

ТЕРМООБРАБОТКА – это вид облагораживания в процессе которого необходимый результат достигается путем нагревания камня и выдержки его при заданных температурах.

- -температура: высоко/ низкотемпературная обработка;
- -среда термообработки: окислительная/ восстановительная;
- - скорость нагрева/ охлаждения;
- - длительность выдержки;
- - разные режимы дают разные результаты.

Диагностика корундов, прошедших термообработку.

Диагностика термообработки может быть проведена с помощью исследования в стандартном геммологическом микроскопе. Характерными признаками термообработанных сапфиров являются:

- - частично растворенные иглы рутила;
- - нечеткие границы цветовой зональности;
- - дискообразные тензорные трещины, образующиеся в результате расплавления и взрыва включений в процессе термообработки;
- - расплавленные включения, частичное заполнение трещин;
- - неравномерная окраска сапфира вокруг включений, содержащих примесь титана;
- - молочная люминесценция;
- - коррозия поверхности в результате интенсивной термообработки: каверны, мелкие трещины – удаляются переполировкой;
- - образование окрашенных ореолов.

Изменение цвета камней. Если синий сапфир слишком светлый или даже молочный и белый (геуда), то нагревание в восстановительной атмосфере может создавать синий цвет камня. При высокой температуре (порядка 1800°C) обычные для корундов ряды включений рутила TiO_2 растворяются, и титан совместно с железом, также обычно присутствующий в корунде, действует как хромофор, окрашивающий камень в синий цвет.



Рис. № 1. Растворение игл рутила при нагревании.

- Данный процесс можно условно назвать "внутренней диффузией", так как само вещество хромофора уже содержится в камне, и температура лишь вызывает "внутреннее перемещение и соединение" его компонентов.
- Приобретая густо-синие прозрачные сапфиры в дорогих ювелирных изделиях, многие даже не догадываются, что изначально это были геуды - очень светлые шри-ланкийские или иные сапфиры. Геуды разных месторождений (и в рамках одного месторождения) действительно существенно различаются по своему химическому составу. Следовательно, и их оптимальная термообработка должна осуществляться по различным схемам.

- **Термообработка геуд, превращение их в синие сапфиры - едва ли не единственно серьезный источник сапфиров Шри-Ланки на мировой рынок.** В отличие от диффузионно обработанных сапфиров (которые всегда стоят многократно дешевле термообработанных), к просто нагретым сапфирам мировой рынок относится абсолютно благосклонно. Это не значит, что совершенно не облагороженные сапфиры должны стоить столько же, сколько нагретые. При равном качестве они могут быть и на треть, и в два раза дороже, если об этом будет предупрежден покупатель (что чаще всего на практике не производится). На фото внизу - геуды (слабоокрашенные сапфиры Шри-Ланка) разных типов до и после термообработки. Теперь очень узнаваемо, правда?



Рис. № 2. Изменение окраски «геуд» при нагревании.



Рис. № 3. Сапфиры геуда до (слева) и после (справа) термической обработки.



Рис. № 4. Кристалл сапфира геуда с о. Шри-Ланка до термической обработки. Желтоватый "дизельный" эффект говорит обработчикам о том, что после обработки камень вероятно станет синим.

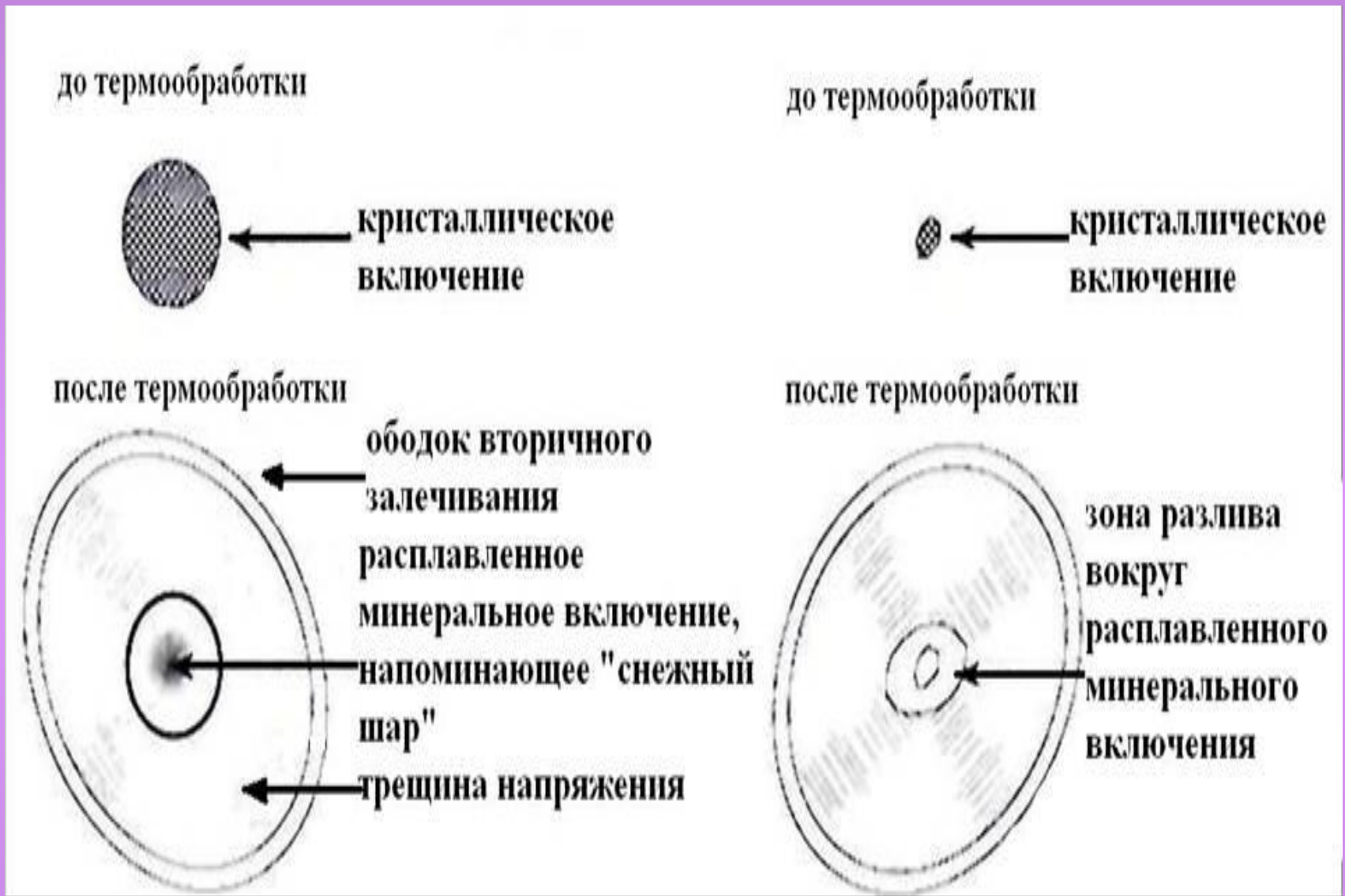


Рис. № 5. Схематичное изображение изменения твердых включений в процессе термообработки.

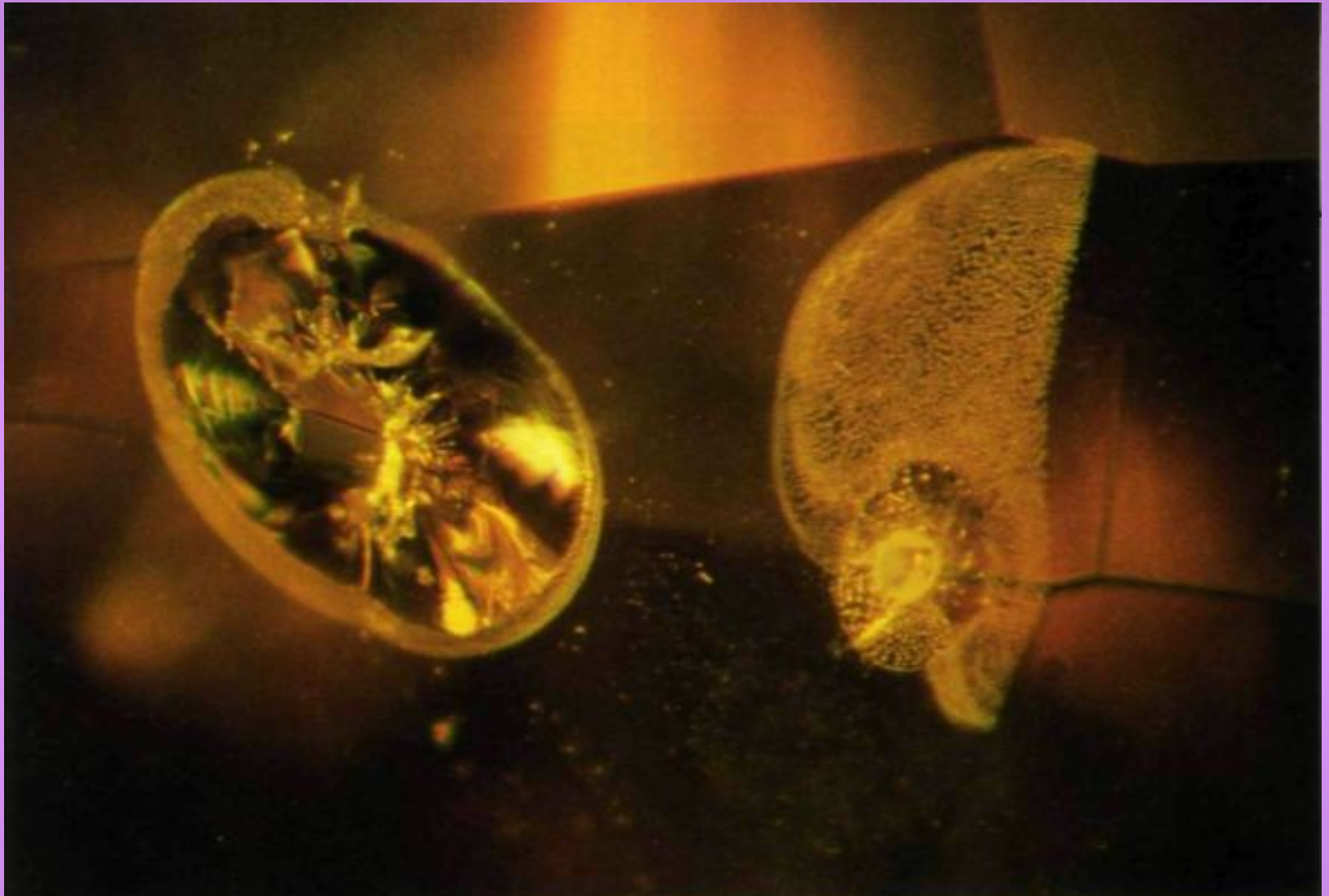


Рис. № 6. Включения в термообработанном корунде. Ув. 25^x.

