Механические свойства минералов

Твердость, спайность, отдельность, упругость, сжимаемость, пластичность, хрупкость, ковкость и др.

Твердость – основная физическая характеристика минерала

Твердость – степень сопротивления минерала какому-либо внешнему воздействию (царапание другим телом,вдавливание другого предмета, сверление, шлифование и др.

различные методы определения твердости → различные результаты

Твердость минералов – сложное свойство, которое зависит от

- **кристаллохимических параметров** (кристаллическая структура минерала, валентность катионов, тип химической связь в минерале)

- **механических свойств** (упругость, пластичность, хрупкость, наличие дислокаций)

У минералов переменного состава твердость зависит от концентрации изоморфных примесей

Способы определения твердости

Метод царапания и Метод вдавливания

Метод царапания

Твердость царапания – относительная твердость, выражается в баллах

1811 год – создание шкалы Мооса

1 тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$
2 гипс $CaSO_4x2H_2O$
3 кальцит $CaCO_3$
4 флюорит CaF_2
5 апатит $Ca_5(PO_4)_3F$
6 ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$
7 кварц SiO_2
8 топаз $Al_2[SiO_4]F_2$
9 корунд Al_2O_3
10 алмаз C

Метод вдавливания

Минерал сопротивляется деформации при вдавливании в него предмета определенной формы – сферы (методы Бринелля и Роквелла), конуса (метод Роквелла) или пирамиды (метод Виккерса и Кнупа)

Метод статического микровдавливания

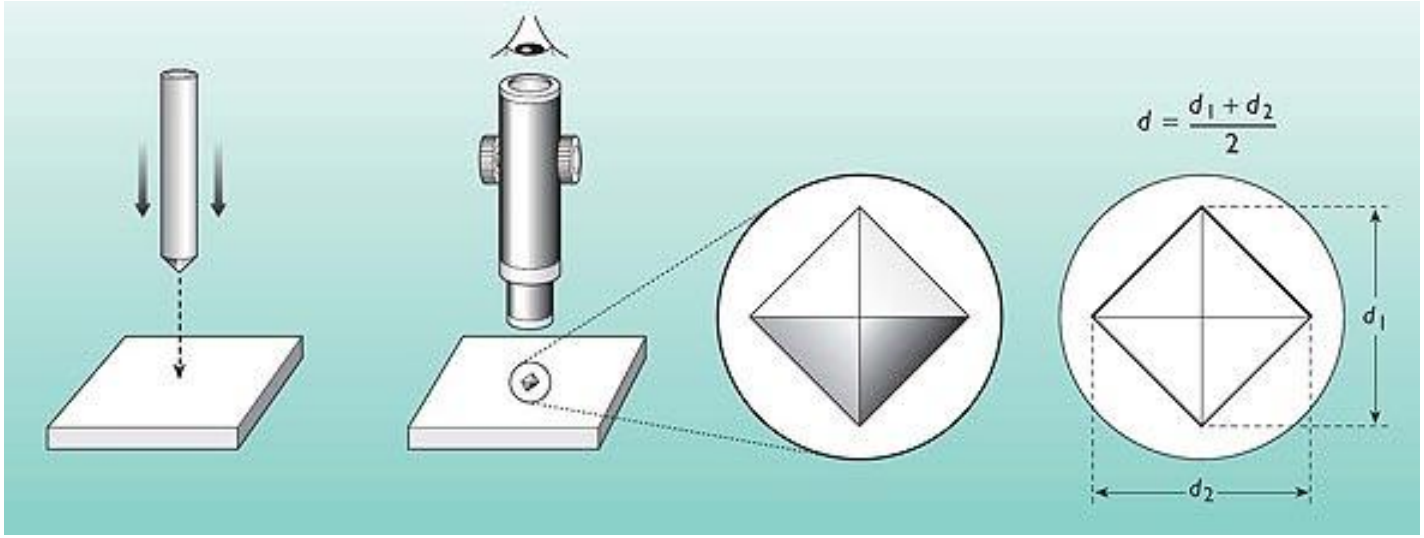
Заключается в свободном погружении под нагрузкой предмета и выдерживании его в течении некоторого времени

