

Автоматизация обнаружения дефектов поверхности трубок из кварцевого стекла

А. О. Аль Гурайбави, Л. А. Русинов

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

E-mail azhar984@yandex.ru

Аннотация. Трубки из кварцевого стекла широко применяются в электронике, светотехнике, химической и другие отрасли. Благодаря их превосходным свойствам, таким как превосходная термостойкость, светопрозрачность, электрическая изоляция и химическая стабильность. При этом контроль качества трубки на дефекты стекла проводится преимущественно визуальным наблюдением. Этот метод ручное управление отнимает много времени и имеет низкую точность, не отвечающую современным требованиям. В данной работе предлагается метод автоматического обнаружения дефектов поверхности трубок из кварцевого стекла на основе машинного зрения. Для обработки изображений и обнаружения дефектов были применены функции вскрытия библиотеки алгоритмических OpenCV и язык программирования был Python. Метод предлагает более надежный, эффективный и автоматический подход к выявлению дефектов поверхности трубок из кварцевого стекла. Это может значительно улучшить контроль качества при одновременном снижении затрат и повышении производительности в производстве трубок из кварцевого стекла.

Ключевые слова: кварцевые трубки; кварцевое стекло; дефекты

I. ВВЕДЕНИЕ

Трубки из кварцевого стекла являются одним из важнейших конструктивных элементов в электронной, химической, медицинской, светотехнической и других отраслях промышленности. Поэтому сохранение свойств целевого изделия (трубок) из кварцевого стекла в соответствии с требованиями показателей качества путем выявления поверхностных дефектов трубок является актуальной задачей. Традиционный метод контроля поверхностных дефектов в основном осуществляется визуальным наблюдением. Этот метод занимает много времени и обеспечивает невысокую точность. При формировании стекла из-за внедрения производственных материалов и характера технологических процессов на поверхности стекла возможно появление таких дефектов, как пузыри, черные точки, пятна, царапины и т. п. Также могут образовываться пузырьки воздуха, вмятины и пятна, что особенно нежелательно, т. к. они могут повлечь поломку стекла.

ГОСТ выделяет следующие возможные дефекты в кварцевом стекле и изделиях из него [1].

1. Непрозрачные включения, оставшиеся в сырье, или непрозрачные включения, вызванные взаимодействием с такими материалами, как тигли и сопла.
2. Пластинчатая неоднородность, параллельная поверхности продукта, вызывающая искажение показателя преломления.
3. Свиль – прозрачная область с показателем преломления, отличным от качества стекла.
4. Неоднородность мелких зерен – точечные полосы, где показатель преломления меняется в процессе плавления.
5. Пузыри – это полости, заполненные газом.
6. Мошка – мельчайший пузырь воздуха в стеклоблоке (размер менее 0,05мм)
7. Непроплав, представляющий собой площадь нерасплавленного сырья в блоке кварцевого стекла.
8. Царапины и вмятины – отверстия или бороздки на поверхности изделия.

Автоматизация контроля трубок из кварцевого стекла предполагает использование систем технического зрения [2, 3]. Система проводит сканирование трубок для обнаружения возможных дефектов, а обнаружив дефект, производит его классификацию, т. е. определяет его тип и, соответственно, опасность для нормальной эксплуатации изделия (кварцевой трубки).

II. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Система контроля качества кварцевых трубок с помощью машинного зрения включает пару источников света и связанных с ними ПЗС-камер. На рис. 1 показано их расположение перпендикулярно к трубке и друг другу. Это позволяет контролировать дефекты в прямой видимости каждой камеры, не затрагивая боковые (по отношению к камерам) поверхности трубки, где фактическая толщина тела трубки увеличивается и, к тому же, свет от источника отражается поверхностью трубки и не попадает в камеры. Наличие двух камер позволяет охватить всю окружность трубки. Для обеспечения сканирования трубки по длине проще обеспечить перемещение непосредственно самой трубки относительно камер, оставляя оптическую систему неподвижной и не нарушая ее юстировку.

A. Предварительная обработка изображения

Прежде всего, предварительная обработка изображения включает переход от цветного изображения к оттенкам серого. Далее следует ряд таких операций, как фильтрация шумов, обнаружение краев, пороговая сегментация на захваченном изображении (рис. 2). Основная цель предварительной обработки состоит в том, чтобы удалить ненужную информацию, шум в изображении, сделать изображение более четким и реалистичным, а также определить возможные отклонения от общего фона. Вывод качественного изображения стекла обеспечивает необходимые условия для извлечения информации о признаках возможных дефектов.