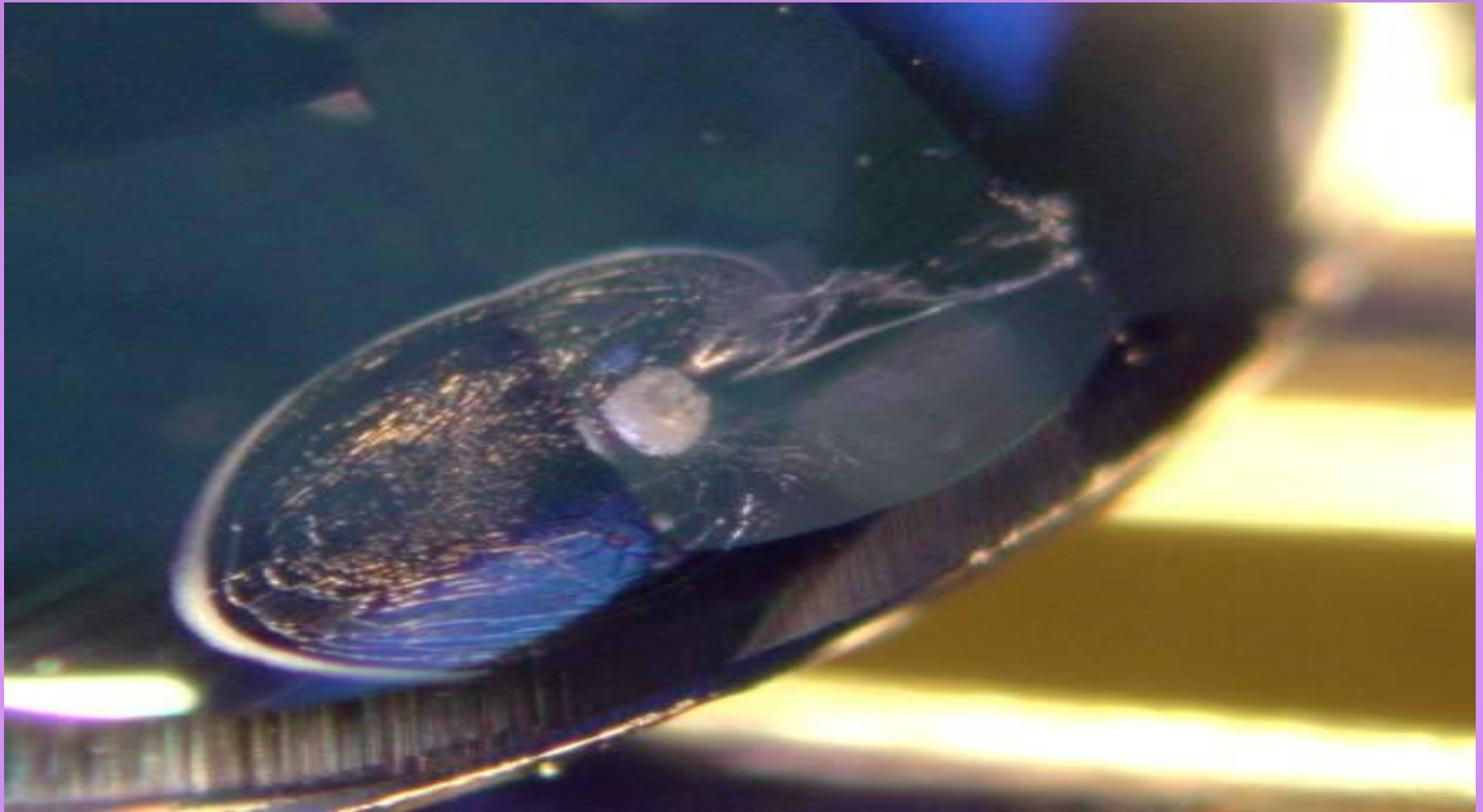


Рис. № 7. Включения в термообработанном корунде. Ув. 25^x.

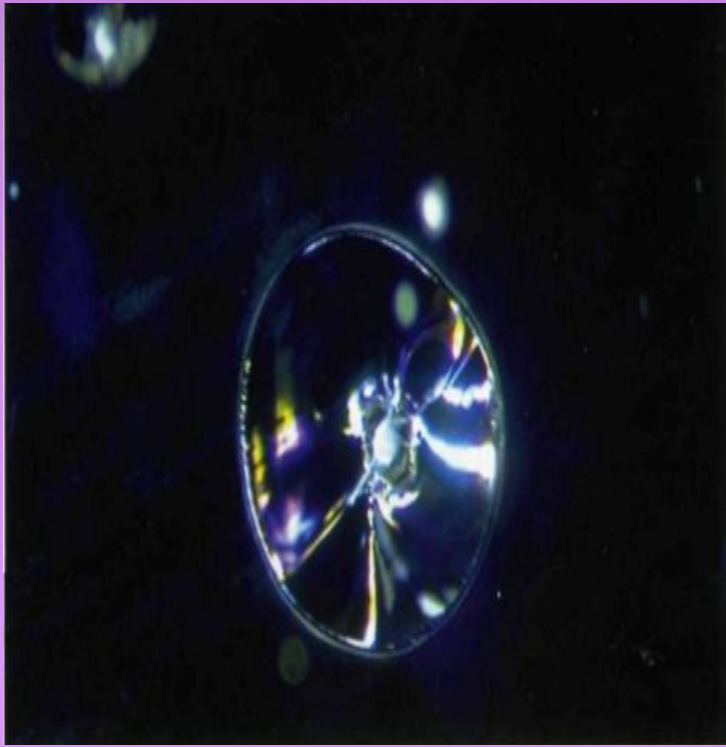


Рис. № 8. Включения в термообработанных корундах.

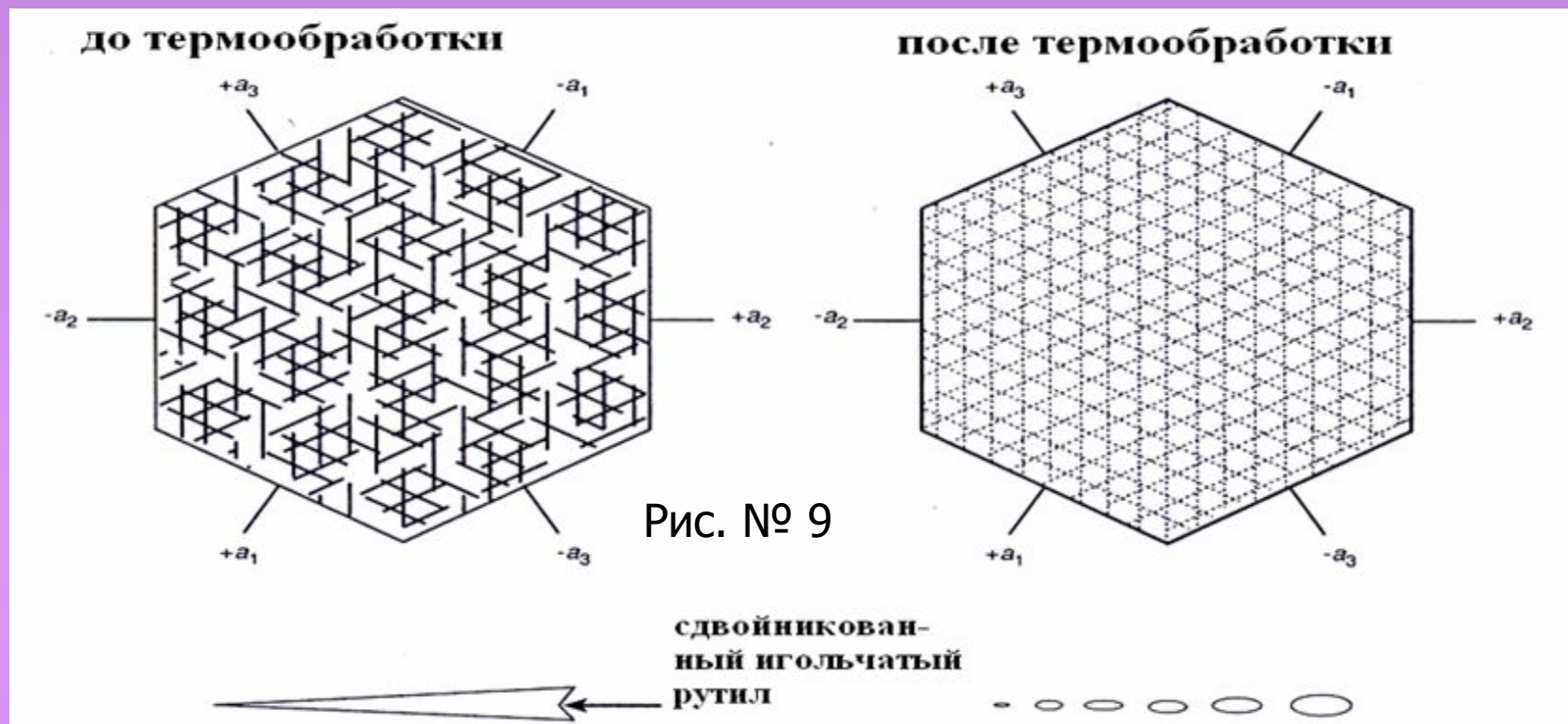


Рис. № 9

Рис. № 9. Разрушение игольчатого рутила в процессе термообработки.