Результат – получение отпечатка на поверхности минерала

Твердость вдавливания – абсолютная, обозначается Н и выражается в кг/мм^2

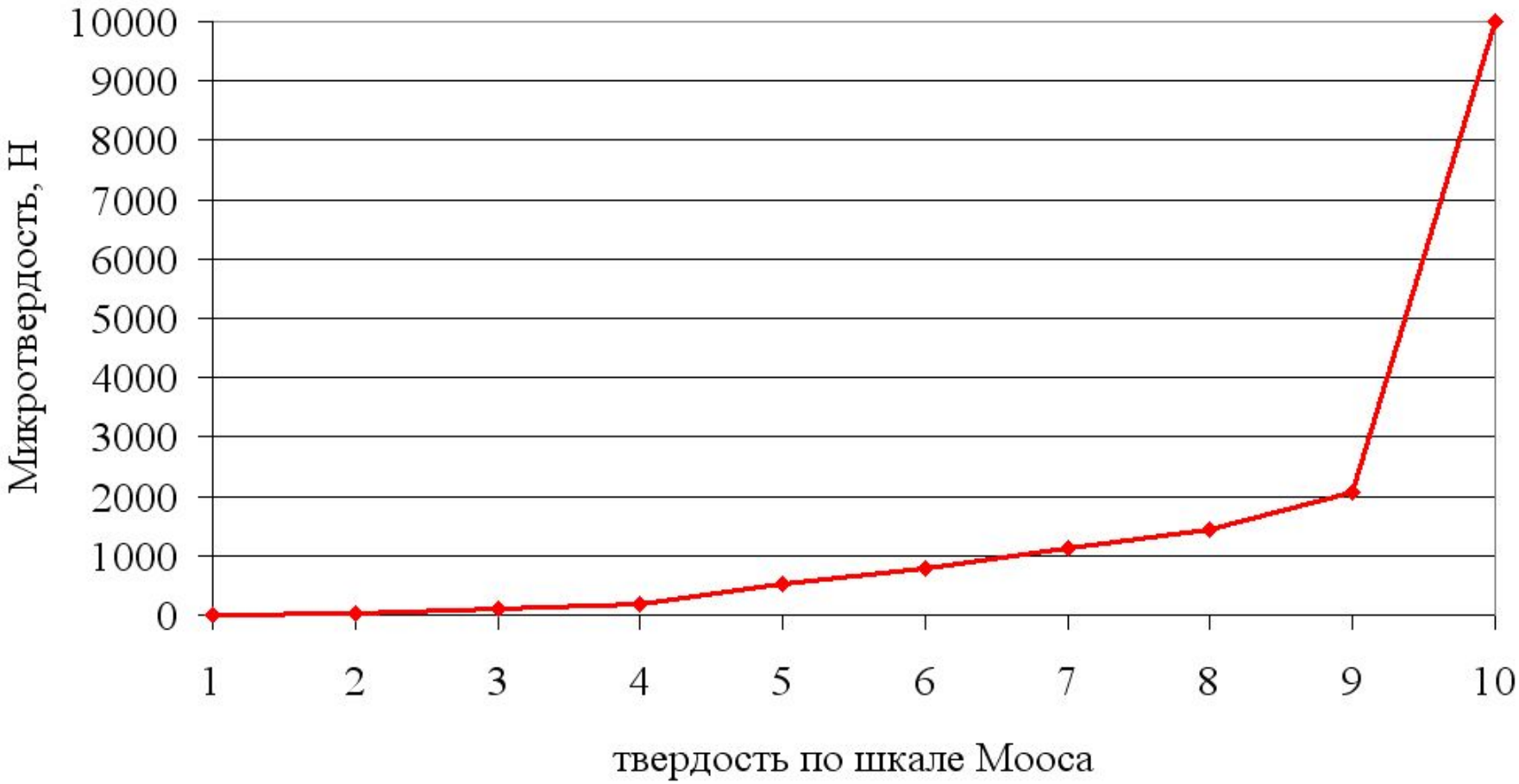
Для измерения микротвердости обычно используется четырехгранная алмазная пирамида

метод Виккерса



Сопоставление относительной и абсолютной твердости

Шкала Мооса	Микротвердость H (кг/мм^2)
1	2
2	36
3	109
4	189
5	536
6	795
7	1120
8	1427
9	2060
10	10060



Шкала Мооса не равномерная
большая разница твердости между минералами

15-бальная шкала твердости – **класс твердости** не связана с минералами-эталонами

Вычисляется по формуле $H_0 = 0.675\sqrt{H}$

Шкала Мооса	Микротвердость H (кг/мм^2)	**Класс твердости H_0**
1	2	0.9
2	36	2.2
3	109	3.2
4	189	3.9
5	536	5.5
6	795	6.2
7	1120	7.0
8	1427	7.6
9	2060	8.6
10	10060	14.6

Анизотропия твердости минералов

Минералам ствойственна различная твердость в зависимости от кристаллографического направления

Может быть разной на различных гранях кристаллов, срезах кристаллов, по различным направлениям в пределах одной грани или среза

Кианит $Al_2(SiO_4)O$

Твердость
по удлинению – 4.5-5
$\perp$ удлинению - 7

Два рода анизотропии твердости

1 – полярная, изменяется в пределах одной плоскости (грани) в зависимости от направления

2 – ретикулярная, связана с атомной плотностью грани кристалла, различна на разных гранях и сечениях кристаллов

Коэффициент анизотропии твердости минерала

$$К_Н = H_{max}/H_{min}$$

H_{max} и H_{min} – максимальное и минимальное значение твердости

величена относительная и всегда больше единицы

Измерение микротвердости минерала

1 – изготовление препарата
(полированный шлиф / аншлиф)

