

Автоматизация обработки прозрачных кристаллов

*В.В. Афанасьев, аспирант, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН /
ООО "Октонус Софтваре", Москва*

vafanasjev@graphics.cs.msu.ru

А.Г. Волобой, д.ф.-м.н., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва

voloboy@gin.keldysh.ru

А.В. Игнатенко, к.ф.-м.н., ВМК МГУ, Москва

ignatenko@graphics.cs.msu.ru

В статье описывается программно-аппаратная система для сканирования прозрачных кристаллов и поиска в них дефектов. Продемонстрировано применение этой системы для сканирования и огранки драгоценных камней.

This article describes hardware and software system for scanning transparent crystals and finding defects inside. Using of this system for gemstones scanning and cutting is shown.

1 Введение

В связи с развитием компьютерной техники становится возможным автоматизировать технологический процесс в таких областях как сканирование и обработка прозрачных кристаллов. Например, ручная огранка драгоценных камней и опыт огранщика могут быть заменены на автоматическое сканирование камня, учёт его внутренних дефектов, подбор оптимальных по стоимости огранок и физические процедуры, связанные с огранкой камня. Рост вычислительных мощностей позволяет создавать алгоритмы, полностью автоматизирующие некоторые операции, например, поиск дефектов в материале. В настоящее время производители драгоценных камней всё больше применяют автоматизированные интегрированные системы в своём производстве.

2 Технологии сканирования прозрачных объектов

Сканирование преломляющих объектов произвольной формы затруднено из-за их показателя преломления. Например, алмаз имеет показатель преломления около 2.4 в видимом свете, и неровная шероховатая поверхность не позволяет увидеть дефекты невооружённым глазом или отсканировать их в видимом, ультрафиолетовом или инфракрасном диапазоне. Проводились эксперименты по сканированию драгоценных камней другими видами излучения, например, рентгеновским [1] или ультразвуковым, но точность их результатов недостаточна для оптимизации визуального качества продукции.

Для сканирования драгоценных камней в световых волнах применяется ряд методик.

2.1 Окна

Для того, чтобы высокий индекс преломления не мешал смотреть сквозь поверхность объекта, поверхность делают плоской. Для драгоценных камней это означает шлифовку так называемых окон – небольших площадок на поверхности, через которые оператор может заглянуть внутрь камня. К плюсам этого подхода можно отнести простоту технологии. Минусы: плохой обзор внутренности камня, необходимость предварительной работы в виде шлифовки окон, потеря драгоценного материала.

2.2 Жидкая иммерсия

Для компенсации преломления материала исследуемый объект погружается в жидкость с близким к материалу показателем преломления. За счёт этого компенсируется преломление на неровной поверхности, и дефекты внутри материала можно наблюдать с разных ракурсов. Преимущества данного подхода: возможность полностью избавиться от преломления на границе объекта, не разрушая сам объект, и возможность рассматривать дефекты практически с любого ракурса. Однако, применительно к задаче сканирования драгоценных камней, этот метод имеет существенные недостатки: все известные на данный момент жидкости с высоким показателем преломления являются крайне токсичными [2], и условие равенства показателя преломления одновременно с жидким агрегатным состоянием иммерсии может достигаться при неудобных для работы температурах порядка сотен градусов по Цельсию. В связи с этим установки, основанные на жидкой иммерсии, технически сложны и дорогостоящи, а технологический процесс производства достаточно опасен.

2.3 Твёрдая иммерсия

Существуют твёрдые материалы с близким к алмазу показателем преломления, которые лишены описанных недостатков жидкой иммерсии. С ними можно работать без серьёзных мер предосторожности и при комнатной температуре. Компанией "Октонус" используется иммерсионное стекло, показатель которого в ближнем инфракрасном диапазоне с высокой точностью приближен к показателю преломления алмаза при нормальных условиях [3]. Преимуществом также является относительная простота технологического процесса заливки алмаза иммерсионным стеклом и работы с ним. Недостатком является то, что твёрдое иммерсионное стекло имеет фиксированную форму. Как правило, эта форма выбирается наиболее простой для лёгкости изготовления, например, куб (рис. 1). Вследствие этого невозможно наблюдать дефекты с некоторых ракурсов, т.к. стекло также имеет высокий показатель преломления.

