



УДК 681.7.068: 681.581.3

Поступила 21.05.2014

*Е. И. МАРУКОВИЧ, Е. М. ПАТУК, ИТМ НАН БЕЛАРУСИ, А. П. МАРКОВ, С. С. СЕРГЕЕВ,
А. Г. СТАРОВОЙТОВ, Белорусско-Российский университет, О. Ю. БОНДАРЕВ, ПА «МЕГА»*

СПЕКТРАЛЬНО-ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТЛИВОК И ПРОКАТА

Рассматриваются способы и структуры визуально-оптической дефектоскопии поверхностей изделий литейного производства и металлургии.

Ways and structures of visual and optical detectoscopy of surfaces of articles of foundry production and metallurgy are considered.

Введение. Обеспечение контролеспособности технологий и производств особо значимо для совершенствующихся и развивающихся процессов и операций. При этом опережающими являются способы и средства оперативного технологического контроля, гарантирующего выход качественной продукции с нормируемыми материально-энергетическими и технико-экономическими показателями. В современном производстве конкурентоспособной продукции технологический контроль становится определяющей стадией на всех этапах операционных воздействий и взаимодействий в единой системе обеспечения качества и снижения затрат. Характерное для производства пространственно-временное распределение геометрических параметров поверхностей соответственно отражается в сопровождающем каждую операцию информационном процессе. И если физико-технические свойства и параметры поверхности на первичном уровне присущи геометрическому телу, то на информационном уровне они абстрагируются и проявляются уже в формализованном виде. Такая информационно-технологическая взаимосвязь количественных и качественных характеристик геометрических параметров поверхностей и их абстрактных отображений позволяет моделировать и вести мониторинг смоделированного информационно-преобразовательного процесса по совокупности формализованных и взаимосогласованных операций.

Пространственно-временная изменчивость поверхностей проявляется в совокупности признаков. С их проявлением и выявлением формируется и первичная технологическая информация. Как тех-

нологические признаки изменчивости, так и характер технологической информации различаются физической природой первичного отображения, его физическими величинами и информативными параметрами. И для достоверной оценки реальной изменчивости необходимо пространственно-временное выявление расположения и особенностей формирующихся информативных источников непосредственно в производственных условиях.

Формирование и поиск информативных источников. Дефектоскопия изменчивой поверхности связана с обнаружением и анализом многообразного признакового пространства. Посредством обратных связей локализуется признак и идентифицируется соответствующее ему поверхностное нарушение сплошности. При этом если технологический признак изменчивости связан с дефектоскопируемой поверхностью, то для идентификации необходимо трансформировать информативное излучение для анализа.

Информативность признаков изменчивой поверхности определяется эффектами взаимодействия воздействующих излучений с приповерхностным слоем. И проявляемость технологической изменчивости, как информационно-физическое свойство материальной поверхности, характеризует ее способность к спектрально-энергетическому взаимодействию с излучателем. Структура спектрально-энергетической трансформации учитывает как полезную информацию, так и дестабилизирующее воздействие помех.

Схемотехника преобразований и трансформации излучений. Использование оптических светопроводящих моноволокон вносит некоторое раз-

нообразии в преобразовательный процесс. В общем случае схемотехника информационно-энергетических преобразований строится на многообразии функциональных элементов восприятия, формирования, трансформации излучений и отображения информации у получателя. В простейшем случае структура преобразований представляет собой систему оптических светопроводящих моноволокон, сформированных в соответствии с алгоритмом взаимосвязей излучателя, объекта, приемника излучений и потребителя. В таком взаимодействии спектрально-энергетическое излучение источника трансформируется через объект к виду, удобному для получения потребителем. Специфика световодных преобразований в основном определяется схемами группирования элементарных моноволокон в жгуты для транслятора, преобразователя, коллектора, кодера, устройства отображения оптических изображений и др.

В простейших схемах прямых преобразований излучение источника с энергетической яркостью L_3 переносится для непосредственного воздействия на объект и выходной торец световода выполняет функцию вторичного излучателя. Отображение объекта воспринимается входным торцом информационного световода, трансформирующего информативное излучение через приемник для оптического изображения $L_{и}$ результата у потребителя (см. рисунок).

Информационно-энергетическая цепочка параметров световодной системы прямого преобразования представляется характерными спектрально-энергетическими параметрами каждой операции, отражающими ее специфические особенности. Для них характерна зависимость «вход-выход».

