

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОИСКА ДЕФЕКТОВ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

COMPUTER-BASED SYSTEM OF THE DETECTION OF OPTICAL DETAILS DEFECTS

А. С. Губкин, В. Н. Деркач, А. В. Добиков, В. О. Лащук, В. А. Щеников
A. S. Gubkin, V. N. Derkach, A. V. Dobikov, V. O. Laschuk, V. A. Schenikov

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ИЛФИ, Саров
FSUE «RFNC-VNIIEF», ILFI, Sarov

Несовершенство технологий изготовления оптических деталей приводит к тому, что они могут иметь различные дефекты. Наличие в стекле дефектов: пузырей, свилей и царапин снижает оптическую прочность деталей и ведет к интенсивному рассеянию света и потерям в энергии излучения, а также к возникновению амплитудных и фазовых искажений пучка, приводящих к развитию осцилляций интенсивности, ограничивающих возможности съема энергии лазерной установки.

Разработанная нами система в автоматизированном режиме позволяет находить различные дефекты, а также определять их координаты и размеры. Точность определения положения дефекта составляет 200 мкм, точность измерения размеров – 10 %. В процессе аттестации оптических деталей используются теневой [1] или торцевой методы подсветки, в ряде случаев – их комбинация. В докладе рассмотрены границы применимости указанных методов и предложены пути уменьшения времени измерений и увеличения их точности.

Imperfection of the optical details production technologies leads to different defects appearance. Presence of defects such as bubbles, knags and scratches in glass causes of reducing optical durability and leads to intensive dispersion, energy losing, and amplitude and phase distortion appearance which cause intensity oscillation.

System allows to find different defects and to measure coordinates and dimensions of it in semi-automatic mode. Precision of coordinates measure is 200 μm . Precision of dimension measure is – 10 %. During the defect detection dark field and side illumination methods or their combination can be used. Usability of this methods and ways of improving of system have been considered in this work.

Методы поиска дефектов оптических деталей

Существуют различные методы поиска дефектов: теневой, метод торцевой подсветки, интерферометрические, ультразвуковые [2–3]. Это принципиально разные методы, отличающиеся областью применения, помехоустойчивостью, сложностью реализации. В данной работе рассматриваются два метода: теневой и торцевой подсветки. Метод торцевой подсветки [4] основан на явлении полного внутреннего отражения. При использовании этого метода деталь освещается с торцов, в результате свет падает на боковые грани детали под малыми углами и полностью отражается. Дефект рассеивает излучение, и изменяет угол падения лучей на грань детали. В результате часть излучения, рассеянного на дефекте, покидает деталь и регистрируется. Схема, иллюстрирующая этот процесс, показана на рис. 1.

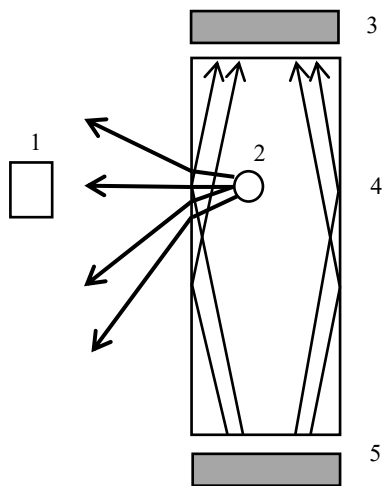


Рис. 1. Схема метода торцевой подсветки: 1 – камера, регистрирующая рассеянное излучение; 2 – дефект; 3, 5 – источники излучения; 4 – исследуемая деталь

В теновом методе излучение проходит сквозь деталь и также рассеивается на дефектах. Для того, чтобы отделить рассеянное излучение от тех лучей, которые прошли сквозь деталь, не отклонившись, используется теновая диафрагма. Эта диафрагма установлена в фокальной плоскости собирающей линзы 5, как показано на рис. 2. Те лучи, которые отклонились, рассеявшись на дефекте, не попадают на диафрагму и формируют изображение. Из рисунка видно, что вне зависимости от того, где находится объект, вызвавший отклонение лучей, его изображение будет зарегистрировано. Отсутствие избирательности по типу дефекта является одновременно и достоинством и недостатком тенового метода. С одной стороны этот метод позволяет обнаруживать все типы дефектов, однако выходные изображения при этом зашумлены.