2 – регулировка прибора

3 – выбор нагрузки, вдавливание
пирамиды для получения отпечатка

4 – измерение отпечатка,
вычисление микротвердости

5 – обработка результатов

Приборы для измерения микротвердости минерала

Микротвердометры Виккерса
и Кнупа

Компании изготовители
Carl Zeiss
Leco
Zwick / Roell
Emco Test

Россия
рабочая лошадка с 50-х гг ПМТ-3

1 – изготовление препарата

2 – регулировка прибора

- центрировка прибора
- определение цены деления окуляр-микрометра
- регулировка нагружающего механизма
- регулировка прибора по контрольному эталону

3 – установка образца

4 – выбор нагрузки

Нагрузка выбирается в соответствии с предполагаемой твердостью минерала, так что бы размер диагонали отпечатка составлял 15-25 микрон

Для мелких выделений минералов диагональ отпечатка может быть меньше 8-12 микрон (при таких измерениях твердость должна восприниматься как ориентировочная!)

Оптимальные нагрузки при измерениях минералов различной твердости

Шкала Мооса	Микротвердость H (кг/мм^2)	Нагрузка (г)
1- 1.5	7 - 30	3 - 5
1.5 - 2	30 - 60	5 - 10
2 - 3	60 - 120	10 - 20
3 - 4	120 - 200	20 - 30
4 - 4.5	200 - 350	30 - 50
4.5 - 5	350 - 550	50 - 100
5 - 6	550 - 800	100 – 150*
6 - 7	800 - 1100	100 – 200*
> 7	> 1100	150 – 200*

* для хрупких минералов используют нижнее значаниенагрузки

5 – вдавливание алмазной пирамиды

- в течении примерно 15 сек производится медленное опускание и вдавливание пирамиды
- в течении примерно 5-10 сек (2-5 сек для хрупких минералов) происходит статическое давление пирамиды
- снятие нагрузки (подъем пирамиды)

6 – измерение отпечатка

7 – вычисление микротвердости

$$H = P_{\text{нагрузка, кг}} / F_{\text{площадь, мм}}$$

$$H = 1854P/d^2 \text{ кг/мм}^2$$

P – нагрузка в граммах
d – длина диагонали отпечатка в микронах

Трещиноватость минерала

В зависимости от структуры минерала и прикладываемой нагрузки вокруг отпечатка можно наблюдать трещины нескольких типов

- вертикальные или глубинные трещины хрупкого разрыва

- трещины поверхностного выкрашивания

- горизонтальные трещины под отпечатком, идущие параллельно поверхности образца

- паралельные трищины, ориентированные определенным образом по отношению к отпечатку

Применяя различную нагрузку можно оценить
степень прочности и совершенства спайности

Шкала прочности минералов

балл	степень хрупкости	нагрузка	минерал
1	весьма хрупкий	< 20 г	пирит, гипс
2	хрупкий	20 – 50 г	блеклые руды
3	слабо пластичный	50 – 100 г	кварц, пирротин
4	пластичный	100 – 200 г	магнетит
5	весьма пластичный	> 200 г	галенит, галит

Степень совершенства спайности

балл	степень совершенства	мин нагрузка	минерал
1	весьма совершенная	< 20 г	флогопит, гипс
2	совершенная	20 – 50 г	вольфрамит
3	средняя	50 – 100 г	топаз
4	несовершенная	100 – 200 г	везувиан
5	весьма несовершенная	> 200 г	кварц

Данными характеризующими хрупкость и спайность
Является первый отпечаток, при котором появились трещины

Применение метода микровдавливания при минералогических исследованиях

1 – характеристика новых минералов и искусственных соединений

2 – диагностика минералов

3 – изучение изменчивости химического состава

4 – изучение анизотропии твердости и упругих свойств монокристаллов, неоднородности, зональности и дислокаций в кристаллах

5 – влияние твердости на технологические показатели обогащения руд

Публикации

Физика твердого тела, 2000, том 42, вып. 5

Анизотропия и масштабный эффект в микротвердости кристаллов сверхпроводящих фаз на основе висмута

© *В.Н. Осипов, В.Н. Гурин, Л.И. Деркаченко, И.Н. Зимкин*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Поступила в Редакцию 12 июля 1999 г.
В окончательной редакции 18 октября 1999 г.)

Проведены исследования микротвердости на плоскости (001) ограненных кристаллов фаз $Bi_2Sr_2CuO_6$ (2201) и $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ (2212) с использованием индентора Кнупа. Выявлены особенности влияния на микротвердость ориентации индентора относительно граней кристалла, наличия свинца в структуре и величины нагрузки на индентор (масштабный эффект). Обнаружено, что наибольшую зависимость величины микротвердости от перечисленных выше факторов испытывают кристаллы фазы 2212.