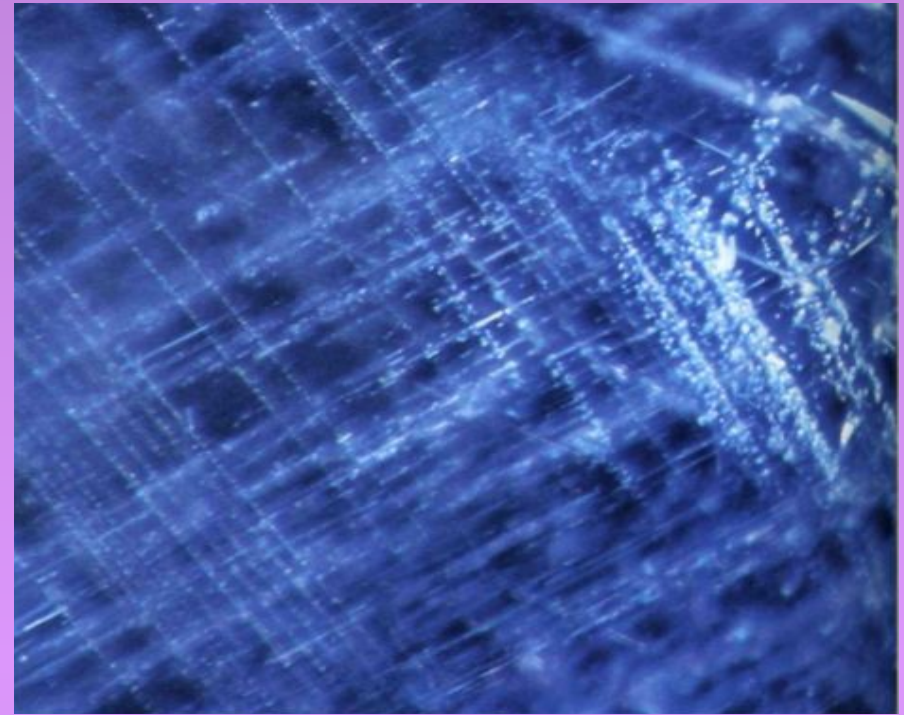
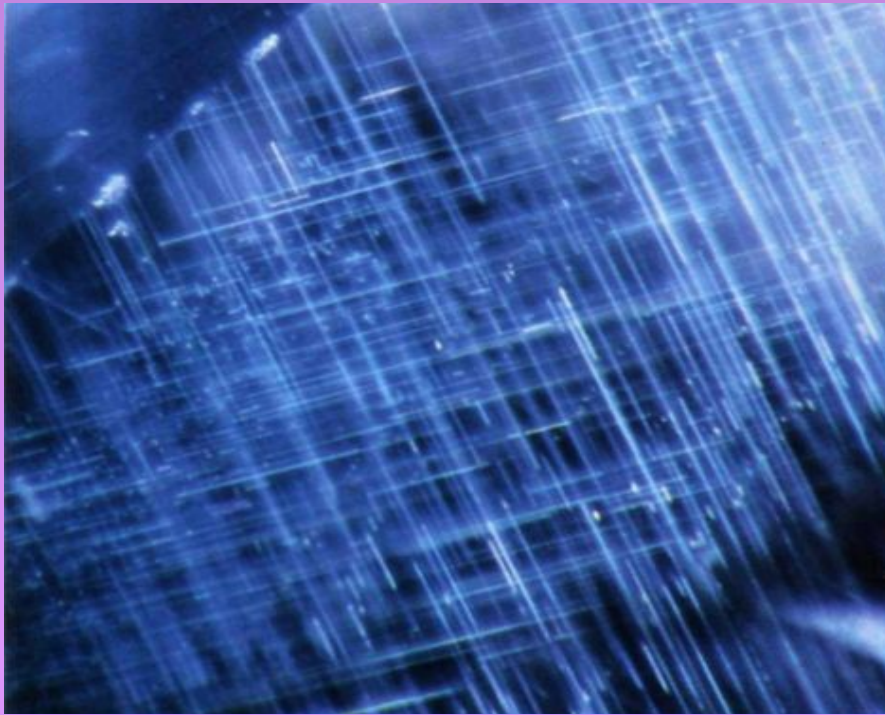


Рис. № 10. Характерный «шелк» рутила в сапфире Шри-Ланка до термической обработки (слева) становится коротким частично абсорбированным и пунктирным (справа) после обработки.

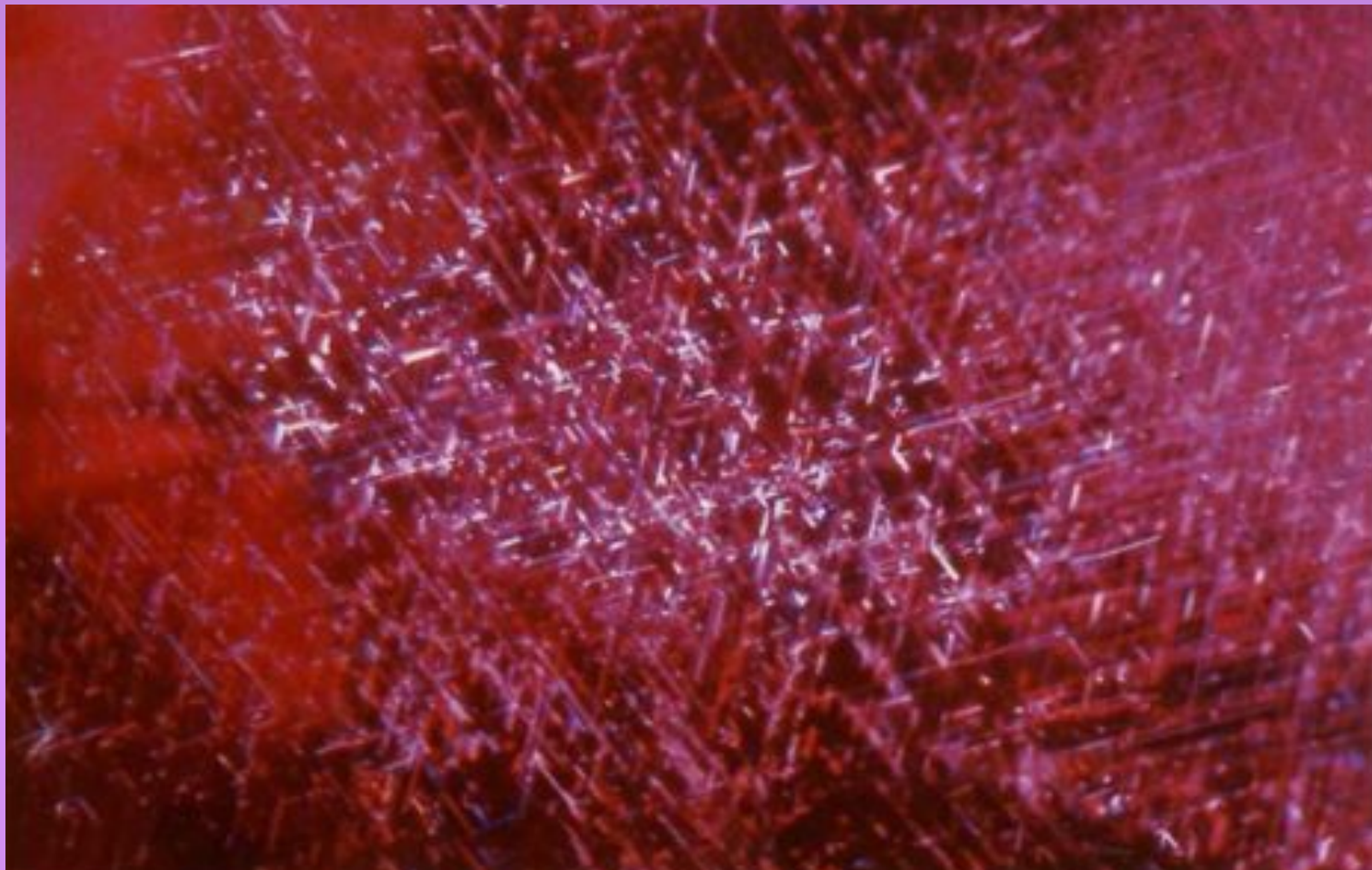


Рис. № 11. Рутиловый шелк в необработанном бирманском рубине.

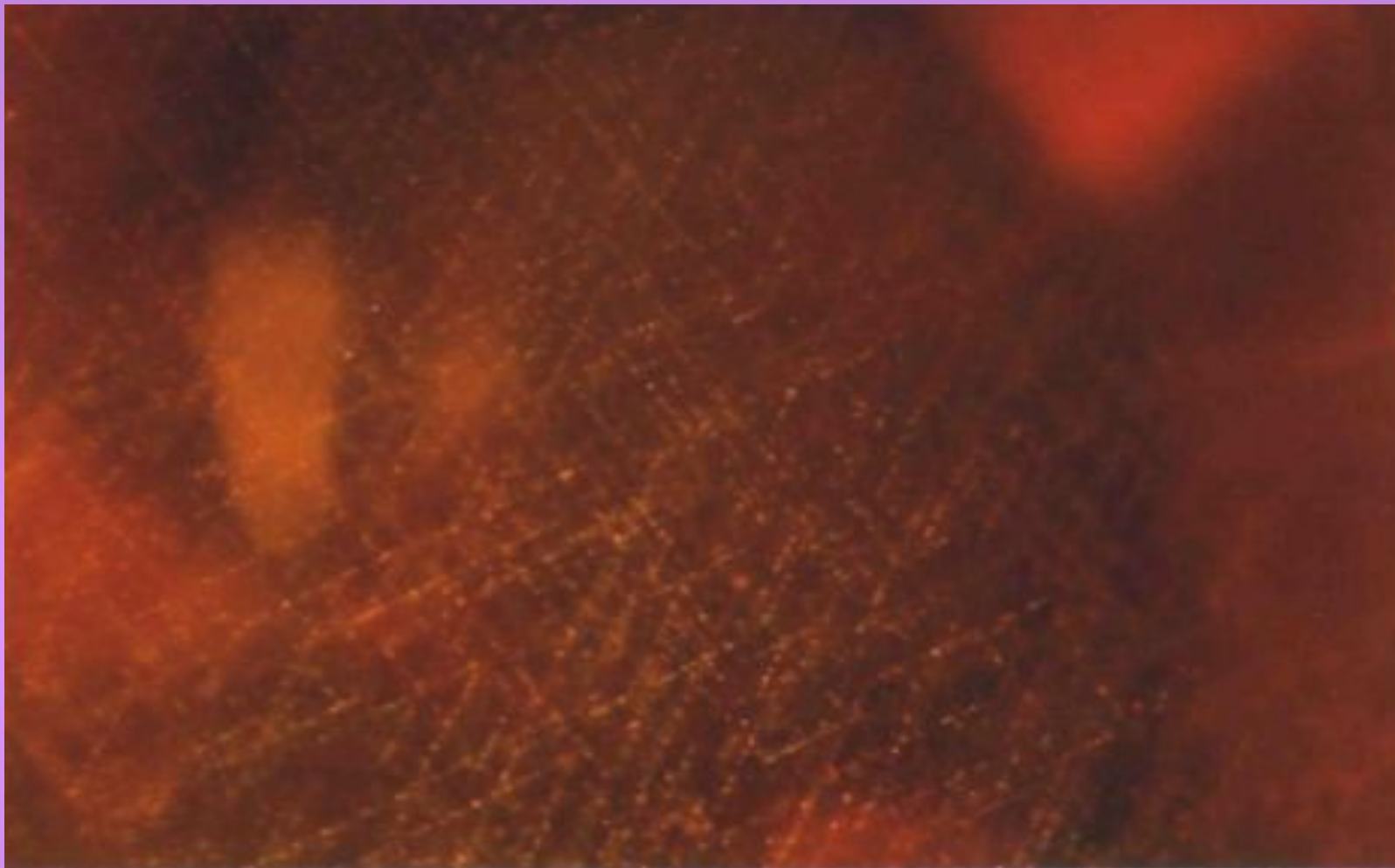


Рис. № 12. После обработки иглы частично абсорбировались.

Внутренняя диффузия вокруг включений рутила

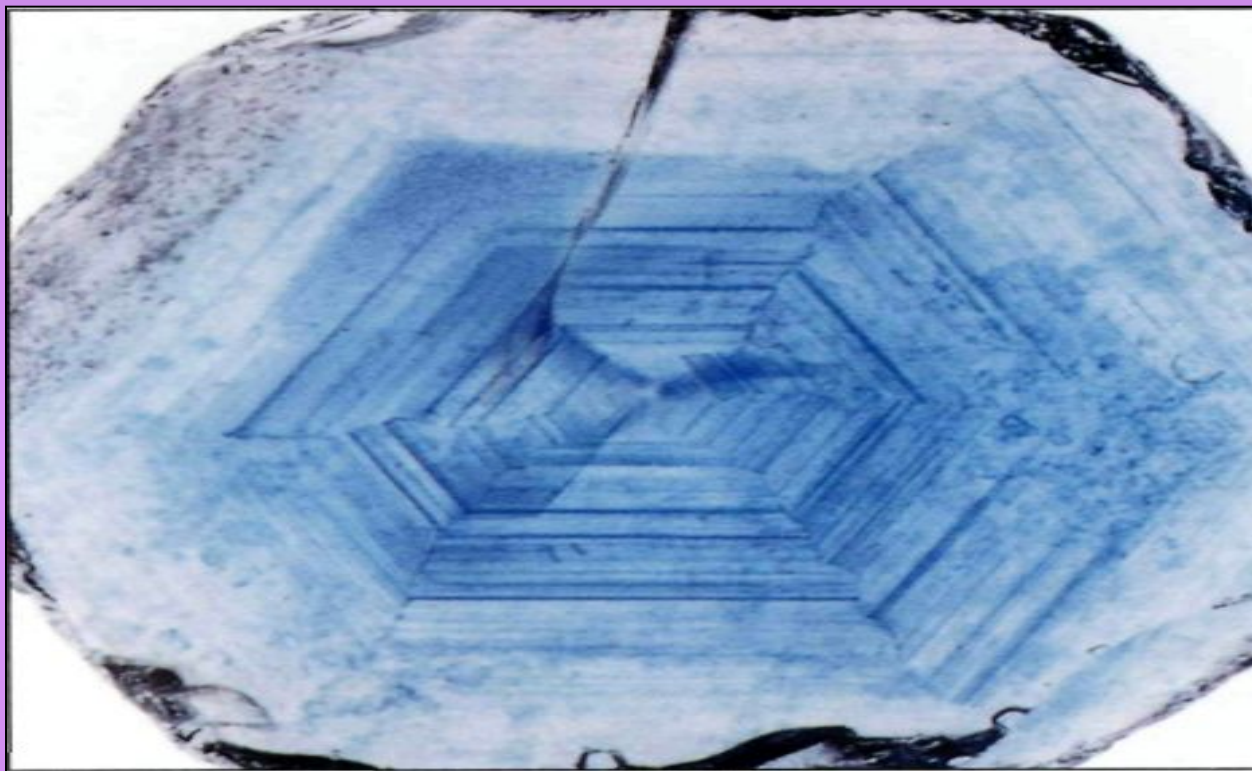


Рис. № 13. При растворении рутилового
«шелка».

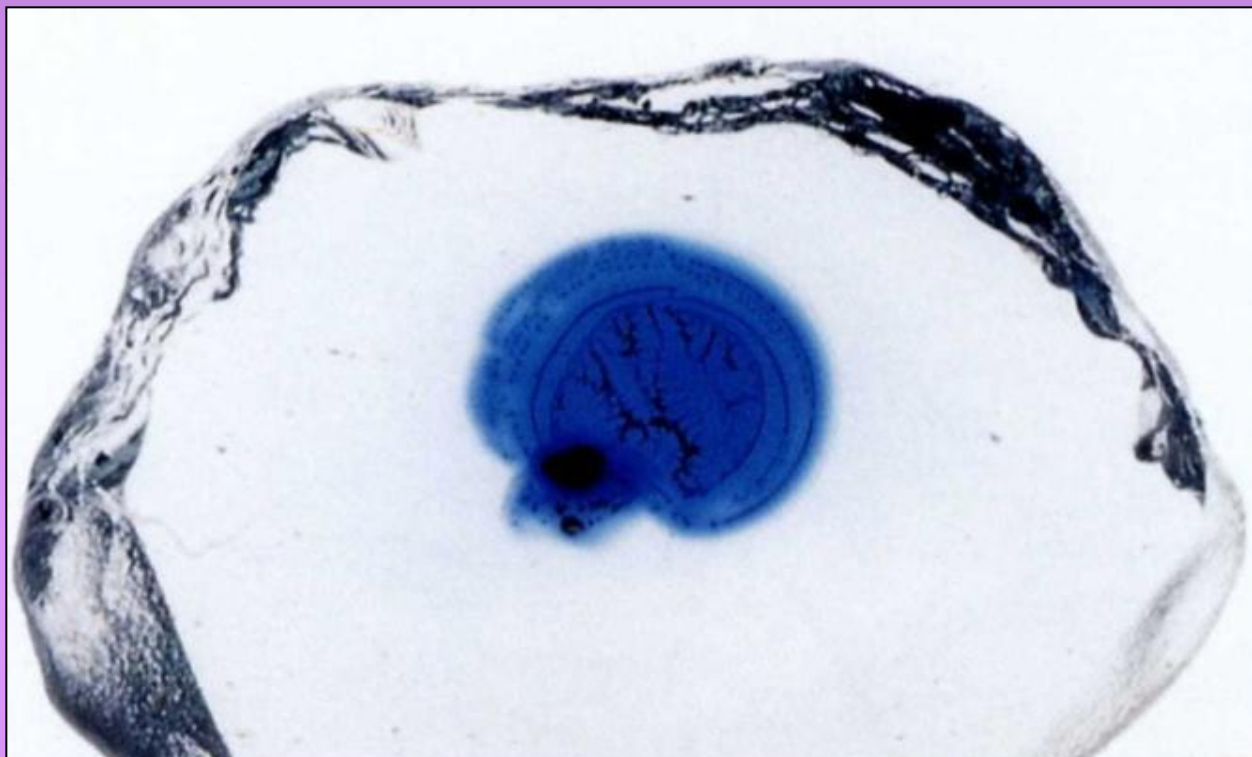


Рис. № 14. Вокруг включений крупных кристаллов рутила в сапфирах синего цвета (по образовавшейся при расширении трещине).