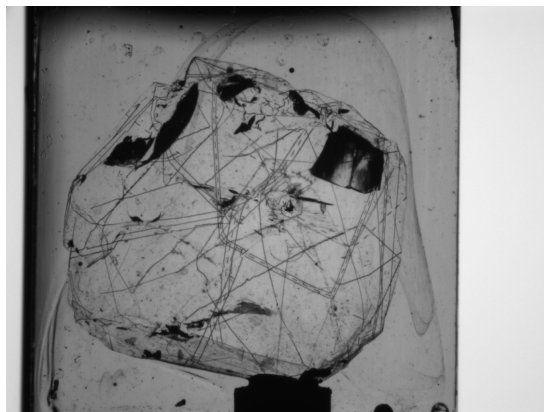


Рис. 1. Алмаз в кубе из иммерсионного стекла

3 Оборудование для сканирования

3.1 Сканер с большой глубиной резкости Helium Rough

Для поиска больших дефектов в объекте разработан сканер Helium Rough (рис. 2) [5]. Он позволяет снимать объект на просвет и вращать его вокруг вертикальной оси. На рис. 3 показано внутреннее устройство сканера с одним из вариантов освещения. Сканер состоит из поворотного держателя 3, камеры с телецентрической оптикой 4 и системы подсветки. Светодиоды 1 освещают рассеиватель 2, который в свою очередь освещает объект. Бленда 5 закрывает объект от прямой подсветки светодиодами во избежание бликов. Данный сканер рассчитан на просмотр всего объекта целиком и обладает достаточной глубиной резкости для того, чтобы весь объект был в фокусе.

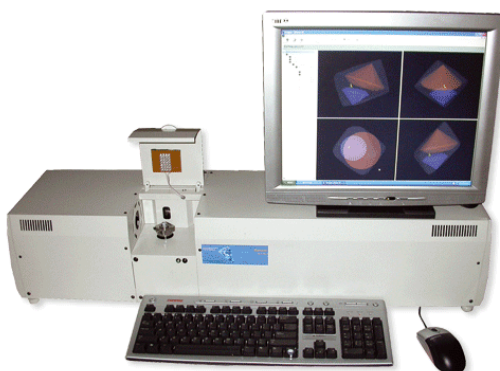


Рис. 2. Установка Helium Rough

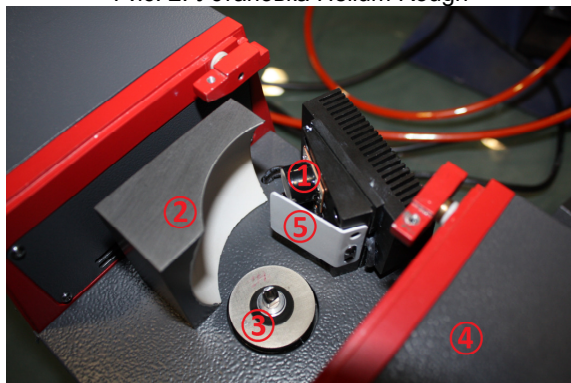


Рис. 3. Схема установки Helium Rough

Изображение с камеры микроскопа поступает в программную систему, где пользователь может просматривать его на экране, применять различные инструменты и запускать алгоритмы параллельно со сканированием.

3.2 Цифровой микроскоп MBox 2.0

Более мелкие дефекты можно обнаружить и построить с помощью другой установки – Mbox 2.0 (рис. 4) [6]. Она представляет собой цифровой микроскоп с моторизованной подвижкой (рис. 5) и позволяет просматривать образец под разными углами с большим увеличением (до 160х). При таком увеличении оптика обладает достаточно небольшой глубиной резкости, что компенсируется программной частью.



Рис. 4. Установка MBox 2.0

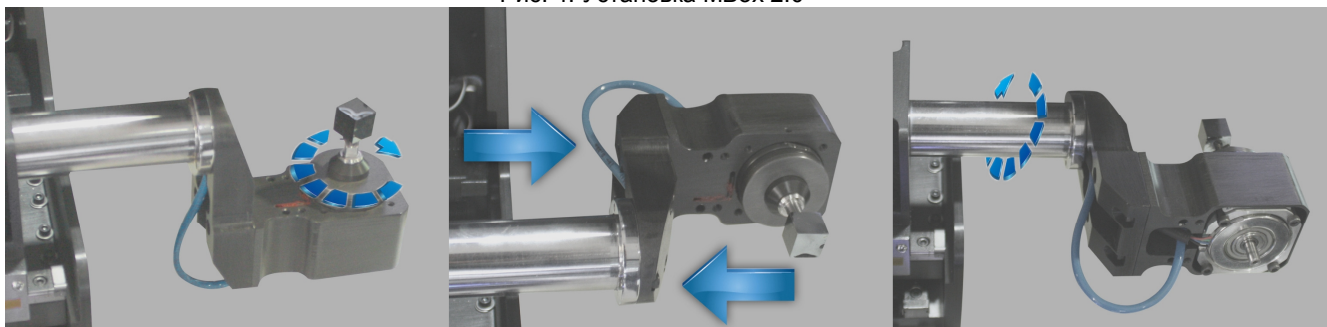


Рис. 5. Подвижка микроскопа

4 Программная система

Программная система Охуеп представляет собой интегрированное средство для планирования огранки драгоценных камней. Она состоит из набора инструментов и алгоритмов, позволяющих управлять описанными выше сканерами, просматривать, размечать фотографии, строить трёхмерные модели различных дефектов в материале, вписывать огранки в исходную модель с учётом найденных дефектов. Также система может решать все описанные задачи в автономном режиме без подключения к микроскопу, имея только снятые данные.

