

С. Н. Никандров

**К МОРФОЛОГИИ ДВОЙНИКОВЫХ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СРОСТКОВ КРИСТАЛЛОВ
КОРУНДА ИЗ СИЕНИТОВ И СИЕНИТ-ПЕГМАТИТОВ ИЛЬМЕНСКИХ ГОР
(УРАЛ, РОССИЯ)**

S. N. Nikandrov

**TO MORPHOLOGY OF TWINNING AND PARALLEL GROWTHES OF CORUNDUM
CRYSTALS FROM SYENITES AND SYENITE-PEGMATITES OF THE ILMEN MOUNTAINS
(URALS, RUSSIA)**

For the first time description for regular crystal aggregates of corundums from syenites and syenite-pegmatites of the Ilmen mountains is given. Four types of growthes are distinguished: parallel intergrowth on $c\{0001\}$, twins on $r\{1011\}$ «transvaal» type (in Russian, for the first time), twin on $w\{1121\}$ (new type). At considerable similarity of some types of growthes, it is possible to divide them by detal analysis of morphology elements and determination of their relative positions for different subindividuals of growth. Presence of twins has spontaneous, statistic-accidental, not regular character — they are rare.

Корунд является широко распространённым минералом щелочного комплекса Ильменских гор. Открыт он здесь в первой половине 19 века в сиенитах и сиенит-пегматитах и изучался многими исследователями. Результаты этих работ обобщены в [4], где рассмотрены условия нахождения корунда, особенности морфологии и др. За последние десятилетия информация по корундам Ильменских гор существенно пополнилась: были открыты как новые жилы традиционного типа (сиениты с корундом копи № 300, сиенит-пегматит копи № 298 и др.), так и принципиально новые в отношении корундоносности комплексы пород — амфиболиты, малые тела гипербазитов и т. д. Последней работой, которую можно считать обобщающей по корундам по состоянию на 1990 год, является [8]. В ней выделяется 11 минеральных ассоциаций, в которых известен корунд. Но и к этой информации уже имеются дополнения, в частности открытие в начале 90-х годов явления астеризма в ильменских корундах [7].

Обычной формой нахождения корунда в сиенитах и сиенит-пегматитах являются кристаллы разной степени совершенства. Габитус их варьирует в широких пределах — от таблитчатых, уплощённых по оси c (например, в жиле копи № 298), до сильно вытянутых по оси c , веретенообразных (например в жиле копи № 329). Несовершенство кристаллов выражается в искажении кристаллов, а также в грубой скульптуре на поверхности: на боковых поверхностях — поперечная относительно направления оси c штриховка (комбинационная), на базальных — треугольные выступы и плоские ступенчатые пирамидки, ориентированные в соответствии с симметрией. В огранении кристаллов участвуют следующие формы: $c\{0001\}$, $r\{1011\}$, $a\{1120\}$ и ряд граней пояса $a-c(w\{1121\}$, $z\{2241\}$, $n\{2243\}$ и, по-видимому, другие), последние отмечаются как правило в комбинации, в виде штриховки, но иногда в виде неплохо образованных граней. В разных работах, например в [9], имеются указания на развитие граней других форм. Корунды сиенитов и сиенит-пегматитов часто окрашены в голубой цвет различной интенсивности, от практически бесцветных до густо синих (сапфировидных). В некоторых объектах распространены корунды серые, тёмно-серые до почти чёрных. Вообще-то это бесцветные или слабоокрашенные корунды, но содержащие большое количество микровключений. Для них характерен стально-серый или желтоватый («бронзовый») отблеск на базальных плоскостях, обусловленный микровключениями, и именно в них установлено явление астеризма [7]. Для корундов сиенитов и сиенит-пегматитов неоднократно указывалось зональное распределение окраски [3, 4].

Многие исследователи обращают внимание на развитие в корундах полисинтетических двойников по $r\{1011\}$, имеющих по-видимому механическое происхождение (деформационное) [3, 7]. Из описаний двойниковых сростков известно описание двойника по $\{0001\}$ из сиенитов копи № 300 («Юбилейная») [9]. При обследовании жилы сиенит-пегматита копи № 329 Ю. С. Кобяшевым

были найдены сростки кристаллов корунда, имеющие в первом приближении форму треугольных пластин. Они были диагностированы как двойники срастания по $r\{10\bar{1}1\}$ «трансваальского типа» [2]. Среди многочисленных экспонатов музея Ильменского заповедника, представляющих корунды различных сиенит-пегматитов, нами установлен оригинальный сросток двух таблитчатых кристаллов из жилы копи № 298. Он был диагностирован как двойник срастания по $w\{11\bar{2}1\}$ (новый тип двойников корунда).