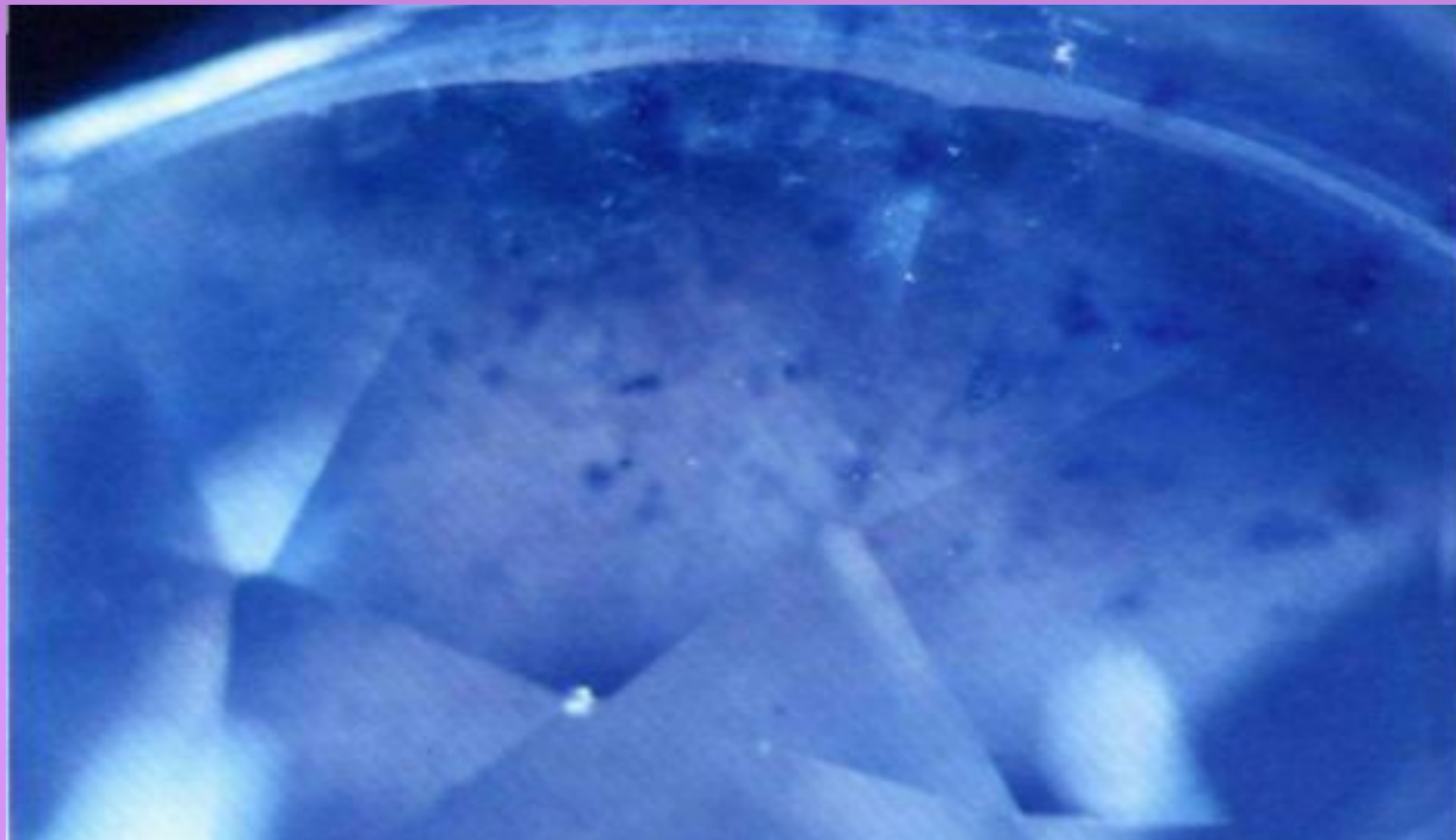


Рис. № 15. Внутренняя диффузия в термически обработанном сапфире из района реки Умба (Танзания).



Рис. № 16. Ореолы внутренней диффузии вокруг включений, содержащих титан.

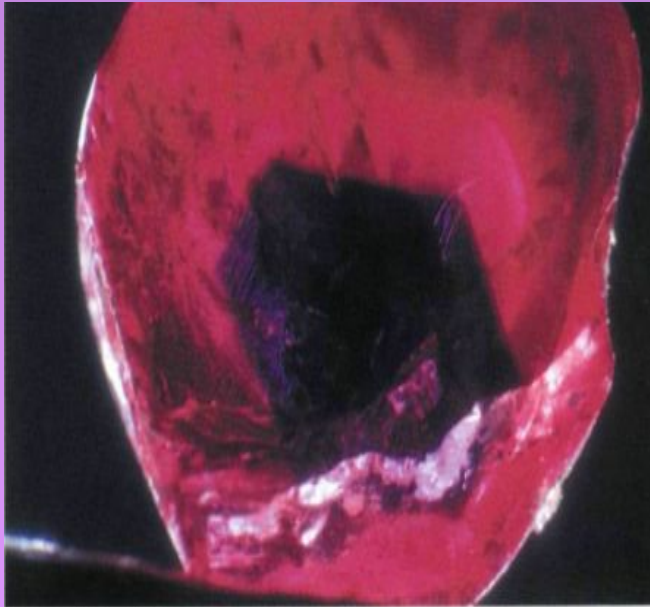
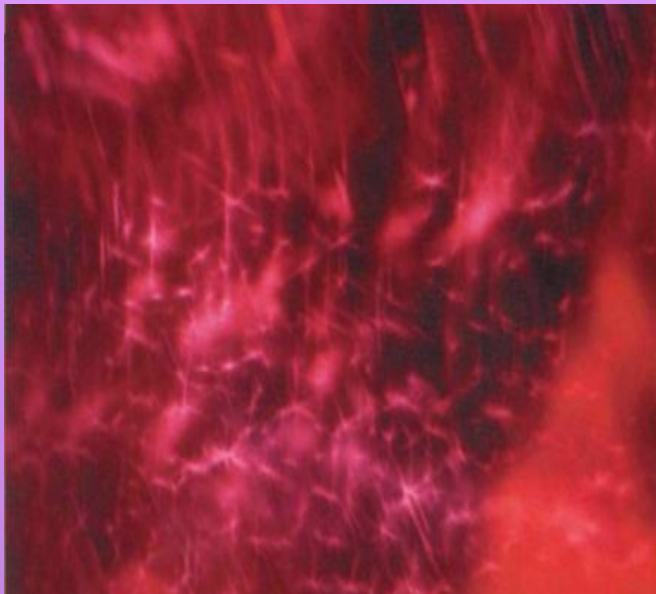


Рис. № 17. Район Монг Су, Мьянма стал важным источником рубинов коммерческого качества с 1991 года. Практически все рубины этого месторождения подвергают термической обработке для устранения синих, фиолетовых или черных «ядер», расположенных в центре кристалла. «Ядра» содержат титан и железо. После термической обработки при охлаждении титан формирует белесые облака. Эти облака указывают на наличие термической обработки и помогают идентифицировать камни как природные.



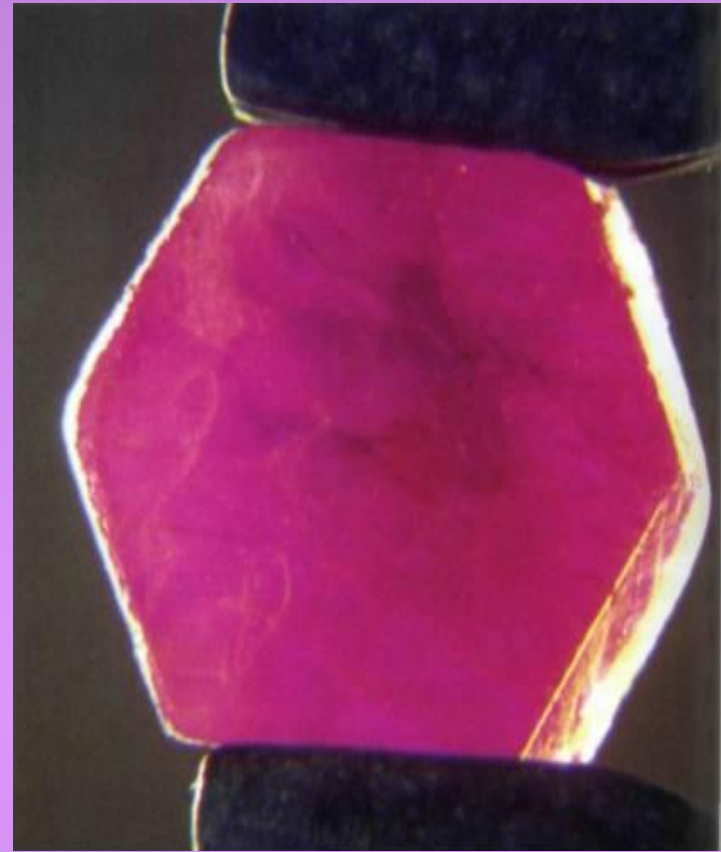
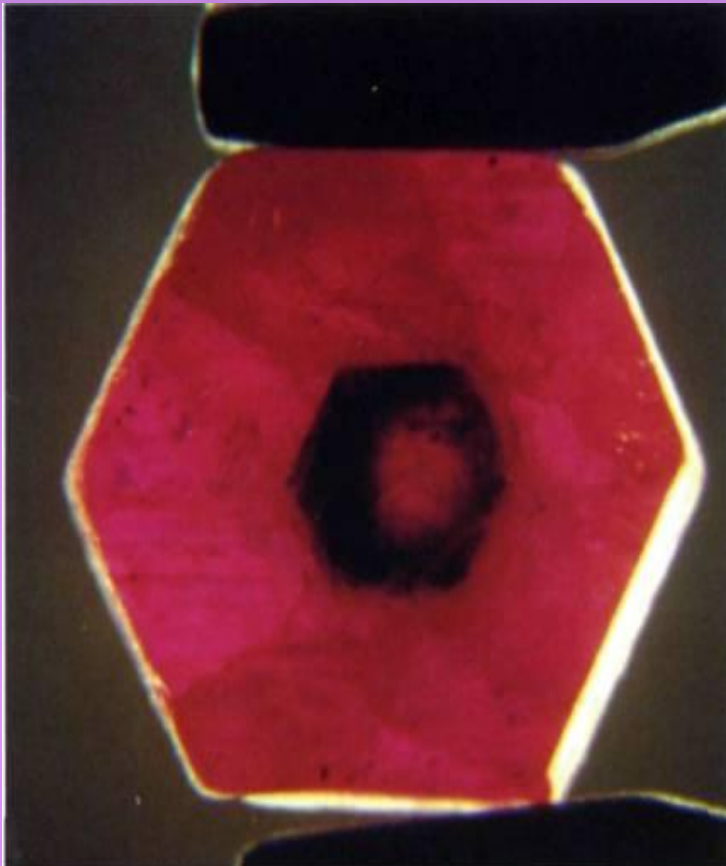


