

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент Академии наук СССР В. Д. КУЗНЕЦОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ ШКАЛЫ ТВЕРДОСТИ МЕТОДОМ
ВЗАИМНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Минералогической шкале твердости посвящено большое число исследований, часть которых изложена в книге Л. А. Шрейнера (1). В этих исследованиях были применены различные методы для определения твердости минералов. Однако ход твердости минералов от талька до алмаза оказался весьма различным, т. е. оказалась весьма различной твердость разных минералов относительно, например, твердости кварца. Попытка заменить чисто условную твердость шкалы Мооса какой-либо рациональной физической величиной не увенчалась успехом.

Нами был теоретически разработан и применен к различным случаям метод взаимного шлифования (2). Этот метод, конечно, без теоретической разработки, был описан еще в 1911 г. шведским исследователем Хольмквистом, но не получил распространения, вероятно, потому, что при сравнении со шкалой Мооса дал обратный ход твердости для талька и гипса, для флюорита и апатита, для кварца и топаза. Хольмквист при взаимном шлифовании двух минералов пользовался густой водной суспензией абразива.

Наша задача заключалась в том, чтобы исследовать методом взаимного шлифования минералы шкалы Мооса с подсыпкой сухого абразива, чтобы исключить влияние воды. В качестве абразива мы пользовались зеленым карборундом КЗ-100.

Все минералы мы взаимно шлифовали от руки с куском прозрачного стеклообразного кварца, у которого была предварительно сошлифована одна плоскость. Из опытов непосредственно определялось отношение масс, сошлифованных с двух кристаллов. Теоретической характеристикой является отношение сошлифованных объемов. Поэтому были определены методом взвешивания в воздухе и в воде плотности исследуемых минералов (см. табл. 1).

Таблица 1

№ по шкале Мооса . . .	Плотности минералов							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Минерал	Гипс	Кальцит	Флюорит	Апатит	Полев. шпат	Кварц	Топаз	Корунд
Плотность	2,38	2,76	3,18	3,15	2,59	2,59	3,68	3,86

Мы получили следующие результаты.

Корунд (Al_2O_3). Кристалл корунда принадлежит к тригональной системе. В нашем распоряжении был природный, непрозрачный, серо-коричневый с синеватым оттенком кристалл с Ильменских гор Миасского района (Урал). Кристалл представлял собой достаточно хорошо образованную гексагональную призму толщиной около 10 мм с расстоянием между параллельными гранями призмы около 20 мм. Одна

грань пинакоида представляла совершенную плоскость. По этой плоскости и производилось шлифование с кварцем.

Получились хорошо совпадающие отдельные значения отношения сошлифованной массы кварца к массе корунда. Из полных потерь веса в граммах мы получили $\frac{M_{\text{кварц}}}{M_{\text{корунд}}} = \frac{0,0486}{0,0364} = 1,33$, откуда, принимая во внимание

плотности, для отношения объемов имеем $\frac{V_{\text{кварц}}}{V_{\text{корунд}}} = 1,33 \frac{3,86}{2,59} = 1,98$.

Следовательно, если твердость H кварца примем за 1000, то

$$H_{\text{корунд}} = 1980.$$

Топаз $[\text{Al}(\text{F}, \text{OH})_2 \text{AlSiO}_4]$ принадлежит к ромбической системе. Кристалл топаза огранен ромбической дипирамидой и ромбическими призмами. Он имеет совершенную спайность по плоскости пинакоида $\{001\}$. В продажных наборах шкалы твердости топаз представлен обыкновенно в виде пластинок, сколотых по $\{001\}$. Перпендикулярно плоскости скола расположены грани ромбических призм. При испытании твердости царапание производится боковыми гранями призм. В нашем распоряжении было несколько пластинок топаза, сколотых по грани $\{001\}$. Площадь каждой пластинки равнялась 1—1,5 см², а толщина — около 2 мм. Некоторые пластинки имели хорошо выраженные грани призмы.