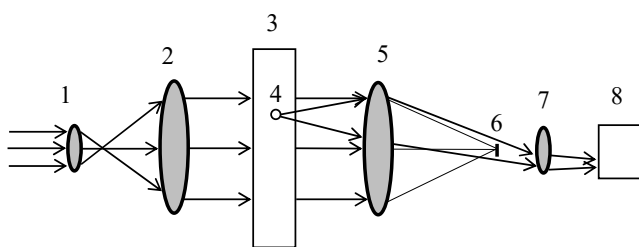


Рис. 2. Схема тенового метода: 1, 2, 5, 7 – линзы; 3 – исследуемая деталь; 4 – дефект, рассеивающий излучение; 6 – теновая диафрагма; 8 – камера

Структура системы

Система состоит из транслятора, микроскопа, камеры, лазера и оптических элементов. Транслятор позволяет перемещать исследуемую деталь в трех плоскостях, в случае использования тенового метода деталь перемещается относительно неподвижного пучка. Вся площадь детали разбивается на участки, площадь которых ограничена размерами пучка. В процессе сканирования каждый фрагмент обрабатывается отдельно, а после на основании этих данных составляется общая карта дефектов. В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер мощностью 60 мВт, длина волны 0,632 мкм. Размеры пучка, который формируется при помощи двух линз, $10 \times 10 \text{ см}^2$. Матрица регистрирующей камеры прямоугольная, из-за этого размеры одного фрагмента немного меньше: $10 \times 6 \text{ см}^2$. Линзы, формирующие изображение дефектов (на рисунке 2 номера 5 и 7), имеют фокусные расстояния 1500 мм и 500 мм соответственно, диаметр теновой диафрагмы – 6 мм.

В случае использования торцевой подсветки схема максимально упрощается, на определенном расстоянии от детали, помещенной в оправу, устанавливается камера. Расстояние между камерой и деталью выбрано таким образом, чтобы поле зрения камеры в плоскости детали было таким же как при теновом методе. Это ограничение введено для того, чтобы снимки имели одинаковый масштаб, при этом в случае использования торцевой подсветки поле зрения не ограничено размерами лазерного пучка и может быть увеличено в несколько раз, что приведет к увеличению скорости сканирования. Торцевая подсветка детали реализована при помощи специальной оправы, в пазах которой уложена светодиодная лента. Светодиоды подобраны таким образом, чтобы максимум их спектра излучения находился далеко от линий поглощения неодимового фосфатного стекла.

На первом этапе сканирования происходит фотографирование фрагментов, на изображении каждого фрагмента оператор вручную отмечает точки, которые выглядят как дефект. После того, как все фрагменты обработаны, каждая точка, отмеченная на первом этапе, проверяется при помощи микроскопа. По сохраненным в памяти программы координатам деталь перемещается таким образом, чтобы отмеченная точка попала в поле зрения микроскопа, размеры которого $2 \times 2 \text{ мм}^2$, а глубина резкости очень мала, поэтому необходимо перемещать деталь вдоль оси микроскопа, до тех пор, пока дефект не окажется в плоскости максимальной резкости. Это действие также выполняется оператором. Если в данной точке есть дефект, он измеряется. Измерение происходит следующим образом: на фотографии с микроскопа ставятся три точки, по этим точкам строится окружность, затем при помощи специального калибровочного коэффициента вычисляется реальный размер дефекта. Фотографирование фрагментов занимает 40–60 минут в зависимости от размеров детали, длительность второго этапа сканирования зависит от количества отмеченных точек, в среднем на одну точку требуется 1,5 минуты.

Виды дефектов оптических деталей

Все дефекты делятся на две группы: внутренние и поверхностные. К поверхностным дефектам относятся сколы и царапины, которые возникают в процессе транспортировки или эксплуатации детали. Как правило, такие дефекты видны даже невооруженным взглядом. Сюда же можно отнести припекшуюся грязь на поверхности детали, она не

является дефектом, но затрудняет поиск реальных дефектов, так как при использовании теневого метода, она рассеивает излучение также как внутренние дефекты. На рис. 3 показано, как выглядят эти загрязнения, а также их изображения, полученные теньевым методом.