Рис. № 18. Рубин Монг Су с характерным темноокрашенным «ядром» до (слева) и после (справа) термической обработки во флюсе.

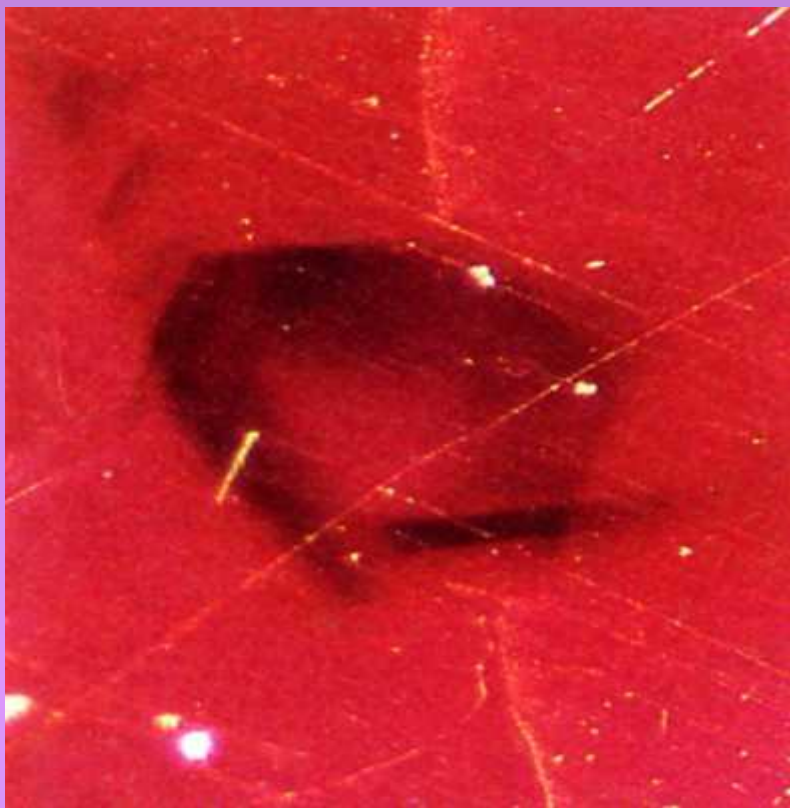


Рис. № 19. Фиолетовые до почти черных зон в центральной части рубинов Монг Су (слева) полностью исчезают после термообработки (справа), но белесые частицы, сформировавшиеся в зонах роста граней, окружают центральную зону.

- **При термической обработке кристаллические включения могут плавиться. При быстром охлаждении эти включения обычно застывают в виде стекла. Так как объем стекла обычно меньше объема кристалла, то оставшееся пространство занимает газовой пузырьком. В термообработанных тайско/камбоджийских рубинах можно видеть несколько пузырьков в расплавленном включении.**



- Рис. № 20. Твердое кристаллическое включение, окруженное вторичной залеченной трещиной («отпечатком пальца»).



- Рис. № 21. Заполненный стеклом отрицательный кристалл с газовым пузырьком.

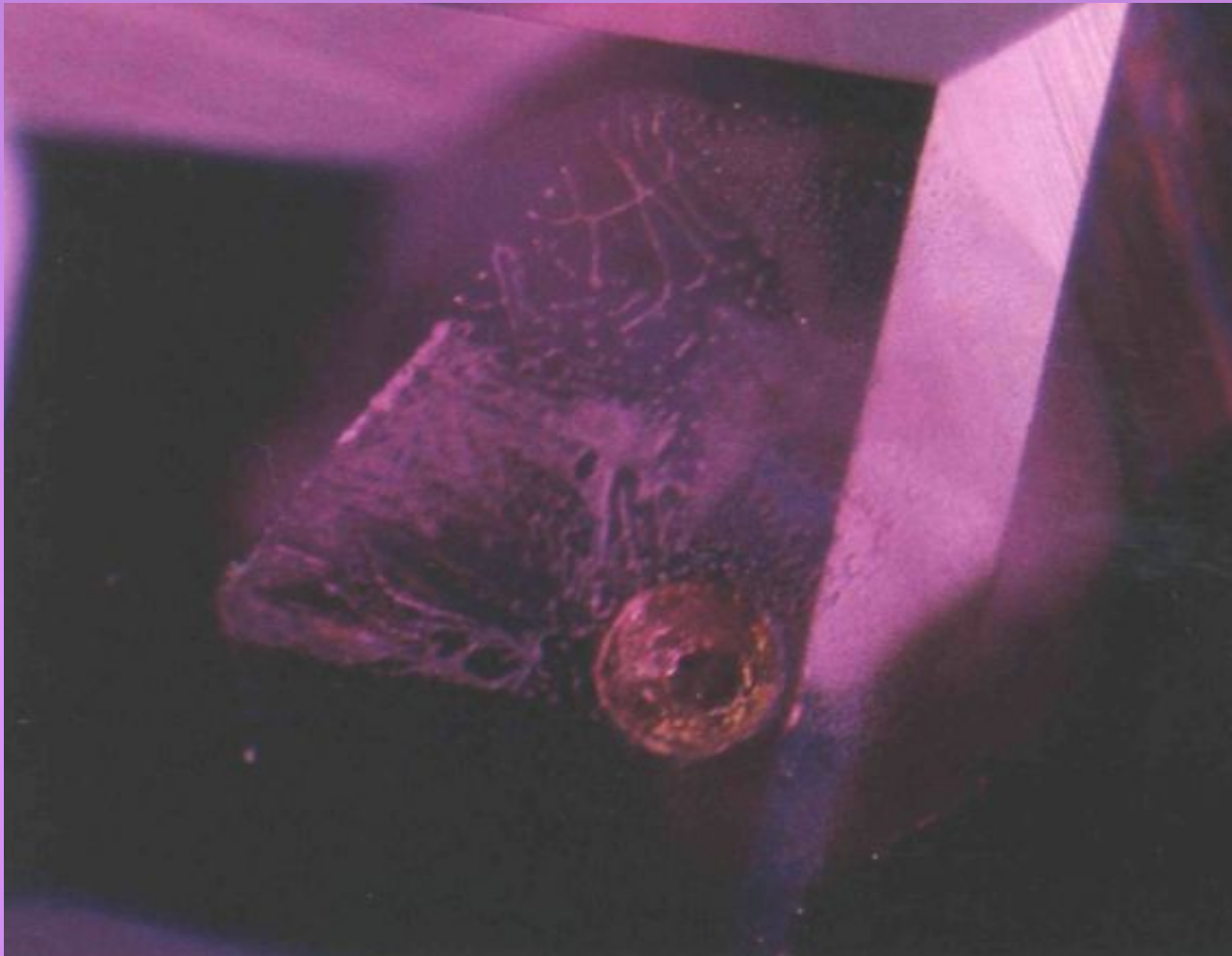


Рис. № 22. Кружевной «отпечаток пальца», окружающий расплавленное кристаллическое включение в этом тайском рубине указывает на наличие термообработки. Ув. 40^x.



Рис. № 23. При термической обработке кристаллические включения могут плавиться. При быстром охлаждении эти включения обычно застывают в виде стекла. Так как объем стекла обычно меньше объема кристалла, то оставшееся пространство занимает газовой пузырьком. В термообработанных тайско/камбоджийских рубинах можно видеть несколько пузырьков в расплавленном включении.