В ряде случаев диагностика срастаний бывает затруднена — либо в силу морфологического сходства различных типов срастаний (см. ниже), либо в силу несовершенства исследуемого материала (искаженный облик, фрагменты сростков и т. п.). Существенную помощь здесь может оказать анализ элементов морфологии кристаллов-субиндивидов и, особенно, анализ взаимного расположения этих элементов друг относительно друга у разных субиндивидов сростка. К таким элементам на гранях кристаллов корунда относятся: комбинационная штриховка на боковых гранях кристаллов (грани пояса a - c), треугольные выступы и плоские пирамиды на гранях базопинакоида, штрихи и ступеньки, образованные пересечением плоскостей отдельности по r на боковых гранях и гранях пинакоида.

Комбинационная штриховка на боковых гранях морфологически весьма сходна с широко известной штриховкой на боковых гранях кварца. Располагается параллельно рёбрам между гранями пояса a - c , то есть перпендикулярно оси c (рис. 1, а). Особенностью её является то, что составляющие её узкие грани и рёбра слегка скруглены. Вообще для кристаллов корунда из сиенитов и сиенит-пегматитов Ильменских гор характерна некоторая округленность рёбер между гранями, отчего они выглядят несколько «оплывшими», (обсосанными). Эта штриховка во многих случаях, снижая совершенство боковых граней, не позволяет при гониометрических измерениях

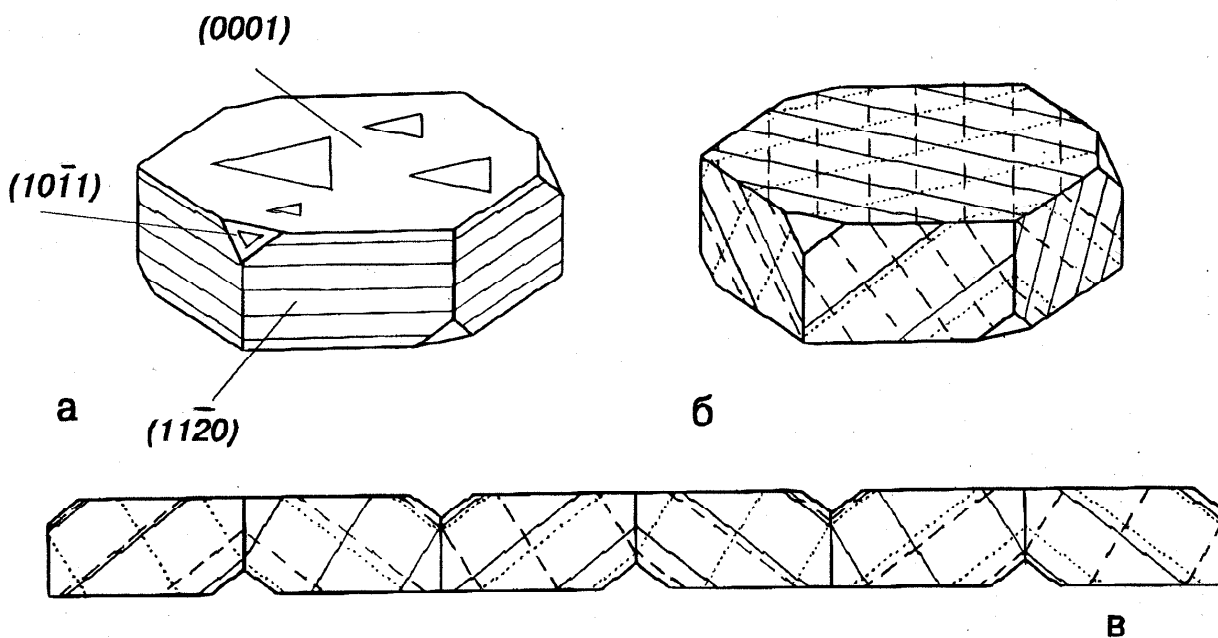


Рис. 1. Некоторые элементы морфологии на гранях кристаллов корунда:

а — комбинационная штриховка на гранях $a\{11\bar{2}0\}$, треугольные выступы на гранях $c\{0001\}$; б — расположение следов отдельности по $r\{10\bar{1}1\}$ на гранях форм $a\{11\bar{2}0\}$ и $c\{0001\}$ (три направления показаны сплошной, штриховой и пунктирной линиями); в — развёртка граней формы $a\{11\bar{2}0\}$ со следами отдельности по $r\{10\bar{1}1\}$ (те же три направления)

добиться хорошего сигнала, образуя световую полосу, соответствующую поясу a - c , со сгустками на углах, соответствующих граням с рациональными символами.

Треугольные выступы и плоские пирамидки на гранях базопинакоида по существу тоже являются комбинационными формами, но уже пояса r - c . Треугольники эти равносторонние с внутренними углами 60° (рис. 1, а).

Стороны их параллельны ребру между гранями ромбоэдра r и пинакоида c (или направлению осей a , b и i). Нетрудно заметить, что в соответствии с симметрией кристаллов корунда, треугольные выступы на противоположных гранях базопинакоида имеют разную ориентировку —

повёрнуты друг относительно друга на 60° . Положение сторон этих треугольных выступов относительно направления рёбер между гранями s и боковыми гранями видно из рис. 1, а.

Грани ромбоэдра $r\{10\bar{1}1\}$, если они ограничены гранью s с одной стороны, и гранями a с двух других сторон, являются треугольными и на своей поверхности имеют, как и грани s , треугольные выступы. Это тоже комбинационные формы — сочетание комбинационных штрихов поясов $r-a$ и $r-c$. Однако это не равносторонние треугольники с углами 60° , как на грани s , а равнобедренные, с углами: при основании — около 43° , а при вершине — около 94° . Иными словами, конфигурация треугольных элементов на грани ромбоэдра отличается от таковой на грани базопинакоида.

Штрихи и ступеньки на боковых гранях кристаллов корунда, образованные пересечением плоскости отдельности по r с этими гранями, по углу наклона относительно рёбер пояса $a-c$ чётко делятся на две группы (для примера — на гранях призмы a — рис. 1 б, в). Одна группа, образованная пересечением плоскостей отдельности и плоскости грани под прямым углом (это грани a , не примыкающие к конкретной грани ромбоэдра), имеет угол наклона относительно ребра $a-c$ в точности равный сферическому углу r , а именно $57^\circ35'$. На боковых гранях, примыкающих к грани ромбоэдра, параллельно которому располагаются плоскости отдельности, формируются штрихи, угол наклона которых относительно ребра $a-c$ иной и составляет примерно 38° . Отдельность по r не всегда проявляется на боковых гранях в виде штрихов или ступенек. Но вследствие некоторой прозрачности кристаллов она иногда просматривается сквозь боковую грань вглубь кристаллов в виде серии параллельных плоских трещинок. Это позволяет однозначно установить их ориентировку. На гранях кристаллов совокупность штрихов и ступенек образует как бы косую (параллелограммную) «сеточку» с углами, для грани a , например, около 96° и 84° .

Та же отдельность по r в виде штрихов и ступенек часто проявляется и на гранях пинакоида s . Они ориентированы в трёх направлениях, параллельных сторонам треугольных выступов и плоских пирамидок, и расположены друг относительно друга, соответственно, под углом 6° . Система этих штрихов также образует «сеточку», как и на боковых гранях. Но она имеет иной вид: в случае примерно равного развития всех трёх направлений она треугольная (встречается сравнительно редко); в случае отсутствия или слабого развития одного из направлений (довольно частый случай) эта «сеточка», как и на боковых гранях, параллелограммная, но с углами 60° и 120° .

В сводной работе Т. А. Мазур и Л. Э. Ротман [4] эти штрихи описываются так: «На гранях призм, ромбоэдра и, особенно часто, пинакоида видна характерная для корунда перекрещивающаяся штриховатость». Как видно, здесь смешаны два вида «... характерной для корунда перекрещивающейся штриховатости...»: один вид — характерный для боковых граней, с углами 84° и 96° ; второй вид — для пинакоида, с углами 60° и 120° или треугольный.

Двойники

Двойники по $s\{0001\}$. В [9] описан двойник этого типа из сиенитов копи № 300, там же имеется чертёж двойника. В нём плоскостью срастания является грань пинакоида s и образован он поворотом субиндивидов друг относительно друга на 60° вокруг оси s . Для него указывается наличие двойникового шва, с входящими углами, образованными наклонными гранями (n и r): нижними — верхнего субиндивида и верхними — нижнего. Кроме того, отмечено, что этот шов пересекается деформационными двойниками и плоскостями скольжения по $\{10\bar{1}1\}$. В экспозиции музея ИГЗ представлен «кристалл» корунда дипирамидального облика с вершинами, усечёнными пинакоидом — габитусные формы: $z\{22\bar{4}1\}$ и $s\{0001\}$ (обр. № 7963, копь № 349). В области сочленения верхних и нижних граней дипирамид в образце имеется выраженный «шов» с входящими углами. При детальном обследовании этого «кристалла» установлена одинаковая ориентировка плоскостей отдельности и других элементов у нижнего и верхнего субиндивида, поэтому он был интерпретирован как параллельный сросток по s , а не как двойник по s .

Действительно, при анализе взаимного расположения элементов морфологии двух субиндивидов в параллельных сростках и в двойниках по s легко заметить разницу. В случае параллельного сростка элементы морфологии транслируются из одного субиндивида в другой и имеют одинаковое положение в пространстве (рис. 2, а). Отсюда и переход деформационных двойников и плоскостей скольжения по $\{10\bar{1}1\}$ из одного субиндивида в другой, и параллельное расположение плоскостей отдельности в разных субиндивидах, и т. п. В реальных параллельных сростках, образованных субиндивидами с габитусными формами a и s , на гранях a «сеточка», образованная штрихами отдельности, как бы параллельно переносится с одного индивида на другой (или продолжается на другом без искажения), рис. 2, в. В случае же двойника по s элементы морфологии разных субиндивидов имеют различное положение в пространстве (рис. 2, б), а именно,

отражённое в плоскости c . В реальных двойниковых сростках, с габитусными формами субиндивидов a и c , на гранях a та же самая «сеточка» штрихов отдельности будет иметь перелом по линии шва (рис. 2, г).