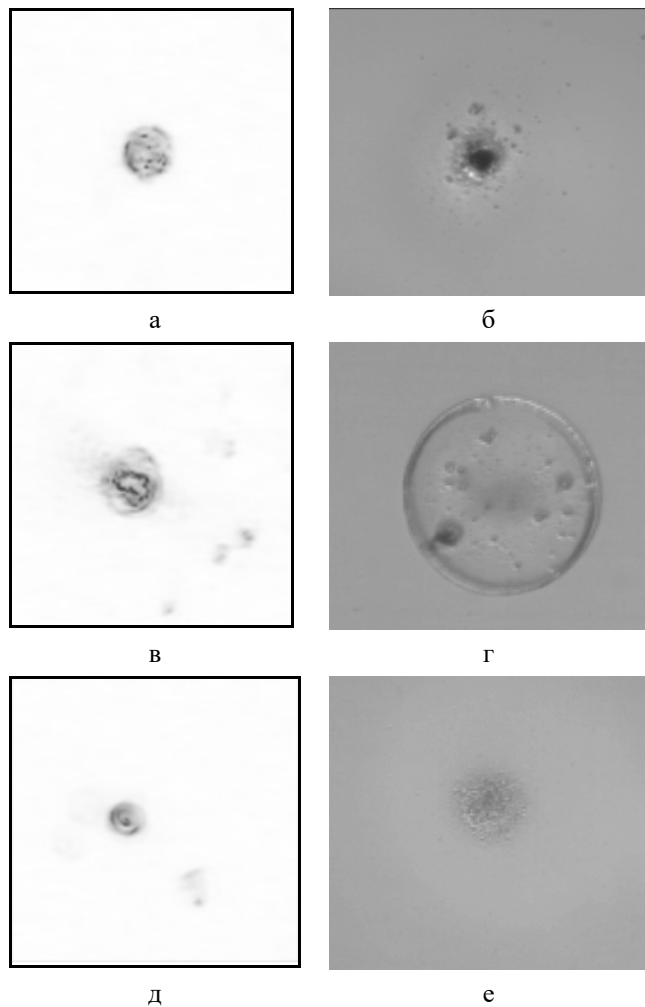


Рис. 3. Инвертированные изображения поверхностных дефектов: изображения, полученные теньевым методом (а, в, д); фотографии с микроскопа (б, г, е)

Внутренние дефекты возникают в процессе варки стекла и приводят к потерям энергии из-за рассеяния излучения. Наиболее часто встречаются два вида внутренних дефектов: пузыри и свиля. Свиля – это неоднородность показателя преломления стекла, обычно имеет нитевидную форму. Следовательно, при прохождении света через такой дефект лучи преломляются, а угол преломления тем больше, чем больше разница показателей преломления. При использовании теневого метода минимальная разница показателей преломления определяется размерами теневой диафрагмы и качеством используемых линз. Пример изображения

свиля, полученного теньевым методом показан на рис. 4. Метод торцевой подсветки не позволяет обнаруживать свиля, так как разница показателей преломления между дефектом и нормальным стеклом очень мала. Порядок величины $\Delta n - 10^{-3}$, поэтому преломившиеся лучи не покидают деталь.

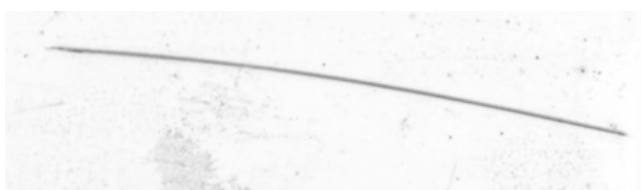


Рис. 4. Инвертированное изображение нитевидного свиля

Следующий вид дефектов – это пузыри. Небольшие включения газа, а именно воздуха или оксидов серы и углерода, которые возникают в процессе варки и также как и свиля рассеивают излучение. Однако в этом случае рассеяние происходит под большими углами, из-за того, что разница показателей преломления стекла и воздуха значительно больше. Если используется торцевая подсветка, из-за того что излучение рассеивается во всех направлениях, часть лучей падает на поверхность детали под углом, который меньше чем угол полного внутреннего отражения и регистрируется камерой. При использовании теневого метода пузыри также видны. На рис. 5 показаны изображения пузырей. Диаметр самого крупного из показанных пузырей – 355 мкм.

