Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 5, 47—52, 1969

А. А. АВАКЯН

О ТВЕРДОСТИ ПИРИТА МЕДНЫХ И ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД АРМЯНСКОЙ ССР

Твердость минерала является механическим проявлением его кристаллохимических особенностей — типа и прочности химических связей, межатомных расстояний, валентности атомов, их координационного числа и др. Работами ряда авторов доказано, что величина твердости минералов зависит от условий проявления этих особенностей. Для некоторых минералов экспериментально установлена зависимость величины твердости от следующих факторов: механической неоднородности зерен, изменения состава и структуры вследствие окисления и выветривания (С. И. Лебедева, 1963), неоднородности состава зерен вследствие зонального и секториального поглощения примесей (Е. В. Цизерлинг, 1948), содержания изоморфных примесей (Н. Ю. Икорникова, 1948) и т. д.

Настоящая статья посвящена исследованию твердости пиритов некоторых сульфидных месторождений Армянской ССР в связи с условиями их отложения.

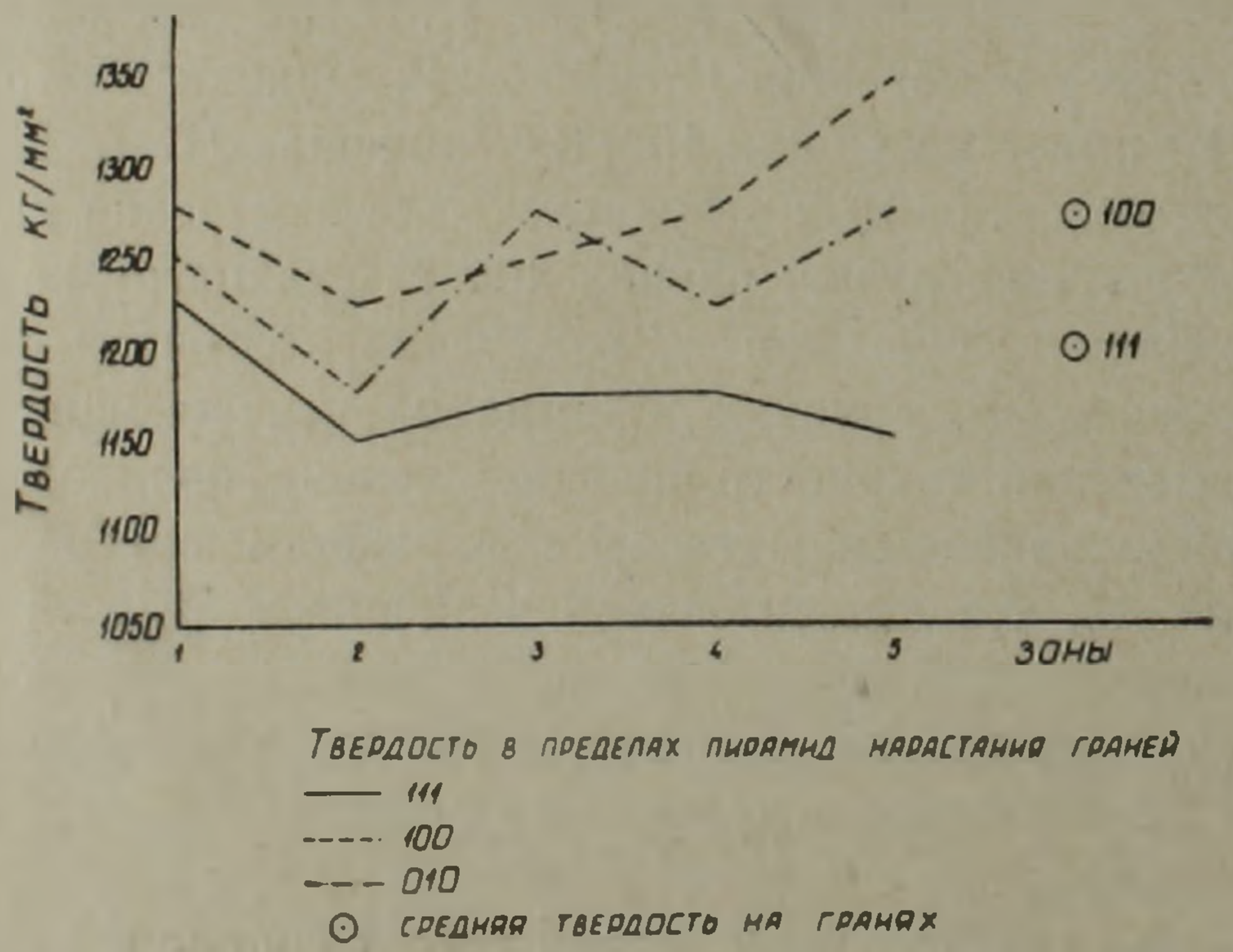
Испытания твердости пирита проводились методом вдавливания алмазной пирамидки, на микротвердомере ПМТ-3 с соблюдением тождественности условий измерения. Наименьшая ошибка измерения диагонали отпечатка имеет место при 10—100 микронах (В. А. Егоров, 1950). Для получения сопоставимых результатов все измерения нами проведены при постоянной нагрузке, равной 100 г. Эта нагрузка для пирита обеспечивает наименьшую ошибку измерения диагонали отпечатка, не вызывая, в то же время, хрупких деформаций, искажающих ее истинную величину. Измерения твердости проводились на полированной, затем протравленной одинаковым методом поверхности минерала. Это дает основание считать, что относительная величина твердости испытуемых образцов не нарушается. Во избежание влияния на величину твердости размера зерен, трещин, включений и других случайных факторов, отпечатки от них удалялись не менее, чем на расстояние 5 d (d—длина диагонали отпечатка).

