Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. /XXI/, вып. 2, 1977 г.

АНАЛИЗ ДЕФЕКТНОСТИ КРИСТАЛЛОВ КВАРЦА

Т.А.КАРЯКИНА

Практическая ценность месторождений горного хрусталя в значительной мере определяется качеством кристаллов, которое в большой степени зависит от развития в них различного рода дефектов. Анализ качества сырья необходим на всех стадиях промышленного освоения месторождений: от поисков до эксплуатационно-разведочных работ [2]. Степень дефектности монокристального сырья на месторождениях варьирует в очень широких пределах. Однако до сих пор отсутствуют работы, в которых бы детально исследовалось распространение дефектных областей на достаточно большом количестве материала из одного объекта, что важно как для понимания закономерностей положения бездефектных участков в кристаллах, так и для оценки их качества и выработки методов более рационального обогащения.

В настоящей работе приводятся результаты детального исследования типов и особенностей распределения дефектов в кристаллах кварца из одного гнезда крупного промышленного месторождения горного хрусталя.

Хрустальные гнезда этого месторождения наложены на кварцевые жилы, залегающие среди вулканогенных пород основного состава. Кристаллы кварца являются основным минералом хрустальных гнезд, занимая от 1,6 до 44% их объема. Они нарастают как на жильный кварц, так и на стенки пород, вмещающих хрустальные гнезда; последнее особенно характерно для мелких полостей и минерализованных трещин. Помимо кварца в гнездах в разных количествах присутствуют хлорит, адуляр, апатит, кальцит.

Характерной особенностью кварца рассматриваемого месторождения является наличие нескольких типов кристаллизационных дефектов, значительно снижающих качество кристаллосырья: мозаичного строения, бразильских двойников и твердых минеральных включений (в основном хлорита). Кроме того, кристаллы кварца в значительной мере подвергались различного рода хрупким деформациям, как в период роста, так и после его окончания.

Чтобы оценить влияние различных типов дефектов на качество сырья, определить закономерности расположения дефектных и бездефектных областей в кристаллах, была проанализирована проба кристаллосырья массой 1200 кг. Поскольку часть кристаллов из пробы составляли сильно раздробленные обломки индивидов, после предварительной разбраковки из пробы было отобрано 46 кристаллов общей массой 656 кг.

Исследование морфологии кристаллов, определение типа и положения в них дефектных и кондиционных областей проводились непосредственно при обогащении сырья. Пять индивидов, массой до 2 кг каждый, были отобраны для более детальных исследований. Из них были изготовлены пластинки, параллельные и перпендикулярные оси L_3, которые в дальнейшем были подвергнуты γ -облучению, травлению в HF, исследовались также оптические неоднородности.

По своим морфологическим особенностям кристаллы из исследованной пробы являются типичными для данного месторождения. масса их колеблется от 1,7 до 73 кг, размеры по L_3 от 20 до 80 см, по L_2 от 7 до 45 см. Наиболее характерны индивиды массой 10–30 кг, составляющие около 40% от общего числа кристаллов в гнезде. Для кристаллов из этой же пробы, содержащих кондиционные области, наиболее характерна масса 30–50 кг.

Облик кристаллов преимущественно среднестолбчатый, габитус призматический. Ромбоэдрическая головка большинства индивидов слабо искажена с понижением симметрии от 3 до 1.

Макроскульптура граней основных ромбоэдров представлена комбинационной штриховкой, параллельной ребру $r:m$ или $z:m$ и крупными слоистыми вицинералями I типа. Для граней гексагональной призмы характерна вицинальная комбинационная штриховка, осложненная двойниковыми границами и границами между блоками мозаики. Кристаллы первично бесцветны, после γ -облучения все образцы приобрели в пирамидах роста основных ромбоэдров дымчатую окраску, а пирамиды роста граней гексагональной призмы остались бесцветными. В пирамидах роста основных ромбоэдров внутренние части индивидов окрашены равномерно, а во внешних наблюдается тонкозональное распределение окраски.

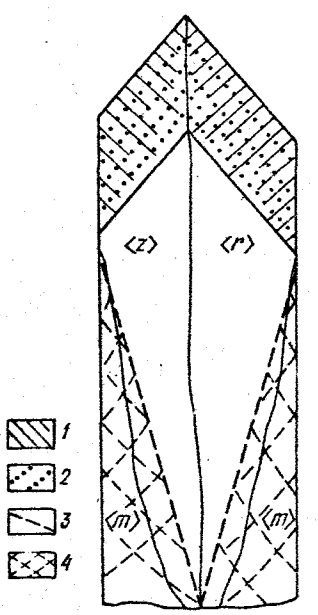


Рис. I. Схема секториального строения кристаллов и положение в них различного типа дефектов

1 – бразильские двойники; 2 – твердые включения; 3 – область развития мозаичности и мелких дофинейских двойников; 4 – трещины, распространенные в областях мозаичного строения

Секториальное строение исследованных кристаллов аналогично кристаллам из других исследованных гнезд месторождения:

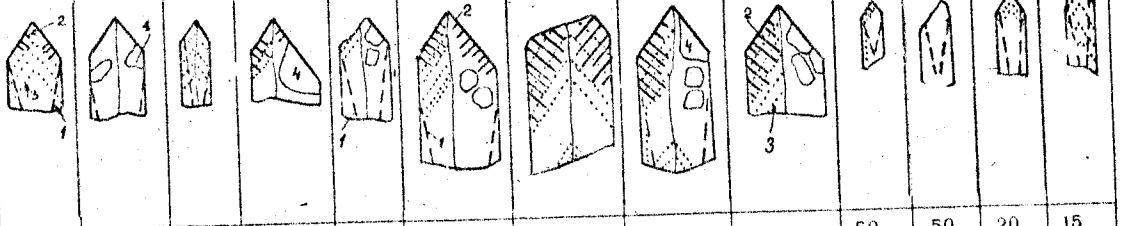
кристаллы сложены пирамидами роста основных габитусных граней;

в основании кристалла до 75% объема индивида занято пирамидами роста граней гексагональной призмы, что связано с довольно большой скоростью их нарастания в начальный период формирования кристаллов (рис. I);

внешние и средние зоны индивидов сложены преимущественно пирамидами роста основных ромбоэдров.

Исследование морфологии и дефектного строения индивидов показало, что для кристаллов данного гнезда наиболее существенными кристаллизационными дефектами являются бразильские двойники и твердые минеральные включения (см. таблицу).

Результаты изучения дефектности кристаллов кварца

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Масса, кг: кристалла	9,1	14,0	15,1	26,7	13,7	41,0	18,5	47,0	34,8	–	3,8	4,0	2,5
кондиционной области	–	0,412	–	2,359	0,297	0,129	–	0,554	0,327	–	–	0,15	–
Размеры кристалла L_2/L_3, см: короткостолбчатого	20/27	20/34	–	25/31	–	–	–	–	28/40	–	–	–	–
среднестолбчатого	–	–	–	–	17/38	28/56	–	27/60	–	–	–	10/27	10/20
длинностолбчатого	–	–	9/32	–	–	–	–	–	–	7/24	10/30	–	–
Кристаллизационные дефекты[x] Схема внутреннего строения М 1:10													
Отношение к объему кристалла, %: 1	20	5	20	–	20	–	–	–	–	50	50	20	15
2	Единичные	–	10	10	10	15–20	40	40	30	10	–	–	–
3	50	–	100	20	10	25	50	40	50	50	–	20	100
Σ	60	5	100	20	30	30–40	60	50	50	70	50	40	100
Выход кондиционной области, %	0	3	0	9	2	0,3	0	1,2	1	0	0	0,3	0

[x] В схемах и расчетах 1 – мозаичность; 2 – бразильские двойники; 3 – твердые минеральные включения; 4 – кондиционные области

Распределение бразильских двойников четко выраженное зональное и секториальное, сосредоточены они преимущественно во внешних и средних зонах $\langle r \rangle$ и $\langle z \rangle$, а также в пирамиде $\langle m \rangle$. Бразильские двойники в кристаллах пространственно связаны с другим типом дефекта – твердыми минеральными включениями: тонкочешуйчатым флогопитом и ильменитами хлорита. Этим, видимо, объясняется тот факт, что бразильские двойники так же, как и твердые минеральные включения, преимущественно концентрируются в пирамидах, обращенных при росте вверх [2, 3], в то время как пирамиды роста нижних граней полностью свободны от этих дефектов либо поражены ими в меньшей степени (см. таблицу, образцы 4, 6, 8, 9).

Степень пораженности бразильскими двойниками даже в пределах одного гнезда варьирует в широких пределах (см. таблицу). Они присутствуют более чем в 80% кристаллов, занимая от 10 до 50% их объема. Включения хлорита и флогопита расположены в кристаллах зонально, таких зон в каждой пирамиде роста насчитывается по нескольку десятков.

Включения посторонних минералов занимают от 0 до 100% объема кристалла. При этом для одних индивидов они являются основным видом дефекта, в других полностью отсутствуют или играют незначительную роль. По-видимому, это связано с положением кристалла в той или иной части гнезда.

В целом одним из важнейших дефектов кристаллов месторождения является мозаичное строение, которое характерно для всех гнезд. Однако степень его развития в разных гнездах неодинакова.

Мозаичное строение кристаллов в исследуемом гнезде развито незначительно, поэтому не является основным дефектом, хотя и занимает 60% объема индивидов. Во внешней морфологии кристаллов мозаичное строение проявлено в слабо выраженном паркетовидном строении граней гексагональной призмы и наличии на ней множества мелких дофинейских двойниковых субиндивидов. В наибольшей степени мозаичность развита в основании кристаллов; по мере роста кристалл постепенно очищается от мозаичных областей за счет выхода блоков из пирамид роста граней основных ромбоэдров. Граница между областями мозаичного и совершенного строения довольно четкая и хорошо выявляется как при травлении в HF, так и в поляризованном свете. В пирамидах роста основных ромбоэдров эта граница проходит под углом 10–15° к оси L_3 (см. рис.1), благодаря чему и происходит выход мозаичных областей из кристаллов.