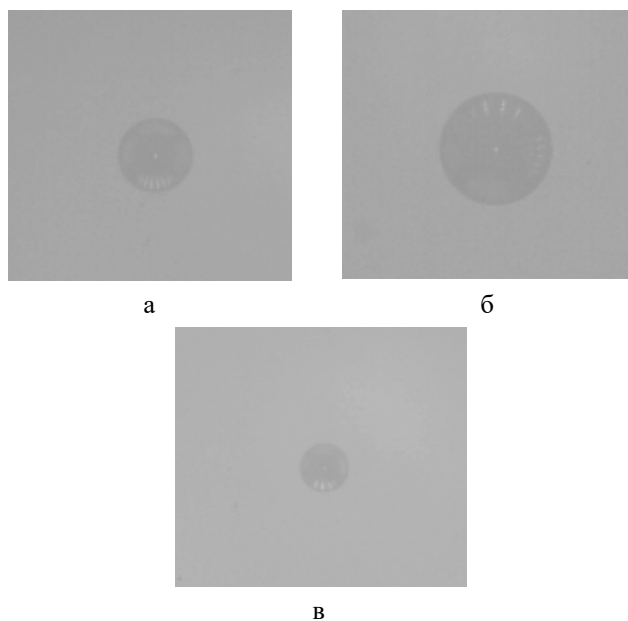


Рис. 5. Изображения пузырей, полученные с помощью микроскопа

Фотографии пузырей, полученные двумя различными методами, показаны на рис. 6. Изображения, полученные теневым методом, меньше, так как лучи, формирующие эти изображения, сходятся. Видно, что изображения *a–в* мало отличаются от тех, что приведены на рис. 3. Особенностью изображений, полученных методом торцевой подсветки, является то, что размер изображения не позволяет судить о размере дефекта. Например, пузыри *г* и *е* имеют примерно одинаковый размер: 160 и 170 мкм соответственно, но их изображения отличаются более чем в два раза. Это объясняется тем, что объектив имеет большое фокусное расстояние и малую глубину резкости, при этом второй пузырь находится в плоскости максимальной резкости, а первый близко к поверхности детали. По этой же причине изображения пузырей отличаются от изображений поверхностных загрязнений.

Сравнение методов

Были исследованы 3 дисковых активных элемента (ДАЭ), все эти элементы содержат пузыри и имеют различное состояние поверхности. Количество найденных пузырей и время, затраченное на аттестацию, характеризуют эффективность поиска. На изображениях, полученных с применением торцевой подсветки, отмечались все точки, на изображениях, полученных теневым методом, от-

мечались только те, которые наиболее похожи на пузырь. Если не выбирать точки, а отмечать все, то время поиска теневым методом было бы гораздо больше, так как при использовании этого метода на изображении присутствуют объекты, находящиеся на поверхности детали. Субъективность выбора точек оператором компенсируется тем, что значение имеют не количество найденных пузырей и время по отдельности, а совокупность этих величин. Например, при исследовании ДАЭ № 144 поиск с применением торцевой подсветки занял немного больше времени, но при этом были найдены все пузыри. На рис. 7 и 8 показано, как выглядит один и тот же фрагмент ДАЭ № 7 при использовании различных методов, пузырь выделен при помощи белого круга.

Результаты сканирования приведены в табл. 1, время указанное в таблице – не результат непосредственного измерения, а оценка, полученная на основе количества отмеченных точек. Из таблицы видно, что совокупность количества найденных пузырей и времени, затраченного на их поиск, во всех случаях оказалось лучше в случае использования торцевой подсветки. Причина этого в том, что теневой метод не позволяет отделить объекты в стекле от загрязнений на поверхности. Если добиться высокой чистоты поверхности, теневой метод даст такие же результаты, как и метод торцевой подсветки. При этом преимущество теневого метода в том, что он позволяет обнаруживать сви-ли и царапины.