При решении поставленной задачи встает вопрос вариации величины твердости на различных плоскостях минерала, обусловленной анизотропией этого свойства. Полярная анизотропия твердости заключается в изменении величины твердости с изменением направления испытания, обусловленной различием межатомных расстояний в этих направлениях. Полярная анизотропия сильно проявляется у твердых минералов (А. С. Поваренных, 1963). Для определения анизотропии твердости атомы Fe и гантели S—S в известном смысле можно считать тождественными. В таком случае структура пирита оказывается тождественной с простой кубической решеткой. Полярная анизотропия твердости минерала с та-

кой решеткой, исходя из межатомных расстояний, должна быть наименьшей на гранях куба и параллельных ей плоскостях, больше на гранях октаэдра и наибольшей на гранях пентагонального додекаэдра.

Ретикулярная анизотропия твердости обусловлена ретикулярной плотностью плоских сеток структуры минерала. В соответствии с плотностями сеток решетки пирита наибольшей твердостью должны обладать плоскости, параллельные грани куба, меньшей—грани октаэдра и наименьшей—пентагонального додекаэдра.

Полярная и ретикулярная анизотропия твердости обнаружены на небольшой части исследованных кристаллов. На фиг. 1 приведен график твердости, измеренной на полированном, затем протравленном срезе параллельно грани куба зонального кристалла кубооктаэдрической формы. Величины твердости измерены по отдельным зонам в пределах пирамид нарастания граней (100), (010) в направлении, перпендикулярном этим граням и пирамиды нарастания (111) в направлении диагонали среза. Величина твердости на данном срезе значительно разнится в предлах различных зон одной пирамиды нарастания и соответствующих зон пирамид нарастания граней одной и той же простой формы, обнаруживая таким образом зональную и секториальную неоднородность. Несмотря на это, в направлении диагонали данного среза величина твердости всегда остается меньше, чем в направлении параллельном ее сторонам (фиг. 1), что, возможно, является выражением полярноі анизо-



Фиг. 1. График твердости пирита на срезе кристаллов параллельном грани куба.

тропии твердости. На этом же кристалле обнаруживается ретикулярная анизотропия твердости — средняя твердость грани куба больше средней твердости грани октаэдра. Наблюдающиеся здесь зональная и секториальная вариации твердости в подавляющем большинстве случаев сильно преобладают над полярной и ретикулярной анизотропией. При этом в некоторых случаях на известном срезе по зональному строению удается обнаружить довольно определенную связь между скоростью

роста граней и величиной твердости. В качестве примера рассмотрим твердость на срезе параллельно грани куба, проходящего через центр кристалла, удлиненного вдоль одной из осей L_2 вследствие неравномерного роста граней (фиг. 2). Наименьшей твердостью обладает внутрен-

Фиг. 2. Расположение отпечатков алмазной пирамиды на срезе, параллельном грани куба таблитчатого кристалла пирита. Величины твердости даны в табл. 2.

