

Т. Н. ИВАНОВА, В. Г. ФЕКЛИЧЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СПОДУМЕНОВ

О микротвердости сподуменов имеются скудные данные. С. И. Лебедева (1963) для трех измеренных образцов приводит величину микротвердости, колеблющуюся от 948 до 1176 кГ/мм^2 (среднее 1055 кГ/мм^2).

Нами исследовалась микротвердость сподуменов на обширном материале практически из всех типов месторождений этого минерала. Исследования проводились на образцах авторов, а также полученных из Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана АН СССР.

На приборе ПМТ-3 было исследовано более 30 образцов. На одной грани при одной ориентировке делалось 10—20 отпечатков; из результатов измерений длин диагоналей отпечатков выводились средние значения с последующим получением величины микротвердости. Отпечатки ориентировались параллельно и под углом 45° к направлению следов спайности на грани. Стандартная выдержка индентора под нагрузкой составляла 5 сек. Измерения проводились на естественных сколах параллельно спайности или отдельности, а также на полированных плоскостях, параллельных тем или иным граням (угол отклонения от естественной грани при полировке составлял $1-2^\circ$). Поскольку обычно образцы представляли собой выколки, а не целые кристаллы, то простые формы граней определялись, исходя из характера спайности и отдельности с учетом формы и строения отпечатков. Использовались данные по симметрии отпечатков в соответствии с симметрией и структурой сподумена. Предварительно особенности формы и строения отпечатков в зависимости от типа грани были изучены на нескольких эталонных кристаллах, на которых простые формы граней были определены рентгеновским методом на монокристаллах и оптически в иммерсии по прямому погасанию на грани (100). Кроме того, было выяснено, что эта грань обладает очень малой анизотропией микротвердости. Грань (010) легко определялась по максимальной анизотропии микротвердости, а грань (001) — по характерной ступенчатой структуре отпечатков и следам спайности нескольких направлений.

При массовых измерениях использовались графики зависимости микротвердости H от длины диагонали d (Иванова, Теремецкая, 1971₂).

Ниже приводятся данные о зависимости микротвердости сподуменов от разных факторов.

**Зависимость микротвердости от величины нагрузки
и качества поверхности**

Чтобы выбрать правильную нагрузку для измерения твердости сподуменов методом микровдавливания, изучалась зависимость микротвердости от величины нагрузки на индентор. Измерения проводились на поверхности

отдельности по плоскости (100) образца сподумена из Восточного Казахстана. Результаты измерений следующие:

Нагрузка, Г	30	40	50	70	100	150	200
Микротвердость, кг/мм^2	1200	1176	1058	1000	897	908	956

Исходя из этих данных, оптимальная нагрузка для измерения микротвердости сподумена составляет 100—150 Г. При такой нагрузке и проводились все массовые измерения микротвердости сподуменов на гранях (100). Нагрузка в 150 Г немного предпочтительнее 100 Г, но при ней получается значительное количество трещин, иногда затрудняющих измерение длины диагонали. Поэтому в большинстве случаев мы вели измерения при нагрузке 100 Г. На других гранях микротвердость измерялась при той же нагрузке. Измерения микротвердости сподуменов удобно измерять на сколах, параллельных плоскостям спайности по (110) или отдельности по (100). В частности, рекомендуемые измерения по (100) обычно проводятся на сколах отдельности. Однако поверхность скола по отдельности или спайности не всегда получается ровной, на ней не всегда можно выбрать площадки достаточной величины. В таких случаях скол приполировывается.

При массовых измерениях микротвердости сподуменов было установлено, что у одного и того же образца микротвердость, измеренная на естественном сколе, всегда выше, чем измеренная на полированной поверхности. Разница в величинах микротвердости составляет 37—49 кг/мм^2

Т а б л и ц а 1

Микротвердость H (в кг/мм^2) на полированной поверхности * и естественном сколе по (100)

Место взятия образца	Естественный скол, H_1	Полированная поверхность, H_2	Разница $H_1 - H_2$
Восточная Сибирь	766	729	37
Восточный Казахстан	908	866	42
То же	937	897	40
Восточная Сибирь	937	897	40
То же	993	956	37
» »	1015	966	49
» »	1024	976	48
» »	1026	981	48
» »	1053	1011	42
» »	1075	1026	49

* Угол отклонения полированной поверхности от естественного скола не более 1—2°.