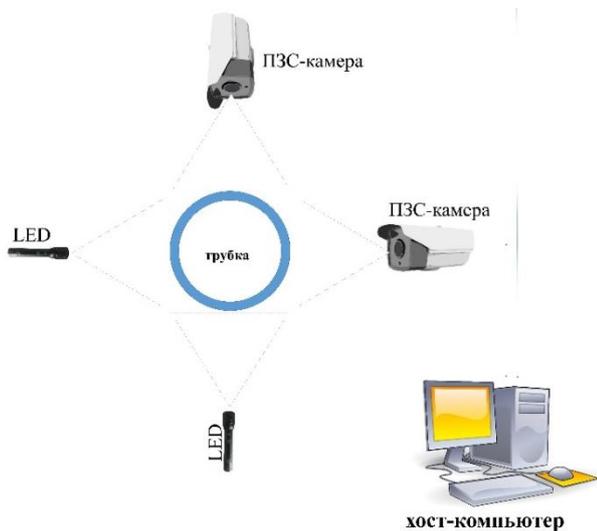


Рис. 1. Схема системы обнаружения дефектов поверхности для трубки из кварцевого стекла



Рис. 2. Блок-схема обработки изображений

Перед предварительной обработкой качество изображения сильно зависит от таких факторов, как освещение, которое может привести к тому, что один и тот же объект будет формировать изображение с разными цветами в разных условиях освещения. Однако для системы обнаружения дефектов ключевой информацией является характеристика градиента изображения, а не цвет. Отсюда и следует целесообразность работы в оттенках серого. Этот метод обработки также может уменьшить количество вычислений на последующих ступенях обработки изображения и повысить ее эффективность [4]. На рис. 3 приведены изображения основных дефектов кварцевой трубки после перехода в оттенки серого.

При получении, передаче и квантовании изображения часто появляются различные шумы, влияющие на качество изображения. Чтобы повысить точность последующего распознавания признаков, изображение необходимо отфильтровать и сгладить.

Для фильтрации шумов, учитывая их различный характер, обычно существенно отличающийся от традиционного гауссова шума, используется медианный фильтр, который как раз эффективен при таких обстоятельствах. В этом случае каждому пикселю фильтруемого изображения присваивается значение медианы вариационного ряда интенсивностей пикселей окна фильтра, в центре которого и находится обрабатываемый пиксель. Размер окна обычно принимается равным 3x3 или реже 5x5 [5].

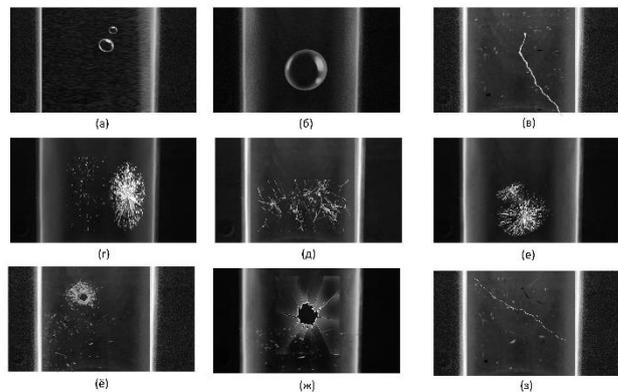


Рис. 3. Изображения дефектов трубки из кварцевого стекла в градациях серого (а) Мошка; (б) Пузыри; (в) Трещины; (г) пластинчатая неоднородность; (д) Капилляр; (е) пластинчатая неоднородность; (е) Вмятины; (ж) Вмятины; (з) Царапина

В. Сегментация изображения и извлечение признаков

Сегментации изображения на основе пороговой его обработки используется для извлечения информации о дефектах стекла трубки. Для этого изображение подвергается бинаризации с использованием пороговой обработки Оцу [5]. В этом случае пиксель устанавливается в ноль (становится черным), если его интенсивность меньше определенного порога, в противном случае преобразуется в белый (рис. 4).

Для извлечения признаков возможных дефектов используется открытая библиотека алгоритмических примитивов OpenCV. Функции OpenCV используются для извлечения характерных параметров каждого дефекта в изображении трубки, например таких, как площадь, минимальный ограниченный прямоугольник, периметр, координаты центра и т. д. В частности, для выделения на изображении области, занимаемой собственно дефектом, используется функция поиска контуров (cv2.findContours) [6].