няя часть кристалла, образованная в условиях интенсивного роста, о чем свидетельствуют извилистые односторонне развитые зоны (фиг. 2, табл. 1). Одновременно заметно, что в направлении наибольшей скорости роста кристалла, соответствующей удлинению среза, величина твердости уменьшается. Причиной уменьшения твердости является механическая примесь (Е. В. Цизерлинг, 1948), которая более интенсивно поглощается быстро растущим кристаллом или его отдельными быстро растущими гранями. Приведенный пример, а также ряд других испытаний показывают, что полярная и ретикулярная анизотропии перекрываются колебаниями величины твердости, возникающими в силу условий роста. Это дает основание при сравнении твердости пирита различных генераций и месторождений на случайных срезах в полированных шлифах не учитывать анизотропию этого свойства. Ниже приводятся результаты исследования твердости пирита месторождений Кафан, Ахтала, Газма. Результаты измерений сведены в таблицу в виде частоты встречаемости величин твердости в интервалах по 100 кг/мм^2 (табл. 2).

На Кафанском месторождении изучены, выделяемые на основании структурных особенностей и типоморфных свойств, пириты двух генераций из медноколчеданных руд и пирит, образующий вкрапленность во вмещающих породах. Пирит первой генерации из медноколчеданных руд вместе с халькопиритом является основным их минералом. Пирит второй генерации распространен очень мало, он образует мелкие сферические и цепочные агрегаты в полях халькопирита. Величина твердости пирита первой генерации из медноколчеданных руд варьирует в широких пределах (900—1600 кг/мм^2). Этот пирит растет в часто и резко сменяющихся условиях, что устанавливается по его внутреннему строе-

Таблица 1

Величины твердости (в кг/мм³), измеренные по направлениям параллельно (1--10) и перпендикулярно (I—VIII) удлинению среза кристалла вдоль оси L_3

Направления измерен.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1100	1100	1252	1506	1007	1252		
2	1053	1157	1007	1252	1434			
3	1007	1506	1506	1594	1100		1100	
4	921	1434	1214	1506	1100			
5	1007	921	1007					
6	1506	1506	1252	1053		961	872	1007
7	1506	1339			1053			
8	1514	1434	1100	1007	1053			
9	1100	1157	1053					
10	1594	1100	1434	1509	1007			

Таблица 2

Частота появления величин твердости

Разновидности пирита	Интервалы							Средняя арифм. кг/мм²
	900—1000	1000—1100	1100—1200	1200—1300	1300—1400	1400—1500	1500—1600	
Первой генерации, из медноколчеданных руд (Кафан)	4	23	33	32	33	19	9	1251
Второй генерации из медноколчеданных руд (Кафан)	—	6	6	9	18	6	—	1321
Вкрапленный во вмещающие породы (Кафан)	—	—	6	6	9	3	—	1333
Первой генерации из полиметал. руд (Ахтала)	6	3	9	12	15	4	—	1230
Второй генерации из полиметал. руд (Ахтала)	4	9	6	5	7	5	—	1497
Первой генерации из полиметал. руд (Газма)	5	3	4	7	8	9	—	1252

нию, представленному множеством концентрических зон разной ширины, ограниченных на срезах четкими линиями. Пирит, образующий вкрапленность во вмещающей породе и пирит второй генерации из медноколчеданных руд, судя по их внутреннему строению, образовались в более стабильных условиях. Индивиды этих пиритов составлены двумя-тремя ритмичными зонами, ограниченными на срезах тонкими прямыми линиями. Возможно, соответственно этому и меньше колебание величины их твердости—1000—1500 кг/мм² (табл. 2). Одновременно устанавливается, что наиболее частая величина твердости этих двух разновидностей пирита больше, чем пирита первой генерации из медноколчеданных руд. В разновидностях пирита с относительно высокой твердостью спектральными анализами обнаруживается большее содержание примеси Co (табл. 3), что является подтверждением данных Ю. В. Икорниковой (1948) о том, что повышенная твердость минерала связана с высоким содержанием изоморфной примеси.

Таблица 3

Содержание Co в разновидностях пирита из Кафанского месторождения

Содержание Co в %	до 0,003	0,003—0,01	0,02—0,03	Свыше 0,03
Первая генерация из медноколчеданных руд	10	3	4	—
Вкрапленный во вмещающие породы	—	2	4	3

В полиметаллических рудах Ахтальского и Газминского месторождений выделяются две генерации пирита. На обоих месторождениях более распространена первая генерация пирита, составляющая существенную часть полиметаллических руд. Пирит второй генерации распространен меньше и образует мелкозернистые, часто натечные агрегаты и сферолиты.

