и 4 выходят из одного общего полюса, который является общим и для природной каменной соли. Наклон лучей определяется структурно-чувствительным коэффициентом γ. Прочность искусственных образцов зависит от размера зерен фракций: с уменьшением размера зерен прочность возрастает. Серия образцов из смеси трех фракций (по 33 % весовых образцов каждой фракции) была изготовлена путем прессования. Результаты, полученные на образцах из смеси (см. рис.2), показаны линией 5, существенно отличающейся от

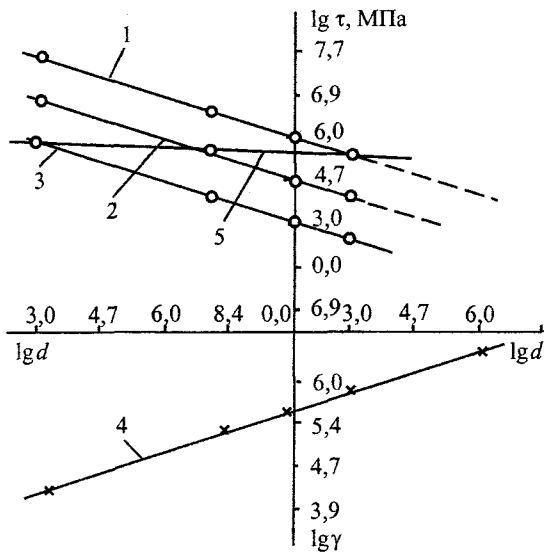


Рис.4. Зависимости прочности искусственных образцов каменной соли от размера частиц и скоростей деформирования

лучей 2, 3 и 4: роста прочности практически не установлено. Причина полученного различия кроется в увеличении разброса размера зерен смеси примерно в 10 раз (от 0,24 до 2,1 мм). В процессе деформации в диапазоне высоких скоростей в образцах смеси происходит отбор фракций: фракции 0,24, 0,7, 2,1 мм дают результаты, совпадающие с лучами 2, 3, 4 соответственно. Зависимость 5 качественно аналогична зависимости 1, полученной на природной каменной соли. В полных логарифмических координатах изображены зависимости прочности искусственных образцов каменной соли от размера частиц d и скоростей деформирования (рис.4). Линия 1 построена для скорости $\dot{\varepsilon} = 0{,}5\ с^{-1}$, линия 2 – для скорости $\dot{\varepsilon} = 10^{-3}\ с^{-1}$, линия 3 – для скорости $\dot{\varepsilon} = 10^{-5}\ с^{-1}$. Линия 4 представляет зависимость структурно-чувствительного коэффициента γ в уравнении (1) от размера частиц a. Зависимость 5 (рис.4) описывает прочность образцов, изготовленных из смеси 3-х фракций. Логарифмы скоростей указаны на графике. Изображенные на рис.4 зависимости хорошо описываются уравнениями

$$\tau_п = Kd^{в}; \qquad (2)$$

$$\gamma_п = K_1 d^{-в}, \qquad (3)$$

где K, K_1, $в$, $-в$ – константы, зависящие от свойств горной породы; константы $в = -в$ определяют наклон.

Уравнение (2) аналогично уравнению Вейбулла в его статической теории масштабного эффекта (1939):

$$\tau_п = LV^{1/m}, \qquad (4)$$

где L и m постоянные константы, V – объем образца.

Скорость деформации и структура в теории Вейбулла не рассматриваются.