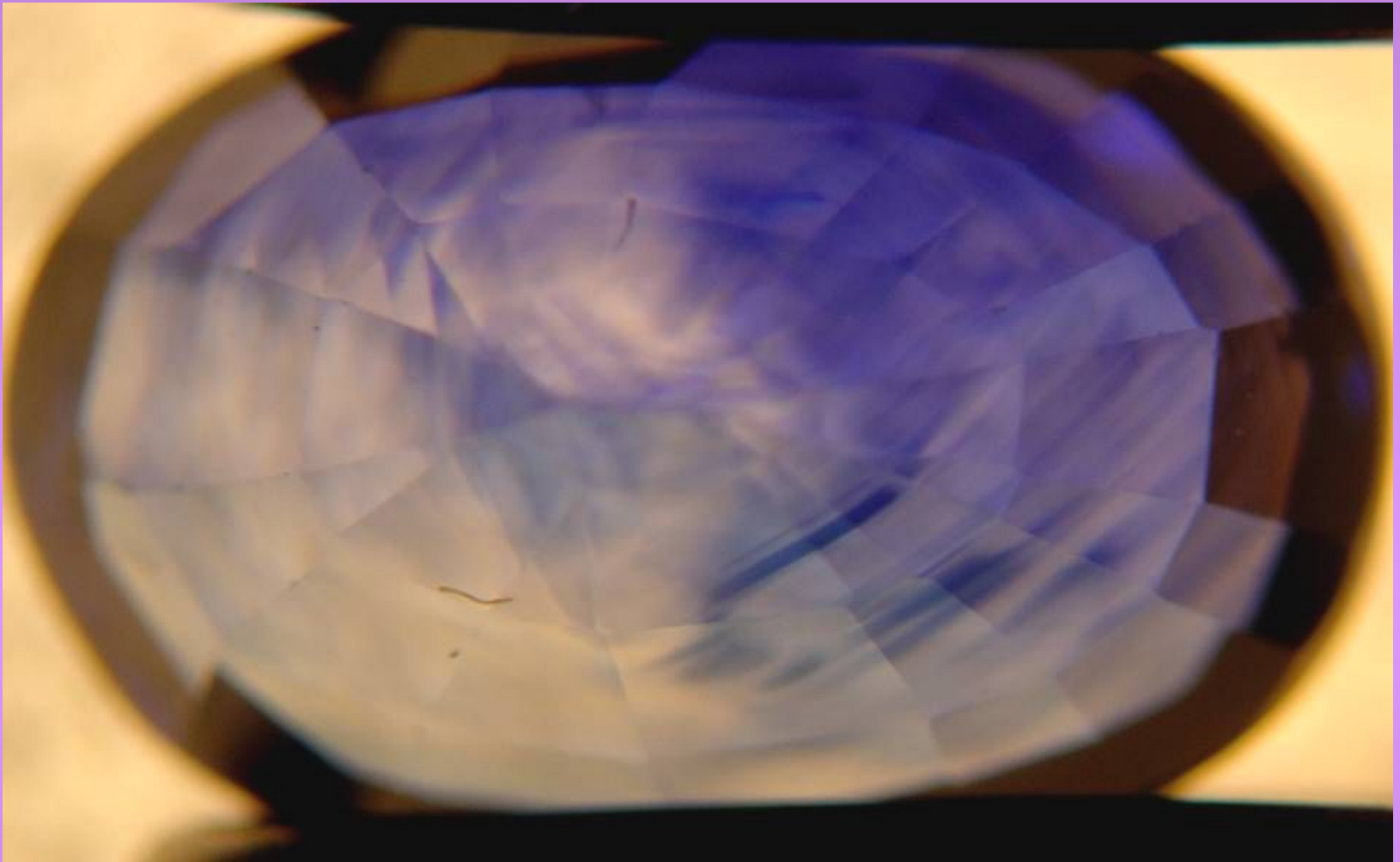


Рис. № 24. Нечеткая гексагональная зональность окраски в термообработанном сапфире.

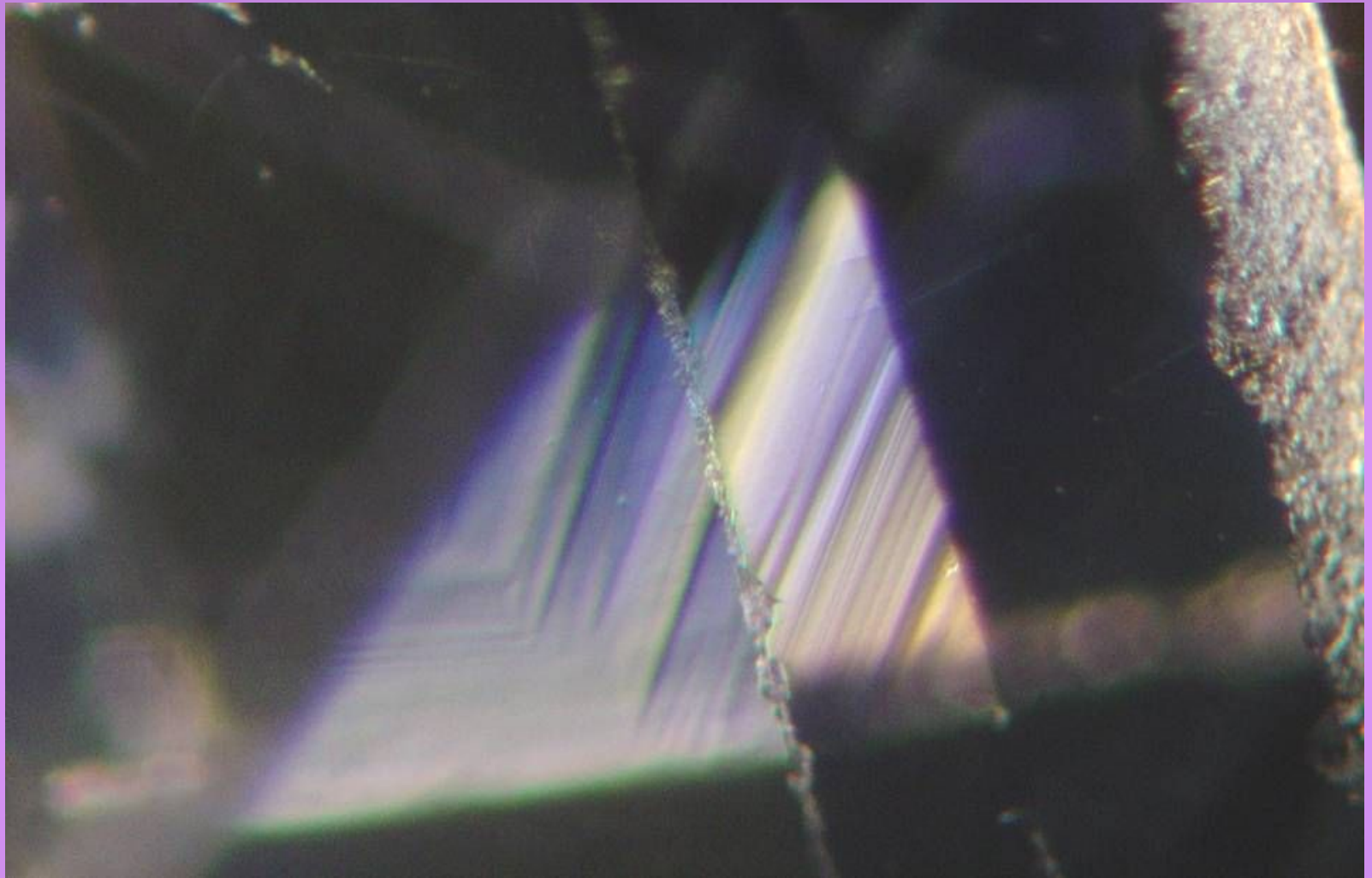


Рис. № 25. Чёткие границы ростовых зон в необлагороженном сапфире



Рис. № 26. В термически обработанных корундах часто проявляется белесая люминесценция.

Косвенные признаки отсутствия высокотемпературной термообработки

- - целые иглы рутила;
- - ожелезнение в трещинах; ,
- - пятна синей окраски в рубинах;
- - четкие границы цветовой зональности.

Ненарушенные отрицательные кристаллы

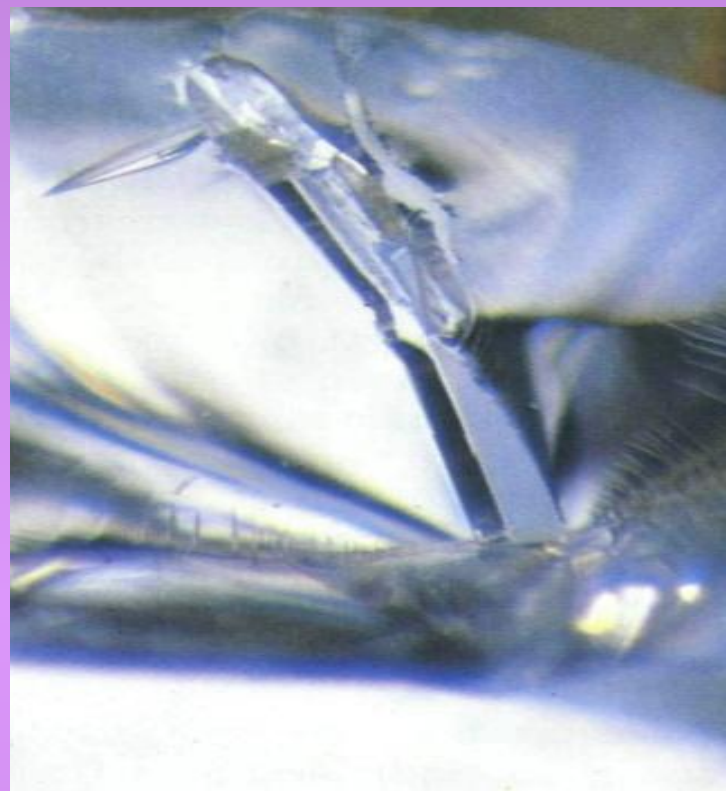


Рис. № 27. Присутствие неразорвавшихся отрицательных кристаллов, содержащих CO_2 (слева) в этом сапфире со Шри-Ланка служит доказательством того, что камень не подвергали воздействию температур. При нагревании до 270°C , это включение взорвалось (справа) и вокруг него образовалась крупная трещина. Ув. $45\times$.

