

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОИСКА ДЕФЕКТОВ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

А. С. Губкин, В. Н. Деркач, А. В. Добиков, В. О. Лащук, В. А. Щеников

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Несовершенство технологии изготовления оптических деталей зачастую приводит к возникновению дефектов. В данном докладе речь пойдет о крупных дефектах, таких как пузыри, свиля или царапины. В работе рассмотрены два метода, используемых для поиска дефектов, и описана система, построенная на основе этих методов, а также показаны результаты исследования нескольких деталей и возможные варианты дальнейшей модернизации системы

Наличие неоднородностей в деталях, являющихся частью лазерной установки, приводит к возникновению амплитудных и фазовых искажений, а также потерям энергии из-за рассеяния излучения на дефектах. С увеличением мощности установки возрастает и негативное влияние дефектов, которое выражается в том, что снижается оптическая прочность детали. Так как лазерные установки обычно состоят из большого количества последовательных деталей, наличие дефектов в одной из них может привести к повреждению тех деталей, которые расположены после нее. Поэтому к деталям, применяемым в мощных лазерных установках, предъявляются высокие требования, ограничивающие количество и размеры дефектов. В связи с этим задача поиска и паспортизации дефектов является актуальной.

Методы поиска дефектов оптических деталей

Существуют различные методы поиска дефектов: теневые или Шлирен-методы [1, 2], метод торцевой подсветки [3, 4], интерферометрические [5], ультразвуковые [6]. Это принципиально разные методы, отличающиеся областью применения, помехоустойчивостью, сложностью реализации. В данной работе рассматриваются два метода: теневой и торцевой подсветки. Метод торцевой подсветки 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.

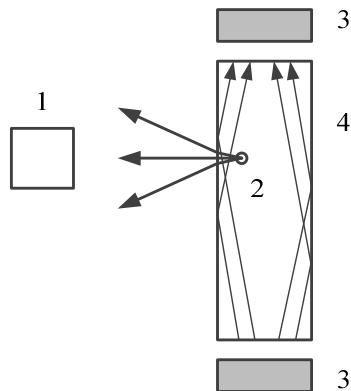


Рис. 1. Схема метода торцевой подсветки: 1 – камера, регистрирующая рассеянное излучение; 2 – дефект; 3, 5 – источники излучения; 4 – исследуемая деталь

В теневом 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 теневая диафрагма. Эта диафрагма установлена в фокальной плоскости собирающей линзы, как показано на рис. 2. Те лучи, которые отклонились, рассеявшись на дефекте, не попадают на диафрагму и формируют изображение.

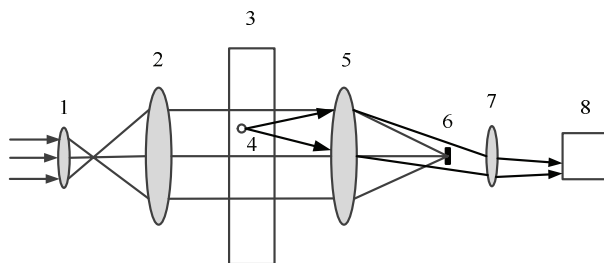


Рис. 2. Схема теневого метода: 1, 2, 5, 7 – линзы; 3 – исследуемая деталь; 4 – дефект, рассеивающий излучение; 6 – теневая диафрагма; 8 – камера

Из рис. 2 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 теневого метода. С одной стороны этот метод позволяет обнаруживать любые дефекты, приводящие к рассеянию излучения, в том числе расположенные на поверхности, однако выходные изображения при этом зашумлены.

Структура системы

Система состоит из транслятора, микроскопа, камеры, лазера, а также линз и зеркал, ее структурная схема показана на рис. 3. В ее основе лежит следующий принцип: все элементы системы неподвижны, а деталь перемещается относительно них при помощи транслятора, благодаря такому подходу есть возможность исследовать деталь большого размера, разбивая ее площадь на малые участки. 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 с длиной волны 0,632 мкм. Размеры пучка, который формируется при помощи двух линз, $10 \times 10 \text{ см}^2$.

