

МИНЕРАЛОГИЯ

Н. Ю. ИКОРНИКОВА

МИКРОТВЕРДОСТЬ РЕАЛЬНОГО КРИСТАЛЛА НА ПРИМЕРЕ БРУКИТА*(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 4 I 1948)*

Метод определения твердости вдавливанием алмазной пирамиды был применен Винчелом⁽⁵⁾ для исследования минералов шкалы Мооса с учетом их анизотропии.

Настоящая работа является попыткой: 1) показать специфическую особенность твердости реального кристалла и 2) дать исследование изменения твердости брукита в связи с его морфологическими чертами.

Для этой цели впервые для минералов применен метод М. М. Хрущева и Е. С. Берковича⁽³⁾. Этот метод осуществляет исследование микротвердости вдавливанием алмазной пирамиды квадратного сечения. Число твердости H определяется по формуле:

$$H = 1,854 p/d^2,$$

где p — нагрузка в г; d — длина диагонали восстановленного стпечатка в μ ; число $1,854 = 2 \sin \frac{\alpha}{2}$, где α — вершинный угол алмазного индентора, равный 136° .

Детальное изучение микротвердости на приборе М. М. Хрущева и Е. С. Берковича нами производилось для брукита* и искусственного корунда, а также для нескольких сортов стекол. Кроме того, предварительные испытания были проведены на кристаллах апатита, флуорита, сфена, анатаза и дистена.

Работа велась при 400-кратном увеличении. Длина диагонали измерялась с точностью до 0,6 μ . Вдавливание алмазной пирамиды производилось с определенной скоростью: спуск индентора совершался в течение 15 сек., препарат находился под нагрузкой в течение 5 сек.

Основная, общая характерная особенность, которая обращает на себя внимание при исследовании всех упомянутых выше реальных кристаллов, это значительная неоднородность твердости. В разных участках кристалла, которые по морфологическим признакам мы считаем однородными и лишенными дефектов** (однородные участки пирамиды роста или зоны с одинаковой интенсивностью окраски и пр.), наблюдается часто резкое различие твердости. Это различие проявляется в том, что при одной и той же нагрузке и скорости спуска индентора в соседних точках кристалла на расстояниях, измеряемых единицами и десятками микрон, получаются отпечатки заметно разной величины.

* Образцы получены от д-ра Г. Г. Леммлейна.

** В чем мы убеждаемся, просматривая образцы в проходящем свете при 500 и 600-кратных увеличениях.

Чаще всего такая резкая смена твердости в близких друг к другу точках не имеет постепенного перехода. Характерна на протяжении поля зрения перемежаемость таких

отпечатков, создающая картину, изображенную на рис. 1, а. Степень неоднородности твердости выражается в различии величины отпечатков и в числе разных отпечатков, приходящемся на единицу площади. Размеры диагоналей отпечатка отличаются нередко на 5—6 μ .

Исследование разных сортов стекол, напряженных и ненапряженных, показывает, что для них неоднородность твердости несколько иная, хотя в напряженных стеклах некоторая неоднородность проявляется: 1) разница в размерах отпечатков обычно не превышает 2 μ ; 2) изменение твердости происходит обычно на сравнительно больших расстояниях.

Характерная для кристаллов неоднородность твердости связана с тем, что различные точки монокристалла находятся в разном напряженном состоянии (в материалах, подвергнутых упругой деформации, твердость меньше ⁽²⁾). Такая микроскопическая сеть разнородных напряжений, имеющая место в тончайших слоях кристалла, не может быть обнаружена обычными оптическими методами.

Эта картина неоднородной твердости реального кристалла непосредственно связана с непараллельной ориентировкой агрегатных молекул, имеющей место во время роста кристалла из лабильного раствора ⁽⁴⁾.

Непосредственно около включений (например пузырей воздуха) и линзообразных трещин обычно наблюдается сильно пониженная твердость, что объясняется, как известно, увеличенным напряжением в этих точках ⁽¹⁾. При наличии мельчайших трещин (порядка нескольких микрон), встречающих отпечатки, у последних наблюдаются сколотые края. Характерны также в реальных кристаллах отпечатки с искривленной формой (рис. 1, б).