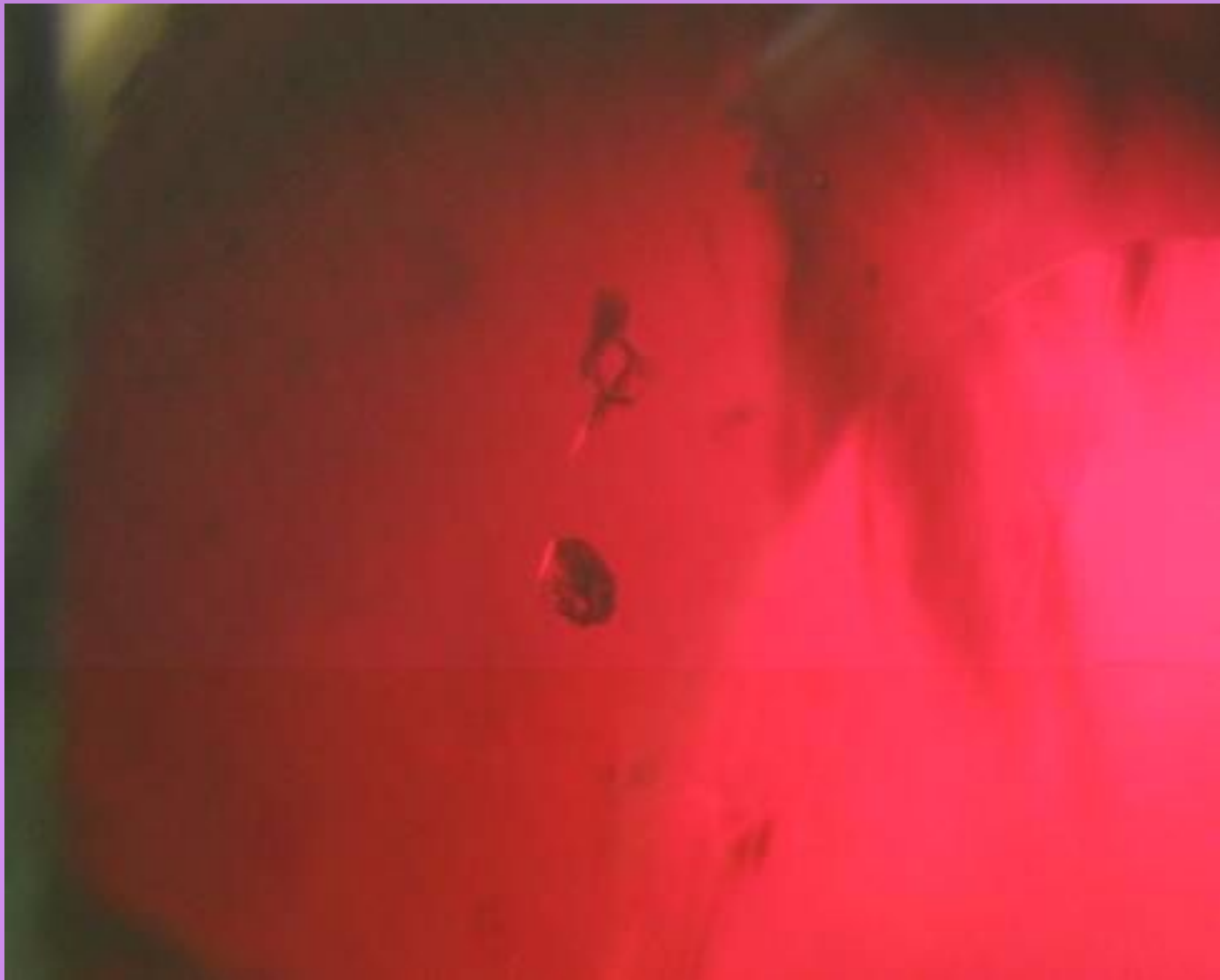


Рис. № 28. Неизменённые минеральные включения.

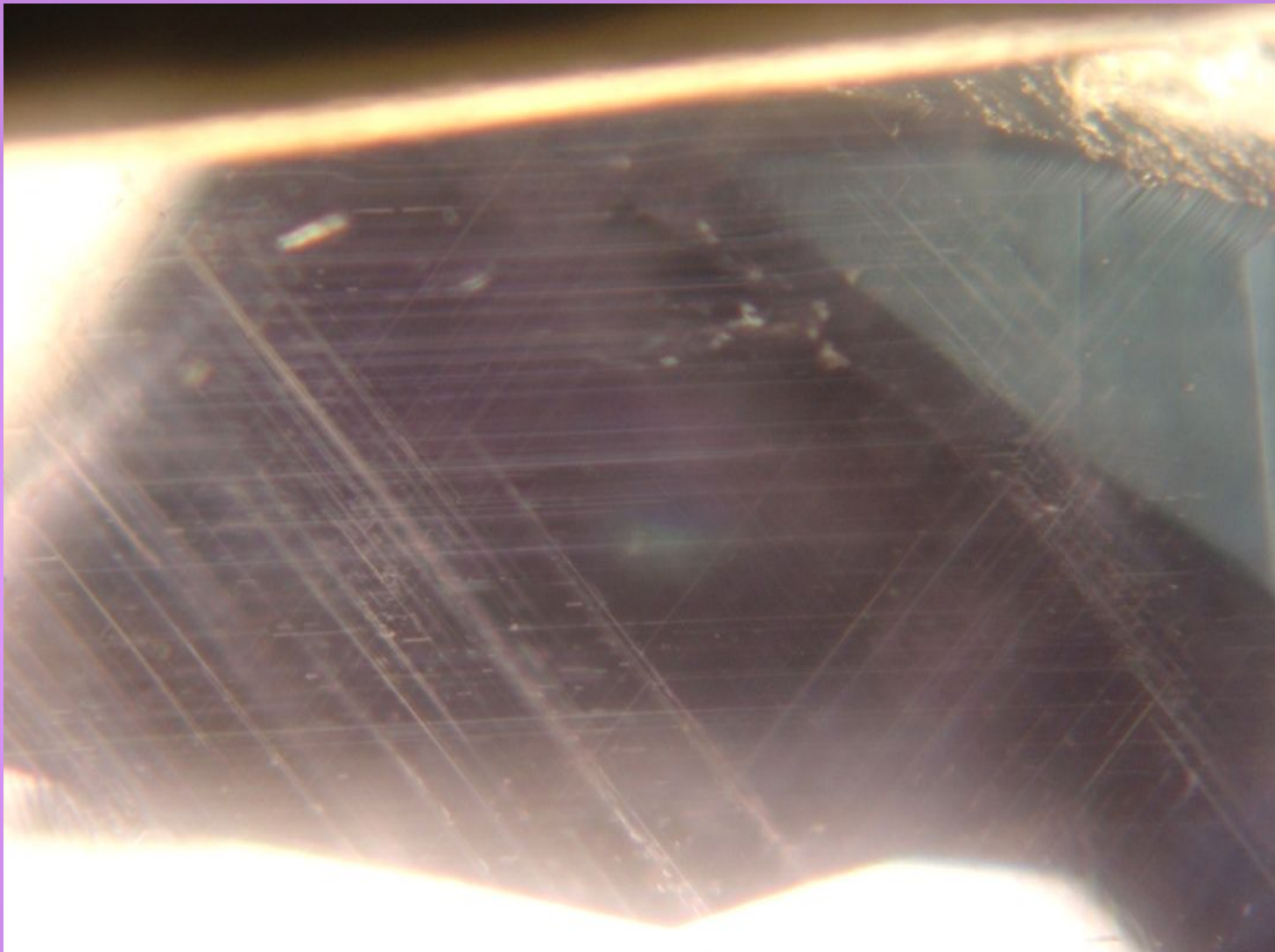


Рис № 29. Ненарушенные длинные иглы рутила в необлагороженном сапфире.



Рис. № 30. Трещины, декорированные окислами железа.

Основные эффекты процесса термообработки

1. Ослабление сине-фиолетового оттенка в рубинах и розовых сапфирах (Шри – Ланка, Бирма, Мадагаскар, Таиланд).
2. Удаление синих пятен и зон в рубинах и розовых сапфирах (Авганистан, Танзания, Непал).
3. Усиление оранжевого, оранжево – фиолетового оттенка и оттенка «падпараджа» (Шри –Ланка, Танзания, Малави).
4. Усиление желтой окраски (Шри – Ланка).
5. Окрашивание геуд в синий цвет (Шри – Ланка).
6. Окрашивание в синий цвет сапфиров с неравномерной окраской (Шри-Ланка).
7. Осветление темно – синих сапфиров (Шри –Ланка).
8. Усиление синей окраски в бледно – синих сапфирах (Шри –Ланка).
9. Окрашивание в синий цвет зелено – синих сапфиров (Монтана, Шри – Ланка).
10. Получение лиловых сапфиров и сапфиров с эффектом смены цвета(Шри –Ланка, Колумбия, Индия, Танзания).

11. Удаление «шелка»/астеризма (Шри – Ланка, Бирма).
12. Генерация объемного астеризма (Шри –Ланка).
13. Обработка синтетических рубинов и сапфиров.
 - Термический процесс "внутренней диффузии" может также создавать эффект астеризма ("звезды") в корунде за счет формирования "рутиловых игл". Формирование "рутиловых игл" обычно происходит между 1300оС и 1400оС, и завершается появлением плотных трехмерных форм, создающих 6-лучевую звезду на камнях, ограненных кабошонами.
 - Часто "улучшают" цвет розовых сапфиров и рубинов. Здесь мы имеем проблему идентификации облагороженных камней, поскольку некоторые изменения цвета возможны и при весьма низкой температуре (800оС и выше). Обычно розовый или красный цвет природного корунда имеет синеватый оттенок, обусловленный типичным для сапфира хромофором. Этот синий цветовой компонент может быть разрушен путем термообработки в окислительной среде.