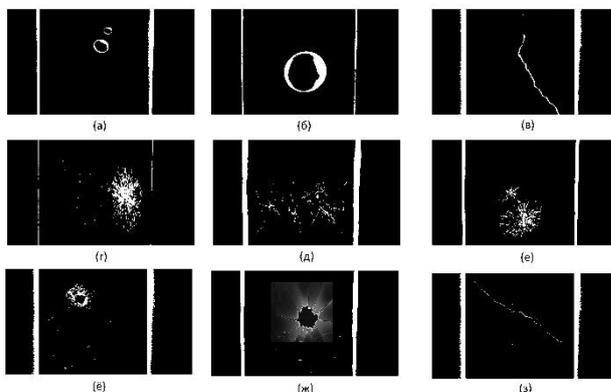


Рис. 4. Изображения дефектов трубки из кварцевого стекла после бинаризации по Оцу (а) Мошка; (б) Пузыри; (в) Трещины; (г) пластинчатая неоднородность; (д) Капилляр; (е) пластинчатая неоднородность; (е) Вмятины; (ж) Вмятины; (з) Царапина

При этом возможна реализация нескольких вариантов этой функции, определяющих режим (mode) и метод. Первый параметр определяет характер возвращаемого результата в том смысле, что учитывает или нет иерархию обнаруженных контуров. Так как главной задачей является выделение контура дефекта (рис. 5б), то в этом случае нет необходимости идентифицировать всю иерархию контуров. Вместо этого можно сосредоточиться на максимальном внешнем контуре, что может сэкономить время обработки. Следовательно, в данном случае следует использовать режим `cv2.RETR_EXTERNAL`

Второй параметр функции определяет характер аппроксимации контуров. В этом случае используется метод `cv2.CHAIN_APPROX_NONE`, который учитывает все точки вдоль отрезков линии контура (рис. 5б).

Для отображения контуров используется функция `cv2.drawContours()`, которая рисует контуры на изображении.

Для вычисления площади и периметра объекта (дефекта) сначала определяется его контур, а затем можно применить соответствующие функции `cv2.contourArea()` и `cv2.arcLength()`, чтобы вычислить площадь и периметр, соответственно.

Для выделения интересующей области после получения контуров объекта на изображении используется функция `cv2.boundingRect()` (рис. 6в). Выходными значениями являются ширина и высота описывающего прямоугольника.

OpenCV имеет функцию, называемую `cv2.minAreaRect()`, которая используется для поиска прямоугольника с минимальной площадью, повернутого на угол, что свидетельствует о протяженных дефектах типа трещин (рис. 6г). Выходными значениями являются координаты центра (x,y), ширина и высота прямоугольника, а также его угол поворота [7].

На рис. 7 представлены результаты работы функции `cv2.minEnclosingCircle()`, которая позволяет найти круг минимальной площади, полностью покрывающий объект. Выходными значениями являются центр (x,y) и радиус этого круга (рис. 7д) [8].

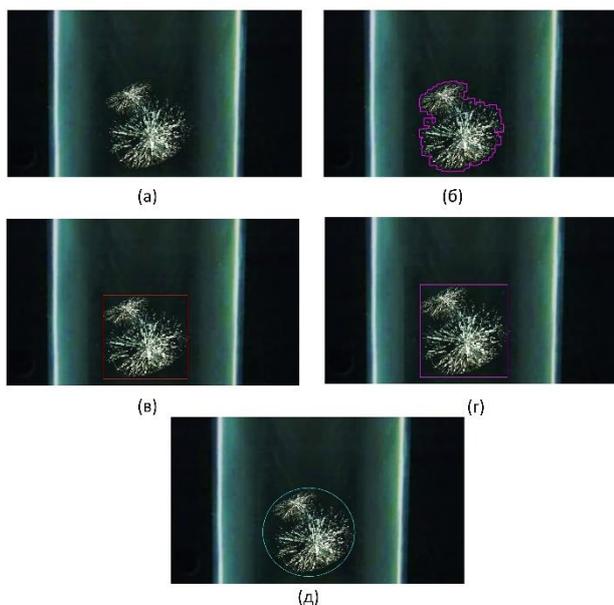


Рис. 5. (а) Оригинальное изображение; (б) Изображение с `cv2.findContours()`; (в) Изображение с `cv2.boundingRect()`; (г) Изображение с `cv.minAreaRect()`; (д) Изображение с `cv.minEnclosingCircle()`