(табл. 1). Эти числа, или среднюю разницу в величинах микротвердости, равную 43 кг/мм^2 , можно учитывать при сопоставлении микротвердости сподуменов на грани (100), если она измерена у одних образцов на естественных сколах, а у других — на полированной поверхности.

Анизотропия микротвердости сподуменов

Анизотропия микротвердости сподумена выражена отчетливо. Средняя твердость на разных гранях значительно отличается (анизотропия II рода по С. И. Лебедевой, 1963). Но в пределах одной грани — особенно резко это выражено на грани (010) — также наблюдается анизотропия микротвердости (анизотропия I рода по С. И. Лебедевой, 1963). Последняя выражается в том, что с изменением направления диагонали отпечатка от инден-

Величины микротвердости H (в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$) и длины диагоналей d в делениях окуляр-микрометра на разных гранях сподумена Ф-2 при разной ориентировке диагоналей на полированной поверхности

Грань	Положение диагонали	$d_{\text{ср}}$	$H_{\text{ср}}$	Грань	Положение диагонали	$d_{\text{ср}}$	$H_{\text{ср}}$
(100)	$\perp [001]$	44,7	949	(001)	$\parallel [010]$	48,6	795
	$\parallel [001]$	44,4	962		$\perp [010]$	47,9	819
	$<45^\circ$	44,8	944		$<45^\circ$	48,2	810
(010)	$\perp [001]$	45,6	910	(110)	$\perp [001]$	42,7	1042
	$\parallel [001]$	42,8	1036		$\parallel [001]$	42,5	1050
	$<45^\circ$	44,1	979		$<45^\circ$	42,7	1042

тора на грани ее величина d меняется и, следовательно, меняется и величина микротвердости. В табл. 2 показано на примере обр. Ф-2 изменение длин диагоналей d и соответственно твердости H по разным граням и в зависимости от ориентировки диагоналей в пределах одной грани. При положении отпечатка под углами 0 и 45° на гранях (100), (001) и (110) по отношению к кристаллографическим направлениям (ребрам граней, следам спайности) анизотропия не проявляется — разница средних значений H в паре диагоналей равна 0—24 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$, что близко к ошибке измерения. При массовых измерениях микротвердости ее можно определять на гранях (100), (110) и (001) в нескольких направлениях диагоналей и брать для них среднее значение без учета анизотропии I рода. На грани (010) анизотропия I рода значительнее и ее нужно учитывать. Для образца Ф-2 коэффициент анизотропии твердости I рода на грани (010) $K_{H_1} = \frac{1036}{910} = 1,14$; величина анизотропии микротвердости $H_{\Delta 1} = H \parallel [001] - H \perp [001] = 126 \kappa\Gamma/\text{мм}^2$.

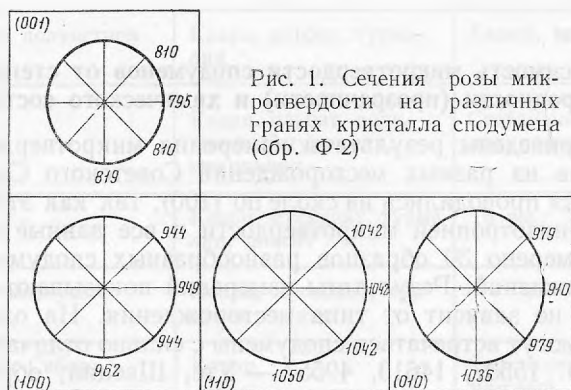


Рис. 1. Сечения розы микротвердости на различных гранях кристалла сподумена (обр. Ф-2)

Мы рассчитываем анизотропию микротвердости не только в виде коэффициента анизотропии K_H , т. е. отношения, но и в виде разности величин микротвердости $H_{\Delta} = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$, т. е. величины анизотропии микротвердости. Величина H_{Δ} имеет размерность $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$, как и сама величина микротвердости. Величина анизотропии микротвердости позволяет учитывать и сравнивать малую анизотропию микротвердости, не зависящую от величины самой твердости.

