ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК. 681.7.068:621.74

Поступила 28.03.2014

А. П. МАРКОВ, С. С. СЕРГЕЕВ, А. Г. СТАРОВОЙТОВ, Белорусско-Российский университет,
Е. И. МАРУКОВИЧ, Е. М. ПАТУК, ИТМ НАН Беларуси

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ВИДЕОЭНДОСКОПИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Рассматриваются способы и средства высокочувствительной дефектоскопии.

Ways and means of highly sensitive defectoscopy are considered.

В каждом отдельном случае структура и состояние информационного процесса конкретизируются применительно к особенностям поверхности ее параметров и свойств. Потребитель информации осуществляет выбор системы визуализации, адаптированной к реальному объекту. В системе контроля технологическими процессами объектов исследований выступают отдельный элемент поверхности, отдельная операция или их совокупности, обладающие характерными внутренними признаками, которые позволяют обособленно рассматривать их во взаимосвязи с другими элементами и операциями. Из множества физических величин, формирующих первичное отображение участка поверхности, выбираются более информативные и достоверные.

Технологический контроль позволяет с помощью технических средств распознать изменчивость свойств поверхности, классифицировать аномальное отклонение и идентифицировать формирующийся дефект. Распознавание образов изменчивого отображения в основном сводится к описанию и классификации признаков. В реальных условиях для эффективного и правдоподобного описания образов производится тщательная предварительная обработка признакового пространства, чтобы очистить первичное отображение от различных помех и устранить избыточность. Таким путем выделяется некоторый ограниченный набор числовых или нечисловых характеристик или соотношений между ними, формирующих информативное излучение [1].

Недостаток или отсутствие априорной информации об изменчивости признакового пространства ограничивает достоверность характеристик его образа и точность идентификации поверхностной неоднородности (дефекта). При сравнительной оценке способов и структур восприятия и обработки информативных излучений преимущество отдается тем, которые обеспечивают максимальное количество информации при минимальных массогабаритных параметрах и энергопотреблении.

На эффективной спектрально-энергетической трансформации первичных отображений и их информативных излучений сказывается согласованный выбор элементов и их параметров для всей оптической системы, включая и окружающую среду. Если световодный канал определяет помехозащищенную трансляцию и преобразование информации, то от среды зависят проявляемость и выявляемость (обнаруживаемость) дефектных мест поверхности геометрического тела.

Информационная система первичных преобразований со световодной оптикой определяется параметрами световода и размерами полевой диафрагмы. В такой структуре световодной системы первичное отображение участка поверхности непосредственно воспринимается через диафрагму входным торцом *2* жгута световода *3* и переносится по светопроводящим моноволокнам на выходной торец, связанный с приемником *4* (см. рисунок).

При приеме первичного изображения через среду с показателем n сказывается эффект приближения этого изображения. Замена воздушной среды при приеме на иммерсионную среду зрительно приближает поверхность на расстояние $\frac{l_0}{1}-\frac{l_c}{n}=\frac{l_c(n-1)}{n}$. Соотношение $\frac{(n-1)}{n}$ для воды составляет 1/4, а для иммерсионной жидкости – 1/3 l_c. В этом случае угловая величина θ изменится в сторону увеличения и определяется соотношением:

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

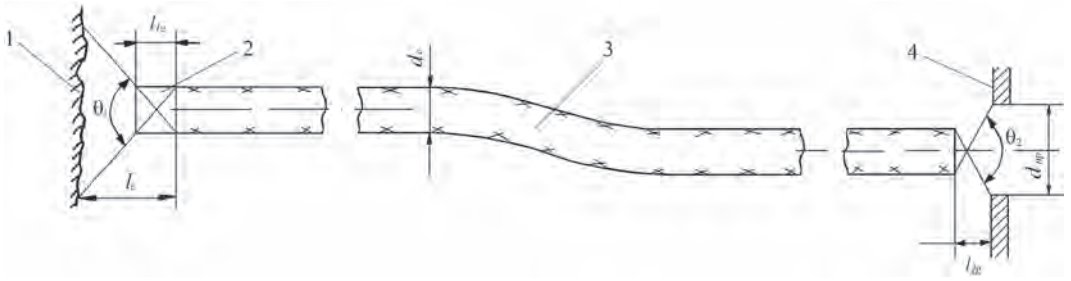

Схема оптической системы: *1* – поверхность; *2* – диафрагма; *3* – жгут световодный; *4* – приемник (диафрагма)

$$\theta = \operatorname{arctg} 2\frac{(1+d_{\text{пр}}/d_c)\cdot l_{2g}}{l_c\dfrac{(n-1)}{n}}.$$

Для систем, формирующих изображение, особенно при низких уровнях освещенности произведение $S_{\text{и}}\theta$, где $S_{\text{и}}$ – площадь, освещаемая пучком лучей в плоскости изображения; θ – телесный угол, под которым виден выходной зрачок из центра полевой диафрагмы, определяет световую энергию, которая может быть принята и передана оптической системой [2].