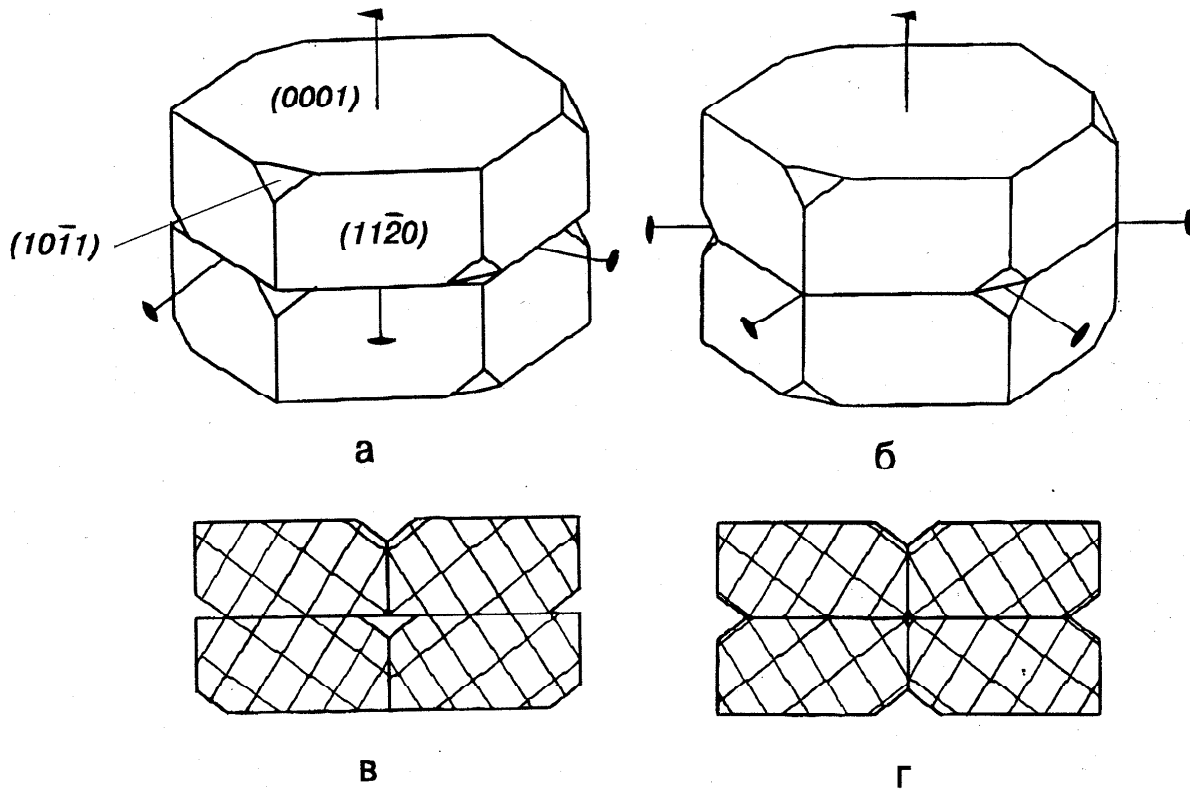


Рис. 2. Схема строения параллельного (а) и двойникового (б) сростков по c кристаллов корунда (показано положение простых поворотных осей сростков); в, г — развёртка двух смежных граней формы $a\{11\bar{2}0\}$ субиндивидов параллельного (в) и двойникового (г) сростков со следами отдельности по $r\{10\bar{1}1\}$ («сеточка»).

Если габитусными формами субиндивидов являются наклонные грани форм n , w , z и др., то ситуация несколько усложняется. Но в любом случае взаимоотношения элементов морфологии разных субиндивидов в сростках подчиняются симметрии всего сростка. Симметрия параллельного сростка имеет следующий вид (в группах цветной симметрии [5]): морфологическая точечная группа двуцветной симметрии $3m$; стержневая группа двуцветной симметрии $p3n1$. Симметрия двойника по $\{0001\}$ имеет следующий вид [5]: морфологическая точечная группа двуцветной симметрии $62m$; стержневая группа двуцветной симметрии $\bar{6}3/m2a$. На практике, при обследовании реальных кристаллов и сростков, если не вдаваться в детальное рассмотрение групп симметрии, это выглядит следующим образом. В параллельном сростке основные элементы его симметрии полностью совпадают с элементами симметрии любого из субиндивидов. В двойниковом же сростке ось третьего порядка и три проходящие через неё плоскости отражения занимают то же положение, что и в субиндивидах (и в параллельном сростке), но оси второго порядка располагаются не перпендикулярно этим плоскостям, а параллельно, т. е. система осей второго порядка повёрнута вокруг оси третьего порядка на 30° по сравнению с этими осями каждого из субиндивидов. Кроме того, появляется плоскость отражения (совпадает с плоскостью шва), перпендикулярная оси третьего порядка, чего в субиндивидах и параллельных сростках, естественно, нет. Таким образом, сопоставление элементов морфологии субиндивидов позволяет надёжно различать морфологически сходные параллельные и двойниковые (по c) сростки.

С учётом этих признаков автором была проведена ревизия части кристаллов и сростков корунда в экспозициях музея Ильменского заповедника. Среди них не установлено двойников по c . Однако в рабочем материале Ю. С. Кобяшева и С. Н. Никандрова сборов 1990—95 гг. среди корундов копи № 361 обнаружено несколько «кристаллов», в которых отчётливо выражены признаки, позволяющие отнести их к двойникам по c .

В целом корунды этой копи представлены короткостолбчатыми, почти изометричными, кристаллами тёмно-серого, почти чёрного цвета. Боковые грани слегка суживаются к торцам кристаллов, отчего кристаллы имеют характерную для Ильменских гор «бочёночко-видную» форму. На боковых гранях развита грубая комбинационная штриховка, параллельно $\{10\bar{1}1\}$ развита отдельность и «полисинтетические» двойники: как правило, хорошо выражено одно направление, слабее — ещё одно, значительно слабее — третье. Эта отдельность хорошо проявлена на боковых гранях в виде косых штрихов и гранях пинакоида, как это описано выше, а также хорошо просматривается в виде плоских трещинок сквозь боковые грани вглубь кристаллов.