Для кристалла Ф-2 вычислены также коэффициенты анизотропии твердости II рода

$$K_{H_2} = \frac{H_{110}}{H_{001}} = \frac{1042}{810} = 1,29; \quad K_{H_2} = \frac{H_{100}}{H_{001}} = \frac{944}{810} = 1,17;$$

$$K_{H_2} = \frac{H_{110}}{H_{100}} = \frac{1042}{944} = 1,10.$$

Соответствующие величины анизотропии микротвердости H_{Δ_2} равны 232, 134 и 98 кг/мм^2 .

На рис. 1 показаны розы микротвердости на развертке граней (100), (110), (010) и (001).

Т а б л и ц а 3

Твердость (в кг/мм^2), величина анизотропии микротвердости H_{Δ} (в кг/мм^2) и коэффициент анизотропии твердости K_H сподуменов на полированной поверхности

№ образца	H (100)	H (010)		H (001)	(100), (001)		(010)	
		\perp [001]	\parallel [001]		H_{Δ_2}	K_{H_2}	H_{Δ_1}	K_{H_1}
258	729	687	721	652	77	1,12	34	1,05
219	976	832	964	766	210	1,27	132	1,16
174	1011	869	1008	792	219	1,28	139	1,16
75	1029	890	1030	864	165	1,19	140	1,16
Ф-2	955	910	1036	812	143	1,17	126	1,14
М-1	1141	967	1138	940	250	1,21	201	1,18

В табл. 3 приведены результаты расчета анизотропии I и II рода для кристаллов с разной величиной средней твердости. Коэффициенты анизотропии твердости и величины анизотропии микротвердости I и II рода за исключением обр. 258, обладающего очень низкой средней твердостью, колеблются незначительно.

Зависимость микротвердости сподуменов от степени однородности (прозрачности) и химического состава

В табл. 4 приведены результаты измерения микротвердости на грани (100) сподуменов из разных месторождений Советского Союза и других стран. Измерения проводились на сколе по (100), так как эта форма не характеризуется анизотропией микротвердости и все данные легко сопоставимы. Всего измерено 30 образцов разнообразных сподуменов из пегматитовых месторождений. Результаты измерений показывают, что величина микротвердости не зависит от типа месторождения. На одном и том же месторождении могут встречаться сподумены с сильно отличающейся микротвердостью (обр. 15537, 14613, 49557 — Уте, Швеция; обр. 75, 174, 73, 219, 107, 8, 258 — одно из месторождений Восточной Сибири). На примере последнего месторождения показано (Иванова, Теремецкая, 1971₁), что микротвердость сподуменов закономерно изменяется с изменением его химического состава.

Влияние на величину микротвердости степени прозрачности образца выражается в том, что все сподумены с наибольшей величиной микротвердости (1251—1129 кг/мм^2) прозрачны, а все сподумены с наименьшей величиной микротвердости (908—731 кг/мм^2) непрозрачны. Непрозрачные сподумены обладают микротрещиноватостью, содержат мелкие газово-жидкие и твердые включения, слабо подвержены замещению слюдой.

Микротвердость сподуменов на грани (100) из разных месторождений

№ образца	Место взятия образца	Дополнительные минералы ассоциации	Характеристика минерала	Микротвердость, кг/мм ²
56055	Забайкалье	Кварц, альбит	Светло-зеленый, прозрачный	1251
64890	Мадагаскар, Махаритра	?	Бесцветный, прозрачный	1211
M-1	Забайкалье	Кварц, альбит	Светло-зеленый, прозрачный	1184
57411	Кольский полуостров	Кварц	Светло-розовый, прозрачный	1129
6109	Австрия, Тироль	?	Светло-серый, матовый	1112
53927	Кольский полуостров	Кварц, рубеллит, альбит, поллуцит	Бесцветный, полупрозрачный	1100
75	Восточная Сибирь	Кварц	Светло-серый, полупрозрачный	1075
64665	Китай, Синь-Цзянь	?	Светло-розовый, полупрозрачный	1068
174	Восточная Сибирь	Кварц, альбит, мусковит	Серый, матовый	1053
15537	Швеция, Уте	Микроклин, кварц, альбит, шерл	Зеленый, полупрозрачный	1045
64655	Кольский полуостров	Кварц, альбит, турмалин	Белый, матовый	1030
69551	То же	Кварц, альбит, полихромный турмалин, микроклин	Светло-розовый, полупрозрачный	1028
Ф-2	Тува	Кварц, мусковит, турмалин, апатит	То же	1026
15538	США, Массачусетс	Кварц, мусковит, турмалин, апатит	» »	1026
73	Восточная Сибирь	Кварц	Светло-серый, матовый	1025
219	То же	Кварц, микроклин	Серый, матовый	1024
107	» »	Кварц, альбит	Серый, полупрозрачный	1014
69148	США, Северная Каролина	Кварц, мусковит, альбит	Белый, полупрозрачный	1002