Если изображающая система освещается протяженным источником однородной яркостью B, тогда полная мощность излучения, попадающая от источника в оптическую систему, равна $BS_{\text{и}}\theta$. Если в оптической системе линзы и световод идеально прозрачны, то световой поток будет сохраняться при переходе от одной плоскости изображения к другой и вся мощность излучения от источника пройдет через систему на ее выход.

Безразмерная величина $S_{\text{и}}\theta/\lambda^2$, где λ – длина световой волны, определяет минимальное количество разрешаемых структурных элементов объекта, которые могут быть переданы изображающей оптической системой, работающей в условиях, когда разрешение ограничивается диафрагмой.

Таким образом, увеличивая с помощью иммерсионных сред параметр $S_{\text{и}}\theta/\lambda^2$, повышается разрешающая сила оптической системы. При оптической обработке информации параметр $S_{\text{и}}\theta/\lambda^2$ называют пространственно-частотным произведением. Оно определяет эффективное число независимых параллельных каналов, которое реализуется в данном процессоре для передачи информации. В оптических световодных системах все эти каналы работают одновременно. Такая особенность обеспечивает преимущество по сравнению с системами, в которых вся информация обрабатывается последовательно.

Необходимо отметить, что поскольку длина волны неисчезающе мала, изображение, образуемое сходящимся пучком лучей, никогда не является точечным. Это – пятно, конечный размер которого определяется дифракцией Фраунгофера. Так, если параллельный пучок света проходит через щель шириной $2a$ и фокусируется линзой с фокусным расстоянием f, то яркость центрального пятна падает до нуля на расстоянии от его центра: $0{,}5f\lambda/a$ [3].

Так как главная диафрагма, определяющая разрешающую силу, расположена в заданной фокальной плоскости, то, когда мы смотрим со стороны предмета, входной зрачок оказывается в бесконечности.

Наименьшее разрешаемое расстояние в плоскости предмета равно $0{,}61\lambda/\sin\theta$. Когда образец погружен в иммерсионную среду с показателем преломления n, наименьшее разрешаемое расстояние равно $0{,}61\lambda/\sin\theta$.

Разрешающая способность пучка световодов ограничена не только дифракцией излучения, но и комплексом других параметров и существенно уступает элементам классической оптики. Предел разрешения современных оптических систем при числовых апертурах 0,5–0,1 равен 0,5–1,0 мкм; разрешение световодных элементов пока не превышает 4–6 мкм [2].

Величину $n\sin\theta = \sqrt{n_{\text{с}}^2 - n_{\text{и}}^2} = A_0$ называют номинальной числовой апертурой световода в объективе микроскопа, где $n_{\text{с}}$ – показатель преломления световода; $n_{\text{и}}$ – показатель преломления оболочки. Номинальная числовая апертура A_0 является одной из основных характеристик световода и определяет его светособирающую и светопропускающую способность – светосилу.

Светосила равна A_0^2, т. е. $n_{\text{с}}^2 - n_{\text{и}}^2$. С точки зрения светосилы и качества передаваемой информации оптимальными являются световоды с числовой апертурой, равной или большей единицы. Практически числовая апертура < 1 [3].

Если же на входе световода находится среда с показателем преломления $n_1 > 1$ и из этой среды падает конический сноп лучей на входной торец сердцевины, а световод имеет номинальную числовую апертуру, например $\sqrt{n_{\text{с}}^2 - n_{\text{и}}^2} \le n_1$, то

$$\sin\theta = \frac{\sqrt{n_{\text{с}}^2 - n_{\text{и}}^2}}{n_1} \le 1.$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

В частности, для того чтобы диффузное излучение, падающее из иммерсионной среды с показателем преломления n_1 полностью прошло через световод и дошло до его выходного торца, необходимо, чтобы $\sqrt{n_с^2 - n_и^2} = n_1$, т. е. была больше единицы.

Эффективность использования в данной системе способности световода передавать широкие снопы лучей оценивается насыщенностью световода. Световод с сечением S и номинальной числовой апертурой A_0 может передавать поток Φ_0 лучей с яркостью B не более чем $\Phi_0 = A_0^2\, BS$.

Номинальная насыщенность H_0 световода определяется отношением передаваемого им в пределах номинального апертурного угла $\theta = \arcsin A_0$ светового потока Φ к потоку $\Phi_0 = A_0^2 BS$ [3]:

$$H_0 = \frac{\Phi}{A_0^2 BS},$$

при условии $\sqrt{n_с^2 - n_и^2} = n_1$, насыщенность $H_0 = 1$.

Литература

1. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Е. И. Марукович и [др.]; под общ. ред. Е. И. Маруковича. Минск: Белорусская наука, 2007.

2. С а т а р о в Д. К. Волоконная оптика. Л.: Машиностроение,1973.

3. А н д р у ш к о, Л. М. Волоконно-оптические линии связи: учеб. пособ. для вузов / Л. М. Андрушко, И. И. Гроднев, И. П. Панфилов. М.: Радио и связь, 1985.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета