

Ю. Л. ОРЛОВ

К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ ОКРУГЛЫХ ФОРМ
КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

В последнее время вопрос о генезисе округлых кристаллов алмаза затрагивался в литературе в острой полемической форме О. М. Аншелесом (1954, 1955), А. А. Кухаренко (1954) и И. И. Шафрановским (1955). До сих пор существуют две противоположные точки зрения, хотя соотношение фактов, свидетельствующих в пользу того и другого представления, уже давно изменилось по сравнению с тем временем, когда была высказана впервые В. М. Гольдшмидтом и А. Е. Ферсманом (1911) теория растворения и А. Ван-дер-Веспом (Van der Veen, 1913), теория послыного роста, основанная на представлениях Аюи и Задебека.

Если теория роста все еще базируется главным образом на умозрительных построениях, то теория растворения в настоящее время основывается на многочисленных реальных примерах преобразования плоскостных многогранников в округлые кристаллы в процессе растворения. На детальном изучении аксессуарий на поверхности округлых кристаллов алмаза, на богатом экспериментальном материале и на других признаках, которые будут указаны ниже.

Иногда сторонниками теории роста признается влияние процесса растворения на морфологию кристаллов алмаза, но при этом ему приписывается ничтожная роль и неправильно иллюстрируется характер его проявления. Приведем высказывание О. М. Аншелеса (1954), активно выступавшего в защиту теории роста: «Ни одной минуты, конечно, не хочу утверждать, что не бывает кристаллов алмаза, подвергшихся растворению или коррозии. Подобно тому как встречаются кристаллы, например кварца, подвергшиеся растворению, наряду с типичными для кварца формами роста, так точно могут быть и формы растворения алмаза».

Отметим, что процессы коррозии алмазов в материнской среде после их кристаллизации широко развиты и задокументированы на поверхности граней кристаллов в виде многообразных скульптур и фигурок вытравливания, которые мы не имеем цели сейчас рассматривать. Процессы же растворения, как выясняется при тщательном исследовании огромного количества природных кристаллов алмаза, существенно влияют на морфологию не единичных образцов, а при некоторых условиях застывания материнского расплава на подавляющее большинство кристаллов алмаза, что резко обособляет их в этом отношении от всех других минералов.

Опишем ряд характерных гемиморфных многогранников, образование которых представляется единственно возможным в результате растворения кристаллов алмаза.

На рис. 1 изображен кристалл, который имеет хорошо известную для алмаза форму пластинчатого октаэдра. Вместо единичных ребер

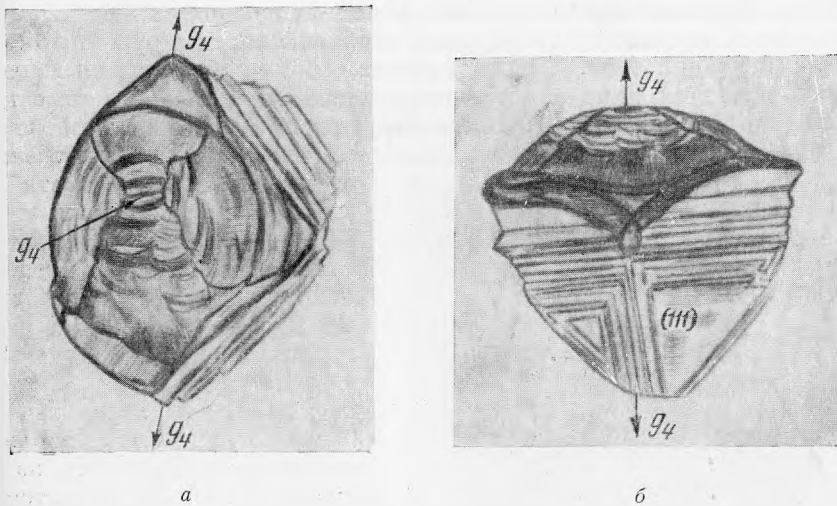


Рис. 1. Гемиморфный кристалл алмаза.

a — округлая вершина додекаэдра на выходе одной из осей g_4 кристалла; *б* — тот же кристалл, повернутый на 90° . Видна плоскогранная пластинчатая форма октаэдра и округлая часть кристалла

наблюдается ступенчатая поверхность, образованная отдельными наслаивающимися друг на друга треугольными пластинами. На этом образце

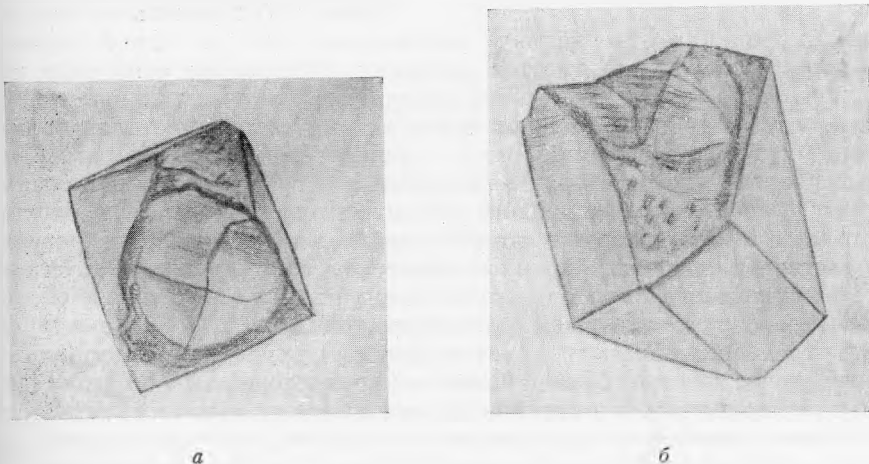


Рис. 2. Гемиморфный кристалл алмаза.

a — округлая вершина выхода оси g_4 додекаэдра на плоскогранном кристалле; *б* — тот же кристалл в другом положении. Видно взаимоотношение плоскогранной части с округлой вершиной, представляющей собой конус растворения

одна из вершин выхода осей g_4 преобразована в округлую форму. По своему объему эта вершина значительно меньше противоположной, сложенной плоскими пластинами, и имеет вид округлого свода. Округлые грани имеют волнистую мозаично-блоковую поверхность и характерные раковинчатые уступы, образующие вокруг вершины g_4 серповидную штрихов-

ку. Совершенно очевидно, что округлая часть кристалла глубоко врезанная в тело пластинчатого октаэдра развита за счет плоскогранной формы и является вторичной по отношению к ней. Очень яркими примерами подобного «вырезывания» округлых форм из плоскогранных многогранников алмаза являются два образца, изображенные на рис. 2 и 3.

Первый из них (рис. 2) представляет собой комбинационный плоскогранный кристалл алмаза с совершенно плоскими гранями и острыми ребрами, но с одной стороны его развита округлая вершинка додека-

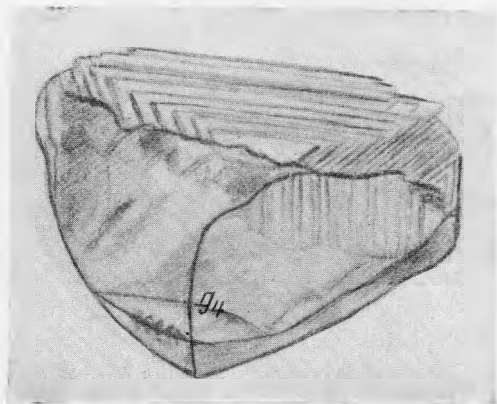


Рис. 3. Гемиморфный кристалл алмаза; уплощенный двойник по (111)

эдроида. Последняя отделяется от плоскогранной части кристалла ясно выраженным уступом, кромки которого как бы «оплавлены» и сливаются с одной стороны с плоскими гранями, а с другой — с округлыми гранями вершинки додекаэдроида, на которых наблюдается очень четкая микродвойниковая полосчатость. Монолитная округлая поверхность на вершинке выхода оси g_4 на этом кристалле совершенно тождественна характеру граней широко распространенных округлых кристаллов алмаза. Совершенно очевидно, что на данном образце вершинка додекаэдроидов тождественна конусам растворения, наблюдаемым на топазах и других минералах. Поскольку растворение шло с одной вершинки то в данном случае не имеется никаких намёков на появление гранных швов¹. На эту деталь важно обратить внимание, так как она проливает свет на генезис гранных швов на округлых кристаллах алмаза, относимых к телам, оформившимся в процессе всестороннего растворения плоскогранных многогранников. Указанная особенность свидетельствует о справедливости представления о том, что гранные швы на округлых кристаллах алмаза образуются в результате пересечения двух поверхностей растворения, развивающихся навстречу одна другой от двух смежных вершин выхода осей четвертого порядка.

Преобразование типичной плоскогранной формы роста в округлый кристалл наглядно иллюстрируется также и другим образцом (рис. 3), который представляет собой двойник сильно уплощенных по g_3 октаэдрических индивидуумов, сростшихся по шпинелевому закону. В данном случае процесс преобразования затронул большую часть первоначального плоскогранного кристалла, сложенного треугольными пластинами. Округлые поверхности на этом образце ничем не отличаются от обычных монолитных граней округлых кристаллов алмаза, но здесь также не наблюдаются гранных швов, так как интенсивное растворение шло только с одной стороны кристалла. При равномерном всестороннем растворении подобных уплощенных по g_3 сдвойникованных октаэдров образуются

¹ Гранными швами на кристаллах алмаза называются ребра, идущие по короткой диагонали ромбических граней округлого ромбододекаэдра. Обычно они бывают смещены к одной из вершин выхода оси g_4 и имеют разнообразный характер в связи со скульптурными особенностями строения поверхности граней.

округлые формы, имеющие в плане сферически-треугольную конфигурацию и нередко встречающиеся среди природных кристаллов алмаза.

Интенсивным односторонним растворением единственно возможно объяснить характер округлых поверхностей и взаимоотношение их с плоскими октаэдрическими гранями на образце, изображенном на рис. 4.

Следует обратить внимание на то, что преобразование плоскогранных кристаллов в округлые происходит с вершин выхода осей g_4 , а не g_3 как это должно было быть, исходя из представлений теории роста, изложенной в частности в одной из последних статей О. М. Аншелесом (1955₁, 2).

Кроме того, взаимоотношение плоскогранной части кристаллов с округлой, наблюдаемое на природных гемиморфных многогранниках алмаза,



Рис. 4. Гемиморфный кристалл алмаза.

а — слева видны сложно скульптурированные грани октаэдра, справа — округлая часть кристалла; б — тот же кристалл со стороны округлой части. Наверху справа скол

обратно тому, как это должно было бы быть, если бы плоскогранные октаэдрические кристаллы зарастали в округлые формы в процессе роста, согласно представлениям А. Ван-дер-Веена и его сторонников.

Многочисленные детали на округлых гранях кристаллов алмаза, наряду с характером сочленения округлой части с плоскогранной на гемиморфных многогранниках, являются свидетельством их вторичного происхождения в процессе растворения.

На рис. 5 изображен деформированный¹ комбинационный кристалл алмаза типа О—Д (октаэдр-додекаэдрод). Октаэдрические грани на этом образце, как и обычно для подобного типа многогранников алмаза, имеют характерную поверхность. На них наблюдаются треугольные углубления, часто с усеченными вершинками, совершенно отчетливо видно слоистое строение. В то же время широко развитые на месте ребер октаэдра округлые грани додекаэдроида имеют гладкую поверхность без всяких следов слоистости и покрыты многочисленными каплевидными холмиками. Обратим внимание на трехгранную пирамидку

¹ Термин деформация употребляется в данном случае только в смысле обозначения отклонения внешней формы кристалла от идеального изометричного многогранника этого же типа, при этом совершенно не имеется в виду какая-либо деформация кристалла алмаза в результате физического воздействия.

(на рис. 5), где отчетливо видно, что на октаэдрической грани ее стороны имеют явные следы слоистости, а третья сторона, являющаяся додекаэдрической поверхностью — гладкая, с каплевидными холмиками. Подобное взаимоотношение легко объясняется с точки зрения теории растворения: округлые поверхности додекаэдрические являются вторичными также, как и их скульптурные детали. С позиций теории роста в данном случае придется прибегать к невероятным предположениям и к некоторым условностям. Аналогичный пример можно видеть и на рис. 6. Здесь также видна отчетливая слоистость на октаэдрических поверхностях, тогда как додекаэдрические грани совершенно гладкие.

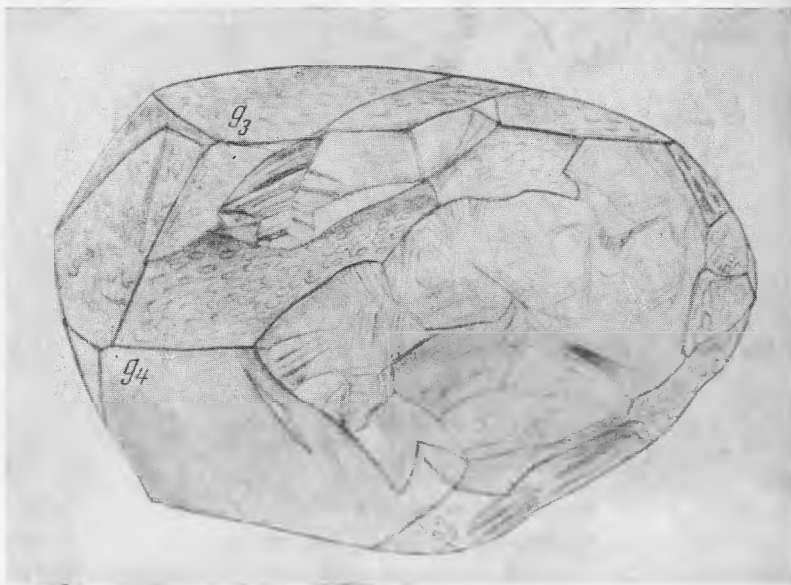


Рис. 5. Деформированный комбинационный кристалл алмаза с каплевидными холмиками на округлых поверхностях и слоистым строением октаэдрических градей

На рис. 7 приведено фото и зарисовка еще одного весьма интересного образца гемиморфно развитого комбинационного кристалла алмаза. С одной стороны он имеет грубо пластинчатое строение (рис. 7 а), при повороте же на 180° картина резко меняется: здесь образованы округлые гладкие поверхности (рис. 7 б). Характер перехода грубой октаэдрической пластинчатости в гладкие поверхности отображен на схеме (рис. 7 в).

Образование такого кристалла путем роста по схеме Ван-дер-Беема можно представить себе только при условии наслаивания одной на другую фантастически сложных изменяющихся по конфигурации и толщине пластин, тогда как с точки зрения растворения подобное взаимоотношение толстопластинчатой плоскогранной части кристалла и округлой совершенно естественно.

Свидетельством того, что округлые грани, обладающие монолитной гладкой поверхностью, возникают в процессе растворения, является еще один факт. На рис. 8 приведена фотография, на которой видна

вытравленные каналы, развитые по плоскостям спайности и глубоко проникающие внутрь кристалла алмаза. Стенки каналов представляют собой узкие округлые грани, ничем не отличающиеся по характеру поверхности от граней самого кристалла. Происхождение каналов в процессе растворения, использующего ослабленные направления (потенциальную спайность) не вызывает сомнения. Следовательно, этот факт, наряду с другими, еще раз подтверждает, что округлые грани на кристаллах алмаза являются поверхностями растворения.

На основании приведенного материала можно сказать, что в природе имеются явные и несомненные случаи преобразования плоскогранных кристаллов в округлые, причем это преобразование происходит в процессе растворения ранее созданных плоскогранных многогранников. Имея несомненные доказательства проявления подобного процесса и изучив все особенности поверхностей растворения на гемиморфных кристаллах, которые иллюстрировались на рис. 1—4, можно говорить, что если широко распространенные округлые кристаллы алмаза обладают точно таким же характером граней, с теми же самыми скульптурами, то они возникают аналогичным образом и являются результатом всестороннего растворения плоскогранных многогранников роста.

Примером округлого кристалла, образованного, по нашему мнению, в результате всестороннего растворения, проявившегося со всех вершин выхода осей четвертого порядка, может являться алмаз, изображенный на рис. 9.

На этом кристалле-додекаэдроиде уже не сохранилось плоских граней: округлые сильно блестящие монолитные поверхности додекаэдроида неровные, некоторые из них имеют мозаично-блоковое строение. Сложная конфигурация граней, сильное смещение гранных швов к вершинам выхода осей g_4 уплощенного пояса, весь характер строения поверхности граней, раковинчатые уступы, согласные короткой диагонали граней, микродвойниковая полосчатость и т. п. — все это наблюдается на округлых гранях кристаллов, иллюстрируемых на фиг. 1—4, где совершенно очевидно, что подобного рода поверхности возникли в результате растворения.

В данном случае невозможно объяснить образование кристалла слоистым зарастанием по схеме теории послынного роста. Сложная неизометричная форма округлого кристалла не может быть воспроизведена путем наслаивания, так как при этом слои должны иметь фантастически причудливые очертания и на вершинах выхода осей g_4 появились бы дополнительные ребра, что не наблюдается на самом кристалле. Кроме того, трудно представить, что совершенно гладкая мозаично-блоковая поверхность граней на данном кристалле могла быть образована совокупностью кромок отдельных слоев.

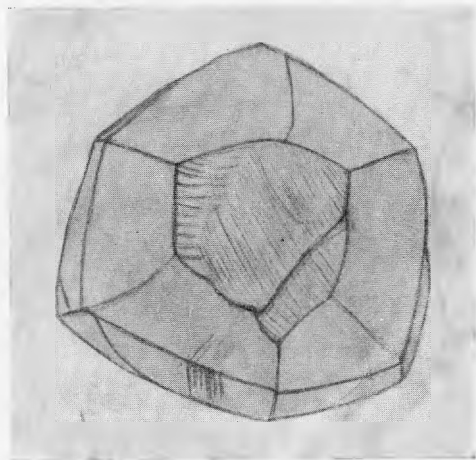
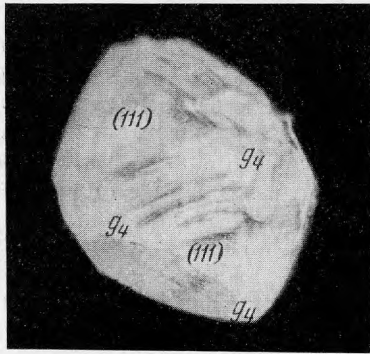
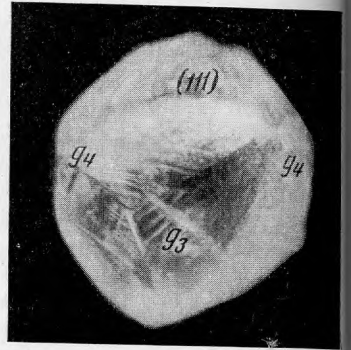


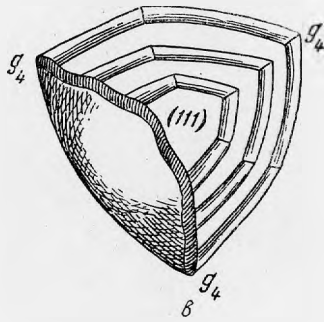
Рис. 6. Комбинационный кристалл алмаза. Октаэдрические поверхности имеют слоистое строение, округлые грани додекаэдроиды совершенно гладкие



a



б



в

Рис. 7. Гемиморфный кристалл алмаза

a — толстопластинчатая часть кристалла, внизу слева гладкая округлая поверхность; б — гладкая непластинчатая округлая часть кристалла; в — схема сочленения гладкой округлой и пластинчатой поверхностей

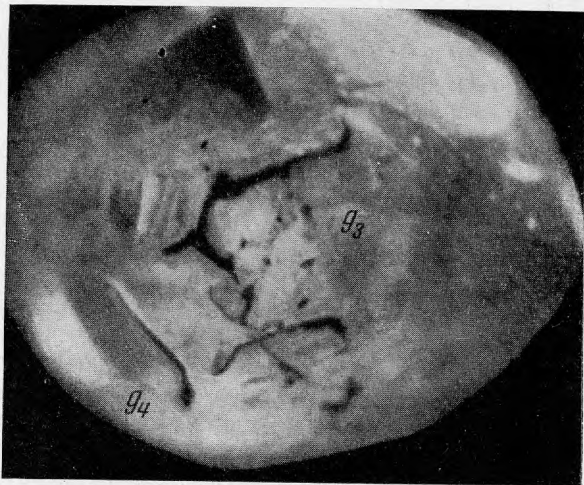


Рис. 8. Каналы травления на округлом кристалле алмаза

Исследователи, объясняющие возникновение округлых кристаллов алмаза путем роста, обычно иллюстрируют кристалл, изображенный на

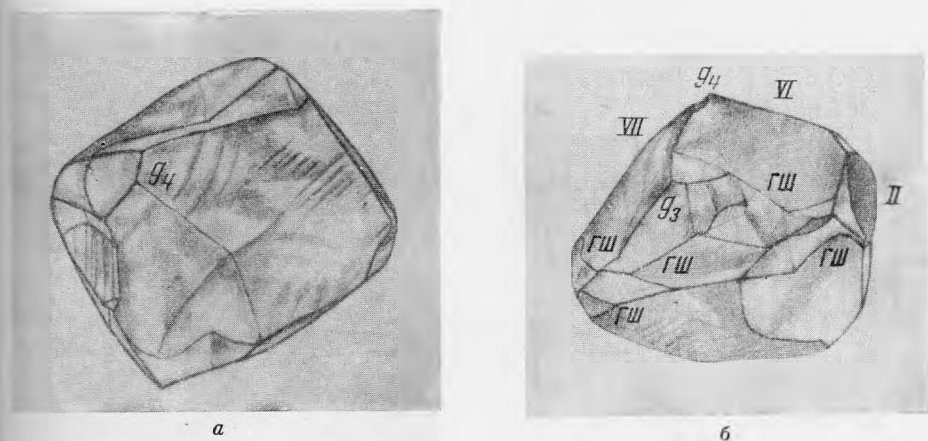


Рис. 9. Сложно деформированный округлый кристалл алмаза.

а — вид кристалла с одной из вершин выхода g_4 ; видна микродвойниковая полосчатость и серповидные уступы у вершины выхода оси g_4 ; б — тот же кристалл в другом положении; г. ш. — гранный шов.

рис. 10, как типичную округлую форму алмаза. Эта зарисовка алмаза, заимствованная из монографии А. Е. Ферсмана и В. М. Гольдшмидта, в некоторой степени идеализирована. Здесь изображено, что кристалл сложен отдельными дитригональными пластинами, наслаивающимися одна на другую, но на природных комбинационных кристаллах алмаза этого типа никогда не бывает выражена такая индивидуализация слоев, отчетливо наблюдающаяся только лишь на плоскостных октаэдрических многогранниках, сложенных тригональными пластинами.

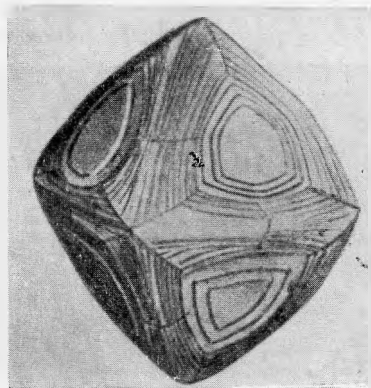


Рис. 10. Зарисовка кристалла алмаза из атласа А. Е. Ферсмана и В. М. Гольдшмидта

На рис. 11, а, б приведены типичные округлые кристаллы алмаза, о которых здесь идет речь, как о телах сформировавшихся в процессе растворения.

Обычно округлые грани на алмазах обладают гладкой, как бы размытой поверхностью, подобной наблюдаемой на конусах растворения других минералов, и не имеют никаких следов слоистого роста. Часто гладкие округлые грани имеют волнистое мозаично-блоковое строение. На поверхности граней округлых кристаллов постоянно наблюдаются скульптуры в виде рельефной микродвойниковой полосчатости, кашлевидных и пирамидальных холмиков, раковинчатых уступов, т. е. те же скульптуры (акцессории), которые наблюдаются на округлых поверхностях таких показательных в отношении генезиса гемиморфных кристаллов, какие приведены на рис. 1—4.

Для иллюстрации приведем несколько типичных округлых кристаллов с этими скульптурами. На рис. 12 изображен додекаэдр, на котором интенсивно заштрихованы микродвойниковой полосчатостью

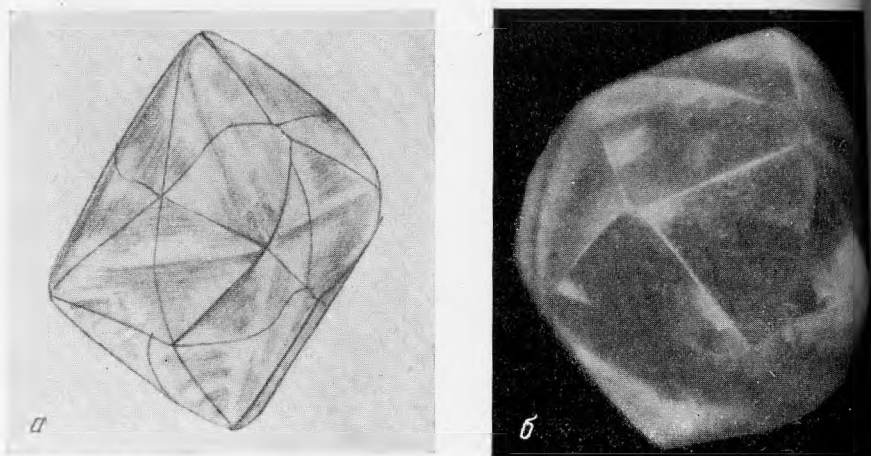


Рис. 11. Округлые кристаллы алмаза.

а — типичный октаэдронд желтого алмаза; б — додекаэдронд изометричный

На рис. 13 приведена зарисовка сложно деформированного додекаэдра, на котором на поверхности наиболее сильно развитой грани наблюдаются отдельные блоки с раковинчатыми уступами, аналогичными

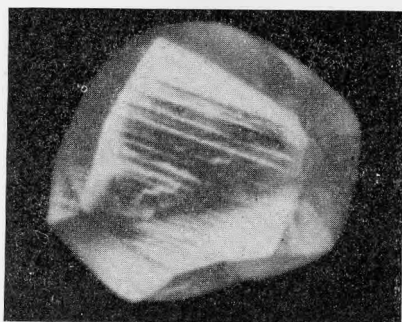


Рис. 12. Округлый кристалл алмаза (додекаэдронд) с ясно выраженной микродвойниковой полосчатостью

на кристалле рис. 1. Капельные и пирамидальные холмики хорошо видны на гранях кристалла алмаза, изображенного на рис. 5.

Округлые кристаллы с заштрихованными нацело гранями встречаются редко среди алмазов. Примером такого многогранника служит кристалл, изображенный на рис. 14. Образование округлой формы этого кристалла можно было бы себе представить с помощью сложного роста, при котором сложная по конфигурации и несимметричная чешуя наслаивалась одна на другую, каждый последующий раз убывая в размере. При таком зарастании октаэдрического кристалла в додекаэдрической форме отдельные слои-чешуйки могли образовывать штриховку на его гранях. Однако аналогичную штриховку, исключительно четко выраженную, приходится наблюдать также на поверхностях граней, явно образованных в процессе травления. На рис. 15 приведена зарисовка одного из алмазов, на гранях которого видны в виде заливок участки травления. Штриховка вокруг вершины выходной оси третьего порядка, подобная выраженной на кристалле рис. 14, проявлена наиболее отчетливо на протравленной поверхности. На рис. 16 изображена зарисовка грани округлого кристалла, на которой

рой в ямках травления видна ясная штриховка, отсутствующая на самих гранях. Эти факты дают основание считать, что такого типа штриховка возникает не в процессе роста, а в результате травления кристалла, при котором, как при искусственном структурном травлении, выявляются особенности внутреннего строения кристалла (пластинчатость по (111), микродвойниковые структуры и т. д.). Сторонниками теории роста наиболее распространенные акцессории на округлых формах алмаза (микродвойниковая полосчатость, пирамидальные и каплевидные холмики и т. п.) либо совершенно игнорируются, либо объясняются на основании самых вольных представлений о кристаллизации алмаза (Williams, 1932).

Подтверждением того, что все указанные скульптуры не представляют собой поверхностные акцессории, возникающие в последнюю стадию кристаллизации, т. е. в процессе роста, а являются отражением внутренних мик-

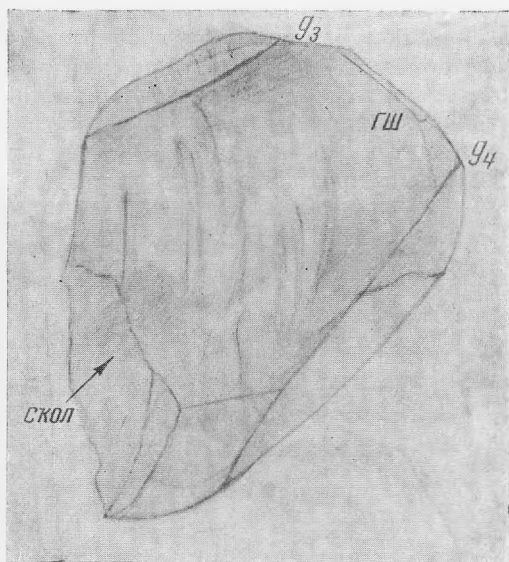


Рис. 13. Округлый кристалл алмаза (деформированный додекаэдрон) с мозаично-блоковым строением граней и раковинчатыми уступами. Слева внизу скол; г. ш.—граничный шов

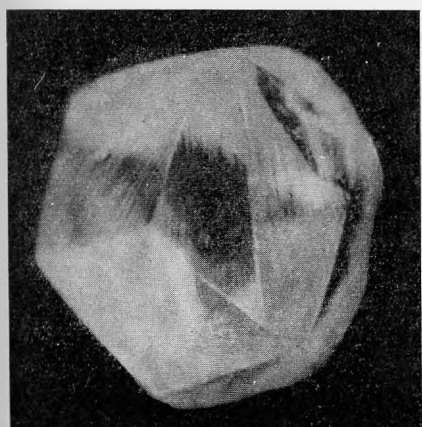


Рис. 14. Округлый кристалл алмаза (додекаэдрон) с ясно заштрихованными гранями



Рис. 15. Штриховка, аналогичная наблюдаемой на гранях кристалла алмаза, изображенного на рис. 14, развитая на протравленных участках граней

роструктурных особенностей кристаллов алмаза, вскрывающихся на поверхностях растворения (как при структурном травлении), слу-

жаты факты постоянного проявления их на округлых гранях гемиморфно развитых комбинационных кристаллов, образование которых в процессе растворения представляется единственно возможным (рис. 1—4). Кроме того, например, в случае сильного травления кристаллов, подобно изображенному на рис. 12, микродвойниковая полосчатость на поверхностях травления выступает в некоторых случаях еще более рельефно. На сильно протравленных кристаллах алмаза с характерной многогранной



Рис. 16. Грань округлого кристалла алмаза с ямками травления. Дно ямок заштриховано

поверхностью, покрытой разнообразным и петельчатым рисунком на протравленных участках наблюдаются пирамидальные каплевидные холмики, а также и микродвойниковые полосы (рис. 17).

Имеются и другие признаки, свидетельствующие наряду с внешними морфологическими особенностями кристаллов о растворении алмазов; некоторые из этих признаков указывались в литературе (Харенко, 1954).

1. При статистических подсчетах обнаруживается значительное превышение среднего веса кристаллов октаэдрической габитуры над средним весом округлых кристаллов. При этих подсчетах нужно учитывать в каждом конкретном месторождении веса кристаллов одной генерации. Известно, в двух соседних кимберлитовых трубках характерны кристаллы резко отличающиеся по величине и форме и дающие в одной трубке различные сто-

дают качественно неодинаковую продукцию. При учете одной генерации в некоторых случаях превышение среднего веса октаэдрических кристаллов над додекаэдрическими достигает 60%.

2. По материалам исследований Г. Р. Рэндалла (Rendall, 1946) В. Линдлея (Lindley, 1937), изучавшим узоры люминесценции на припеченных пластинках алмаза, можно установить, что тангенциальный рост граней на кристаллах алмаза всегда происходит в форме треугольных, а не дитригональных пластинок, как это представляется из теоретических предположений О. М. Аншелеса (1955_{1, 2}), т. е. фронтом роста являются плоскости (111). Таким образом, округлые поверхности, сходящиеся в треугольные зоны роста, что видно на люминесцирующих пластинках алмаза, вырезанных перпендикулярно оси g_3 , являются вторичными, т. е. образуются в процессе растворения.