В реальном кристалле изменение твердости, связанное с анизотропией, химическим составом и даже изменением нагрузки, часто лежит в пределах того разброса величин твердости,

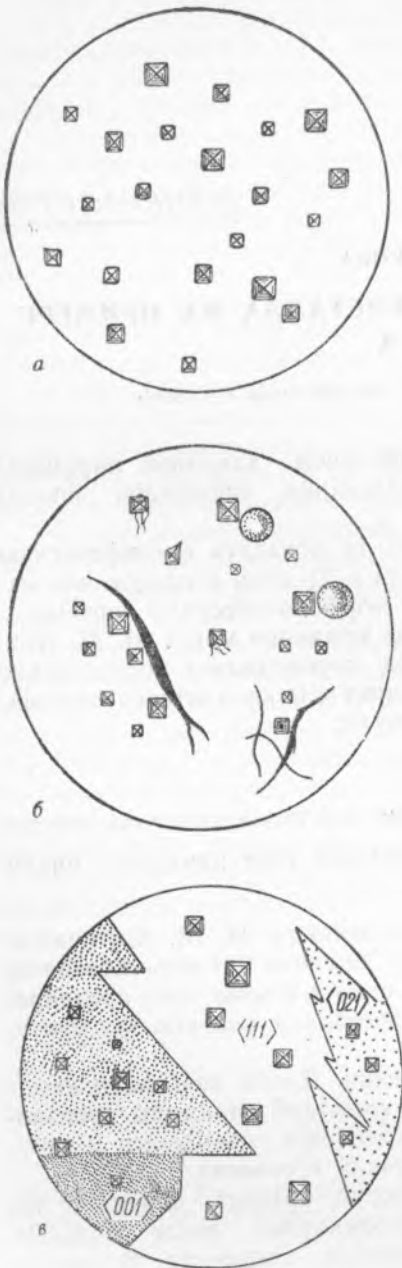


Рис. 1. а — неоднородность твердости реального кристалла, обусловленная дезориентированностью агрегатных молекул; наблюдается в местах, где при 500- и 600-кратных увеличениях не обнаруживаются дефектов; $p = 100$ г (корунд); б — изменение твердости в кристалле вблизи пузырей и трещин; $p = 100$ г (корунд); в — влияние примесей на твердость брукита; $\langle 001 \rangle$ — черная окраска, $\langle 021 \rangle$ — зеленая, $\langle 111 \rangle$ — желтая. $\times 200$

о котором говорилось выше. Поэтому в таких случаях приходится прибегать к статистическому методу.

В бруките распределение химических примесей связано с морфологическими элементами кристалла. Пирамиды роста $\langle 001 \rangle$ и $\langle 021 \rangle$ окрашены в зеленый цвет, распределяющийся по зонам с разной интенсивностью. В $\langle 001 \rangle$ он иногда доходит до черного. Остальные пирамиды роста однотонно окрашены в светложелтый цвет. Химический состав этих красок различен. Для выявления влияния разного количественного содержания зеленой примеси на твердость брукита были построены кривые Гаусса для желтых участков кристалла, зеленых пирамид роста $\langle 021 \rangle$ и черных $\langle 001 \rangle$. Для каждого участка эти кривые строились при нагрузках 30, 50 и 70 г. Для этих трех нагрузок были получены сходные результаты.