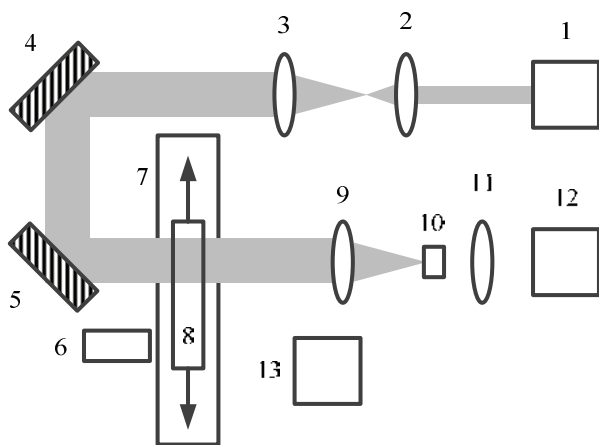


Рис. 3. Структурная схема системы: 1 – лазер; 2, 3, 9, 11 – линзы; 4, 5 – зеркала; 6 – микроскоп; 7 – транслятор; 8 – деталь; 10 – диафрагма; 12, 13 – цифровые камеры

Линзы 9 и 11 имеют фокусные расстояния 1500 и 500 мм соответственно, диаметр теневой диафрагмы – 6 мм.

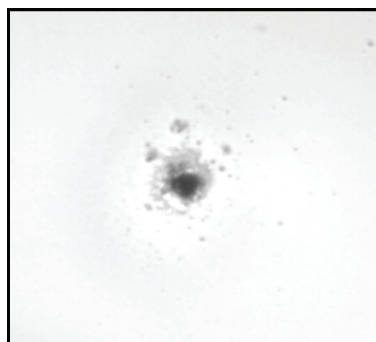
В случае использования торцевой подсветки схема максимально упрощается, на определенном расстоянии от детали, помещенной в специальную оправу, устанавливается камера. Расстояние между камерой и деталью выбрано таким образом, чтобы поле зрения камеры в плоскости детали было таким же, как при теневом методе. 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 пазы которой уложена светодиодная лента. Светодиоды подобраны таким образом, чтобы максимум их спектра излучения находился далеко от линий поглощения неодимового фосфатного стекла.

Процесс исследования детали состоит из двух этапов, на первом этапе происходит фотографирование фрагментов, затем на изображении каждого фрагмента оператором отмечаются точки, в которых может находиться дефект. Основная проблема такого подхода состоит в том, что на данном этапе невозможно однозначно определить является ли отмеченная точка дефектом, поэтому на следующем этапе каждая отмеченная точка проверяется при помощи микроскопа. По сохраненным в памяти программы координатам деталь перемещается таким образом, чтобы проверяемая точка попала в поле зрения микроскопа, размеры которого $2 \times 2 \text{ мм}^2$. Так как третья координата не может быть получена из исходного изображения, деталь перемещается вдоль оси микроскопа до тех пор, пока не будет получено резкое изображение дефекта, его измерение осуществляется по изображению, полученному с микроскопа. Точность измерения обеспечивается за счет калибровки, для этого в поле зрения микроскопа помещается специальная мира и вычисляется масштаб изображения. Фотографирование фрагментов занимает 40–60 минут, длительность второго этапа исследования зависит от количества отмеченных точек.

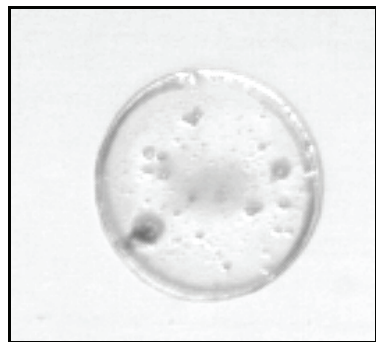
Виды дефектов оптических деталей

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 вызывает рассеяние излучения. На рис. 4 показано, как выглядят эти загрязнения.