Т а б л и ц а 4 (окончание)

№ образца	Место взятия образца	Дополнительные минералы ассоциации	Характеристика минерала	Микротвердость, кг/мм ²
8	Восточная Сибирь	Кварц, микроклин	Светло-серый, матовый	986
К-3	Восточный Казахстан	Кварц, альбит	Белый, матовый	937
55614	Киргизия	Кварц, альбит, мусковит	То же	910
61640	Забайкалье	Кварц, альбит, мусковит	Белый, полупрозрачный	909
С-4	Восточный Казахстан	Кварц	Белый, матовый	908
45267	Средняя Азия	Кварц, альбит, мусковит	Светло-желтый, матовый	897
62405	Канада, Квебек	Кварц, альбит, касситерит	Зеленый, матовый	824
ФС-5	Тува	Кварц, альбит, фуксит	То же	823
68716	Финляндия, Каустинен	Кварц, альбит, микроклин	Серый, матовый	790
258	Восточная Сибирь	Кварц, альбит, мусковит	То же	766
14613	Швеция, Уте	Кварц, турмалин, микроклин	Белый, матовый	750
49557	То же	Кварц, микроклин, турмалин	Светло-зеленый, матовый	731

Предыдущими исследованиями (Гордиенко, Каленчук, 1966; Иванова, Теремецкая, 1971; Фекличев, Иванова, 1970) установлено, что химическая изменчивость сподумена выражена главным образом в разном содержании лития. Содержание лития в сподуменах может уменьшаться на половину и более по сравнению с теоретическим составом сподумена. Все сильно обедненные литием сподумены содержат много воды, а также другие примеси щелочных и щелочноземельных элементов. Замещения другого обязательного компонента сподумена — алюминия проявлены обычно в менее значительной степени. В сподуменах часто, но в небольшом количестве

Микротвердость сподумена на грани (100) и содержание в нем лития

№ образца	Место взятия образца	Степень прозрачности	Микротвердость, кг/мм ²		Содержание Li ₂ O, вес. %	Литературный источник
			естественный скол	полированная поверхность		
258	Восточная Сибирь	Матовый	766	729	4,30	Иванова, Теремецкая, 1971
ФС-5	Тува	»	823	—	5,82	Самсонова, Фекличев, 1962
С-4	Восточный Казахстан	»	908	866	6,70	Минералогия редких элементов, 1964
К-3	То же	»	937	897	6,95	Тот же
219	Восточная Сибирь	»	1024	976	6,99	Иванова, Теремецкая, 1971
69551	Кольский полуостров	Полупрозрачный	1028	—	7,18	Минералогия редких элементов, 1969
174	Восточная Сибирь	Матовый	1053	1011	7,26	Иванова, Теремецкая, 1971
Ф-2	То же	»	1026	981	7,58	Самсонова, Фекличев, 1962
75	» »	Полупрозрачный	1075	1026	7,68	Иванова, Теремецкая, 1971
	Синтетический	Прозрачный	—	1178	8,10	Расчет из формулы

алюминий замещается железом, реже хромом и некоторыми другими элементами.

Величины микротвердости сподуменов сопоставлены с содержанием в них Li₂O (табл. 5). Здесь же указана степень прозрачности этих минералов. По этим результатам построены графики (отдельно для естественного скола и полированной поверхности) зависимости микротвердости сподумена на плоскости (100) от содержания Li₂O (рис. 2).