3. Включения самих алмазов в округлых кристаллах среди многих просмотренных нами образцов всегда были представлены острыми реберными октаэдрами и никогда не наблюдались среди включений алма-

в виде додекаэдроидов или октаэдроидов¹. Имеются случаи, когда часть алмаза-включения выходит на поверхность (например, в каверне травления), при этом открытая сторона кристалла бывает представлена округлыми гранями, тогда как скрытая в алмазе часть является остро-реберным октаэдром. Этот факт исключительно убедительно свидетельствует в пользу теории растворения.

Приведенные факты, а также морфологические особенности гемиморфно развитых комбинационных кристаллов алмаза, разнообразные акцессории на гранях кристаллов алмаза, результаты экспериментальных работ по моделированию округлых форм путем растворения, например октаэдров кварцов и шпинели (Мокиевский и Шафрановский, 1952), дающих при этом округлые кристаллы, тождественные округлым формам алмаза, — все это убедительно свидетельствует о растворении кристаллов алмаза и преобразовании при этом их плоскогранных многогранников в округлые формы. Типичные округлые формы алмаза составляют в некоторых месторождениях до 85—90% от общей массы кристаллов. Не представляют также редкости и разнообразные гемиморфные многогранники, описанные вначале, которые составляют иногда до 10—15% от всей массы кристаллов.

Широкая распространенность округлых и гемиморфных кристаллов среди алмазов различных алмазодержащих областей дает основание сделать вывод о том, что процессы растворения алмазов происходят интенсивно при некоторых условиях застывания материнского расплава и этим объясняется исключительная специфичность кристаллов алмаза.

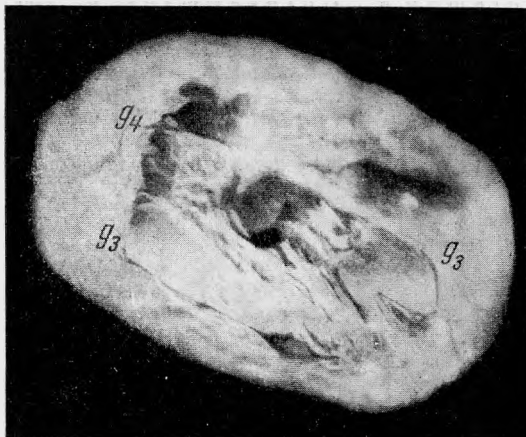


Рис. 17. Сильно протравленный кристалл алмаза. Видны останцы гладких граней; на протравленных участках развиты крупные каплевидные холмики

ЛИТЕРАТУРА

- Аншелес О. М. О природе округлых форм алмаза. Уч. зап. ЛГУ им. А. А. Жданова, сер. геол. наук, вып. 4, № 178, 1954.
 Аншелес О. М. Вывод формы кристаллов алмазов на основе их атомного строения. Докл. АН СССР, Минералогия, т. 101, № 6, 1955₁.
 Аншелес О. М. Первые результаты дискуссии о природе округлых форм алмаза. Мипер. сб., Львовск. геол. об-ва, № 9, 1955₂.
 Кухаренко А. А. Об округлых кристаллах алмаза. Уч. зап. ЛГУ им. А. А. Жданова, сер. геол. наук, вып. 4, № 178, 1954.

¹ Имеющиеся в литературе сведения (Williams, 1932) весьма сомнительны, так как в них не приводится доказательств, что включение действительно является алмазом, который имеет форму типичного округлого многогранника.

- Мокиевский В. А. и Шафрановский И. И. Новые опыты растворения кристаллов алюмо-калиевых квасцов. В кн.: «Кристаллография», стр. 1. М.—Л., 1953.
- Шафрановский И. И. Замечания по поводу статей проф. О. М. Аншета «О природе округлых форм алмаза». Зап. Всесоюзн. минер. об-ва, ч. LXXXI, вып. 1, 1955.
- Шафрановский И. И. и Мокиевский В. А. Додекаэдронды и октаэдронды на кристаллах. Минер. сб. Львовск. геол. об-ва, № 6, стр. 35, 1952.
- Ferguson A., Goldschmidt V. Der Diamant. Heidelberg, 1911.
- W. Lindley. Wachstumserscheinungen am Diamant. Fortschr. d. Miner., Kristall. u. Petr., 21, 1, S. 71, 1937.
- G. R. Rendall. Geometric patterns of fluorescence in diamond. Proceed. Ind. Sci., 24, sect. A, № 1, 1946.
- A. Van der Veen. Die Symmetrie des Diamanten. Zeitsch. für Krystall., Mineral., 51, S. 545, 1913.
- A. Williams. The genesis of the Diamond. London, 1932.

вак
при
ни
тап
диа

ков
и с
и
при
лив
явл
упо
ны
лог
вы
щи

сят
ног
(зв
и с
щи

хар
оде
ход
отв
бол
вак
меж
бев

рых

Mg₃