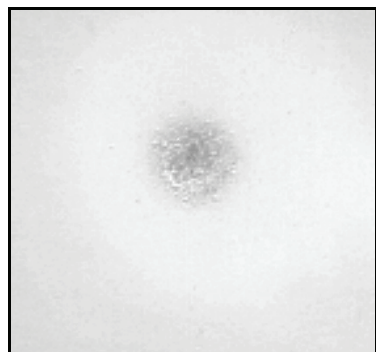
Внутренние дефекты возникают в процессе варки и, в отличие от поверхностных дефектов, не могут быть устранены путем полировки детали. Часто встречаются два вида внутренних дефектов: пузыри и свиля. Свиля – это неоднородность показателя преломления стекла, обычно имеет нитевидную форму. Следовательно, 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. 5. 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.



а



б



в

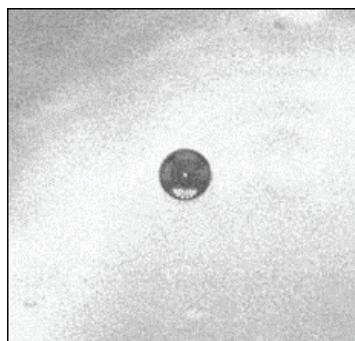
Рис. 4. Объекты на поверхности детали, изображения получены при помощи микроскопа: а – дефект неправильной формы размером 100 мкм, б – круглый объект «капля» – размером 200 мкм, в – дефект, имеющий зернистую структуру размером 120 мкм



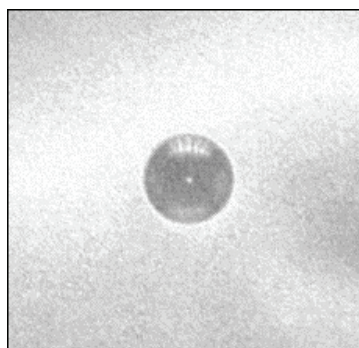
Рис. 5. Инвертирование изображение нитевидного свиля

Следующий вид дефектов – это пузыри. Небольшие включения газа (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, поэтому независимо от того, какой из рассматриваемых методов используется пузыри видны. На рис. 6 показаны увеличенные изображения пузырей, диаметр самого крупного из них – 355 мкм.



а



б

Рис. 6. Изображения пузырей, полученные при помощи микроскопа: а – пузырь диаметром 120 мкм, б – пузырь диаметром 180 мкм

Сравнение методов

С целью сравнить два метода поиска дефектов были исследованы плоскопараллельных детали из неодимового фосфатного стекла, все эти элементы содержат пузыри и имеют различное состояние поверхности. Количество найденных пузырей и время, затраченное на аттестацию, характеризуют эффективность метода. На изображениях, полученных с применением торцевой подсветки, отмечались все точки, на изображениях, полученных теньвым методом, отмечались только те, которые наиболее похожи на пузырь. Если не выбирать точки, а отмечать все, то время поиска теньвым методом возрастет на порядок, так как при использовании этого метода на изображении присутствует множество объектов, находящихся на поверхности детали. Так как важна именно совокупность параметров, можно ввести новый параметр k , учитывающий количество найденных дефектов и время, затраченное на поиск, под дефектами в данном случае понимаются точечные дефекты, расположенные внутри детали:

$$k = \frac{n}{Nt}, \quad (1)$$

где n – число найденных дефектов; N – общее количество дефектов; t – затраченное время.

На рис. 7 и 8 показаны инвертированные изображения одного и того же фрагмента, полученные разными методами, окружностями выделены дефекты.