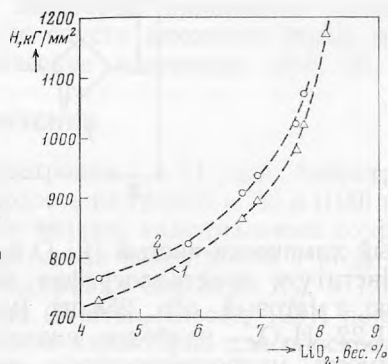
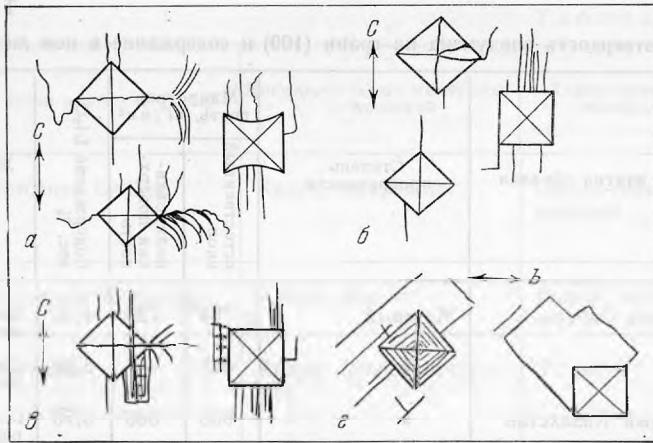


Рис. 2. Зависимость величины микротвердости на грани (100) сподуменов от содержания Li₂O
1 — на полированной поверхности;
2 — на естественной поверхности

Несмотря на некоторый разброс данных, обусловленный влиянием других примесей (кроме воды), замещающих литий в сподумене (например, натрий), а также степенью прозрачности, хорошо выдерживается закономерное увеличение микротвердости с увеличением содержания Li₂O. Так,



3

Рис. 3. Отпечатки на гранях сподумена, нагрузка 100 Г

a—*г* — на полированной поверхности; *a* — грань (100), *б* — грань (010), *в* — грань (110); *г* — грань (001)

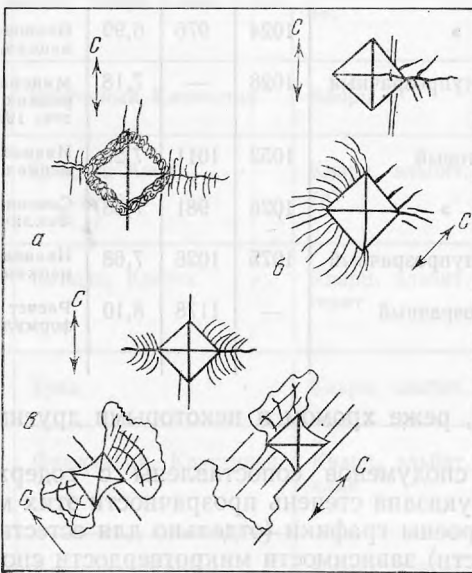


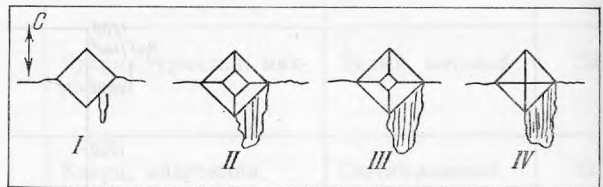
Рис. 4. Отпечатки на естественных гранях, нагрузка 100 Г

a — обр. 64655, грань (100), сподумен с включениями; *б* — обр. ФС-5, грань (110), гидденит; *в* — обр. 64665, грань (100), кунцит

Рис. 5. Отпечатки на естественных гранях сподумена, нагрузка 100 Г. Восстановление отпечатка на грани (100) кристалла сподумена (обр. 73)

I — сразу после получения; *II* — через 1—2 мин; *III* — еще через 15 сек; *IV* — еще через 5 сек

4



5

прозрачный химически чистый (Li_2O 8,1%) синтетический сподумен (образец из Института кристаллографии АН СССР) обладает самой высокой твердостью, а матовый обр. 258 из Восточной Сибири, содержащий 4,30% Li_2O и 1,22 H_2O , — наиболее низкой.