Общая выходная мощность $P_{\text{вых}}$ всей цепи преобразований определяется выражением: $P_{\text{вых}} = P_{и} \tau_{\text{св1}} \tau_{\text{об}} \tau_{\text{св2}} k$, где $P_{и}$ – мощность излучения, вводимая в световод под углом φ ; $\tau_{\text{св1}} \tau_{\text{св2}} \tau_{\text{об}}$ – коэффициент светопропускания световода-излучателя, информационного световода и объекта; k – коэффициент чувствительности фотоприемника.

Полная мощность, излучаемая источником в телесном угле 2π , равна

$$P_{и} = L_3 \cdot 2\pi r_c^2,$$

где L_3 – энергетическая яркость источника; r_c – радиус световода.

Эффективная площадь входных и выходных торцов световодов $S_y = \pi r_m^2 n$, где r_m – радиус сердцевин моноволокон, n – число моноволокон, определяется качеством обработки (микронеровности), наличием сколов, неплотностью формирования торцов моноволокон в световоде, коэффициентами преломления среды на входе и выходе и другими факторами. Эти факторы существенно влияют на информационные и энергетические характеристики оптического канала.

При прямом преобразовании на энергетические характеристики (информационные, метрологические) канала оказывают большое влияние потери информации на собственные преобразования в каждом последовательном функциональном элементе. С учетом природы этих потерь и схемы канала восстановить потерянную в цепи преобразований информацию не представляется возможным.

Однако на основе метрологических методов и структур схемной комбинаторики строятся световодные преобразователи с улучшенными информационными, энергетическими и точностными показателями [2].

При синтезе световодной системы преобразования и передачи оптической информации исходят из предпосылки, что каждой точке объекта с характерными пространственно-временными координатами соответствует отображаемая точка изображения также с определенными пространственными и временными координатами.

Для оптических систем отличительное значение имеют физические величины, более удобные для моделирования и описания. В преобразовательных процессах информативные сигналы отображаются чаще всего в виде энергии или плотности энергии излучения. Более существенными являются следующие первичные характеристики информационного процесса:

- увеличение, определяемое по изменению масштаба координат при передаче или преобразовании вида объекта в изображение;
- передаточная характеристика, определяемая по изменению выбранной характерной величины в процессе передачи или преобразования вида объекта в изображение;
- функция размытия, определяемая по степени вклада влияния сигнала от некоторой точки объек-

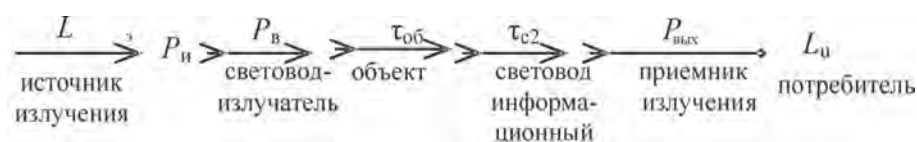


Схема световодного канала прямого преобразования

та на сигнал в других точках изображения, соответствующих другим точкам объекта;

- шум, определяемый по величине случайных флуктуаций, налагаемых на сигнал.

В принципе эти флуктуации имеются в каждой из трех указанных выше характеристик. На практике достаточно учитывать влияние флуктуаций на значение сигнала и связанную с ним величину, выбранную для анализа передаточной характеристики.

При этом в световодной системе передачи и преобразования оптической информации общего вида не обязательно полное соответствие пространственных и временных координат точки объекта пространственным и временным координатам связанной с ней точки отображения. Иногда одномерная выборка точек в двумерной области плоскости объекта преобразуется в изображение, имеющее вид одномерного электрического сигнала, например, при стробировании.

С точки зрения теории информации любую световодную систему передачи и преобразования сигнала от первичного отображения в информативное излучение объекта можно представить как оптический канал связи. Поток информации об объекте поступает на вход такого канала, частично теряется в нем и приходит в плоскость оптического изображения у потребителя. В случае идеальной световодной системы ее информационная способность бесконечно велика как за счет бесконечного числа независимых элементов, которые можно выделить в любом ограниченном по пространству изображении, так и за счет того, что каждый элемент сигнала может принимать бесконечное число различных значений физической величины, выбранной для характеристики сигнала. В реальной световодной системе функция размытия ограничивает число независимых элементов, которые можно выделить в пространственно ограниченном отображении, а шум ограничивает число уровней значений, которые можно надежно различить в оптическом сигнале.

Анализ особенностей передачи информации в оптическом тракте и расчет параметров световодной системы проводятся с учетом наличия активных полихроматических элементов. Активные элементы могут преобразовывать световой полихроматический сигнал в электрический и наоборот. При этом они могут преобразовывать свет одного спектрального состава в свет с другим спектральным составом. Тогда энергия входного сигнала при одной длине волны влияет на энергию выходного сигнала уже при другой длине волны.