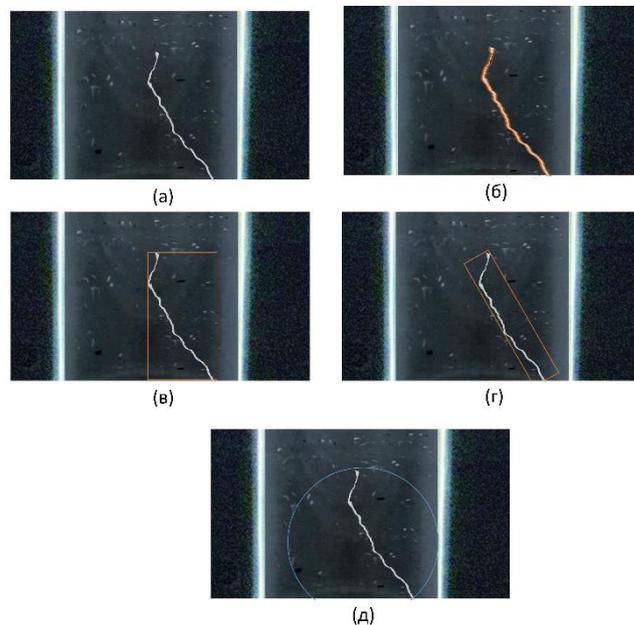


Рис. 6. (а) Оригинальное изображение; (б) Изображение с `cv2.findContours()`; (в) Изображение с `cv2.boundingRect()`; (г) Изображение с `cv.minAreaRect()`; (д) Изображение с `cv.minEnclosingCircle()`

Сравнивая параметры фигур, описывающих дефекты можно судить об их виде и необходимости отбраковки трубки.

Обработка данных осуществлялась с использованием библиотеки с открытым исходным кодом OpenCV, Программа была написана на Python 3.7 и запускалась в рабочей среде PyCharm 2021.3.1 (community edition). Минимальные системные требования для использованного компьютера включают процессор Intel(R) Core(TM) i5-1135G7 с тактовой частотой 2,40ГГц.

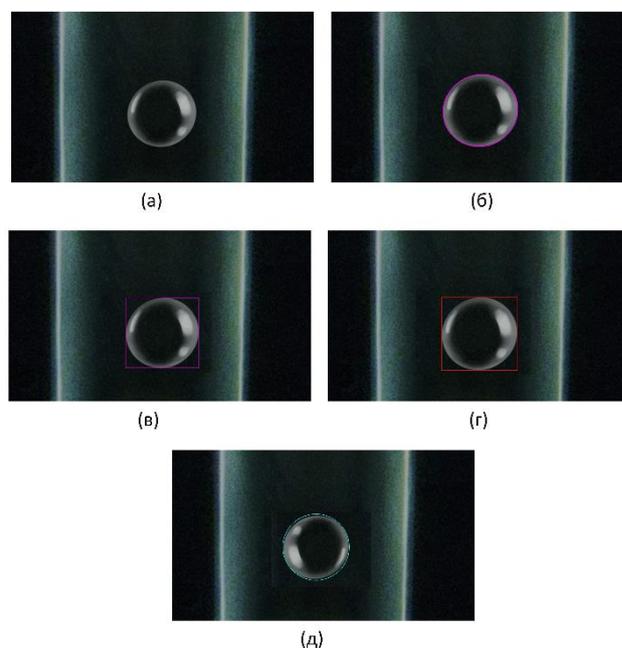


Рис. 7. (а) Оригинальное изображение; (б) Изображение с `cv2.findContours()`; (в) Изображение с `cv2.boundingRect()`; (г) Изображение с `cv.minAreaRect()`; (д) Изображение с `cv.minEnclosingCircle()`.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен метод предварительной обработки изображения и пороговой сегментации. Площадь, периметр и другие параметры дефектов извлекаются в виде векторов признаков, что позволяет частично их классифицировать по типам, а именно выделять пузыри; трещины и царапины; пластинчатые неоднородности; вмятины и т. п. Метод обладает достаточно высокой чувствительностью и позволяет обнаруживать основные дефекты в стекле кварцевых трубок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ 16548-80. Стекло кварцевое и изделия из него.
- [2] Talking about the application of machine vision technology in [glass industry] defect detection <https://zhuanlan.zhihu.com/p/557607349> (дата обращения 01.07.2023г.)

- [3] Ningning QI, Min CHANG, Yuhan LIU. Glass defects inspection based on machine vision[J]. Optical Instruments, 2020, 42(1): 25-31
- [4] Kanan C, Cottrell G.W. Color-to-Grayscale: Does the Method Matter in Image Recognition? PLoS ONE 7(1): e29740, 2012. Page 1-7.
- [5] Gonzalez Rafael C. and Woods Richard E., Digital Image Processing, 2018. 1019p.
- [6] cv2.findContours() function//URL: <https://www.programmingsought.com/article/82015048356/> (дата обращения 01.07.2023г.).
- [7] Contour Features//URL: https://docs.opencv.org/3.4/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html (дата обращения 01.07.2023г.)
- [8] Contour Features//URL: https://docs.opencv.org/3.4/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html?locl=blogmap (дата обращения 01.07.2023г.).