Подавляющее число корундов копи № 361 являются монокристаллами. Найдено несколько параллельных сростков с разноразмерными субиндивидами, взаимоотношения между некоторыми из них имеют характер прорастания. Параллельность их чётко устанавливается по одновременному отблеску плоскостей отдельности в заколах на углах кристаллов. Несколько найденных двойников по c морфологически ничем не отличаются от основной массы кристаллов и только перелом направления штрихов отдельности на боковых гранях позволяет их выделить. Двойниковый шов при беглом просмотре не фиксируется, т. к. маскируется комбинационной штриховкой. Только при детальном обследовании он устанавливается в виде неровной тонкой линии, на которой происходит незначительная смена характера комбинационной штриховки. Отдельного изображения двойниковых сростков по c здесь не приводится, т. к. их вид в точности соответствует рис. 2 б, только реальные сростки более вытянуты по оси c и входящие углы по шву практически отсутствуют (грани r вырождены).

Таким образом, среди кристаллов и сростков корунда из сиенитов и сиенит-пегматитов Ильменских гор устанавливаются морфологически весьма сходные параллельные сростания и двойники по c . Их надёжная идентификация возможна лишь при детальном сопоставлении элементов морфологии субиндивидов. В связи с этим отнесение сростка корунда из копи № 300, описанного в [9], к двойнику по c не представляется достоверным, т. к. данных, приведенных в описании, недостаточно — это может быть параллельный сросток.

Двойники по $r\{10\bar{1}1\}$. Установлены в жиле сиенит-пегматитов копи № 329. Особенностью корунда этой копи является то, что в отличие от корундов большинства других копей в Ильменских горах, он здесь образует сильно вытянутые по c , веретенообразные, кристаллы размером до 7 см по удлинению (и больше) при толщине 1—1.5 см. В общем он окрашен в ярко-голубой цвет, но окраска неравномерная — от бледно-голубой или почти бесцветной, до густо-синей (пятнами). На гранях кристаллов представлены все элементы морфологии, описанные выше, только грани c относительно невелики, а грани r — ещё более мелкие.

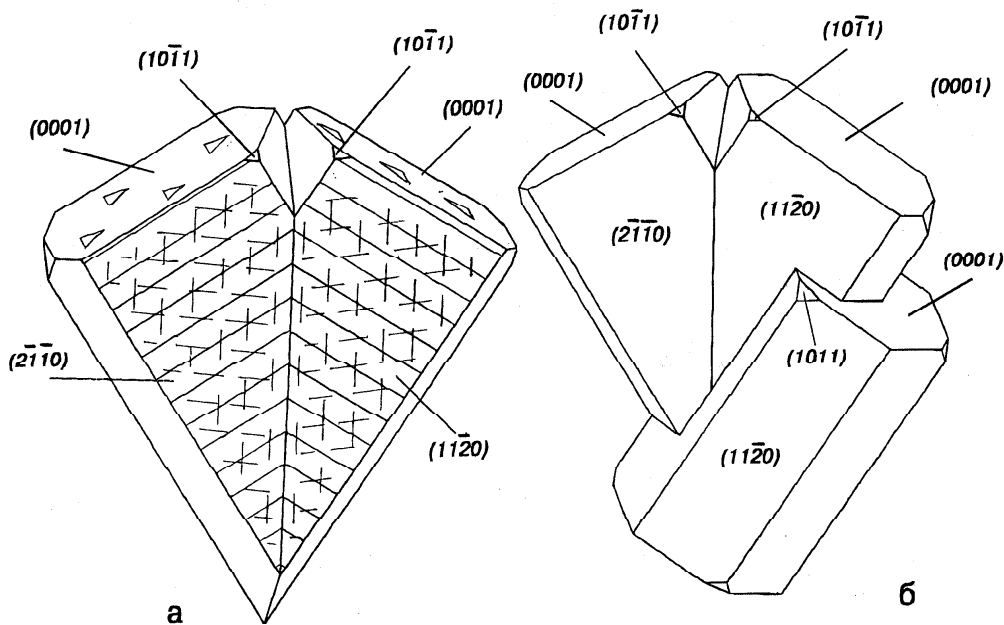


Рис. 3. Двойники корунда по $r\{10\bar{1}1\}$:

а — простой двойник, б — двойник с параллельно приросшим третьим субиндивидом. На лицевых гранях $a\{11\bar{2}0\}$ показаны направления (а): сплошные линии, опирающиеся на рёбра — комбинационная штриховка; прерывистые линии (два направления) — следы отдельности по $r\{10\bar{1}1\}$. На гранях $c\{0001\}$ субиндивидов показаны треугольные выступы (ориентировка)