Схемотехника световодных преобразований строится из предположений, что вся оптическая

информация о первичном отображении генерируется диффузно-рассеянным излучением контролируемого участка объекта. Оптический сигнал $\Delta\Phi_i$, отражаемый каждым элементарным источником информации M , падает в поле зрения оптической системы.

В способах и средствах визуально-оптической дефектоскопии на основе световодных и телевизионных каналов передачи оптических излучений и изображений потенциальных дефектов наблюдаемой поверхности предполагают ориентированное освещение и последующее восприятие контрастных изображений отдельных участков, зон или объемов непосредственно оператором.

В них для формирования и приближения изображения осматриваемого участка непосредственно наблюдателю (через окуляр) требуется мощный источник питания (в большинстве от промышленной сети) и высокоразрешающий волоконно-оптический канал передачи изображения [1].

В реальных условиях способы световодной визуализации изображений ограничены разрешающей способностью световодов, их потерями и субъективными возможностями наблюдателя. При этом наблюдателю непрерывно поступают оптические изображения (в виду помех не всегда хорошего качества), которые он должен воспринимать, запоминать и сравнивать с некоторыми аналогами изображений дефектов по фотообразцам, картам или по памяти. В способах структурной оптимизации комплексные преобразования связаны непосредственно с рациональной обработкой. Большой эффект обеспечивают адаптивные способы пространственно-временной обработки [2]. Однако параметры реальных структур, как и контролируемых поверхностей, существенно различаются в пространственно-временном и спектральном распределении. Такие различия ограничивают чувствительность и достоверность способов дефектоскопии, так как преобразования первичных изображений и их обработка наблюдателем производятся в различных пространственно-временных координатах.

Ограниченные восприимчивость и чувствительность, а также энергозависимость снижают технико-экономическую эффективность, достоверность и производительность такого способа дефектоскопии. С учетом большого многообразия видов дефектов и их типоразмеров управление поиском и выявление источников информации по интенсивности отраженного дефектным участком излучения требует продолжительного рассмотрения изображения с регулированием резкости непрерывно освещенного участка поверхности и его восприятия через объектив, что также снижает достовер-

ность и производительность способа визуально-оптической дефектоскопии [2]. Ступенчатое регулирование освещенности в визуально-оптической дефектоскопии не решает задачи улучшения восприимчивости оптических изображений контрастных мест [1].

В предложенном способе спектрально-фотометрической дефектоскопии поверхности объекта формирование и локализация изображения осматриваемого участка дефектируемой поверхности осуществляются одновременно со взаимодействием этой поверхности и поверхности образцовой. Для освещения используются излучения управляемых монохроматических источников с последующим фотометрированием в реальных пространственно-временных координатах. При этом световодный коллектор-смеситель формирует одновременно воздействующее на образцовую поверхность и участок поверхности изделия регулируемое излучение. Формируемое монохроматическими из-

лучателями и направляемое по жгутам оптических моноволокон на коллектор-смеситель излучение разделяется жгутами светопроводящих волокон на два лучистых коллимированных потока. Они одновременно воздействуют на поверхность контрастную и поверхность образцовую, а отраженные от них оптические изображения оптической призмой одновременно направляются на фотоприемник образцовый и фотоприемник контрастный. Их электрические выходные сигналы обрабатываются в компараторе, а результаты представляются на устройстве отображения.

Спектрально-фотометрическая дефектоскопия по способу сравнения обеспечивает повышение чувствительности и выявляемости дефектных мест. В такой структуре повышаются достоверность и производительность при улучшении технико-экономической эффективности дефектоскопии, осуществляемой в реальных пространственно-временных координатах.

Литература

1. Бычков, О. Д. Контроль внутренних поверхностей / О. Д. Бычков. – М.: Энергия, 1975.
2. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Е. И. Марукович и др.; под общ. ред. Е. И. Маруковича. Минск: Белорусская наука, 2007. С. 52–54, 60–72, 82–86, 92–97.
3. Заявка №а20111427 Республика Беларусь: МПК G 01N 21/88. Способ спектрально-фотометрической дефектоскопии поверхности объекта и устройство для его осуществления / Е. И. Марукович, А. П. Марков, О. Ю. Бондарев, Е. М. Патук, А. Г. Старовойтов; заявитель – ГНУ «ИТМ НАН Беларуси»; заявл 27.10.2011, опубл. 30.06.2013 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы». 2013. № 3. С. 32.