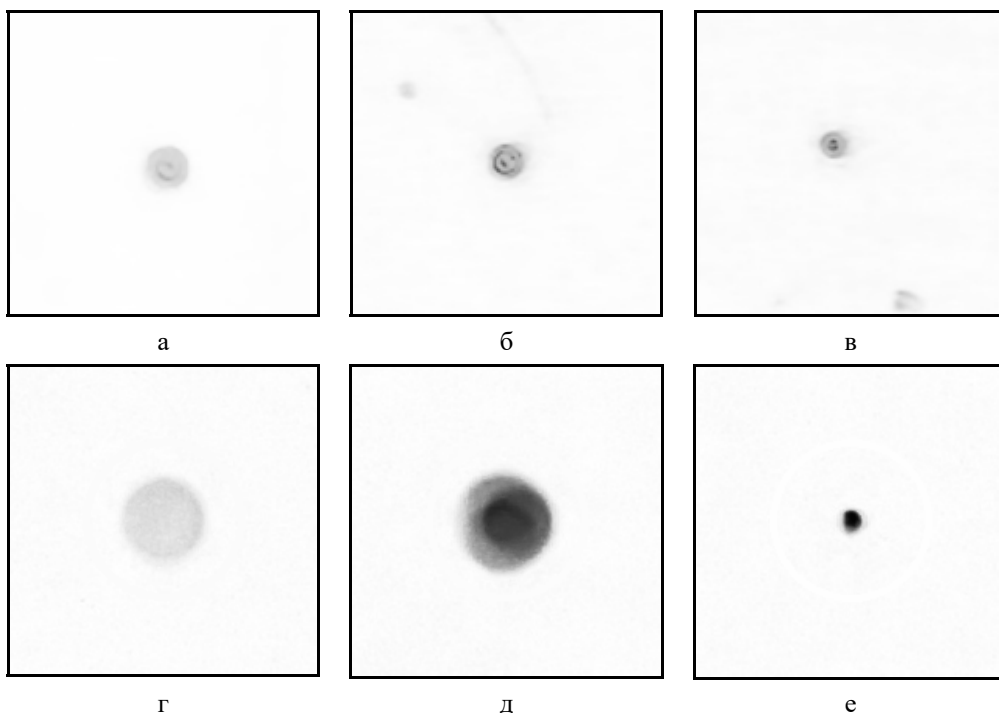


Рис. 6. Инвертированные изображения пузырей, полученные двумя методами

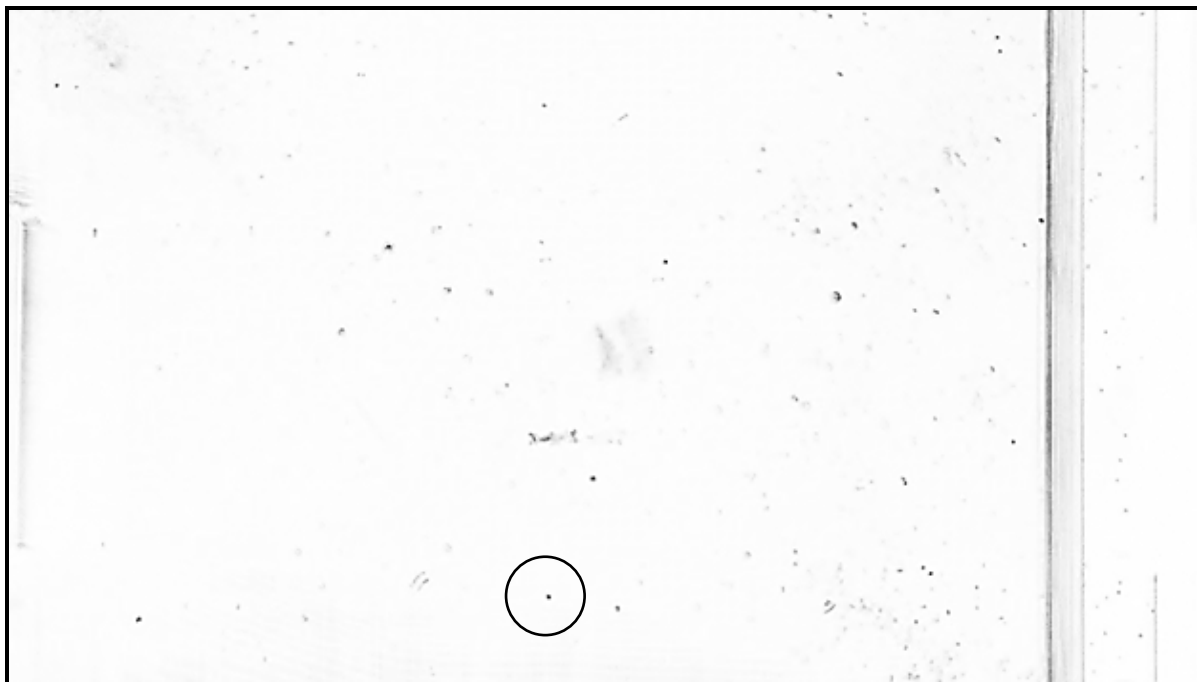


Рис. 7. Фрагмент ДАЭ № 7, инвертированное изображение, полученное теневым методом