Двойники срастания по r имеют, как уже отмечалось, форму треугольных пластин, близких к равнобедренному треугольнику. Размер их до 4 см (длина стороны) при толщине 0.5—0.6 см. Строение этих двойников простое, вид очень характерный, поэтому они хорошо идентифицируются (рис. 3, а). Взаимное расположение элементов морфологии различных субиндивидов в сростке находится в полном соответствии с взаимным расположением самих субиндивидов: штрихи отдельности на боковых гранях — одна система ориентирована параллельно шву, вторая система находится под углом к шву около 84° и из одного субиндивида в другой переходит с переломом по шву (угол между штрихами составляет примерно 168°). Комбинационная штриховка образует от-носительно шва своеобразную «ёлочку» с углом около 57° (сферический угол грани r). Треугольные выступы на грани c в разных субиндивидах обращены вершинами друг к другу (см. рис. 3, а). Субиндивиды немного отличаются друг от друга по толщине, поэтому больший субиндивид немного захватывает более тонкий, образуя в области шва небольшой тонкий наплыв. При вскрытии такого наплыва обнаруживается поверхность, уверенно идентифицируемая как индукционная, т. е. поверхность синхронного роста. Двойники этого типа имеют характерный облик, описанный в литературе [2], поэтому отнесены нами к «трансваальскому» типу. Симметрия двойника по $\{1011\}$ в группах цветной симметрии [5] имеет вид: морфологическая точечная группа двуцветной симметрии $2/m$; стержневая группа двуцветной симметрии $pn' \quad ' \quad '$.

Один из сростков имеет более сложное строение, чем описано выше. В нём один из субиндивидов двойника параллельно срастается с третьим субиндивидом (рис. 3, б), параллельность сростка чётко фиксируется по одновременному отблеску от плоскостей отдельности. Поверхность между параллельными субиндивидами также индукционная. Взаимное расположение элементов морфологии в параллельном сростке находится в соответствии с взаимной ориентировкой субиндивидов.

Ранее для России этот тип сростков не описывался.

Двойник по $w\{11\bar{2}1\}$. Установлен в одном экземпляре при ревизии кристаллов и сростков в экспозиции музея Ильменского заповедника (образец № 7775 из жилы копи № 298). Жила открыта в 1976 году, материал из неё представлен во многих музеях России, минералогия её, в том числе и корунды, хорошо изучена [1, 3]. Корунды этой жилы имеют толстотаблитчатый облик, габитусными формами являются $c\{0001\}$ и $a\{1120\}$, на некоторых кристаллах присутствуют $r\{1011\}$ и, реже, $n\{2243\}$ и $z\{2241\}$ [3]. Совершенство граней, особенно у крупных кристаллов, относительно невысокое из-за грубой скульптуры на поверхности (комбинационная штриховка, выступы, полосы деформации по r). Особенностью корундов этой жилы является расщепление кристаллов с образованием сложных сростков, по внешнему виду похожих на широко известные «железные розы». В целом корунды этой жилы окрашены в синий цвет различной интенсивности (сапфировидные), центральная часть некоторых кристаллов окрашена в серый цвет и имеет стально-серый отлив на базальных плоскостях (в них также установлено явление астеризма [7]).

Описываемый двойник сложен двумя субиндивидами характерного для этой жилы толстотаблитчатого габитуса. Совершенство граней невысокое, поэтому определение взаимной ориентировки их осуществлялось путём многократного измерения по отблескам. Среднее значение сферического угла плоскости срастания составляет 70° . По данным справочников [2, 6] в этой

области расположены грани следующих форм: $w\{1121\}$ — $69^\circ53'$, $h\{7.7.14.6\}$ — $70^\circ33'$, $v\{4483\}$ — $74^\circ38'$; остальные грани отклонены от 70° на больший угол. Как видно, наиболее близкое положение к плоскостям срастания имеет w , поэтому она и принята, с некоторой долей условности, за двойниковую плоскость. Изображение двойника приведено на рис. 4, элементы морфологии на гранях субин-

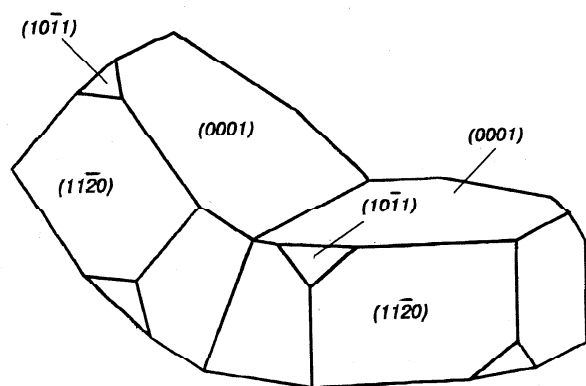


Рис. 4. Двойник корунда по $w\{11\bar{2}1\}$.