Пириты первой генерации из полиметаллических руд обоих месторождений имеют примерно одинаковую частоту встречаемости и близкие наиболее частые величины твердости (табл. 2). Близость данных, характеризующих твердость этих пиритов, вполне соответствует сходству их внутреннего строения.

Частота встречаемости величин твердости, ее наиболее частые величины у этих пиритов сходны также с соответствующими данными пирита первой генерации из медноколчеданных руд Кафана.

Величина твердости пирита второй генерации из полиметаллических руд Ахтальского месторождения варьирует в широких пределах (табл. 2). Она изменяется в значительно больших пределах, чем у пирита первой генерации из того же месторождения. Широкие пределы колебания твердости и наблюдающиеся две наиболее частые величины твердости, можно объяснить, обратившись к внутреннему строению этого пирита. Агрегаты этой разновидности пирита сложены четко зональными зернами, сначала разрастающимися во все стороны, затем растущими односторонне, общим фронтом. На некотором этапе одностороннего роста резко очерченные зоны сменяются тонкой зональностью. Естественно, что резкое изменение зонального строения может сопровождаться значительным изменением твердости.

Вышеприведенные данные позволяют сделать ряд выводов. Твердость кристаллов и различных участков кристаллов отличается на большую величину—до 600 кг/мм² и изменяется в предлах 950—1550 кг/мм². Кристаллы в связи с условиями роста обладают зональной и секториальной неоднородностью твердости, по величине превосходящей полярную и ретикулярную анизотропию твердости, обнаруживающуюся на ориентированных срезах и гранях кристаллов. Величина твердости пирита, образованного в часто и резко изменяющихся условиях, что устанавливается по его внутреннему строению, колеблется в больших пределах. К числу таких относятся пирит первой генерации из медноколчеданных

руд Кафанского месторождения, полиметаллических руд Ахтальского и Газминского месторождений. Вариации величины твердости меньше у пирита, выросшего в относительно стабильных условиях. К таким относятся пирит, вкрапленный во вмещающих породах и пирит второй генерации из медноколчеданных руд Кафанского месторождения.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 12.VIII.1968.

Ա. Ա. ԱՎԱԳՅԱՆ

ՊԻՐԻՏԻ ԿԱՐԾՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ ՀՍՀՀ ՊՂՆՁԻ ԵՎ ԲԱՁՄԱՄԵՏԱՂ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

ՊՄՏ-3 գործիքով ուսումնասիրված է պիրիտի կարծրությունը Ղափանի պղնձի, Ախթալայի և Ղազմայի բազմամետաղ հանքանյութերում։ Պարզվել է, որ պիրիտի բյուրեղների միկրոկարծրությունը տատանվում է 900—1550 կգ/մմ² սահմաններում։ Բյուրեղները իրենց աճի պայմանների փոփոխմանը զուգընթաց հանդես են բերում կարծրության զոնալ և սեկտորիալ անհամասեռություն, որը գերազանցում է կարծրության անիզոտրոպիայի մեծությանը։ Հաճախակի և կտրուկ փոփոխվող պայմաններում առաջացած պիրիտի կարծրությունը տատանվում է լայն սահմաններում. այդպիսիների թվին են պատկանում Ղափանի պղինձ-կոլչեդանային հանքանյութի, Ախթալայի և Ղազմայի բազմամետաղ հանքանյութի առաջին գեներացիայի պիրիտները։ Համեմատաբար հաստատուն պայմաններում կազմավորված պիրիտի կարծրությունը ավելի քիչ է տատանվում։ Այդպիսին են Ղափանի ծծմբա-կոլչեդանային հանքանյութի և պղինձ-կոլչեդանային հանքանյութի երկրորդ գեներացիայի պիրիտները։

ЛИТЕРАТУРА

1. **Егоров В. А.** Испытание прибора ПМТ-3 для определения микротвердости (предв. результаты). Тр. совещ. по микротвердости, 1950.
2. **Икорникова Н. Ю.** Микротвердость реального кристалла на примере брукита. ДАН СССР, ч. 59, № 7, 1948.
3. **Лебедева С. И.** Определение микротвердости минералов. Изд. АН СССР, 1963.
4. **Поваренных А. С.** Твердость минералов. Изд. АН УССР, 1963.
5. **Цизерлинг Е. В.** Исследование твердости и хрупкости кварца зонарного и секториального методом вдавливания. ДАН СССР, т. 60, № 6, 1948.