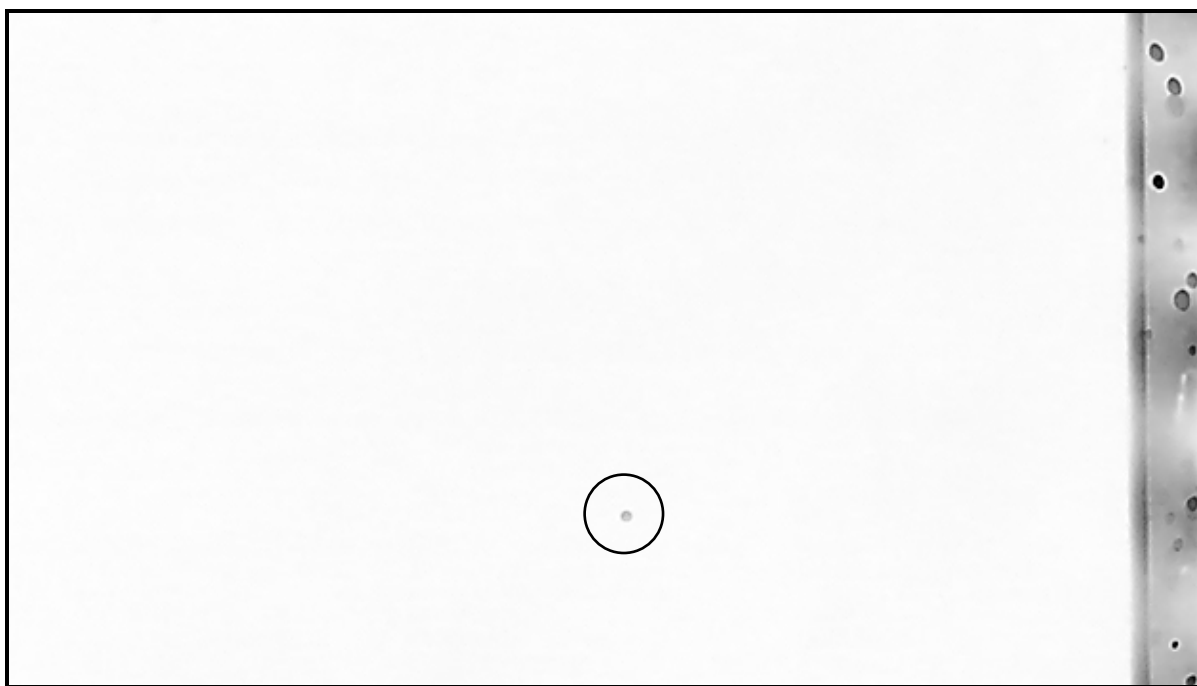


Рис. 8. Фрагмент ДАЭ № 7, инвертированное изображение, полученное с использованием торцевой подсветки

Таблица 1

Результаты сравнения

ДАЭ	Теневого метод		Торцевая подсветка	
	Найдено пузырей/всего	Время, мин	Найдено пузырей/всего	Время, мин
144	3/16	59	16/16	63,5
7	6/15	60,5	15/15	42,5
110	1/6	80	6/6	51,5

Заключение

В ходе работы функциональность системы поиска дефектов была расширена при помощи введения торцевой подсветки. Для того, чтобы сравнить методы проведено сканирование 3 различных ДАЭ двумя различными методами: теньвым и с торцевой подсветкой. Сравнение методов показало, что чистота поверхности существенно влияет на поиск пузырей теньвым методом и практически не оказывает влияния при использовании торцевой подсветки. Когда поверхность детали загрязнена, изображения, полученные теньвым методом, выглядят как «звездное небо», в таких условиях метод торцевой подсветки более надежен и требует меньше времени. Также применение торцевой подсветки дает возможность автоматизировать процесс поиска дефектов. Еще одно преимущество торцевой подсветки в том, что засвечивается вся деталь одновременно и поле зрения фотоаппарата может быть увеличено, что приведет к увеличению скорости сканирования.

В то же время теньвой метод, несмотря на помехи, вызванные поверхностными загрязнениями, позволяет обнаруживать свилю и царапины.

Для того чтобы обеспечить быструю и точную аттестацию качества детали необходимо либо обеспечить высокое качество и чистоту поверхности и применять теньвой метод, либо применять одновременно оба метода сканирования.

Список литературы

1. Васильев Л. А. Теньвые методы. – Москва. 1968.
2. Малакара Д. Оптический производственный контроль. – М.: «Машиностроение», 1985.
3. Rainer F. // Mapping and Inspection of Damage and Artifacts in Large-Scale Optics. LLNL, December 22, 1997.
4. Prasad R. R., Bernacil M., Halpin J., et al. // Design of an Illumination Technique to Improve the Identification of Surface Flaws on Optics, LLNL, November 11, 2004.