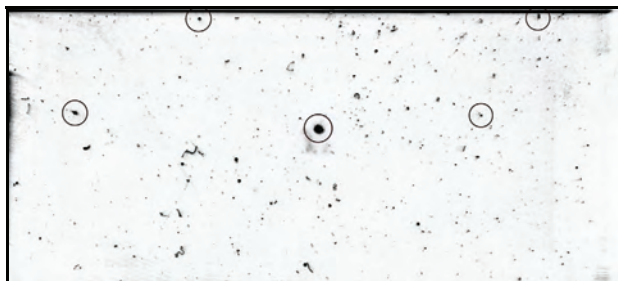


Рис. 7. Фрагмент дискового активного элемента, инвертированное изображение, полученное теньевым методом

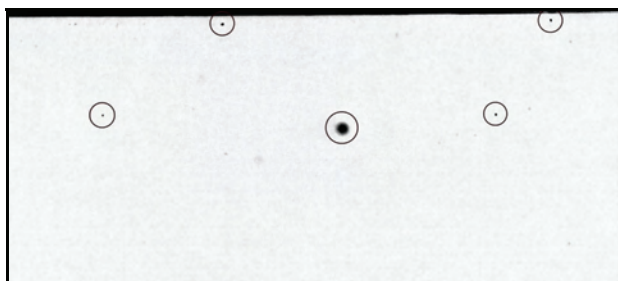


Рис. 8. Изображение, полученное с использованием торцевой подсветки

Результаты исследования деталей приведены в таблице, видно, что, несмотря на примерно одинаковое время поиска, по совокупности параметров метод торцевой подсветки во всех случаях оказался лучше именно для поиска точечных дефектов. Такой результат объясняется тем, что на изображении, полученном теньевым методом много «ложных» сигналов. При этом преимущество теневого метода в том, что он позволяет обнаруживать свиля и царапины.

ДАЭ	Теньевой метод			Торцевая подсветка		
	Найдено пузырей/всего	Время, мин	k	Найдено пузырей/всего	Время, мин	k
144	3/16	59	3,2	16/16	63,5	15,7
7	6/15	60,5	6,6	15/15	42,5	23,5
110	1/6	80	2,1	6/6	51,5	19,4

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: теньевым и с торцевой подсветкой. Сравнение методов показало, что чистота поверхности существенно влияет на поиск пузырей теньевым методом и практически не оказывает влияния при использовании торцевой подсветки. 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 теньевой метод, несмотря на помехи, вызванные поверхностными загрязнениями, позволяет обнаруживать свиля и царапины.

Добиться хороших результатов при использовании теневого метода можно, если обеспечить близкую к идеальной чистоту поверхности детали.

Другой вариант – снижение глубины резкости выходного изображения, так как в настоящий момент по изображению невозможно определить где находится объект. Желаемого результата можно добиться двумя способами: увеличить отношение f_2/f_1 выходного телескопа, которое в настоящий момент составляет 0,33, либо использовать объектив с большим фокусным расстоянием. После этого предлагается делать два снимка детали, перемещая ее на некоторое расстояние по глубине, в том случае, если глубина резкости будет меньше чем толщина детали, объекты, находящиеся на поверхности, будут видны только на одном изображении. После этого, объединяя два изображения, можно получить одно, на котором останутся только те объекты, которые есть на обоих изображениях. Недостатком такого подхода является неизбежное уменьшение поля зрения и, соответственно, увеличение числа фрагментов и времени сканирования. Чтобы обеспечить быструю и полную аттестацию детали нужно применять одновременно оба метода.

Литература

1. Малакара Д. Оптический производственный контроль. М.: Машиностроение, 1985.
2. Васильев Л. А. Теньевые методы. М.: Наука, 1968.
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.
5. Schmit J. Large-surface defect detection by single-framespatial-carrier interferometry//United States Patent №.:US 8,275,573 B1. 2012
6. Жималов А. Б., Горина И. Н., Сучков С. Г., Сефионов А. В., Сучков Д. С., Николаевцев В. А. Инновационный неразрушающий метод ультразвукового контроля нано- и микротрещин и дефектов в листовом стекле // Вестник ВолГУ. 2009–2010. Серия 10. Вып. 4. С. 52–58.