Взаимное шлифование топаза по грани $\{001\}$ с кварцем дало отношение масс $\frac{M_{\text{топаз, } \{001\}}}{M_{\text{кварц}}} = \frac{0,0146}{0,0092} = 1,59$; отсюда $\frac{V_{\text{топаз, } \{001\}}}{V_{\text{кварц}}} = 1,59 \frac{2,59}{1,12} = 1,12$.

Следовательно, твердость по шлифованию грани пинакоида топаза относительно кварца равна

$$H_{\text{топаз, } \{001\}} = \frac{1000}{1,12} = 893.$$

Таким образом, оказалось, что твердость грани пинакоида топаза меньше, чем твердость кварца, хотя топаз в шкале помещен под № 8, а кварц под № 7. Оказалось, что острый кусок кварца может производить царапину по грани пинакоида топаза.

Для выяснения этого парадокса было произведено взаимное шлифование грани пинакоида с гранью призмы двух кристаллов топаза.

Получилось $\frac{M_{\text{пинакоид}}}{M_{\text{призма}}} = \frac{V_{\text{пинакоид}}}{V_{\text{призма}}} = 1,55$, откуда, по закону, изложенному в предыдущих статьях, вытекает:

$$\frac{V_{\text{топаз, призма}}}{V_{\text{кварц}}} = \frac{V_{\text{топаз, призма}}}{V_{\text{топаз, пинакоид}}} \frac{V_{\text{топаз, пинакоид}}}{V_{\text{кварц}}} = \frac{1,12}{1,55} = 0,723.$$

Следовательно, твердость грани призмы топаза относительно кварца

$$H_{\text{топаз, призма}} = \frac{1000}{0,723} = 1380.$$

Из этого вытекает, что если взять такой осколок топаза, у которого острие оканчивается гранью пинакоида, то он не царапает кварц, если же острие совпадает с гранью призмы, то царапанье происходит. Этим разрешается противоречие в опытах Хольмквиста.

Полевой шпат ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). В нашем распоряжении был минерал розового полевого шпата из продажного набора шкалы твердости. Минерал представлял собой кусок с двумя параллельными плоскостями, совпадающими с плоскостями спайности. Однако эти плоскости не были совершенными, а состояли из отдельных частей.

Отношение масс оказалось равным $\frac{M_{\text{пол. шпат}}}{M_{\text{кварц}}} = 2,18$ и отношение объемов $\frac{V_{\text{пол. шпат}}}{V_{\text{кварц}}} = 2,18 \frac{2,59}{2,59} = 2,18$.

Следовательно, твердость плоскости спайности полевого шпата относительно кварца равна

$$H_{\text{пол. шпат}} = \frac{1000}{2,18} = 458.$$

Апатит $[\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3]$ принадлежит к гексагональной системе. В нашем распоряжении был непрозрачный, бледнозеленого цвета кристалл в виде гексагональной призмы. Шлифование с кварцем производилось гранью призмы, размером $12 \times 15 \text{ мм}^2$.

Для отношений получилось

$$\frac{M_{\text{апатит, призма}}}{M_{\text{кварц}}} = 5,10, \quad \frac{V_{\text{апатит, призма}}}{V_{\text{кварц}}} = 5,10 \frac{2,59}{3,15} = 4,20.$$

Следовательно, твердость по шлифованию относительно кварца

$$H_{\text{апатит, призма}} = \frac{1000}{4,20} = 238.$$

Для другого кристалла апатита, сколотого по плоскости спайности, не совпадающей с плоскостью пинакоида, получилось

$$H_{\text{апатит, спайность}} = 394.$$

Плавиновый шпат или флюорит (CaF_2) принадлежит к кубической системе. Кристаллы имеют очень несовершенную спайность по {111}. Повидимому, кристаллы не обладают анизотропией по шлифованию.