Обычный технологический процесс работы с системой выглядит следующим образом:

4.1 Теневое сканирование неогранённого камня

На данном этапе строится трёхмерная модель исходного камня (рис. 6) по контурам, полученным от затенения источника света. Для более качественного построения модели её могут покрывать краской, т.к. драгоценные камни пропускают и отражают свет.

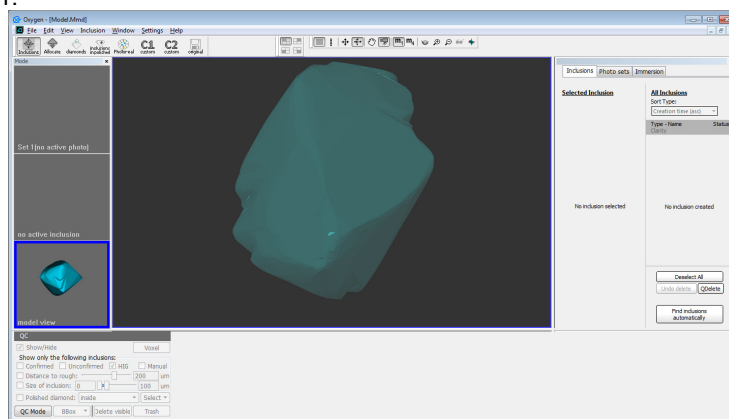


Рис. 6. Модель неогранённого камня

4.2 Построение каверн

Для построения каверн, которые невозможно построить на предыдущем этапе, используются данные лазерного сканирования, либо алгоритм построения формы по фокусу на фотографиях [4]. Каверны добавляются к построенной ранее модели.

4.3 Построение формы дефектов (рис. 7)

- Ручное построение: оператор вручную выставляет контуры включения по нескольким фотографиям, после чего вычисляется его трёхмерная форма. Эта возможность используется преимущественно для построения сложных дефектов, например, трещин.
- Автоматическое построение включений на данных с Helium Rough производится с помощью метода оптической томографии. Это позволяет с высокой точностью реконструировать большие дефекты. Мелкие дефекты строятся на основе данных, полученных с микроскопа, с помощью специального алгоритма. Ре-

результатом данного этапа является набор полигональных моделей дефектов и воксельная карта дефектов для контроля качества.

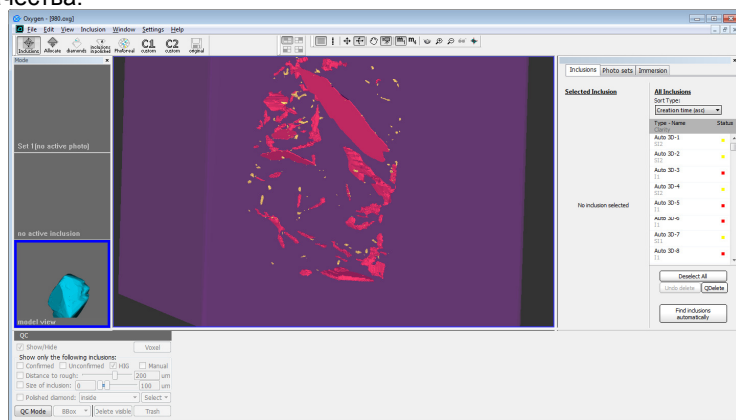


Рис. 7. Построенные модели включений

4.4 Контроль качества

Контроль производится оператором визуально на основе сравнения визуализации дефектов и фотографий (рис. 8). Над включениями можно выполнять такие операции как расширение, сужение, слияние и разрезание. Финальным результатом после контроля является окончательный набор полигональных включений. Контроль качества можно осуществлять итерационно, получая полигональные модели дефектов в качестве промежуточного результата.

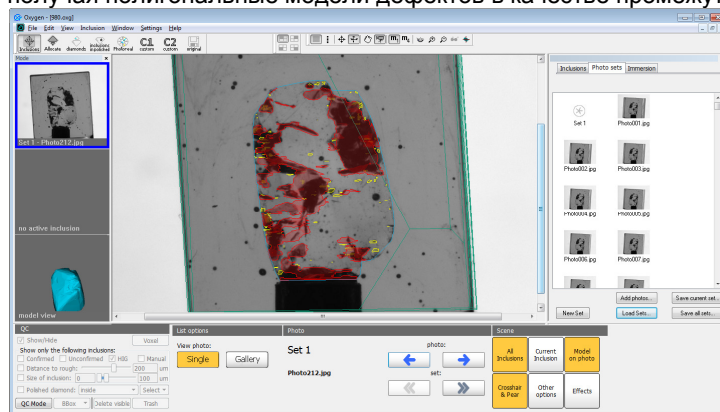


Рис. 8. Проекция включений на фотографию

4.5 Вписывание огранок

После построения моделей дефектов производится определение оптимальных огранок, которые можно изготовить из данного камня с учётом найденных дефектов (рис. 9). При этом могут учитываться и те варианты расположения огранок, когда внутри огранки попадают включения, если это увеличит их массу и, соответственно, стоимость. Предложенный алгоритмом вариант может быть скорректирован оператором.