дивидов имеют расположение, соответствующее взаимному расположению самих субиндивидов. Симметрия двойника по $\{1121\}$ в группах двуцветной симметрии имеет вид [5]: морфологическая точечная группа двуцветной симметрии 2^2 ; стержневая группа двуцветной симметрии $p112'/'$.

Ранее этот тип сростков не описывался.

Основные выводы

1. Впервые для корундов из сиенитов и сиенит-пегматитов Ильменских гор достоверно установлены двойники срастания по $\{0001\}$, морфологически весьма сходные с монокристаллами и параллельными сростками. Достоверное выделение таких двойников стало возможным на основе детального анализа элементов морфологии и их взаимного расположения для разных субиндивидов в сростке.

2. Впервые для корундов из сиенитов и сиенит-пегматитов Ильменских гор (и, по-видимому, для России) установлены двойники срастания по $\{10\bar{1}1\}$ — «транс-ваальского» типа.

3. Впервые для корундов из сиенитов и сиенит-пегматитов Ильменских гор (и, по-видимому, для мировой практики) установлены двойники срастания по $\{1121\}$.

4. Количество двойников всех установленных типов очень невелико, что свидетельствует о том, что наличие их, носит не закономерный, а статистически случайный, характер. Количество параллельных сростков несколько больше, но в целом тоже относительно невелико.

Автор выражает признательность сотрудникам ИМин УрО РАН В. А. Попову и В. И. Поповой, сотруднику ИГЗ УрО РАН Ю. С. Кобяшеву за помощь в проведении исследований и консультации, а также сотруднику ИМин УрО РАН Е. П. Макагонову за описание симметрии сростков.

Примечания к изображениям кристаллов и сростков на рисунках.

1. Габитус кристаллов и сростков на рисунках приближен к реальным.

2. На изображениях кристаллы и сростки генерализованы — реальные объекты более несовершенны.

3. При вычерчивании некоторых сростков проведена реконструкция, т. к. вследствие высокой вязкости вмещающей породы извлечение целых кристаллов и сростков затруднительно, т. е. обследовались кристаллы и сростки имеющие сколы.

4. Изображение элементов морфологии схематизировано, но их ориентировка выдержана. С целью лучшей визуализации этих элементов кристаллы и сростки изображены не в стандартной установке, а слегка развернуты.

Литература

1. Вертушков Г. Н. Таблитчатые кристаллы корунда из полевошпатовых жил ильменогорских щелочных пород Урала//Минералогия и петрография Урала. Тр. Свердловского горн. ин-та. 1976. Вып. 124. С. 124—125.

2. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. Т. 1, полутом 2, М.: Иностранная литература. 1951. 420 с. («Корунд» С. 45—54).

3. Жданов В. Ф., Поляков В. О., Нишанбаев Т. П. Минералогия жилы корундового пегматита копи 298 Ильменского заповедника//Материалы к минералогии Южного Урала. Свердловск. 1978. С. 92—97.

4. Мазур Т. А., Ротман Л. Э. Корунд//Минералы Ильменского заповедника. М.-Л. 1949. С. 483—496.

5. Макагонов Е. П. Симметрия сростков минеральных индивидов. М. : Наука. 1991. 195 с.

6. Минералы: Справочник. М.: Наука. 1965. Т. 2, вып. 2. 343 с. («Корунд» С. 63—75).

7. Никандров С. Н. Астеризм в корундах Ильменских гор // Уральский минералогический сборник № 4. Миасс: ИМин УрО РАН. 1995. С. 81—91.

8. Поляков В. О., Баженов А. Г., Петров В. И. Минеральные ассоциации корунда Ильменских гор//Новые данные по минералогии эндогенных месторождений и зон техногенеза Урала. Свердловск: изд. УрО РАН. 1991. С. 15—21.

9. Попов В. А., Попова В. И. К механизму формирования полевошпатовых очков вокруг кристаллов корунда копи «Юбилейная» в Ильменских горах//Материалы к минералогии Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1975. С. 50—57.