Следовательно, область кварца, свободная от мозаичности, имеет вид усеченной гексагональной дипирамиды. Объем, занимаемый областью мозаичного строения, в исследованной пробе меняется для разных индивидов от 5 до 50%.

Дофинейские двойники имеются абсолютно во всех кристаллах, однако в распределении их намечается вполне определенная закономерность: мелкие, многочисленные двойниковые поля тяготеют к областям развития в кристаллах тонкой мозаичности, вместе с которой они и выходят из тела кристалла. В тех же областях, которые не имеют расщепленного строения, двойниковые индивиды имеют достаточно крупные размеры, поэтому на качество сырья существенного влияния не оказывают.

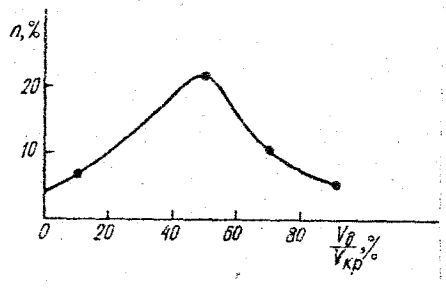


Рис.2. Степень распространенности кристаллизационных дефектов
n - количество кристаллов в гнезде; $V_д$ - объем дефектной области; $V_{кр}$ - объем кристалла

Следует отметить, что помимо многочисленных мелких дофинейских двойников области кварца тонкомозаичного строения достаточно четко фиксируются системой тонких вуалевидных залеченных трещин. Появление этих трещин так же, как и дофинейских двойников, видимо, связано с разрешением внутренних направлений, возникающих в участках мозаичного строения.

Так как указанные трещины и мелкие дофинейские двойники пространственно совпадают с областями развития мозаичности, в таблице они показаны общим условным знаком.

Таким образом, у разных индивидов из исследованного гнезда выявлены одни и те же виды кристаллизационных дефектов с одинаковой закономерностью их распределения в теле кристалла (рис.I). Однако степень распространения как отдельных, так и всех видов кристаллизационных дефектов в целом, как это показано в таблице, различна, и от 5 до 100% (чаще 40-60%) объема индивидов оказываются непригодными для практического использования (рис.2).

Вместе с тем результаты обогащения кристаллов показывают, что конъюнкционные области извлечены только из 50% исследованных индивидов, в то время как области, лишенные кристаллизационных дефектов, выявлены у 94% общего числа кристаллов, а процент выхода моноблоков (0-9%) гораздо меньше объема областей без кристаллизационных дефектов.

Из сопоставления положения конъюнкционных областей видно, какую огромную роль в снижении качества сырья играют послеростовые деформации кристаллов, выражающиеся в появлении в них систем залеченных и сухих трещин, поражающих преимущественно основание и средние части индивидов (см. таблицу). Однако в данном случае наименее трещиноватые части кристаллов (внешние зоны) содержат наибольшее количество кристаллизационных дефектов.

Выводы

I. Кристаллы кварца из исследованного гнезда характеризуются определенным набором закономерно расположенных в них кристаллизационных дефектов.

2. Распределение дефектов подчинено законам анатомии кварца [I]. Характерна менее высокая степень дефектности пирамид, обращенных при росте вниз, на долю которых приходится основной объем бездефектного сырья [3]. Это необходимо учитывать при оценке и обогащении кристаллов.

3. Абсолютное количество кристаллизационных дефектов, при сохранении закономерности в последовательности их появления в теле кристалла, широко варьирует даже в пределах одного гнезда. Это указывает как на разновременность зарождения отдельных индивидов, так и на неоднородность физико-химических условий кристаллизации в разных частях хрусталеносной полости.

4. В снижении качества сырья огромную роль играют последующие деформации.

5. Основной объем добытого сырья приходится на долю кристаллов крупных размеров массой 30-50 кг. Это связано с тем, что при высокой степени развития кристаллизационных дефектов, характерной для данного месторождения, и в частности мозаичности, мелкие индивиды не содержат бездефектных областей удовлетворительных размеров. Поэтому наиболее продуктивными для данного месторождения являются гнезда с крупными кристаллами кварца.

Литература

1. Карякина Т.А. Анатомия и дефекты кварца. Зап. ВМО, 1975, ч. 104, вып. 2.

2. Карякина Т.А., Эшкин В.Ю. Применение кристалломорфологического анализа для оценки месторождений пьезокварца. В кн.: Прогнозирование, поиски и оценка месторождений пьезооптического сырья. М., изд. ВНИИСИМС, 1975.

3. Леммлейн Г.Г. Искажение облика кристаллов кварца, обусловленное их положением во время роста. ДАН СССР, 1941, т. 33, № 6.