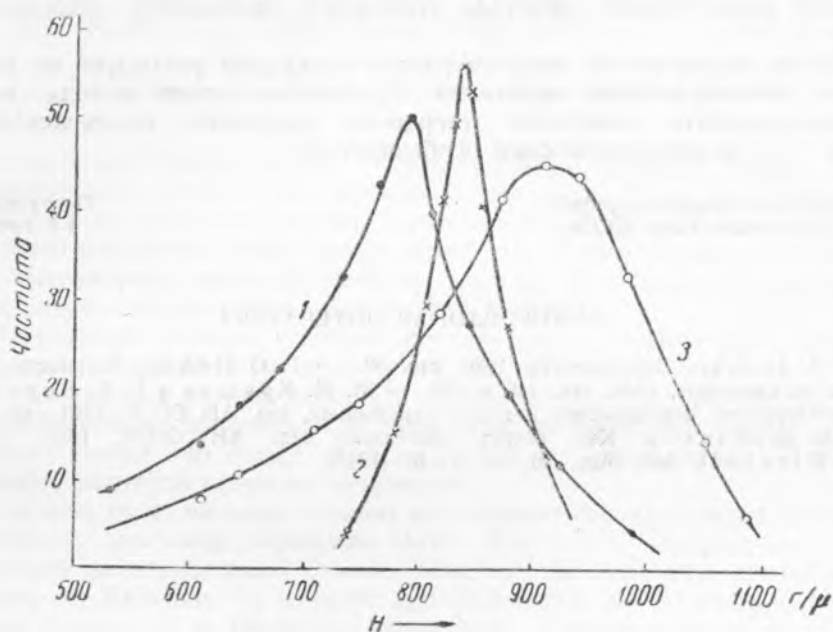


Рис. 2. Кривые Гаусса: 1 — для желтых участков. 2 — для зеленых. 3 — для черных

На рис. 2 изображены кривые Гаусса при нагрузке 50 г. При построении этих кривых на оси абсцисс откладывалась величина твердости, а по оси ординат — частота случаев для каждой измеренной величины. Пик кривой Гаусса определяет наиболее частую и характерную твердость для данного участка. Форма кривой указывает на степень разброса, т. е. на степень неоднородности. Пологие кривые свидетельствуют о большой величине разброса, крутые — о малой. Кривые с широкой вершиной указывают на то, что разница в частоте случаев для разных величин твердости невелика и что, следовательно, разброс довольно постоянный.

Расположение кривых Гаусса на рис. 2 показывает, что для желтых участков брукита наиболее характерна твердость 795 г/μ, для зеленых 840 г/μ и, наконец, черные пирамиды роста характеризуются величиной твердости 910 г/μ. Одновременно с этим оказалось, что во всех трех случаях несколько различна степень неоднородности и что разница в твердости за счет неоднородности перекрывает влияние примеси.

Все эти три кривые имеют разную форму. Желтые участки кристалла характеризуются значительной неоднородностью — колебания в твердости от 532 до 1005 г/μ. Вместе с тем отчетливо выделяется максимум

при $H = 795$ г/μ. Кривая для участков зеленого цвета отличается круто падающими ветвями и узким пиком вершины. Колебания в пределах 740—940 г/μ. Это свидетельствует о том, что зеленые участки более однородны, чем остальные. Для черных пирамид роста имеет место наибольший разброс и широкая вершина кривой. Крайние значения разброса 532 и 1072 г/μ.

Таким образом, по мере увеличения интенсивности зеленой окраски твердость брукита возрастает. Это обстоятельство находится в соответствии с той закономерностью, которая установлена для металлов: если какая-либо примесь входит в кристалл в виде твердого раствора, то твердость кристалла повышается ((²), стр. 216). Степень однородности меняется иначе. До определенного предела концентрации зеленой примеси однородность кристалла повышается, затем падает, и при максимальной концентрации кристалл отличается наибольшей неоднородностью.

Метод определения микротвердости прекрасно реагирует на самые тонкие неоднородности кристалла. С помощью этого метода можно охарактеризовать изменение твердости реального монокристалла в связи с его морфологическими особенностями.

Институт кристаллографии
Академии Наук СССР

Поступило
4 I 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Надаи, Пластичность, 1936, стр. 89. ² Г. О'Нейль, Твердость металлов и ее измерение, 1940, стр. 146 и 216. ³ М. М. Хрущев и Е. С. Беркович, Микротвердость, определяемая методом вдавливания, изд. АН СССР, 1943, стр. i—58. ⁴ А. В. Шубников, Как растут кристаллы, изд. АН СССР, 1935, стр. 74. ⁵ H. Winchell, Am. Min., 30, No. 9—10 (1945).