$$\text{Опыты дали } \frac{M_{\text{флюорит}}}{M_{\text{кварц}}} = \frac{0,2558}{0,0389} = 6,57, \quad \frac{V_{\text{флюорит}}}{V_{\text{кварц}}} = \frac{6,57 \cdot 2,59}{3,18} = 5,35.$$

Следовательно,

$$H_{\text{флюорит}} = \frac{1000}{5,35} = 187.$$

Кальцит (CaCO_3) относится к тригональной системе. Кристалл имеет весьма совершенную плоскость спайности по {100}. Шлифование кальцита с кварцем производилось по плоскости спайности.

$$\text{Оказалось: } \frac{M_{\text{кальцит, \{100\}}}}{M_{\text{кварц}}} = \frac{0,1231}{0,0122} = 10,9, \quad \frac{V_{\text{кальцит, \{100\}}}}{V_{\text{кварц}}} = 10,9 \frac{2,59}{2,76} = 10,2.$$

Следовательно,

$$H_{\text{кальцит, \{100\}}} = \frac{1000}{10,2} \approx 100.$$

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) принадлежит к призматическому классу моноклинной системы. Природный кристалл гипса представляет комбинацию второго пинакоида {010}, ромбической призмы третьего рода {110} и ромбической призмы четвертого рода {111}. Он имеет весьма совершенную спайность по {010}, ясную спайность по {111} и несовершенную по {100}.

Кристалл гипса плоскостью {010} взаимно шлифовался с кварцем.

$$\text{Оказалось, что } \frac{M_{\text{гипс, \{010\}}}}{M_{\text{кварц}}} = 16,8, \quad \frac{V_{\text{гипс, \{010\}}}}{V_{\text{кварц}}} = 16,8 \frac{2,59}{2,38} = 18,3.$$

Следовательно,

$$H_{\text{гипс, \{010\}}} = \frac{1000}{18,3} = 55.$$

Это значение является чисто условным, так как кристалл гипса обладает значительной анизотропией при шлифовании (⁴), если шлифование производить при возвратно-поступательном движении. В нашем случае производилось круговое эксцентрическое движение, следовательно, анизотропия не сказывалась.

Таким образом, при взаимном шлифовании минералов шкалы твердости мы получили правильное расположение минералов по сошлифованным объемам. При этих опытах мы выявили, что различные грани одного и того же кристалла при круговом эксцентрическом взаимном шлифовании с кварцем сошлифовываются неодинаково. Следовательно, нельзя говорить о какой-то определенной твердости данного кристалла, а можно говорить только о твердости какой-то определенной грани кристалла. Если же шлифовать не круговым, а возвратно-поступательным движением, то можно говорить о твердости по шлифованию какой-то определенной грани кристалла по какому-то определенному кристаллографическому направлению. Для одних кристаллов, например для гипса, слюды, анизотропия при шлифовании проявляется значительно, для других кристаллов, например для алюмо-калиевых квасцов, кварца, она совсем не проявляется. Теперь мне понятно, почему различные авторы, исследовавшие минералы шкалы Мооса методом шлифования, получили весьма различные результаты. Оказывается, что так примитивно подходить к методу шлифования, как это делалось до сих пор, невозможно.

Шлифование можно рассматривать как сумму царапаний. Если твердость по шлифованию различна для разных граней и разных кристаллографических направлений, то и твердость по царапанию должна быть также различна. Такие розетки твердости по царапанию действительно построены для некоторых кристаллов.

Сибирский физико-технический институт
при Томском государственном университете
им. В. В. Куйбышева

Поступило
10 X 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. А. Шрейнер, Твердость хрупких тел, 1949. ² В. Д. Кузнецов, ДАН, 84, № 5 (1952); 84, № 6 (1952); 85, № 1 (1952); 85, № 4 (1952).
³ P. J. Holmquist, Geol. Fören. Stockholm Forhandl., 23, Н. 5, 281 (1911); 36, Н. 6, 404 (1914). ⁴ В. Д. Кузнецов, ДАН, 85, № 1 (1952).