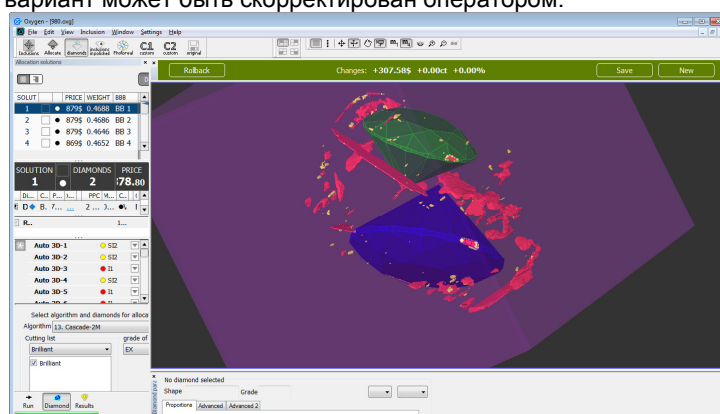


Рис. 9. Вписанные огранки

4.6 Визуализация

После расчета моделей огранки возможно визуализировать огранку в нужном освещении, заданном картой освещения в формате изображения с высоким динамическим диапазоном (рис. 10). Визуализация происходит с учётом дефектов внутри огранки, что позволяет оценивать внешний вид будущего огранённого камня. Визуализация обеспечивает высокую реалистичность.

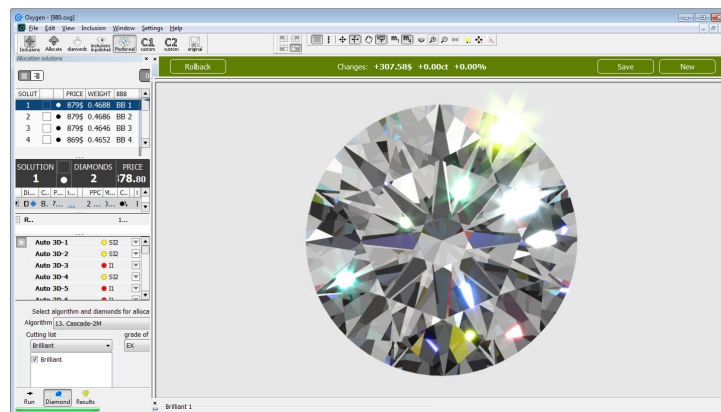


Рис. 10. Визуализация огранки

5 Другие области применения

Существующая система с некоторыми изменениями, определяемыми спецификой конкретной области, подходит для значительно более широкого круга задач, связанного со сканированием прозрачных и непрозрачных объектов:

- Поиск дефектов в защитных стёклах
- Сканирование оптики
- Сканирование микросхем
- Сканирование биологических образцов

6 Заключение

В статье была описана программно-аппаратная система компании «Октонус», поддерживающая весь цикл работы с драгоценными камнями от добытого сырья до огранки. Многие процессы частично или полностью автоматизируются в рамках этой системы, что существенно облегчает работу операторов и повышает эффективность производства. Данная система используется на нескольких производствах драгоценных камней.

Статья была подготовлена при поддержке РФФИ, грант 15-01-01147, и ООО «Октонус Софтваре» (Москва).

Литература

1. Preliminary results of microtomography of diamonds. <http://www.mcs.anl.gov/research/projects/X-ray-cmt/rivers/diamonds.html>
2. Meyrowitz R., Larsen E. S. Immersion liquids of high refractive index // American Mineralogist. – 1015 EIGHTEENTH ST, NW SUITE 601, WASHINGTON, DC 20036 : MINERALOGICAL SOC AMER, 1951. – Т. 36. – №. 3-4. – С. 321-321.
3. Курушкин М.В., Семенча А.В.. Стекла системы As-S-I, допированные Р-элементами. Всероссийская конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием по химии и наноматериалам. 2013. С. 106.
4. Гаганов В. А., Игнатенко А. В. Устойчивое построение трехмерных моделей объектов по набору изображений с микроскопа // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2009. Т. 4. С. 56–64.
5. <http://octonus.com/oct/products/helium/rough/>
6. <http://octonus.com/oct/products/mbox/2.0/>