Зависимость микротвердости от содержания примесей, замещающих алюминий (Fe, Cr, Mn), нельзя точно установить из-за малого содержания этих примесей и сложности химического состава природного сподумена. Величина микротвердости образцов гидденита (Cr-содержащая разновидность) из Восточной Сибири на сколе (100) составляет 823 кГ/мм^2 , а кунци-

та (Mn-содержащая разновидность) из Китая — 1068 кг/мм^2 . Эти значения лежат в диапазоне микротвердости обычных сподуменов, содержащих 6–7% Li_2O .

Форма и строение отпечатков от индентора

Форма и строение отпечатков от индентора на сподумене зависят от многих факторов (Дмитриев, 1949; Мокиевский, 1959). С увеличением нагрузки увеличивается не только размер отпечатка, но и количество трещин вокруг него, происходит скалывание вещества кристалла у краев отпечатка. При больших нагрузках (200 Г) отпечаток иногда разрушается.

Время нахождения индентора под нагрузкой также сказывается на строении отпечатков. При длительном выдерживании трещин больше, качество отпечатков хуже. Отпечатки на одноименных гранях сохраняют характерные индивидуальные черты, так что по ним безошибочно можно определять тип грани. Отпечатки на разноименных гранях различаются.

Типичные особенности отпечатков на разных полированных гранях сподумена (обр. 75) показаны на рис. 3. Морфологические особенности отпечатков на естественных и отполированных гранях мало отличаются. У отпечатков на полированных поверхностях большее количество трещин.

На совершенно прозрачных сподуменах максимальной твердости (обр. М-1) при нагрузке 100 Г получались четкие отпечатки (почти без трещин вокруг) на всех гранях, но наблюдалось отслаивание поверхности на грани (100) в виде четко выраженных прямоугольных пластинок. Для кристаллов сподумена повышенной твердости (прозрачных и полупрозрачных) на гранях (100) отслаивание прямоугольных или близких к ним пластинок около отпечатков было очень типичным. У кристаллов низкой общей твердости, обусловленной непрозрачностью и химическим составом (обр. 258), отпечатки имели четкую форму и ровные края или искривленные и почти округлые края. На грани (100) матовых сподуменов низкой твердости, переполненных газово-жидкими включениями, часто получались отпечатки с валиками по краям, образованными из деформированного кристалла (рис. 4, а).

Форма и строение отпечатков на разновидностях сподумена — гиддените и кунците и на обычных сподуменах принципиально не отличались (рис. 4, б, в). Одновременно появление симметричных и искаженных отпечатков в пределах одной грани было характерно для пластически деформированных кристаллов сподумена и более четко выявлялось на гранях (010). Даже макроскопическое рассмотрение выявляло блоковое строение таких кристаллов, аналогичное описанному А. Ф. Головачевым и В. А. Мокиевским (1966). На гранях (100) некоторых кристаллов наблюдалось восстановление формы отпечатка, когда спустя некоторое время после его получения он испытывал морфологические изменения (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У сподуменов наблюдается анизотропия I и II рода. Анизотропия II рода выражена в том, что средняя твердость на гранях (110) и (100) наиболее высокая, а на гранях (001) — наиболее низкая; максимальный коэффициент анизотропии II рода $K_{H_2} = 1,29$. Отчетливая анизотропия I рода установлена на грани (010), коэффициент анизотропии твердости $K_{H_1} = 1,14—1,18$.

Рассмотрение структуры сподумена (Wagren, Biscoe, 1931) показывает, что наибольшая ретикулярная плотность характерна для плоскостей (110) и (100), наименьшая — для плоскости (001). Плотность заполнения атомами рядов, лежащих на грани (010) и параллельных оси [100], значительно выше, чем у рядов, которые лежат вдоль поперечных оси [100] направлений. Это качественно объясняет полученные для сподумена величины анизотропии микротвердости I и II рода. Заметим, что повышенной

микротвердостью обладали спайные грани (с отдельностью и без нее), пониженной — те грани сподумена, на которых спайность и отдельность отсутствовали. Таким образом, по взаимному распределению направлений спайности и отдельности, величинам микротвердости и ее анизотропии можно давать качественную структурную интерпретацию, что согласуется с распределением ретикулярных плотностей и направлений сил связи.

2. Микротвердость разнообразных сподуменов на естественной грани (100) колеблется от 781 кг/мм^2 (Уте, Швеция) до 1251 кг/мм^2 (Забайкалье). Прозрачные сподумены обладают повышенной микротвердостью, матовые — пониженной, сподумены средней микротвердости могут быть прозрачными и матовыми, но чаще они полупрозрачные. Матовость сподуменов обусловлена наличием микротрещин, газо-жидких и твердых микровключений, а также процессами замещения. Все эти факторы, нарушающие фазовую гомогенность, должны понижать и твердость сподумена.

3. Пониженной твердостью обладают сподумены, в которых часть лития замещается натрием и другими щелочными ионами и водой (в виде оксония). Щелочные катионы и оксоний имеют более крупные размеры, чем литий, что приводит к изменению структуры. Но более важно, что связь Li—O прочнее связи Na—O и тем более $\text{H}_3\text{O—O}$.

На одном и том же месторождении микротвердость сподуменов может варьировать в широких пределах. Поэтому по величине микротвердости сподумена нельзя судить о типе его месторождения.

4. Микротвердость сподуменов на их полированных поверхностях ниже (на $37\text{—}49 \text{ кг/мм}^2$), чем на естественных поверхностях (сколах или гранях). В процессе шлифовки и полировки увеличивается микротрещиноватость сподумена по плоскостям спайности и отдельности. При скальвании параллельно спайности или отдельности поверхность грани имеет очень мало изломов (в идеале одна плоскость). При полировке на поверхность выходят под косым углом многие плоские сетки, заполненные атомами.

5. Особенности формы и строения отпечатков от индентора позволяют определять разные измеряемые грани сподумена, а также выделять сподумены, содержащие включения.

Авторы выражают благодарность А. Г. Теремецкой и С. И. Лебедевой за просмотр статьи и ценные замечания.

Литература

- Головачев А. Ф., Мокиевский В. А. О пластической деформации и последующих химических изменениях кристаллов сподумена. — В сб. «Генезис минеральных индивидов и агрегатов». Изд-во «Наука», 1966.
- Гордиенко В. В., Каленчук Г. Е. О химической природе сподумена. — Записки Всес. мин. об-ва, 1966, вып. 2.
- Дмитриев С. Д. Применение прибора микротвердости ПМТ-2 конструкции М. М. Хрущева и Е. С. Берковича для диагностики минералов. — Записки Всес. мин. об-ва, 1949, ч. 78, вып. 4.
- Иванова Т. Н., Теремецкая А. Г. Исследование сподуменов, подверженных изменению и псевдоморфизации в одном из пегматитовых месторождений Восточной Сибири. — В сб. «Методические минералогические исследования». Изд-во «Наука», 1971₁.
- Иванова Т. Н., Теремецкая А. Г. Графики для вычисления величины микротвердости при массовых измерениях на приборе ПМТ-3. — В сб. «Методические минералогические исследования». Изд-во «Наука», 1971₂.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. Изд-во АН СССР, 1963. Минералогия редких элементов. Изд-во «Наука», 1964.
- Мокиевский В. А. Зависимость формы отпечатка от симметрии граней кристаллов при определении твердости методом вдавливания алмазной пирамиды. — Кристаллография, 1959, 4, вып. 3.
- Самсонова Н. С., Фекличев В. Г. Гадденит из гранитных пегматитов Сибири. — Труды ИМГРЭ, 1962, вып. 8.
- Фекличев В. Г., Иванова Т. Н. Закономерности химического изменения сподумена в пегматитах. — В сб. «Методические минералогические исследования». Изд-во «Наука», 1971.
- Warren B. E., Biscoe J. The crystal structure of the monoclinic pyroxenes. — Z. Kristallogr., 1931, 80, Н. 5—6.